



HAL
open science

Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer : L'indice diatomique de Guyane Française (IDGF)

François Delmas, Anne Eulin, David Carayon, Sébastien Boutry, Julian
Frédéric, Régis Vigouroux, Michel Coste, Nicolas Heitz, Olivier Monnier

► To cite this version:

François Delmas, Anne Eulin, David Carayon, Sébastien Boutry, Julian Frédéric, et al.. Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer : L'indice diatomique de Guyane Française (IDGF). INRAE; OFB, Office Français de la Biodiversité; Office de l'eau Guyane; Hydreco; Préfecture de région Guyane. 2023. hal-04422356

HAL Id: hal-04422356

<https://hal.science/hal-04422356>

Submitted on 28 Jan 2024

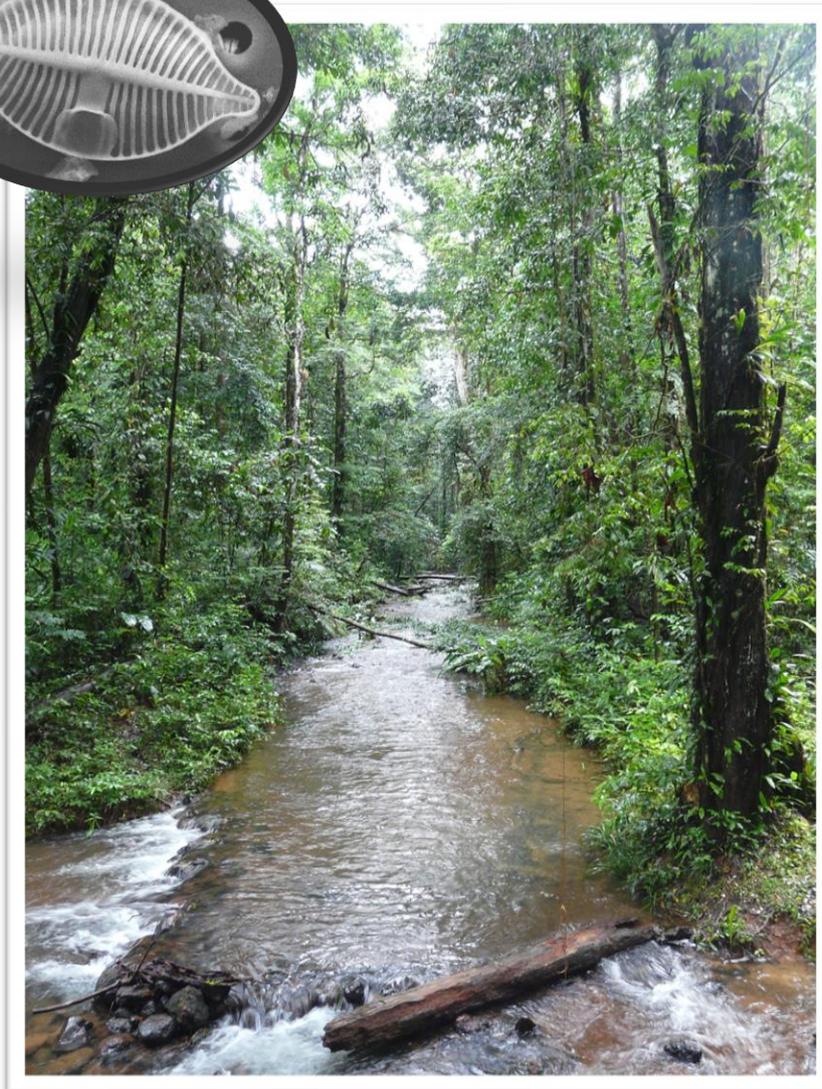
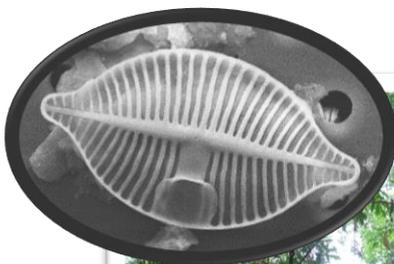
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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

GUIDE POUR LA MISE EN ŒUVRE D'INDICES BIOLOGIQUES EN OUTRE-MER :

L'indice diatomique de Guyane Française - IDGF

Version 1 (22 Décembre 2023)



Le document qui suit présente la méthode réglementaire d'évaluation biologique de l'état des cours d'eau basée sur les diatomées, dénommée "IDGF" (indice diatomique de la Guyane Française), ainsi que les modalités pratiques de sa mise en œuvre. Ce guide est téléchargeable dans la base documentaire HAL : <https://ofb.hal.science>

Un module de calcul de l'évaluation diatomique des cours d'eau de Guyane à partir de l'IDGF est disponible dans l'outil de référence national SEEE sur le site <https://see.eaufrance.fr/>

GUIDE POUR LA MISE EN ŒUVRE D'INDICES BIOLOGIQUES EN OUTRE-MER :

L'indice diatomique de Guyane Française – IDGF

Version 1 (*22 Décembre 2023*)

**François DELMAS, Anne EULIN, David CARAYON, Sébastien BOUTRY, Julian FREDERICK, Régis VIGOUROUX,
Michel COSTE, Nicolas HEITZ, Olivier MONNIER**

AUTEURS ET CONTRIBUTEURS

Auteurs

François Delmas, INRAE (francois.delmas@inrae.fr)

Anne Eulin-Garrigue, HYDRECO (anne.eulin-garrigue@hydrecolab.com)

David Carayon, INRAE (david.carayon@inrae.fr)

Sébastien Boutry, INRAE (sebastien.boutry@inrae.fr)

Julian Frédéric, HYDRECO Guyane (julian.frederick@hydrecolab.com)

Régis Vigouroux, HYDRECO Guyane (regis.vigouroux@hydrecolab.com)

Michel Coste, DR Emérite (ex-Irstea) (michelcoste24@gmail.com)

Nicolas Heitz, DGTM Guyane (nicolas.heitz@guyane.pref.gouv.fr)

Olivier Monnier, OFB / DRAS (olivier.monnier@ofb.gouv.fr)

Contributeurs

Mathieu Rhoné et Alexandra Aymard, Office de l'Eau de Guyane

Stéphanie Rey, DEAL Guyane, puis DGTM Guyane

Eva Thierry, Office Français de la Biodiversité/DSUED

Remerciements spécifiques (Volet taxonomique)

Outre Michel COSTE (ex-Irstea, co-auteur), les experts taxonomiques suivants ont plus particulièrement contribué à des déterminations ou observations taxonomiques d'espèces diatomiques des cours d'eau de Guyane (antérieurement connues ou nouvelles), en liaison avec ce programme et à la demande du Dr Anne EULIN-GARRIGUE (HYDRECO-Guyane) :

- Carlos WETZEL (Chercheur algologue au LIST, LU)
- Luc ECTOR (Chercheur algologue au LIST, LU)
- Bart VAN DE VIJVER (Chercheur algologue au Jardin Botanique de Meise (BE))

Qu'ils en soient ici remerciés, ainsi que quelques autres taxonomistes ayant apporté des points de vue plus ponctuels pour l'identification de certains taxons sur photographies et posters.

La rédaction du guide a été réalisée par les partenaires scientifiques et techniques qui ont élaboré la méthode (INRAE et HYDRECO Guyane), sous la coordination de l'OFB. L'OFB, l'Office de l'eau de Guyane et les Services de l'Environnement de Guyane ont contribué à la relecture / vérification du document.

Référence bibliographique à utiliser pour la citation du présent guide :

Delmas, F., Eulin-Garrigue, A., Carayon, D., Boutry, S., Frédéric, J., Vigouroux, R., Coste, M., Heitz, N., Monnier, O. (2024). Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer : L'indice diatomique de Guyane Française (IDGF). INRAE – HYDRECO – OFB – Office de l'Eau Guyane – Préfecture de Région Guyane. Version 1 du 22 décembre 2023. OFB Eds. (70 pages + annexes).

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

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

AVANT-PROPOS

La bio-indication est l'un des dispositifs essentiels du processus d'évaluation de l'état écologique des milieux aquatiques prévu dans le cadre de la DCE. Afin que cette évaluation puisse être réalisée, l'OFB a la responsabilité de faire développer, puis de valider les méthodes prescrites réglementairement par le Ministère de la Transition Ecologique et de la Cohésion des Territoires. Pour leur part, les organismes gestionnaires des bassins hydrographiques (Agences de l'Eau, ou Offices de l'eau dans les DOM) ont la responsabilité du déploiement opérationnel de la surveillance de la qualité des milieux aquatiques.

En Guyane, outre la réalisation de quelques études scientifiques à caractère exploratoire, un suivi régulier de l'état des cours d'eau s'appuyant sur la mise en place de réseaux de surveillance, tel que requis par la DCE, a débuté à partir de 2007. Toutefois, les outils de bio-indication pré-existants et spécifiques aux biocénoses guyanaises nécessitaient d'être renforcés et mis en compatibilité avec les exigences de la DCE. De plus, pour certains taxons clés, aucune méthode adaptée au territoire n'était disponible, du fait que les cortèges biologiques locaux sont fortement marqués d'endémisme et que les préférences écologiques de beaucoup d'espèces locales étaient encore largement méconnues jusqu'à un passé récent, rendant peu efficaces l'adaptation et l'utilisation de méthodes de bio-indication mises au point dans des contextes biogéographiques très différents.

Il a rapidement été jugé nécessaire d'en créer de nouvelles spécifiquement calées sur des jeux de données locaux, dont la genèse a demandé quelques années. Aussi, la mise en place officielle de l'évaluation de l'état écologique a logiquement débuté un peu plus tardivement, en Guyane et dans les autres DOM (volets spécifiques DOM des Arrêtés Surveillance et Evaluation publiés à partir de 2015), qu'en métropole (1^{ère} Circulaire nationale "Evaluation" datant de 2005).

Concernant l'évaluation des cours d'eau de Guyane, un nouveau dispositif d'évaluation diatomique basé sur l'IDGF (Indice Diatomique de Guyane Française), objet du présent guide méthodologique, vise à remplacer, à partir de 2024, un premier dispositif réglementaire basé sur l'IPS "adapté Guyane" mis en place et utilisé à titre transitoire depuis 2016 en vue de commencer à y évaluer l'état écologique.

La mise en place de cette nouvelle méthode a pu être initiée grâce au soutien financier apporté par l'OFB (ex-AFB) à un programme de création de l'IDGF (2017-2019) porté par l'INRAE (ex-Irstea), qui a créé cet indice en partenariat étroit avec le Bureau d'Etude HYDRECO (ASCONIT, initialement partenaire, ayant fait faillite en 2017), en bénéficiant de l'appui précieux des institutions locales (Office de l'Eau de Guyane, DGTM Guyane). La propriété intellectuelle liée à la mise au point de cet indice est donc largement partagée et indissociable.

La démarche complète de conception de l'IDGF est présentée dans le rapport final de cette étude du 30-04-2019 ([Ref. 5 : Carayon & Delmas et al., 2019](#)) et a été publiée dans un article scientifique ([Ref. 6 : Carayon et al, 2020](#)). Les aspects résumés repris dans le présent guide ont simplement pour but de permettre à l'utilisateur de la méthode de comprendre les principes de base de son fonctionnement, ainsi que du calcul régionalisé d'Etat Ecologique qui en résulte. Pour une information plus détaillée, se reporter aux 2 références précitées. Dans le cadre du programme partenarial INRAE-OFB 2019-2022, l'OFB a ensuite financé une Fiche-Action N° 3 permettant à INRAE de prendre en charge, avec l'appui des mêmes partenaires, diverses actions ou réalisations utiles au transfert opérationnel de cette nouvelle méthode, dont l'élaboration du présent document.

Ce guide méthodologique a pour objectif de synthétiser l'ensemble des étapes ayant conduit à l'élaboration de l'IDGF et relatives à sa mise en œuvre concrète. Principalement destiné aux personnes en charge des opérations de contrôle, c'est un outil indispensable pour accompagner une mise en œuvre rigoureuse des méthodologies et techniques nécessaires à la réalisation des suivis DCE, notamment en décrivant les méthodes d'échantillonnage, de préparation du matériel biologique, d'analyse des échantillons et de calcul des notes de qualité.

Il a pour fonction d'aider les bureaux d'étude aptes à la détermination des diatomées benthiques pour l'application de l'IDGF en Guyane, mais aussi d'aider les gestionnaires dans la réalisation des prestations de suivi des réseaux institutionnels et en particulier, du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

Cet ouvrage se veut être un outil pratique, mais aussi un document de référence garantissant une application rigoureuse de cette nouvelle méthode indiciaire, en bonne conformité avec le schéma national des données sur l'eau (SNDE) et en vue de limiter les incertitudes attachées aux évaluations produites.

SIGLES ET ABREVIATIONS

ACC : analyse canonique des correspondances

ACP : analyse en composantes principales

DCE : directive cadre sur l'eau

DGTM : direction générale des territoires et de la mer

EQR : Ecological Quality Ratio (en Français : équivalent de qualité écologique)

GCMA : gradient composite multimétrique d'anthropisation

HER : hydro-écorégion

IBD : indice biologique diatomées

IDGF : Indice Diatomique de Guyane Française

IPS : Indice de Polluosensibilité Spécifique

JORF : Journal Officiel de la République Française

JOUE : Journal Officiel de l'Union Européenne

MEB : microscope électronique à balayage

MTC : Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion du territoire

NMDS : Non-metric Multi-Dimensional Scaling

PSEE : Polluants Spécifiques de l'Etat Ecologique

RC : Réseau Complémentaire

RCS : Réseau de Contrôle et de Surveillance

RCO : Réseau de Contrôle Opérationnel

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

SIE : Système (national) d'Information sur l'Eau

SOM : Self-Organizing Map (carte neuronale auto-organisatrice)

STEU : station de traitement des eaux usées

UTI : unités taxonomiques indicielles (= valves diatomiques indicielles de l'IDGF)

ZCIT : zone de convergence inter-tropicale

RESUME

L'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF) est un outil de bio-indication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de Guyane à partir de la structure des communautés de diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par HYDRECO et INRAE (ex-Irstea), dans le cadre d'un programme de Recherche - Développement réalisé en collaboration avec l'Office de l'Eau de Guyane (OEG) et la Direction Générale des Territoires et de la Mer de la Guyane (DGTM Guyane), en bénéficiant du soutien technique et financier de l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Ce programme visait à doter la Guyane d'un outil de bio-indication diatomique "DCE-compatible", élaboré à partir de données abiotiques et diatomiques d'origine locale et destiné à être mis en œuvre dans le cadre du 3^{ème} plan de gestion DCE (2022-2027). Sur le plan réglementaire, l'IDGF est prescrit pour une utilisation en routine dans le cadre du programme de surveillance des cours d'eau.

Le présent guide a pour objet de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de l'IDGF afin d'obtenir des résultats d'évaluation les plus fiables possibles. A chaque étape de l'acquisition des données de surveillance, il convient de respecter le protocole de mise en œuvre de l'indice depuis la phase de terrain jusqu'au calcul de l'EQR indiciel, 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.

MOTS CLES

Guyane - bio-indication - cours d'eau - diatomées - directive cadre sur l'eau (DCE) - évaluation de l'état écologique - surveillance - qualité

SOMMAIRE

1. LE CONTEXTE ET LES OBJECTIFS DU GUIDE	11
1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE).....	11
1.2 Le contexte guyanais	12
1.3 Les diatomées benthiques en Guyane	14
1.3.1 La biologie des diatomées.....	14
1.3.2 Des capacités bioindicatrices avérées.....	15
1.4 L'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF).....	17
1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDGF	18
1.6 Domaine et limites d'application de la méthode.....	19
2 LA CREATION DE L'INDICE DIATOMIQUE DE GUYANE FRANÇAISE (IDGF)	20
2.1 Démarche biomathématique : organisation générale.....	20
2.2 Les différentes phases de la démarche.....	21
2.2.1 Volet 1 : Analyses exploratoires des données de physico-chimie.....	21
2.2.2 Volet 2 : Analyses exploratoires des données floristiques.....	22
2.2.3 Volet 3 : Couplage chimie-biologie et étude des relations pression-impact.....	24
2.2.4 Volet 4 : Elaboration de l'IDGF proprement dit	29
2.3 Le dispositif d'évaluation diatomique de Guyane.....	31
2.4 Outil complémentaire de diagnostic.....	32
3 L'ACQUISITION DU MATERIEL BIOLOGIQUE	34
3.1 La période d'échantillonnage	34
3.2 Les conditions de prélèvement	34
3.3 La méthode de prélèvement	37
3.4 Les données complémentaires.....	38
3.5 La conservation de l'échantillon.....	40
3.6 L'identification des échantillons.....	40
3.7 Le traitement de l'échantillon et la confection des préparations permanentes	41
3.7.1 Le matériel	41
3.7.2 Le principe du traitement.....	41
3.7.3 Les difficultés couramment rencontrées	44
3.8 L'archivage des données, des lames et des prélèvements	45

4 L'ACQUISITION DES DONNEES BIOLOGIQUES : L'INVENTAIRE DES DIATOMÉES..... 46

4.1	L'analyse des lames permanentes.....	46
4.1.1	Le matériel	46
4.1.2	La méthode de comptage	46
4.1.3	Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles.....	47
4.1.4	Caractéristiques et particularités des flores diatomiques Guyanaises	48
4.2	La bancarisation des résultats.....	50
4.2.1	L'encodage des taxons	50
4.2.2	La saisie et la bancarisation des données	51

5 LE CALCUL DE L'IDGF ET DE L'ETAT ECOLOGIQUE DES COURS D'EAU EN GUYANE 54

5.1	Processus de calcul de l'IDGF (rappel).....	54
5.2	Zonage naturel retenu pour l'évaluation	54
5.3	Dispositif d'Evaluation d'Etat Ecologique au relevé diatomique	54
5.4	Dispositif complémentaire d'appui au diagnostic d'altération.....	54

6 NIVEAU DE CONFIANCE ET D'INCERTITUDE 55

6.1	Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « diatomées »	55
6.2	Les incertitudes liées à la conception de l'IDGF	55
6.3	Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDGF.....	56
6.4	Les incertitudes liées à une assise indicielle trop faible des espèces du relevé	57

7 PISTES EN VUE DU MAINTIEN/DE L'AMELIORATION DE L'IDGF POUR L'AVENIR 59

7.1	Principe d'une actualisation périodique, aspects méthodologiques liés.....	59
7.2	Problématique des zones sous influence haline occasionnelle	60

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 63

1)	BIBLIOGRAPHIE DU GUIDE METHODOLOGIQUE	63
2)	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES UTILISEES POUR LA DETERMINATION DES ESPECES DIATOMIQUES DE GUYANE	64

ANNEXES : INFORMATIONS TAXONOMIQUES ET AUTO-ÉCOLOGIQUES SUR

LES TAXONS INDICIELS DE L'IDGF ET LES TAXONS HALINS PRESENTS DANS

LES COURS D'EAU DE GUYANE 69

ANNEXE 1 : Statut écologique affecté aux 445 taxons indiciels de l'IDGF 71

Trame bleue : Taxons + – Trame rose : Taxons d'Alerte pour le paramètre 71

ANNEXE 2 : Liste de 113 Taxons halins déjà trouvés dans les inventaires diatomiques de l'aval des cours d'eau de Guyane (à identifier-compter) 81

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Quelques éléments descriptifs de la Guyane 12

Tableau 2 : Zonage naturel à utiliser pour l'évaluation diatomique des cours d'eau de Guyane 19

Tableau 3 : Liste de taxons d'alerte issus de TITAN pour chacun des 11 paramètres élémentaires 28

Tableau 4 : Dispositif d'évaluation diatomique par type de cours d'eau de Guyane, et codes-couleur associés aux classes de qualité 32

Tableau 5 : Éléments descriptifs accompagnant tout prélèvement diatomées 39

Tableau 6 : Méthodologie de détermination-comptage diatomique sur les cours d'eau de Guyane 47

Tableau 7 : Incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDGF pour l'évaluation de l'état écologique. 56

Tableau 8 : Seuils de fiabilité du calcul d'IDGF en fonction de l'assise indicielle du relevé diatomique 58

Liste des Figures

Figure 1 : Evaluation du Bon Etat des masses d'eau : cas des cours d'eau 11

Figure 2 : Carte du réseau de contrôle et de surveillance de la Guyane (RCS 2022-2027) 13

Figure 3 : Frustule fermé de *Nitzschia amphibia* (a) ; frustule ouvert de *Diadismis confervacea* (b) 14

Figure 4 : Multiplication végétative des diatomées 14

Figure 5. Trame hydroécologique (HER) utilisée pour l'application de l'IDGF 18

Figure 6 : Création de l'IDGF : résumé de la stratégie biomathématique globale mise en œuvre 20

Figure 7 : ACP "restreinte" Guyane sur 18 paramètres environnementaux	21
Figure 8. Résultats de la NMDS (à gauche) et cartographie des sites à partir des biotypes définis par la CAH (à droite)	23
Figure 9. En haut : Exemples de profils de distribution de 6 taxons indiciaires de l'IBD ₂₀₀₇ par classe de qualité, calculés sur le gradient composite d'altération présent en métropole ; En bas : Formule de <i>Zelinka & Marvan</i> (1961)	24
Figure 10 : Méthode TITAN : a) Partie gauche : principe de fonctionnement pour un taxon x ; b) Partie droite : Exemples de profils observés pour les 3 types de taxons possibles	25
Figure 11 : Exemple de résultats obtenus par TITAN (cas du gradient de MES).	27
Figure 12 : Création de 11 métriques de réponse biologique à des gradients élémentaires d'altération, puis agrégation OO-AO en 7 métriques génériques d'altération	29
Figure 13 : a) Box plots de distribution des valeurs par métrique générique d'altération sur sites de référence....	30
Figure 14 : Re-normage [0 - 1] des moyennes d'EQR obtenues sur les 327 relevés diatomiques et superposition des classes de qualité écologique.....	30
Figure 15 : Principe de conception des EQR et des grilles d'évaluation de Guyane basées sur l'IDGF	31
Figure 16 : Diagnostic des sites de Guyane : exemples-types de diagrammes-radar obtenus pour 4 relevés diatomiques	33
Figure 17 : Exemple de condition idéale pour réaliser un prélèvement de diatomées	34
Figure 18 Variabilité des types de milieux prospectés en Guyane pour la réalisation de prélèvements diatomiques.	35
Figure 19 : Prélèvement sur le terrain des échantillons de diatomées.....	37
Figure 20 : Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique,	38
Figure 21 : Traitement des échantillons et confection des préparations permanentes de diatomées	42
Figure 22 : Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomée	44
Figure 23 : Présence de nombreux sédiments mêlés aux frustules et valves diatomiques	44
Figure 24 : Présence de bulles dans les frustules.....	45
Figure 25 : Balayage de la lame par transects horizontaux (<i>extrait de la Norme NF T 90-354 d'avril 2016 modifiée</i>)	46
Figure 26 : Richesse taxonomique des diatomées des cours d'eau de Guyane par groupes morphologiques (68 genres connus).....	49

1. LE CONTEXTE ET LES OBJECTIFS DU GUIDE

1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE)

La directive cadre sur l'eau ou DCE, adoptée le 23 octobre 2000 au JOUE (*Ref. 1*) 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 résultat. Le principal objectif est le maintien du bon état écologique, qui passe par la réduction ou la suppression des rejets de substances chimiques prioritaires, la non-détérioration de la qualité des eaux, l'évaluation 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.

La DCE a introduit deux concepts nouveaux :

1) La prise en compte de l'**état écologique** au même titre que de l'**état chimique** (**Figure 1**) pour mesurer la qualité des hydrosystèmes de surface. L'évaluation de l'état écologique d'une masse d'eau se base sur l'appréciation de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés à cette masse d'eau. L'état écologique est déterminé à partir d'éléments de qualité biologiques, hydromorphologiques et physico-chimiques prédéfinis par catégories de masses d'eau (cours d'eau, plans d'eau, eaux de transition, eaux côtières). Pour les eaux continentales, les compartiments biologiques-clés pertinents (également appelés éléments de qualité biologique ou EQB) sur lesquels doivent être construits les bio-indicateurs sont le phytobenthos, le phytoplancton, les macrophytes aquatiques, les invertébrés benthiques et les poissons. L'état chimique, quant à lui, est apprécié sur la base des concentrations en certaines substances toxiques listées par la DCE.

2) L'évaluation d'état écologique est réalisée par "**écart aux conditions de référence adéquates**", elles-mêmes dérivées d'une typologie des masses d'eau basée sur des caractéristiques physiques et chimiques exerçant une influence structurante sur les communautés d'organismes naturels qui les peuplent. Pour les cours d'eau de métropole, cette typologie est basée sur le croisement des hydroécorégions (HER) et des rangs de Strahler (*Ref. 2 : Wasson et al, 2004*). En suivant une logique comparable, un premier travail spécifique de zonage des régions naturelles de Guyane a aussi été réalisé (*Ref.3 : Chandesris et al, 2005*), qui a subi quelques adaptations ultérieures.

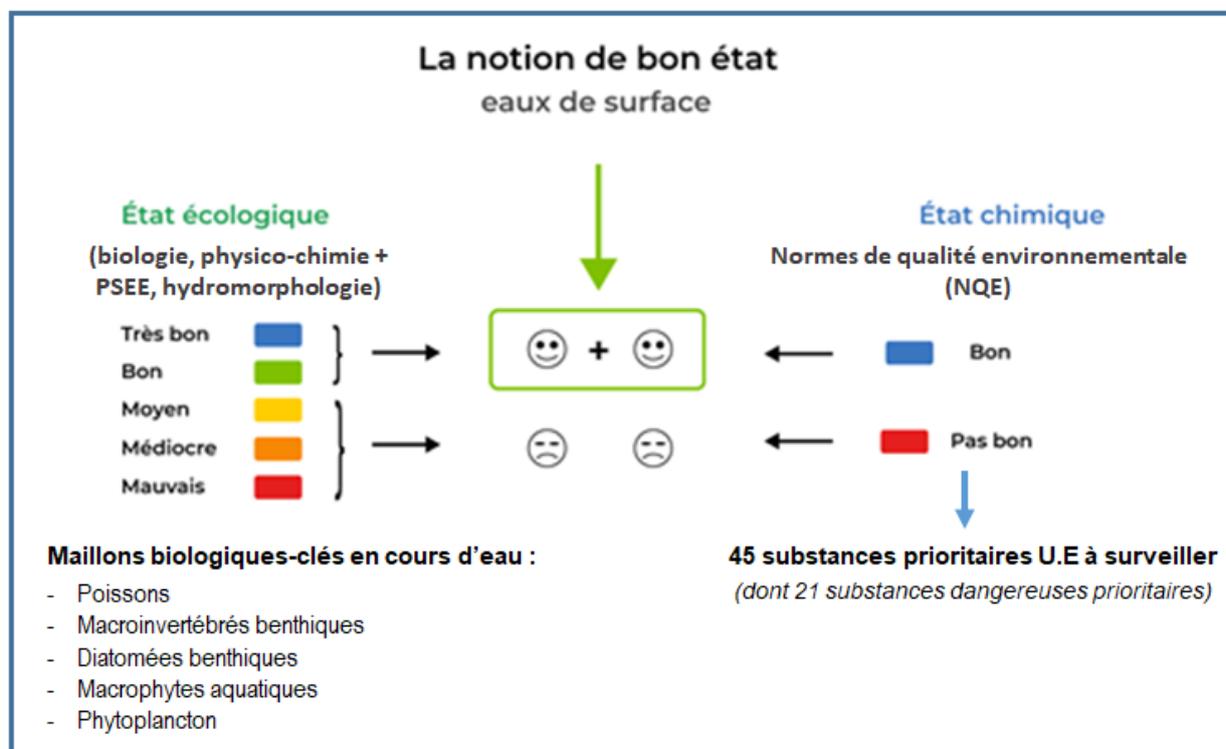


Figure 1 : Evaluation du Bon Etat des masses d'eau : cas des cours d'eau

(Origine : portail.eaufrance.fr, modifiée) lien : <https://www.eaufrance.fr/regles-devaluation-de-letat-des-eaux?rubrique69=>

1.2 Le contexte guyanais

Le **Tableau 1** ci-dessous résume quelques éléments descriptifs de la Guyane sur le plan de la géographie et des conditions naturelles locales.

Tableau 1 : Quelques éléments descriptifs de la Guyane

	La Guyane
Superficie	83 846 km ²
Point culminant et altitudes	851 m (Montagne Bellevue de l'Inini) De 100 à 200 m (Plateau des Guyanes) De 0 à 30 m (Plaine littorale Nord)
Longueur du plus long cours d'eau	612 km (le Maroni)
Climatologie	Climat équatorial humide sous influence de la ZCIT T° moyenne annuelle : 26 °C (T° max : 33 °C) Grande saison sèche : mi-Août à Novembre Petite saison sèche : Mars à mi-Avril Grande saison des pluies : Mi-Avril à Juin
Pluviométrie annuelle	2 000 à 4 000 mm/an 2 816 mm à Cayenne en moyenne annuelle (calcul sur chronique 1981-2010)

L'application de la DCE dans les DOM nécessite, comme en métropole, la réalisation régulière d'opérations de surveillance de la qualité des eaux, ainsi que la mise en application d'indices biologiques spécifiquement mis au point pour évaluer judicieusement l'état écologique de leurs milieux aquatiques.

Ces opérations soumises à rapportage périodique régulier à l'Union Européenne sont réalisées dans le cadre du programme de surveillance.

La **Figure 2** illustre la situation géographique de la Guyane et la répartition des stations de son Réseau de Contrôle et de Surveillance des cours d'eau (RCS), en l'application de l'Arrêté de Bassin (janvier 2023). Ce réseau est constitué de 47 stations aux caractéristiques et aux modalités de suivi variées en fonction des difficultés d'accès, du niveau de pression anthropique et des risques d'altération qui y sont liés :

- 1) Stations de référence (couleur verte) : 18 stations de référence ou sans pression significative, à état physico-chimique et biologique stable, souvent difficiles d'accès. Suivis diatomiques réalisés en alternance tous les 2 ans.
- 2) Stations soumises à pressions (couleur noire) : elles comprennent 29 stations à risques de pression industrielle, domestique et/ou orpaillage et 6 stations en zone agricole. 1 suivi diatomique par an.

D'autres réseaux locaux de suivi à fonctionnement moins pérenne ont existé ou co-existent en Guyane, en parallèle du RCS. Ils peuvent être activés en vue d'objectifs locaux plus spécifiques, comme l'acquisition de connaissances nouvelles sur les faunes et flores de petits cours d'eau situés en tête de bassins (Réseau PME ou "Petites Masses d'Eau"), le suivi de points de pollution bien localisés, en vue de contrôle et de remédiation (RCO, ou Réseau de Contrôle Opérationnel), l'augmentation des gradients de pressions anthropiques couverts par les jeux de données acquis dans le contexte local (RC, ou Réseau Complémentaire)...

Le contexte naturel guyanais présente des spécificités : 1) **d'ordre géologique** (substrats cristallins et métamorphiques du Bouclier Amazonien, d'origine précambrienne, substrats sédimentaires plus récents de la Plaine Côtière Nord), sur lesquels s'écoulent des cours d'eau très peu minéralisés à tendance acide ; 2) **d'ordre climatique** (zone à climat tropical humide) ; et 3) **d'isolement naturel** propre à la zone naturelle amazonienne.

Réseau de contrôle de surveillance des cours d'eau de Guyane

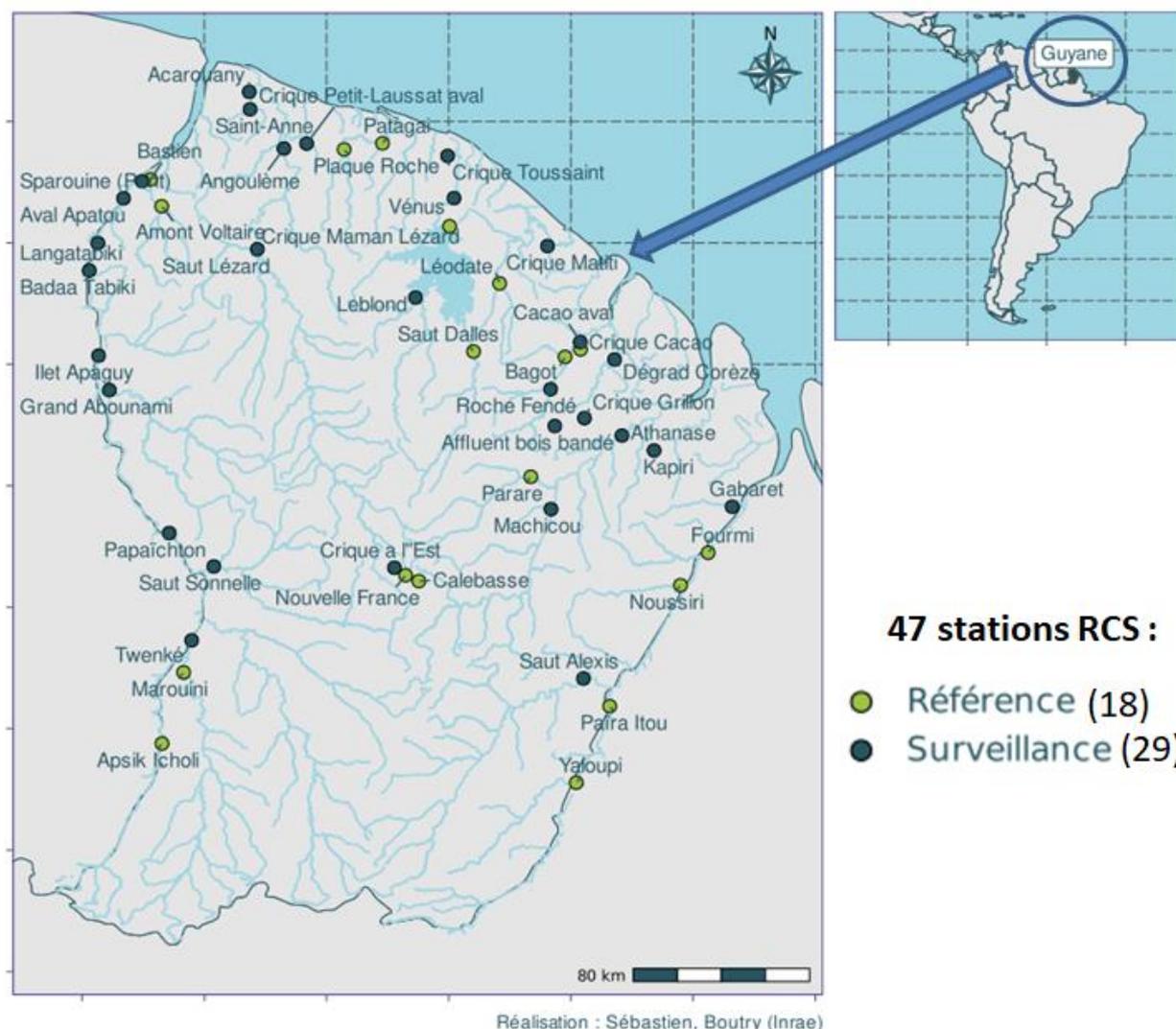


Figure 2 : Carte du réseau de contrôle et de surveillance de la Guyane (RCS 2022-2027)

Ces caractéristiques locales conduisent à des cortèges biologiques très spécifiques, marqués par un fort taux d'endémisme. De ce fait, beaucoup d'espèces animales et végétales trouvées en Guyane ne sont connues dans aucune autre région du monde. Les assemblages biologiques y sont donc bien différents de ceux de la métropole, tant au niveau de leur composition spécifique que de leur fonctionnement.

En vue de la mise en application locale de la DCE, les différents cortèges hydrobiologiques guyanais, encore largement méconnus, ont dû faire l'objet d'un effort particulier d'inventaire sur le plan taxonomique. Par ailleurs, l'autoécologie spécifique des taxons qu'on rencontre ici (écologie naturelle, écologie de l'altération) est un autre pan de connaissances de base qu'il était important d'étudier et de capitaliser, dans le but de mettre au point de nouveaux indices biologiques permettant une évaluation judicieuse de l'état écologique des hydrosystèmes locaux.

Du fait des difficultés précitées, les mises au point de bio-indicateurs spécifiques à la Guyane ont donc été relativement tardives et progressives, et certaines sont encore en cours pour couvrir des besoins liés à des milieux particuliers.

Concernant le compartiment des diatomées benthiques des cours d'eau, le nouvel IDGF, dont la formulation a été stabilisée début 2019, a été conçu sur une base de données uniquement originaires de Guyane. Aussi, il est destiné à remplacer avantageusement le dispositif d'évaluation basé sur l'IPS adapté Guyane (dispositif à vocation transitoire en vigueur depuis l'Arrêté Evaluation 2015).

1.3 Les diatomées benthiques en Guyane

1.3.1 La biologie des diatomées

Les diatomées (Bacillariophyta) sont des micro-algues unicellulaires photosynthétiques. Outre de la chlorophylle a et de la chlorophylle c, elles contiennent des pigments caroténoïdes responsables de leur couleur brun-jaune.

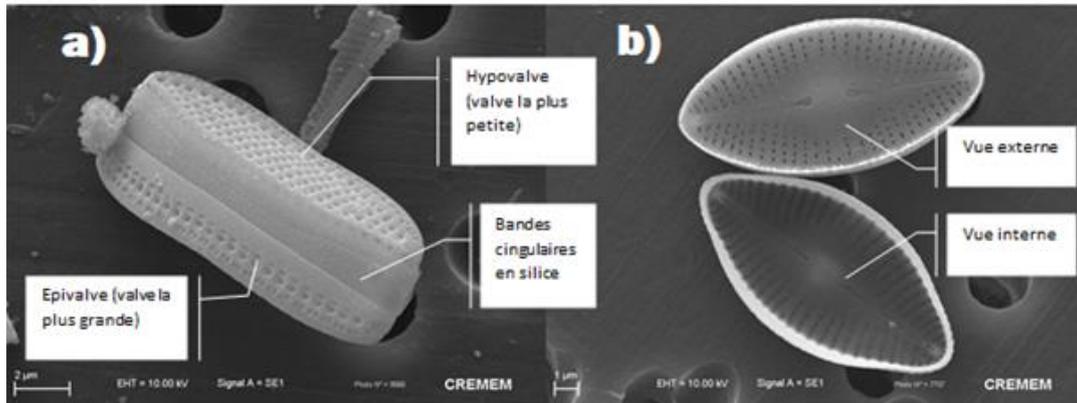


Figure 3 : Frustule fermé de *Nitzschia amphibia* (a) ; frustule ouvert de *Diadesmis confervacea* (b)

(Crédit photos : Michel Coste, Irstea)

Elles sont dotées d'un squelette siliceux, le frustule, qui est composé de deux valves jointes par des bandes de silice (**Figure 3**).

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 parfois 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 mode d'attachement, ou motiles au sein du biofilm.
- Les espèces planctoniques flottent librement en pleine eau. Néanmoins, certaines espèces à écologie moins exclusive sont capables de vivre soit en suspension dans la colonne d'eau, soit fixées au substrat (espèces tychoplanctoniques).
- Elles peuvent être solitaires ou former des colonies.

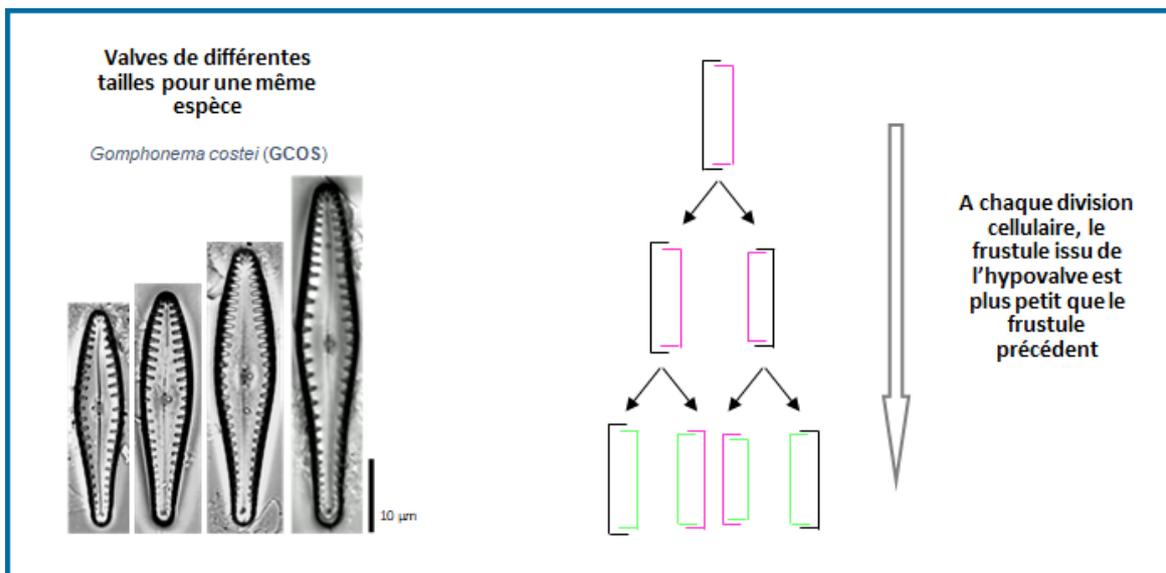


Figure 4 : Multiplication végétative des diatomées

(Crédit photos : Anne Eulin-Garrigue, HYDRECO Guyane)

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 4**).

La reproduction sexuée n'intervient que ponctuellement, sous l'influence de facteurs internes (ex : taille minimale atteinte par la cellule) et de conditions environnementales. La cellule initiale issue de la reproduction sexuée (ou auxospore) retrouve alors la taille maximale de l'espèce.

1.3.2 Des capacités bio-indicatrices avérées

Il existe de très nombreuses espèces de diatomées, aptes à coloniser toutes sortes de milieux océaniques et continentaux. Environ 30 000 espèces ont été décrites à ce jour et, selon (**Ref. 4 : Mann & Droop, 1996**), il pourrait en exister jusqu'à 200 000 sur la planète. Ainsi, l'ubiquité de ce groupe biologique et le grand nombre d'espèces différentes qu'il comporte en font un compartiment particulièrement adapté pour la bio-indication de la qualité des milieux aquatiques.

Parmi les DOM Français, la Guyane est celui qui présente la biodiversité diatomique la plus élevée. Ainsi, les relevés d'eau douce mobilisés pour la création de l'IDGF, collectés de 2008 à 2017, ont permis d'inventorier 1 648 taxons différents, soit de 3 à 4 fois plus que pour des programmes comparables ayant visé d'autres contextes DOM également concernés par la mise en œuvre de la DCE (Antilles, Réunion, Mayotte). De plus, environ 80 % de ces taxons, très probablement endémiques de la zone amazonienne et pour l'instant inconnus de la bibliographie mondiale, sont actuellement répertoriés sous numéro. Enfin, de nouveaux taxons y sont encore régulièrement découverts via les campagnes annuelles des réseaux de surveillance, qui continuent de faire progresser l'inventaire local.

Les diatomées sont sensibles aux conditions de milieu. En effet, chaque espèce présente ses propres préférences vis-à-vis de paramètres environnementaux aussi variés que la température, l'éclairement, le pH, la conductivité électrique et la charge minérale de l'eau, sa teneur en silice, le type de substrat, la contrainte hydrodynamique, le broutage par les herbivores, les nutriments libérés par les matières organiques oxydables, des formes de phosphore et d'azote, ... Sous réserve d'échantillonnage des biofilms diatomiques en conditions stables et hors perturbation récente, la composition des communautés multi-spécifiques prélevées est supposée en équilibre avec les conditions environnementales ; d'où son utilisation en bio-indication pour rendre compte de la qualité du milieu aquatique.

Les conditions environnementales des cours d'eau de Guyane sont très différentes de celles de métropole. Elles se caractérisent par leur **température élevée** (zone équatoriale) ; par un **très faible degré de minéralisation de l'eau** doublé d'une **hydrochimie généralement acide** (sous influence des substrats précambriens du massif amazonien et les placages sédimentaires décarbonatés de la plaine littorale nord) ; et enfin, par leur **degré prononcé d'oligotrophie** (pauvreté en éléments nutritifs, en particulier l'azote et le phosphore), en liaison avec l'ampleur du couvert forestier et la très faible occupation humaine.

La forte pluviométrie locale, en particulier pendant les saisons des pluies et les épisodes de hauts débits associés, génère des conditions fortement dilutives qui atténuent et peuvent parfois masquer complètement l'effet des pollutions. Cet inconvénient se cumule avec des difficultés d'accès aux stations de réseaux en hautes-eaux et les risques qui y sont liés (missions de prélèvement de terrain nécessitant la remontée des fleuves en pirogue, plus grande difficulté à réaliser les échantillonnages biologiques...). Aussi, les campagnes de prélèvements diatomiques de terrain, qui n'interviennent en général qu'**une seule fois par an en Guyane**, sont programmées pendant la **grande saison sèche** (de mi-Août à fin Novembre).

En raison de cet environnement très particulier et de son isolement vis-à-vis des autres zones inter-tropicales, les **cortèges floristiques locaux** sont eux aussi **très spécifiques**, tant au niveau des listes d'espèces que de leurs caractéristiques autoécologiques. Notamment, en contraste avec la situation métropolitaine, les cortèges naturels guyanais abritent un nombre important d'espèces plutôt acidophiles et très oligotrophes (notamment des genres *Eunotia*, *Brachysira*, *Gomphonema*, *Pinnularia*, *Nupela*...), dont beaucoup sont endémiques et encore souvent identifiées sous numéro.

La DCE requiert d'évaluer spécifiquement le degré de dégradation de l'état écologique, en lien avec le degré d'altération anthropique qui s'exerce sur le cours d'eau et par écart avec le niveau de référence adéquat.

L'application adéquate de la DCE en Guyane a nécessité le repérage de la **trame naturelle régionale**, afin d'affecter le bon niveau de référence aux cours d'eau à évaluer. Dans cet objectif, il a été vérifié que la zonation HER proposée pour la Guyane, basée sur l'analyse de critères uniquement abiotiques (**Ref. 3 : Chandesris et al, 2005**), était en bon accord avec la biotypologie et la répartition géographique des communautés diatomiques naturelles.

Du fait de la très faible occupation humaine, sauf sur la bande littorale nord, et des importants coefficients de dilution, les **gradients d'altération anthropique** présents en Guyane sont souvent **faibles et instables**, en liaison avec les usages et le contexte hydrologique du moment. Ils sont donc assez difficiles à illustrer clairement, notamment sur le plan de la physico-chimie de l'eau. Aussi, outre l'utilisation des données du RCS, la mise au point de l'IDGF a nécessité un effort particulier d'acquisition d'informations sur les **stations les plus polluées de Guyane** via l'inclusion de données du RCO, ainsi que d'autres du Réseau Complémentaire (ou RC) collectées spécifiquement par l'Office de l'Eau de Guyane dans cet objectif.

Le test et l'adaptation d'**indices préexistants**, notamment de celui actuellement utilisé sur les réseaux de métropole (IBD₂₀₀₇), n'a pas donné satisfaction dans le contexte local. Suite à l'adoption à titre provisoire d'un dispositif basé sur l'IPS modérément adapté à la Guyane qui, à partir de 2016 et pendant quelques années, a malgré tout permis de démarrer l'évaluation diatomique des cours d'eau prévue par la DCE, il s'est révélé absolument nécessaire de concevoir un nouvel indice diatomique, basé sur des principes de construction différents (utilisant des taxons d'alerte sur une base multimétrique) et mieux adapté aux conditions biogéographiques de la Guyane. Aussi, **le nouvel IDGF** a été construit à partir de données d'**origine strictement locale**.

Les très nombreux taxons inventoriés en Guyane **ne présentent pas tous un intérêt égal** pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau. En effet, une distribution et/ou une abondance encore insuffisante dans le jeu de données initial ont pu rendre difficile la clarification des préférences écologiques de certaines espèces trop peu rencontrées. Aussi, plus des 2/3 des taxons inventoriés dans les cours d'eau de Guyane n'ont pas encore été trouvés assez souvent pour qu'on puisse leur affecter une signification écologique ou un message d'altération dans l'IDGF, conduisant à une sélection plus restreinte de **445 taxons indiciaires de cette nouvelle méthode**.

Les espèces benthiques vivent le plus souvent fixées sur un substrat. De ce fait, elles sont intégratrices des conditions locales de milieu qui s'exercent à la station. Du fait de leur diversité et de leur vitesse de multiplication, les **diatomées benthiques** bio-intègrent la qualité du milieu aquatique, mais sur un pas de temps variable d'une espèce à l'autre. Les petites espèces, qui se multiplient rapidement, sont intégratrices sur un plus court-terme que les espèces de grande taille à multiplication plus lente. Mais au final, ces caractéristiques individuelles différentes vont venir contribuer à la composition multispécifique des communautés diatomiques du biofilm (matrice bio-intégratrice), et ce tout au long de sa durée de vie.

En fonction de la stabilité et/ou la sévérité des conditions hydrologiques, on considère que la durée de bio-intégration couverte par ce maillon est habituellement **de l'ordre de 1 à 3 mois** précédant la date de prélèvement du biofilm.

Dans le contexte guyanais, les caractéristiques de ce compartiment biologique présentent un intérêt spécifique vis-à-vis des 2 aspects suivants : **1)** Du fait d'un contexte général peu anthropisé et très dilutif, le compartiment diatomique peut donner une **réponse plus intégrative de la dimension temporelle et moins aléatoire** que des prélèvements ponctuels d'eau pour analyse chimique, qui sont soumis à la variabilité du niveau instantané de pollution ainsi qu'à différentes difficultés logistiques liées au contexte local (durée des missions de terrain, préservation des échantillons d'eau en liaison avec la chaîne de froid, prestations d'analyse d'eaux réalisées, dans le cadre des Marchés Publics, par différents laboratoires de chimie de métropole), avec une contrainte supplémentaire d'acheminement des échantillons d'eau par voie aérienne. **2)** Missions de prélèvement réalisées **une seule fois par an à la grande saison sèche**, dans un contexte saisonnier de basses-eaux présentant une bonne stabilité des conditions hydrodynamiques (ce contexte peu perturbé étant *a priori* le plus favorable à une croissance régulière du biofilm, à une bonne bio-intégration de la qualité de l'eau et à une bonne révélation de ses réponses biologiques aux pollutions).

Elles sont de très petite taille, donc faciles à prélever.

En Guyane, en raison de l'oligotrophie marquée des cours d'eau, des phénomènes d'ombrage par la forêt ou du broutage parfois intense par les mollusques et les poissons, la biomasse de diatomées benthiques est parfois très faible sur les substrats. Du fait de ces particularités locales, la **pression d'échantillonnage doit être accrue** afin d'assurer à la fois un contenu suffisant et une bonne diversité des espèces du relevé (augmentation du nombre de substrats et /ou prélèvement d'une surface de biofilm plus élevée qu'en métropole).

Leur détermination ne nécessite pas de matériel vraiment spécifique, ni de technique trop sophistiquée. En effet, grâce à leur squelette siliceux, l'identification à l'espèce est possible en microscopie optique à un grossissement de [X 1000] en immersion. L'utilisation du contraste de phase ou du contraste interférentiel peut améliorer les conditions d'observation, en particulier pour les espèces peu silicifiées.

La détermination des diatomées locales nécessite les compétences d'opérateurs expérimentés et bien au fait des flores de Guyane. Malgré l'aide apportée sur le plan méthodologique général, le contenu du présent guide ne saurait donc se substituer à une formation taxonomique adéquate des prestataires susceptibles d'intervenir dans le cadre des réseaux locaux (cf. endémisme marqué d'une grosse proportion des taxons trouvés dans ce DOM).

1.4 L'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF)

L'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF) a pu être créé grâce au soutien financier apporté par l'OFB (ex-ONEMA) dans le cadre du programme partenarial Irstea-ONEMA 2016-2018 (Fiche-Action N° 87 : "Elaboration d'un nouvel indice diatomique pour l'évaluation des cours d'eau de Guyane"). La mise au point de ce nouvel indice, qui a reposé sur un partenariat étroit avec les partenaires institutionnels locaux (Office de l'Eau de Guyane, DGTM Guyane), a été réalisée entre 2018 et début 2019 par un consortium associant l'Unité de Recherche EABX de l'INRAE Bordeaux (ex-Irstea) / Equipe de Recherche ECOVEA et le Bureau d'Etude local HYDRECO Guyane.

La mise au point de ce nouvel indice diatomique s'est appuyée sur tout le gisement de données historiques locales acquises dans le cadre des différents réseaux de surveillance de Guyane (RCS + autres réseaux plus temporaires) et **présentant les qualités nécessaires suivantes** : 1) possibilité de **couplage** des relevés diatomiques avec des données fiables de physico-chimie ; 2) **homogénéité de détermination taxonomique** des inventaires afin de maîtriser l'effet-opérateur (tous les dénombrements ayant été effectués ou harmonisés par le Dr Anne EULIN-GARRIGUE du Bureau d'Etude HYDRECO).

Au total, ce chantier a pu mobiliser 9 années de collecte de données capitalisées par la DGTM puis l'Office de l'Eau de Guyane entre 2008 et 2017, représentant au total 319 inventaires diatomiques utilisables. Parmi eux, il a été possible de constituer **308 doublets de données d'origine strictement locale** associant des données de physico-chimie de l'eau et des échantillons diatomiques prélevés sur l'ensemble du département de la Guyane (973).

La démarche complète de conception de l'IDGF est présentée dans le rapport ([Ref. 5 : Carayon & Delmas et al., 2019](#)), version finale du 30-04-2019. Elle a aussi fait l'objet d'une publication d'article dans un journal scientifique ([Ref. 6 : Carayon et al., 2020](#)).

Bien que conçu sur des bases conceptuelles et méthodologiques assez différentes de celles utilisées pour générer l'IBD₂₀₀₇ actuellement utilisé en métropole ([Ref. 7 : Coste et al., 2009](#)), l'IDGF s'appuie aussi sur la structure multispécifique des communautés de diatomées benthiques de la station considérée, via identification-comptage des espèces du biofilm échantillonné (exprimées en abondances brutes).

Entre 2019 et 2022, l'OFB a une nouvelle fois apporté son soutien financier à l'INRAE (ex-irstea) en vue de soutenir différentes opérations nécessaires à la mise en application effective du nouvel IDGF dans les meilleurs délais (Fiche-Action N° 3 "Transfert du nouvel indice diatomique Guyane").

Outre la production du présent Guide Méthodologique, ce nouveau soutien a aussi permis d'appuyer plusieurs autres réalisations venant accompagner le transfert opérationnel de cette nouvelle méthode d'évaluation (production d'un script de calcul informatique ensuite transféré dans le SEEE, contenu d'une fiche d'évaluation de sa DCE-compatibilité, élaboration de contenus graphiques à insérer dans le futur guide taxonomique de l'IDGF, proposition de texte modificatif de l'Arrêté Evaluation, etc...).

Suite à la réalisation d'une étude d'impact en 2021, l'IDGF a été validé par le Ministère en charge de l'Ecologie, l'OFB, l'OEG et la DGTM. Il doit être officiellement utilisé pour l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau de Guyane (Arrêté ministériel MTECT du 9 octobre 2023 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).

Bien qu'il soit aussi possible d'utiliser l'IDGF dans le cadre d'autres suivis et/ou sur d'autres cours d'eau de Guyane, le contenu du présent guide méthodologique a été spécifiquement pensé et ajusté en vue de sa mise en application dans le cadre réglementaire précité.

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

1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDGF

Comme pour le dispositif transitoire basé sur l'IPS (2015-2023), la zonation naturelle de base retenue pour l'évaluation diatomique des cours d'eau de Guyane (cf. **Figure 5 et Tableau 2**) est directement issue de la proposition de *Chandesris et al* en 2005, avec une simplification pour le maillon diatomique (utilisation de la trame des **HER de niveau 1** seulement). Les contours de ces 2 HER ont fait l'objet de quelques adaptations ultérieures, suite à une mission sur place de J.G. Wasson en 2007.

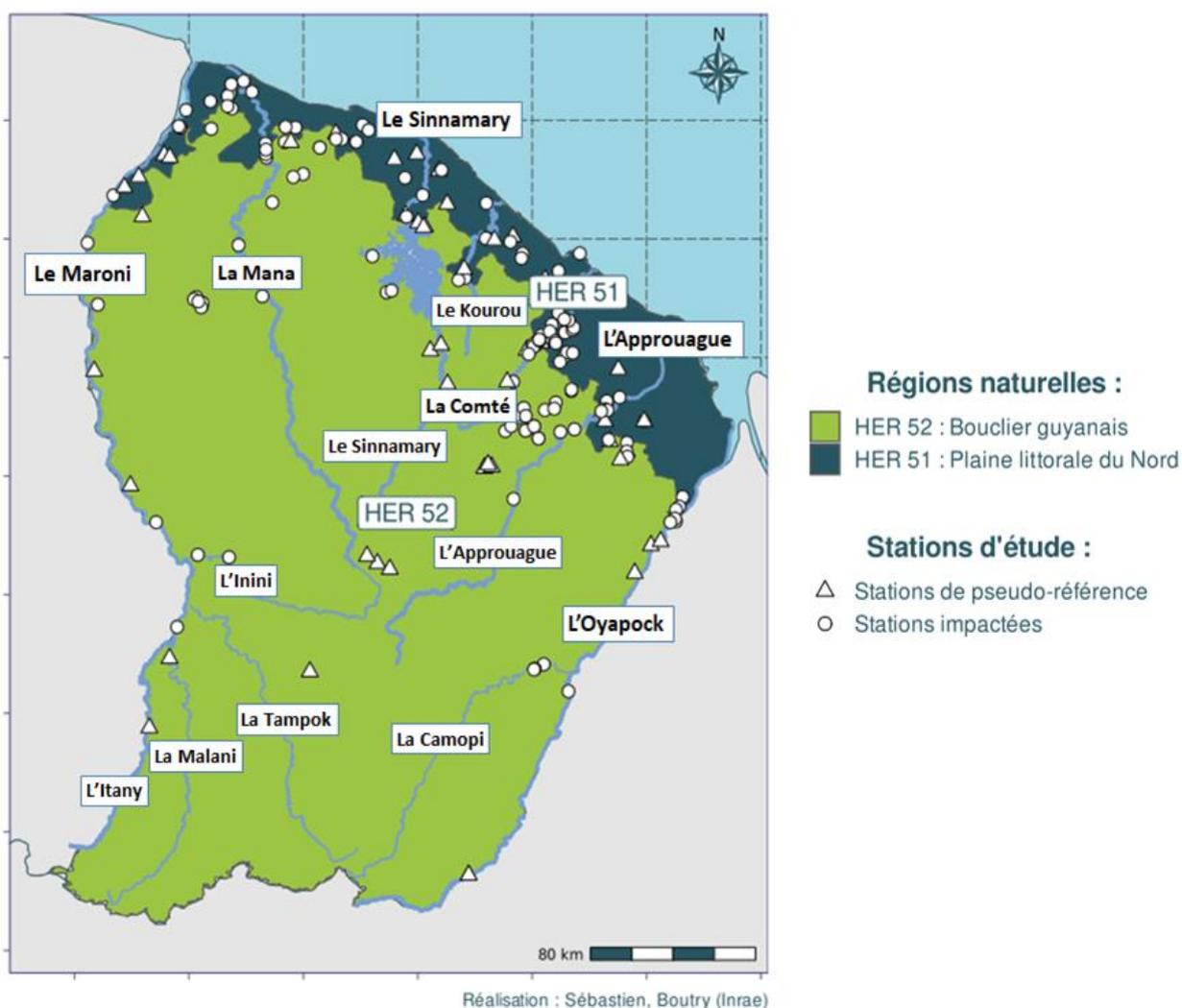


Figure 5. Trame hydroécორéгионаle (HER) utilisée pour l'application de l'IDGF
(Carayon et al, 2020, adapté de Chandesris et al, 2005)

En effet, la biotypologie des flores naturelles locales n'a pas permis de révéler de spécificité clairement associée à chacune des 2 sous-HER du Bouclier Guyanais. Par ailleurs, le faible effectif de sites du Marais de Kaw et la structure des données qui en étaient issues ne justifiaient pas d'asseoir un système d'évaluation différencié par rapport au reste de l'HER 51 "Plaine littorale Nord".

Tableau 2 : Zonage naturel à utiliser pour l'évaluation diatomique des cours d'eau de Guyane

- Le dispositif d'évaluation des cours d'eau de Guyane s'appuie donc sur le zonage naturel représenté en Figure 5, à savoir :
 - ↳ L'HER 51 "Plaine littorale Nord" englobant le Marais de Kaw, figurée en bleu foncé,
 - ↳ L'HER 52 "Bouclier guyanais", figurée en vert.
- Les plus grands hydrosystèmes de Guyane, natifs de la zone amazonienne et au régime soutenu, ne font que traverser la zone littorale nord sans que leur hydrochimie naturelle et leurs cortèges floristiques n'aient le temps d'être sensiblement modifiés ni d'en changer la typologie.
 - ↳ Aussi, le Maroni et la Mana (TGCE) et le Sinnamary (GCE), exogènes de l'HER 52 "Bouclier Guyanais", doivent être évalués tout au long de leur cours sur la base des niveaux de référence et de la grille d'évaluation IDGF de cette HER 52, y compris sur des stations géographiquement situées à l'intérieur de l'HER 51 "Plaine littorale Nord".

2.1 Domaine et limites d'application de la méthode

Construite à la jonction 2018-2019, l'IDGF est une méthode indicielle nouvelle destinée à l'**évaluation d'état diatomique des cours d'eau de Guyane**.

Elle a été mise au point sur un jeu de données très majoritairement issues de stations du **domaine des eaux douces**, auxquelles s'ajoutent quelques cours d'eau pouvant subir un marnage, voire une **influence occasionnelle et modérée d'entrées halines littorales** (i.e. certaines stations de la zone littorale Nord situées à l'aval du dernier saut et parfois classifiées en MET). Cependant, la liste des taxons indiciels de l'IDGF est uniquement constituée de taxons d'eau douce. Le domaine d'application de la méthode se cantonne donc aux secteurs de cours d'eau situés **en conditions d'eau douce dominantes**.

En pratique, des tests portant sur l'assise indicielle du relevé, donnés dans le **Tableau 8 page 58**, indiquent des **seuils d'altération de la fiabilité du calcul indiciel d'IDGF** en fonction de la **réduction d'assise du relevé diatomique en taxons indiciels**. Ces seuils ont été mis en place pour faire face à divers types de situations rencontrées en Guyane, en particulier des stations comprenant beaucoup de taxons rares ou nouveaux (nouvelles situations locales peu couvertes auparavant). En secteur proche du littoral, ils permettent aussi de garantir une situation sous **influence dominante des conditions d'eau douce** et de gérer, via la dégradation puis l'invalidation du calcul indiciel, la limite aval de validité des calculs d'IDGF en fonction du niveau d'influence haline littorale susceptible de s'exercer à la station.

Les limites quantitatives du jeu de données historique disponible n'ont pas encore permis de bénéficier de tout le recul souhaitable sur **certaines situations particulières** que l'on peut rencontrer en Guyane, en particulier sur des **stations de cours d'eau à faciès lentique** s'accompagnant souvent de phénomènes d'accumulation sédimentaire, parfois doublés d'un peu de turbidité et d'une pénétration lumineuse atténuée. La norme qui encadre la mise en œuvre des pratiques diatomiques (**Ref. 8 : Afnor, 2016**) recommande le prélèvement sur radiers lotiques plutôt que sur ce type de faciès, dans le but d'éviter le risque de sédimentation de frustules mortes ne correspondant pas forcément au biofilm local en croissance active et qui risquent de présenter une écologie décalée par rapport à la qualité de la colonne d'eau drainant la station.

Du fait des faibles pentes, il s'agit cependant d'un type de milieu que l'on rencontre de façon non-anecdotique en Guyane, en particulier dans les secteurs de confluences ou dans les secteurs aval des cours d'eau.

Ce type de situation naturelle à niveau saprobique et trophique un peu plus élevé que la normale n'a pas pu faire l'objet d'une grille particulière dans le dispositif d'évaluation IDGF, du fait du recul insuffisant sur de telles stations et d'un problème de zonage géographique complexe à délimiter *a priori*. Cependant, sur quelques relevés correspondant à ce type de faciès, il a pu être remarqué une réponse un peu plus élevée des métriques diatomiques, interprétée comme une altération saprobique et/ou trophique malgré l'absence de toute origine anthropique particulière. Les particularités naturelles de tels secteurs de cours d'eau pourraient donc pour partie être à l'origine de cette signature biologique "de type altéré". Il conviendrait donc à l'avenir, soit d'essayer d'éviter d'implanter des stations de surveillance sur de tels faciès, qui sont en marge des recommandations de la norme de prélèvement, soit de compléter l'évaluation obtenue sur de tels sites d'une dose d'expertise pour en moduler l'interprétation compte-tenu des particularités hydromorphologiques locales. L'augmentation du recul permis par quelques années de pratique complémentaire devrait permettre de mieux prendre la mesure de ce type de stations afin de décider, soit d'éviter ce faciès pour des stations de réseaux, soit de les évaluer avec une grille particulière s'il est jugé indispensable de les prendre en compte dans la configuration locale.

3 LA CREATION DE L'INDICE DIATOMIQUE DE GUYANE FRANÇAISE (IDGF)

3.1 Démarche biomathématique : organisation générale

La mise au point indicielle de l'IDGF s'est appuyée sur des jeux de données historiques acquis en Guyane depuis 2008. Parmi cette assise, 308 doublets de données ont permis de coupler les données physico-chimiques et biologiques et de caler les métriques de mesure de l'impact biologique.

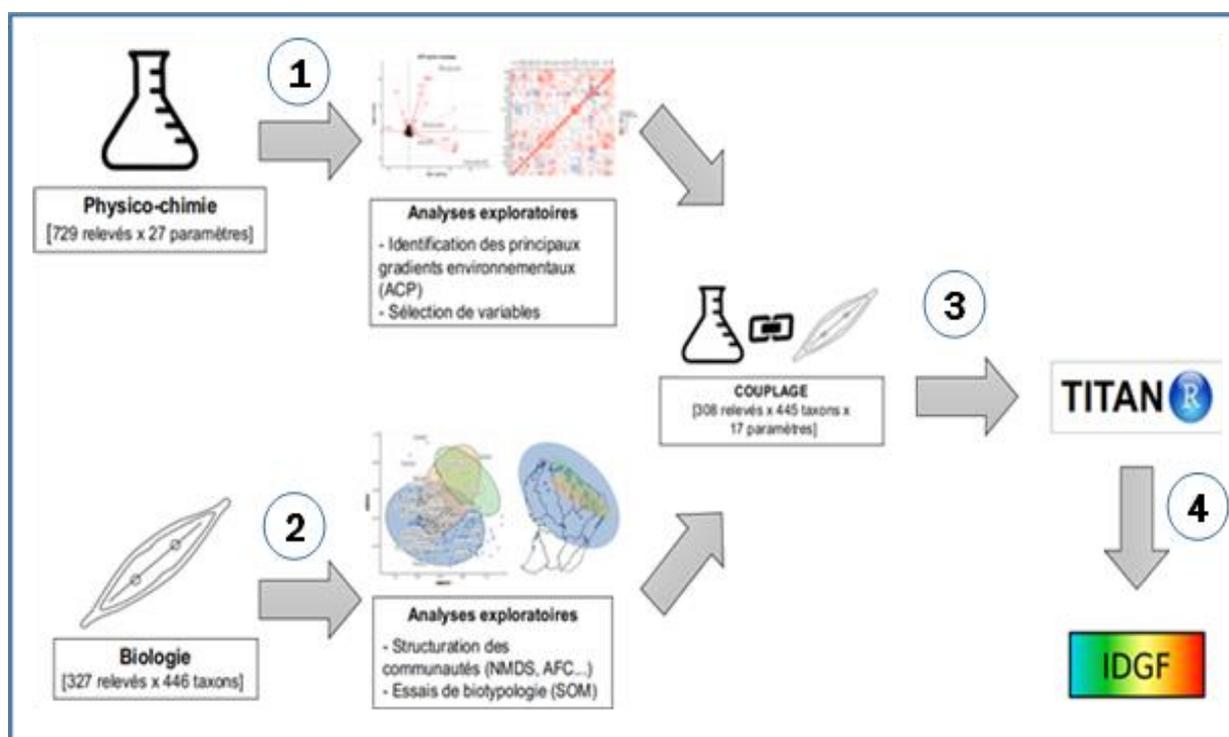


Figure 6 : Création de l'IDGF : résumé de la stratégie biomathématique globale mise en œuvre

La démarche globale d'analyse mise en place dans ce but est résumée ci-dessus (Figure 6). Elle a été décrite plus en détail dans le rapport final de mise au point de l'IDGF (Ref. 5 : Carayon et al, 2019), ainsi que dans un article scientifique publié dans la revue *Ecological Indicators* (Ref.6 : Carayon et al, 2019).

Il est possible de se reporter à ces 2 documents pour toute précision supplémentaire sur les méthodologies employées, leur justification et leurs résultats.

3.2 Les différentes phases de la démarche

La démarche globale s'est articulée en 4 volets d'analyse présentant chacun des objectifs spécifiques.

3.2.1 Volet 1 : Analyses exploratoires des données de physico-chimie

Son objectif était de comprendre les **principaux gradients présents dans le jeu de données abiotiques** et de repérer leur **amplitude** et leur **correspondance avec les forçages naturels et anthropiques** s'appliquant sur les cours d'eau de Guyane. La réalisation de divers types d'analyses exploratoires a permis d'illustrer les gradients abiotiques présents en Guyane, de distinguer ceux sous influence naturelle de ceux occasionnés par les activités anthropiques, de repérer des variables redondantes en vue de simplifier le jeu de données initial.

Ainsi, à partir des 27 paramètres de qualité des eaux suivis, il a été possible de sélectionner les 18 paramètres abiotiques les plus structurants de Guyane (dont 7 descripteurs de l'hydrochimie naturelle et 11 plutôt révélateurs des pressions anthropiques), qui ont permis de conduire l'ACP "restreinte" présentée en **Figure 7**.

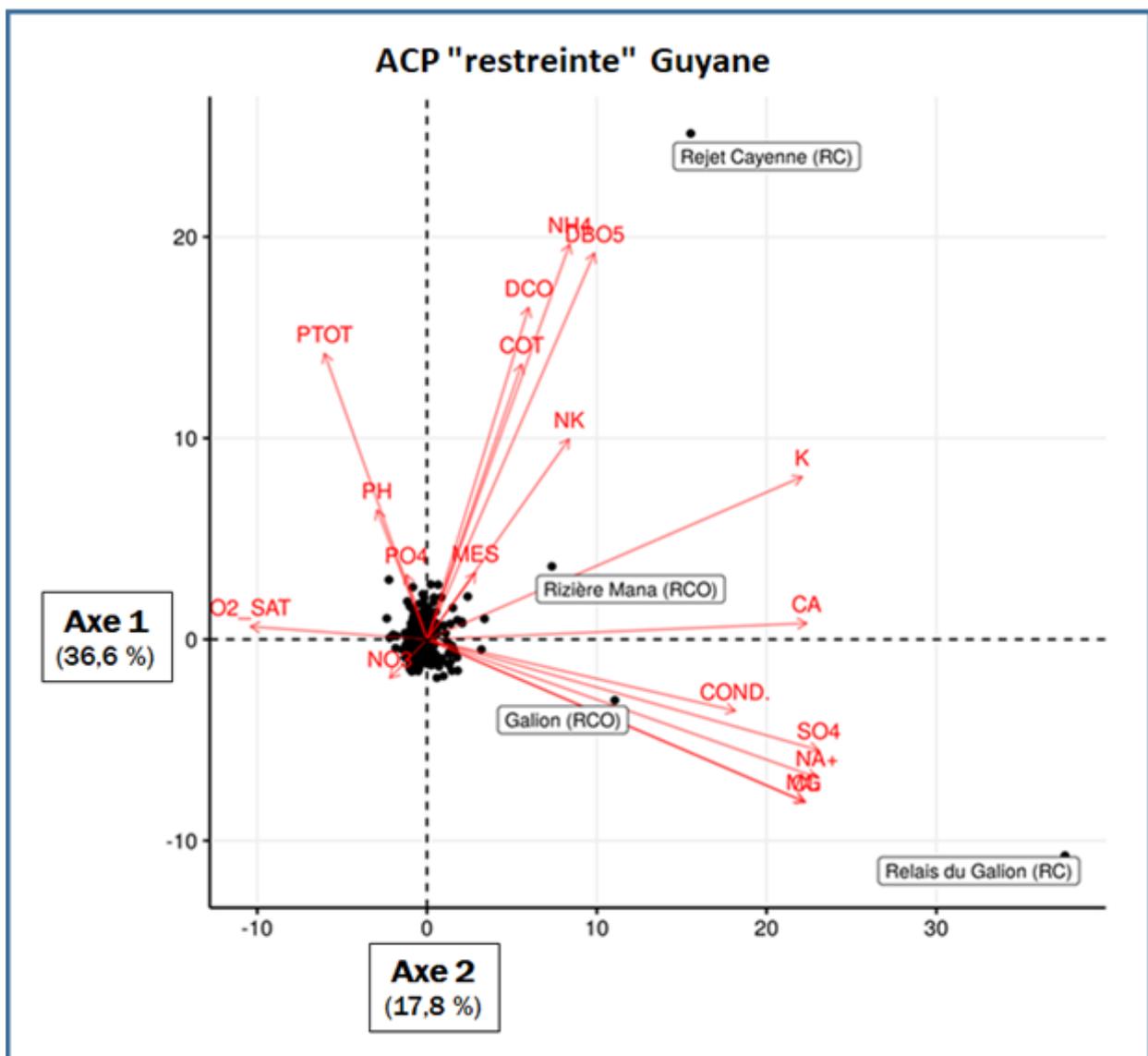


Figure 7 : ACP "restreinte" Guyane sur 18 paramètres environnementaux

Cette analyse fait clairement ressortir qu'en Guyane, les gradients exerçant l'influence la plus structurante dans le jeu des données abiotiques sont d'origine naturelle (cf. inertie élevée de l'Axe 1, porteur des gradients d'hydrochimie naturelle). Par contre, les gradients d'anthropisation rencontrés sont modestes sur la plupart des stations, à l'exception de quelques points subissant un impact anthropique marqué (cf. inertie nettement plus limitée portée par l'Axe 2, dont les variables structurantes sont représentatives de gradients de pollution en lien avec les activités humaines).

La Guyane est un DOM globalement peu peuplé et faiblement anthropisé, qui ne comporte qu'un faible nombre de stations altérées. Le jeu de données présente donc une couverture limitée et non progressive des gradients d'altération présents selon les sites, souvent de type tout ou rien.

Ces particularités du contexte abiotique local constituaient une difficulté *a priori* vis-à-vis de l'objectif de mise au point d'un nouveau bio-indicateur. Elles ont contribué à orienter certaines options méthodologiques permettant de garantir une bonne sensibilité de réponse de l'IDGF aux différentes altérations, à savoir :

- l'adoption d'un **principe multimétrique** basé sur chacun des 11 gradients élémentaires d'anthropisation repérés
- l'utilisation de **taxons d'alerte** selon un principe de fonctionnement relativement binaire (simple comptage des valves indicielles et des valves de taxons d'alerte par paramètre d'altération, sans affectation de coefficients d'alerte différenciés par espèce).

3.2.2 Volet 2 : Analyses exploratoires des données floristiques

Son but était d'examiner et de comprendre la **structuration des communautés de diatomées** en liaison avec les **forçages environnementaux et anthropiques** rencontrés en Guyane. L'application de la DCE nécessite de repérer le **zonage naturel** à partir des flores des sites de référence qui en découlent. L'état écologique des sites à évaluer doit ensuite être mesuré par "**écart à la référence adéquate**". Par ailleurs, il est utile de repérer la localisation des **types de flores locales** (naturelles, altérées), et de s'assurer de la cohérence de leur répartition géographique en fonction du contexte et des altérations anthropiques connues sur place.

Sur le plan taxonomique, les diatomées recensées en Guyane de 2008 à 2017 représentaient un **total encore provisoire de 1 648 espèces vraies** appartenant à 68 genres différents, score révélateur d'une **biodiversité considérable** (de 3 et 4 fois plus importante, respectivement, qu'aux Antilles et qu'à la Réunion).

De plus, **environ 80% des taxons locaux**, encore méconnus et dont beaucoup sont probablement endémiques, ne sont probablement pas encore référencés dans la bibliographie mondiale. Ils ont donc été identifiés par un **code-métier** spécifique à 4 caractères [**genre + numéro d'espèce**], permettant de les reconnaître et de les dénombrer spécifiquement dans les comptages d'inventaires. Les **20 % de taxons** correspondant à des **espèces déjà connues** sont identifiées par leur nom taxonomique existant et leur code-métier "type Omnidia" à 4 lettres.

Beaucoup de taxons ont été rencontrés trop rarement pour permettre un calcul suffisamment robuste de leurs caractéristiques autoécologiques. Il a donc été réalisé un **double seuillage quantitatif** en vue de simplifier le jeu de données biologiques pour la suite des analyses, qui a permis de sélectionner **445 espèces de diatomées** du domaine des eaux douces, appartenant à 47 genres différents, qui ont été suffisamment rencontrées pour pouvoir leur attribuer une signification écologique (= liste des taxons indiciels de l'IDGF).

Sur le plan biotypologique, ce volet visait aussi à repérer la répartition géographique **des assemblages diatomiques naturels de Guyane**, afin de repérer la **trame régionale** la plus adéquate à utiliser pour l'évaluation DCE.

Même sur la base de la liste réduite des espèces indicielles, les analyses entreprises au **niveau spécifique** n'ont pas conduit à une structuration claire des arbres biotypologiques, du fait de la trop grande diversité des assemblages et d'une faible reproductibilité de leur composition détaillée à l'espèce.

Aussi, **3 analyses biotypologiques** ont ensuite été menées au niveau du genre (NMDS associée respectivement à une CAH, à une méthode des Kmeans, à une SOM), donnant des résultats assez similaires. La **Figure 8**, donnée à titre d'exemple, illustre la projection biotypologique et cartographique des types de communautés diatomiques révélées par l'association NMDS-CAH.

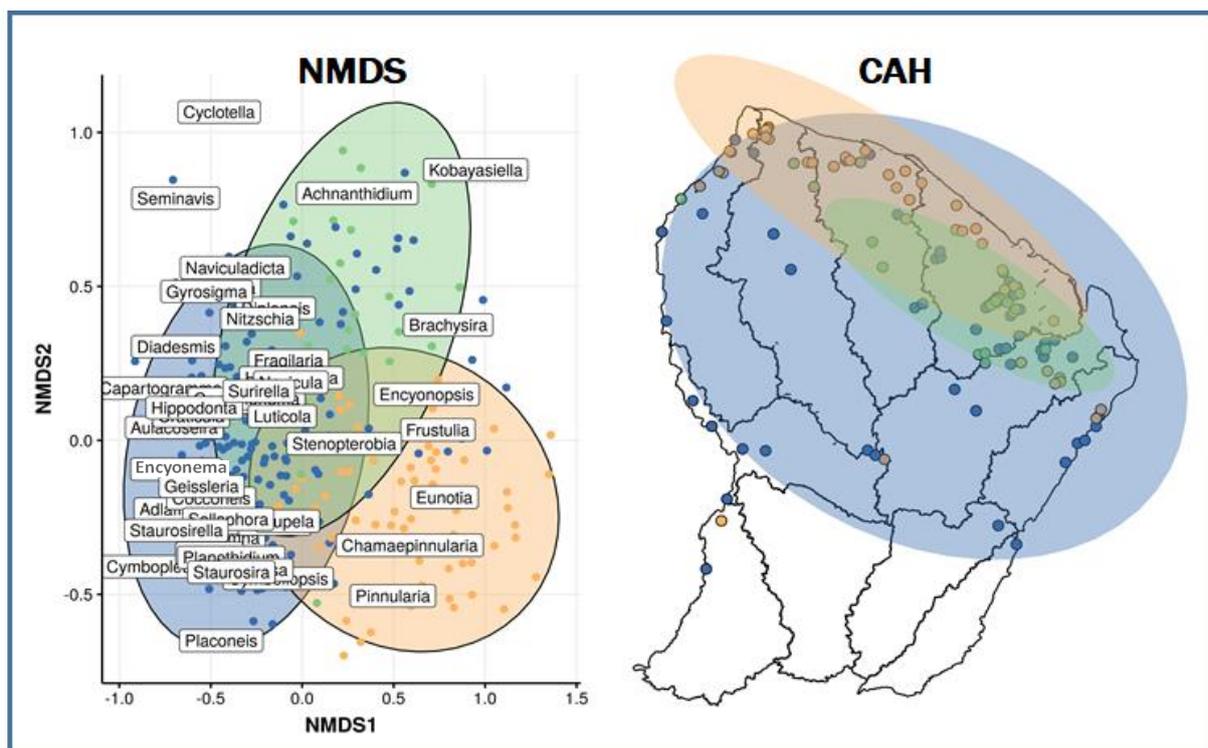


Figure 8. Résultats de la NMDS (à gauche) et cartographie des sites à partir des biotypes définis par la CAH (à droite)

On peut y repérer :

- en orange, des communautés acidophiles typiques des criques de l'HER 51 "**Plaine littorale Nord**", caractérisées notamment par les genres *Eunotia*, *Pinnularia*, *Chamaepinnularia*, *Frustulia* ;
- en bleu, des communautés plus typiques de l'HER 52 "**Bouclier Amazonien**", aux eaux peu minéralisées et faiblement acides. Ces communautés très diversifiées appartiennent à de nombreux genres (ex : *Gomphonema*, *Encyonema*, *Placoneis*, *Staurosira*, *Staurosirella*, *Cymbopleura*, *Diademesis*, *Gyrosigma*...) ;
- en vert, des communautés qui répondent à des conditions hydrochimiques plus mitigées mais surtout, à l'influence de divers types d'activités anthropiques (pollutions domestiques, pollutions diffuses agricoles...) responsables notamment d'un **enrichissement trophique** (zones de Cayenne, de Kourou, du Bassin de la Comté) . Les communautés se différencient par une présence importante des genres *Brachysira*, *Achnantheidium*, *Kobayasiella*, *Nitzschia*).

Au bilan : la structuration en 2 types de communautés naturelles trouvée par les 3 méthodes conforte la classification des HER de Guyane telle que définie par (Ref.3 : *Chandesris et al, 2005*) et déjà utilisée comme trame d'évaluation dans le dispositif actuel d'évaluation des cours d'eau basé sur l'IPS, à savoir :

- l'HER 51 "**Plaine littorale Nord**" englobant le Marais de Kaw (communautés de couleur orange),
- l'HER 52 "**Bouclier guyanais**" (communautés de couleur bleue).

L'examen transversal des résultats des 3 types d'analyses montre que les communautés nettement acidophiles typiques de l'HER 51 "Plaine littorale Nord" (couleur orange) sont surtout rencontrées dans des criques ou dans les drains de taille moyenne qui parcourent cette zone littorale. Par contre, les drains principaux des grands fleuves exogènes (TGCE et parfois GCE) qui la traversent conservent leurs **communautés naturelles résilientes de type Amazonien** (bleu), ou évoluent parfois vers un **biotype altéré** sous l'influence d'altérations trophiques (vert).

Ce dernier constat vient conforter un autre aspect de la pratique antérieure : les **grands hydrosystèmes exogènes de l'HER 52**, notamment ceux listés au **Tableau 2**, restent à évaluer sur la base de la **grille HER 52** tout au long de leur **parcours d'eau douce dominante**.

3.2.3 Volet 3 : Couplage chimie-biologie et étude des relations pression-impact

Son objectif était de mettre en lien les conditions physico-chimiques rencontrées dans les cours d'eau Guyanais et les réponses des flores diatomiques analysées au niveau de la composition spécifique des communautés, dans le but de pouvoir révéler et isoler l'**impact biologique occasionné par les altérations anthropiques**. En effet, la DCE requiert de mesurer la **déviatio**n d'état écologique occasionnée par ces impacts. Cette exigence impose de créer une ou plusieurs métriques permettant de mesurer la réponse des communautés diatomiques aux conditions environnementales rencontrées à une station donnée.

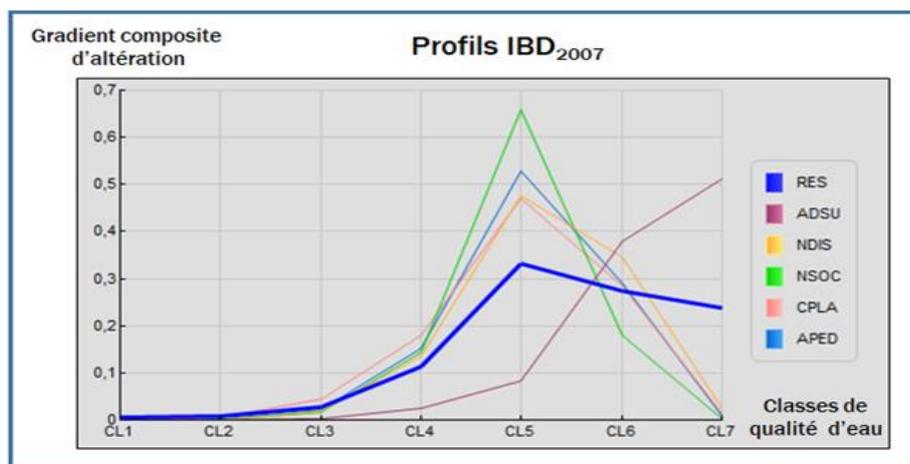
Une partie de la réponse des communautés se produit sous influence de la **variabilité naturelle**. En effet, certains épisodes contraignants du cycle hydrologique ou saisonnier (ex : crue, étiage prononcé, élévation sensible de la température, ...) font partie du fonctionnement normal des hydrosystèmes et influencent la qualité de l'eau et des habitats aquatiques. Ils peuvent générer des **perturbations biologiques d'origine naturelle**.

Par ailleurs, les communautés subissent des **altérations d'origine anthropique** responsables d'une **déviatio**n de l'état écologique, que la DCE nous demande spécifiquement de mesurer.

Il faut donc cerner le **niveau de variabilité naturelle** présenté par les flores dans l'entité écologique considérée (= variabilité mesurée sur les sites de référence de cette entité et sur l'éventail de dates disponibles), afin de pouvoir ensuite soustraire cette variabilité et isoler l'**écart occasionné par des altérations anthropiques** sur les sites à évaluer. La déviation de l'Etat écologique par rapport à la variabilité naturelle des sites de référence de la région considérée est mesurée via un calcul d'EQR.

a) Réflexions méthodologiques :

En fonction du recul limité de la connaissance sur l'autoécologie et la sensibilité aux altérations des taxons de Guyane, il n'a pas semblé possible de recourir au mode de formulation indicielle le plus classiquement utilisé en bio-indication, basé sur la formule de Zelinka et Marvan (*Ref. 9 : Zélinka & Marvan, 1961*, cf. **Figure 9**, partie basse).



Formule de Zelinka et Marvan :

$$ID = \frac{\sum_{j=1}^n A_j I_j V_j}{\sum_{j=1}^n A_j V_j}$$

Où :

- ID = Indice Diatomique
- A_j = abondance relative du taxon j
- I_j = sensibilité du taxon j (varie de 1 à 5)
- V_j = valeur indicatrice du taxon j (varie de 1 à 3)

Figure 9. En haut : Exemples de profils de distribution de 6 taxons indiciaires de l'IBD₂₀₀₇ par classe de qualité, calculés sur le gradient composite d'altération présent en métropole ; En bas : Formule de Zelinka & Marvan (1961)

Ce principe méthodologique a été souvent utilisé pour la mise au point d'indices diatomiques, notamment pour l'IPS et pour l'IBD en France métropolitaine (ex : *Ref. 7 : Coste & al, 2009*).

Ce principe de construction nécessite au préalable l'établissement d'un **profil de probabilité de présence par classe de qualité de l'eau de chacun des taxons indiciaires de la méthode** (Figure 9, partie haute).

Ensuite, en fonction de l'abondance relative des taxons indiciels rencontrés à un site de prélèvement donné, chaque taxon présent va participer **de façon différenciée** au positionnement de qualité intégré porté par **l'assemblage diatomique dans son ensemble** (RES = résultat en termes de probabilités de présence du taxon fictif par classe de qualité).

Cependant, pour être en mesure d'établir des profils spécifiques robustes exprimés en probabilités de présence dans chaque classe de qualité d'eau, il faudrait que l'on ait déjà rencontré le taxon de nombreuses fois, et dans toute une gamme de situations présentant des intensités variées de gradients d'altération. Or le recul temporel limité des jeux de données Guyanais conduit à ne détenir qu'un nombre modeste d'occurrences et d'abondances relatives sur chaque taxon. De plus, les gradients d'altération locaux sont d'ampleur limitée et souvent de type "tout ou rien", ne permettant pas de positionner finement l'écologie d'un taxon au long des gradients présents, donc en termes d'abondance relative distribuée par classe de qualité.

Il a donc été décidé de se baser sur une approche alternative permettant d'extraire l'information **la plus robuste des messages écologiques portés par les taxons guyanais** sans essayer de tirer parti d'informations restant encore un peu trop aléatoires à ce stade, via l'utilisation de la méthode **TITAN**.

b) Présentation de TITAN, principes de fonctionnement :

Les auteurs de cette méthode (*Ref. 13 : Baker & King, 2010*) l'ont créée dans le but d'identifier des valeurs-seuils de paramètres environnementaux provoquant le **basculement de communautés biologiques d'un état écologique à un autre**.

Ce logiciel utilise en combinaison 2 méthodes biostatistiques pré-existantes :

- L'indicateur INDVAL ou INDex VALue (*Ref. 14 : Dufrêne & Legendre, 1997*), qui attribue un score combinant les notions de spécificité (A_{kj}) et de fidélité (B_{kj}) pour caractériser l'affinité plus ou moins importante d'un taxon à chaque cluster d'une classification (ou, dans le cadre de la méthode TITAN, en fonction d'une partition binaire au long d'un gradient environnemental donné).
- La nCPA ou non-parametric Change Point Analysis (*Ref. 15 : King & Richardson, 2003 ; Ref. 16 : Quian et al, 2003*), méthode non-paramétrique voisine de celle utilisée pour l'élaboration des arbres de régression multivariés (*Ref. 17 : De'Ath, 2002*), qui ordonne et partitionne les observations au long d'un gradient environnemental. Cette méthode réalise ensuite une étape de ré-échantillonnage aléatoire (ou bootstrap) qui consolide et permet d'estimer l'incertitude des points de basculement calculés au niveau de la communauté multispécifique toute entière.

Le principe schématique de fonctionnement de TITAN est présenté en **Figure 10** (partie gauche).

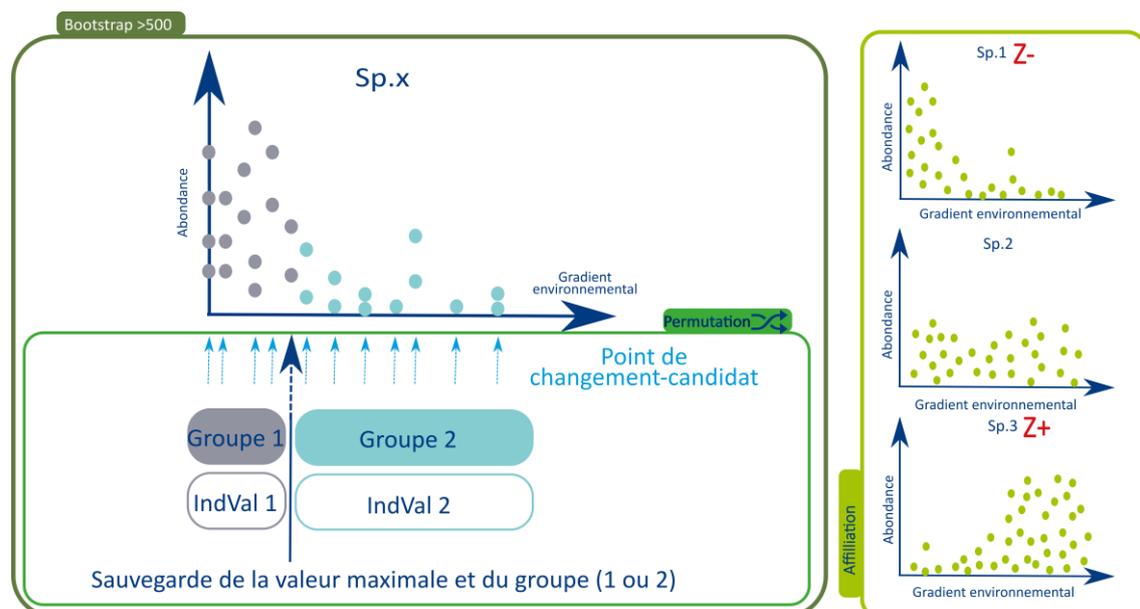


Figure 10 : Méthode TITAN : a) Partie gauche : principe de fonctionnement pour un taxon x ; b) Partie droite : Exemples de profils observés pour les 3 types de taxons possibles (schéma : S. Boutry, 2017)

Il consiste à découper successivement et sur un mode binaire un gradient environnemental donné (axe x), en faisant glisser progressivement le niveau de coupe d'une extrémité à l'autre de ce gradient au moyen de points de changement candidats (flèches bleues). TITAN permet d'une part d'identifier successivement des **seuils de rupture dans la distribution de chaque espèce suffisamment présente** dans le jeu de données (l'abondance du taxon étant portée par l'axe y) ; d'autre part, de repérer des **seuils de basculement des communautés** en fonction de l'évolution des valeurs du gradient environnemental considéré.

Vis-à-vis de la **distribution d'une espèce donnée** (Sp. x), ce balayage du gradient permet de calculer un score INDVAL qui reflète à la fois le niveau de spécificité et de fidélité du taxon pour chacun des 2 clusters définis par un niveau de coupe donné ; et ceci, à chacun des niveaux de coupe successivement balayés au long du gradient.

En fin de scannage du gradient considéré, TITAN garde en mémoire :

- Le **niveau de coupe** qui correspond au point de changement-candidat ayant produit le score INDVAL le plus élevé pour un taxon donné (= meilleure affinité du taxon à un cluster donné),
- La **valeur INDVAL la plus élevée** ainsi obtenue pour ce taxon,
- A quelle partie du gradient** elle se rapportait (affinité pour les valeurs basses / vs pour les valeurs hautes).

Le niveau de réponse de l'indicateur INDVAL est influencé à la hausse par les forts niveaux d'occurrence et d'abondance relative du taxon dans les relevés et dans le jeu de données. Aussi, pour une prise en compte plus équilibrée de la contribution de taxons sous forte influence du gradient considéré, même lorsqu'ils présentent **des occurrences et des abondances modérées** (c'est le cas de beaucoup de taxons de Guyane), les valeurs d'INDVAL ont été **standardisées / renormées** via le calcul de **Z-scores** qui sont issus d'écart-types et de moyennes produits par des permutations aléatoires ($n \geq 250$).

TITAN permet ainsi de classer 3 catégories de taxons (partie droite de la **Figure 10**, du haut en bas) :

- Taxon Z-** (exemple du taxon Sp. 1), dont la répartition révèle une forte affinité avec la partie basse du gradient (autrement dit, **espèce sensible** à l'augmentation des valeurs du gradient),
- Taxon sans signification particulière vis-à-vis de ce gradient** (exemple du taxon Sp. 2) : que sa répartition apparaisse complètement aléatoire, ou qu'elle ne soit pas jugée assez spécifique et fidèle (*i.e.* non-atteinte de la valeur-seuil de Z-score retenue pour sélectionner les taxons).
- Taxon Z+** (exemple du taxon Sp. 3), dont la répartition révèle une forte affinité avec l'accroissement des valeurs du paramètre (autrement dit, **taxon tolérant** à une augmentation de ce paramètre).

La dernière phase de l'analyse TITAN s'appuie sur le **classement individuel de chaque taxon** dans le gradient considéré pour en déduire un **seuil de basculement de la communauté diatomique multispécifique** dans ce même gradient ; une nouvelle procédure de bootstrap permettant de consolider statistiquement et d'établir la marge d'incertitude autour du seuil de basculement "Communauté" obtenu.

c) Principe de création des métriques de réponse biologique aux altérations :

Pour la création de l'IDGF, TITAN a été utilisé dans un objectif un peu différent de celui poursuivi par les auteurs de la méthode, soit ici pour détecter les changements de distribution de chaque taxon indicial de l'IDGF au long de **gradients de pression** liés aux **altérations anthropiques** ; l'objectif étant de créer des métriques de réponse biologique aux impacts subis par les communautés diatomiques dans les cours d'eau de Guyane.

En fin de procédure d'analyse de la distribution des taxons dans un gradient de pression donné, les résultats obtenus par TITAN pour les taxons indiciaux et pour chaque paramètre peuvent être résumés sous une forme synthétique présentée en **Figure 11**.

Le gradient du paramètre environnemental considéré (ici, les MES) est porté par l'axe horizontal en bas du graphique. La distribution des taxons identifiés par TITAN comme sensibles à ce gradient (Taxons Z-), est figurée en traits continus et en cercles noirs (liste à gauche) ; celle imputée aux taxons identifiés comme tolérants à ce gradient (Taxons Z+) est figurée en traits pointillés et en cercles blancs (liste à droite).

La taille des cercles relatifs à chaque taxon indicateur de ce gradient est proportionnelle à l'abondance relative moyenne du taxon. Les figurés en traits (taxons sensibles) ou en pointillés (taxons tolérants) représentent son amplitude écologique dans le jeu de données de Guyane. Les taxons indifférents ou à répartition insuffisamment influencée par ce gradient ne sont pas représentés.

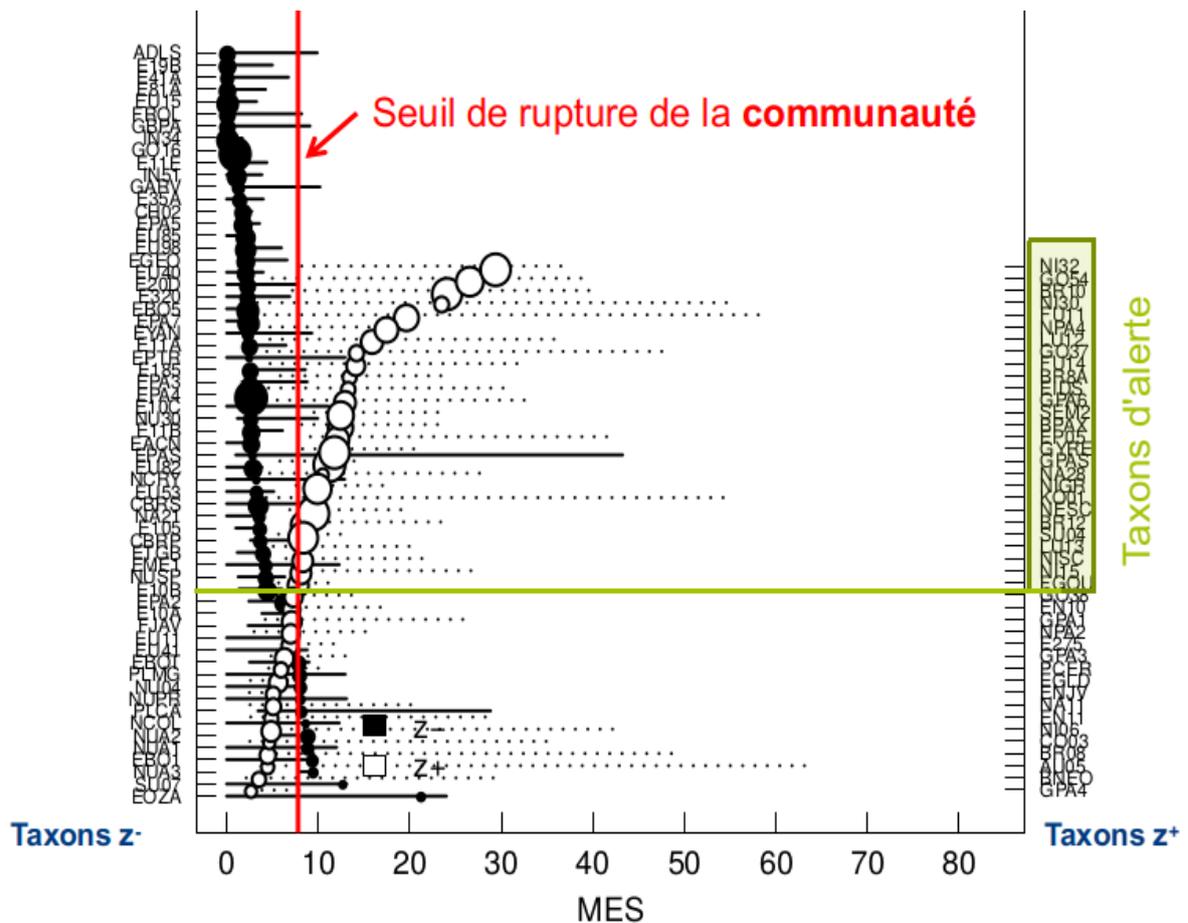


Figure 11 : Exemple de résultats obtenus par TITAN (cas du gradient de MES).

Pour créer les métriques de réponse biologique de l'IDGF aux altérations, compte-tenu de certaines spécificités locales, il n'a pas été jugé possible de s'appuyer spécifiquement sur l'information apportée sur l'appauvrissement du relevé en taxons sensibles (**Taxon Z-**).

En effet, le drift important de taxons sensibles dérivant de zones pseudo-naturelles de l'amont soutient en permanence la recolonisation de la zone polluée. L'incorporation de tels taxons aux relevés diatomiques a donc tendance à réduire le message d'altération porté par les communautés, dans un contexte local où les effets des pollutions, la plupart du temps modérés, sont atténués par la forte couverture de l'espace par des peuplements forestiers, ainsi que par l'effet dilutif associé aux fortes pluviométries équatoriales.

De ce fait, le message porté par les communautés diatomiques indicelles a été traité de façon binaire :

- Le cumul d'information apporté par tous les taxons tolérants (ou **Taxons Z+**) de l'assemblage, qualifiés de **Taxons d'Alerte**, sert à représenter le signal de réponse de la communauté diatomique à l'altération anthropique considérée. Du fait de leur sélection par TITAN et des consolidations statistiques effectuées, la présence de ces taxons dans l'assemblage peut être reliée de façon certaine à la présence d'une pollution à l'amont.
- Tous les autres taxons indicels de l'assemblage, qu'ils soient repérés comme **taxons sensibles au gradient** (Taxons Z- de TITAN) ou comme **taxons plus indifférents au gradient**, contribuent seulement à l'assise indicelle du calcul d'IDGF **sans être porteurs d'une information spécifique relative à l'altération considérée**. Qualifiés de **Taxons +**, leur cumul avec les taxons d'alerte sert seulement à re-normer le calcul indicel sur l'assise indicelle totale du relevé.

Le seuil de basculement des communautés multispécifiques au long du gradient considéré (passage de communautés dominées par des taxons sensibles à des communautés dominées par des taxons d'alerte) est représenté par le trait rouge vertical de la **Figure 11**.

Ce seuil de basculement "Communautés" a été utilisé pour conforter le seuil de sélection individuelle déterminé dans une phase antérieure par TITAN pour chaque taxon d'alerte sur ce même paramètre (les seuils individuels étant probablement moins robustes, en dépit d'une consolidation par bootstrap au niveau de chaque taxon).

L'utilisation du seuil "Communautés" présente l'avantage de définir selon la même méthodologie, pour chaque gradient individuel d'altération, la liste des taxons sélectionnés comme Taxons d'alerte sur le paramètre concerné. Ce seuil, figuré par un trait vert horizontal sur la **Figure 11**, délimite automatiquement la limite inférieure de sélection de la liste des taxons d'alerte résultante, via l'encadré vert à droite.

d) Sélection des taxons d'alerte par paramètre d'altération :

L'examen de la distribution des taxons au long des 11 gradients élémentaires d'altération anthropique retenus a été réalisé via 2 cycles successifs d'utilisation du logiciel TITAN :

- Le 1^{er} a été conduit avec paramétrage "standard" (**Tableau 3**, taxons figurés en noir).
- Le 2^{ème} a fait l'objet d'un affinement-expert de certains seuils (**Tableau 3**, taxons nouvellement sélectionnés figurés en rouge ; un seul taxon, figuré en bleu et barré, a été retiré).

Tableau 3 : Liste de taxons d'alerte issus de TITAN pour chacun des 11 paramètres élémentaires

Paramètres	Nombre de taxons d'alerte	Taxons d'alerte (*)
Minéralisation	14	BR10, BR22, CE19, E251, ENJV, ENVZ, ESOU, LU15, NCPL, NOBT, NUA3, SL03, SLTA, NUA1
COT	17	CBPA, E19C, ECF1, EO03, EU03, EU10, FMAG, GKOB, GO07, NI07, NPA4, PRUM, SL03, SPLC, ESLE, FU01, SEM2
DBO₅	13	ADEG, E321, ENCS, EO03, EPA1, IN12, IN15, NA11, NBR1, NI54, NPA4, NUA2, SNIG
DCO	13	CBPA, CO03, E314, E386, EMIN, ENCS, EO03, FUDO, GKOB, LU07, LU15, NPA4, SGUY
MES	27	BPAX, BR8A, BR10, BR12, EIDS, EP05, FU11, FU14, GO37, GO54, GO66, GPA6, GPAS, GYRE, KO01, LU12, LU13, NA28, NESC, NFAS, NI15, NI30, NI32, NIGR, NISC, SEM2, SU04 (NPA4)
NH₄⁺	3	FUDO, NI14, NPA4
NK_j	12	ADMA, BNEO, BR05, BR8A, BR12, E255, FU11, FU14, GO19, LU03, NPA4, SP03
NO₃⁻	16	BR12, DI04, E198, E299, E396, E435, EN11, GO19, GPA2, GPA4, GPAS, NA10, NI30, NPA2, EBOT, EU59
PO₄³⁻	8	EO03, GNTP, LU07, NUSP, SU04, GYRE, NESC, NI01
PTOT	12	AU05, E331, GO38, IN72, NA10, NU17, SEM2, SP04, GYRE, LU02, NESC, NLGC
% SATO₂	13	E105, E186, E11A, E41A, EBO5, EMIN, ETGB, FMAG, KO01, NBR1, NCLA, NI07, PRUM

(*) Taxons d'alerte rajoutés au 2^{ème} cycle suite à expertise et ajustement de seuils

~~(NPA4)~~ : Taxon éliminé au 2^{ème} cycle

e) Calcul des 11 métriques de réponse diatomique aux altérations élémentaires :

La formule permettant de calculer le résultat de chaque métrique de réponse biologique à l'un de 11 paramètres élémentaires d'altération est la suivante (exemple de la DBO₅) :

$$\text{Métrique}_{\text{DBO5}} = 1 - (\sum \text{taxons d'alerte}_{\text{DBO5}} / \sum \text{taxons indiciels})$$

Plus il intervient de taxons d'alerte dans l'assemblage, plus le signal d'altération est fort et plus le résultat de calcul de la métrique tendra vers 0. A l'inverse, un résultat de 1 indique l'absence complète de taxons d'alerte dans l'assemblage diatomique prélevé.

3.2.4 Volet 4 : Elaboration de l'IDGF proprement dit

La sélection des taxons d'alerte présentée au **Tableau 3** a tout d'abord permis, en utilisant la formule-type de calcul de métrique élémentaire présentée au paragraphe précédent, de calculer 11 métriques élémentaires de réponse diatomique aux gradients anthropiques présents en Guyane (cf. 1^{ère} ligne de la **Figure 12**).

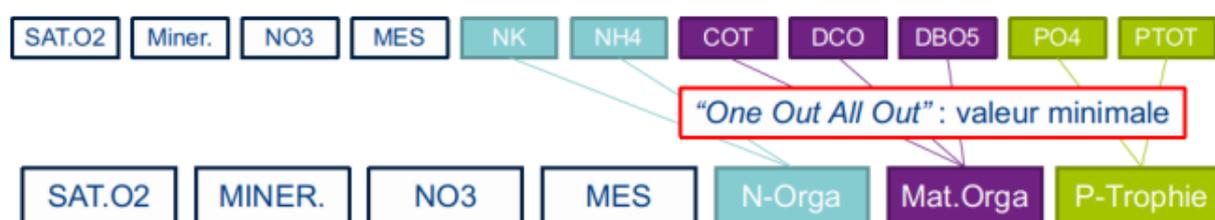


Figure 12 : Création de 11 métriques de réponse biologique à des gradients élémentaires d'altération, puis agrégation OO-AO en 7 métriques génériques d'altération

Ces 11 métriques élémentaires ont ensuite été regroupées en 7 métriques plus intégratives permettant d'évaluer des catégories génériques d'altération (2^{ème} ligne de la **Figure 12**). A ce stade, 3 de ces métriques à base multiparamétrique ont été agrégées sur la base du principe du One Out- All Out, retenant le plus mauvais résultat des métriques élémentaires agrégées.

Les résultats de ces 7 métriques intégratives, directement exprimés en EQR, ont été calculés par rapport à la situation de référence adéquate dans l'HER considérée. Pour exemple, pour une station située dans l'HER 52 "Bouclier Guyanais", l'EQR-Mat.Orga, est calculé selon la formule suivante :

$$\text{EQR Mat.Orga} = \text{Métrique Mat.Orga} / \text{REF Mat.Orga}_{\text{Bouclier Guyanais}}$$

Rappel : La trame régionale d'évaluation HER à appliquer en Guyane est décrite dans le **Tableau 2** page 18.

La **Figure 13** en page suivante présente, pour chacune des 2 HER de Guyane, les **résultats obtenus sur les sites de référence** pour chacune des 7 métriques génériques d'altération.

- La partie **a)** présente les box-plots de distribution des valeurs par métrique et par HER, le trait horizontal noir en partie centrale de chaque box-plot correspondant à la valeur médiane obtenue sur les sites de référence vis-à-vis du paramètre concerné.
- Le tableau présenté en partie **b)** récapitule les valeurs médianes de référence à utiliser pour effectuer les calculs d'EQR par HER et par paramètre. La **régionalisation de l'évaluation** de l'IDGF est donc assurée **dès ce stade de calcul d'EQR** pour chacune des 7 métriques génériques de réponse aux altérations.

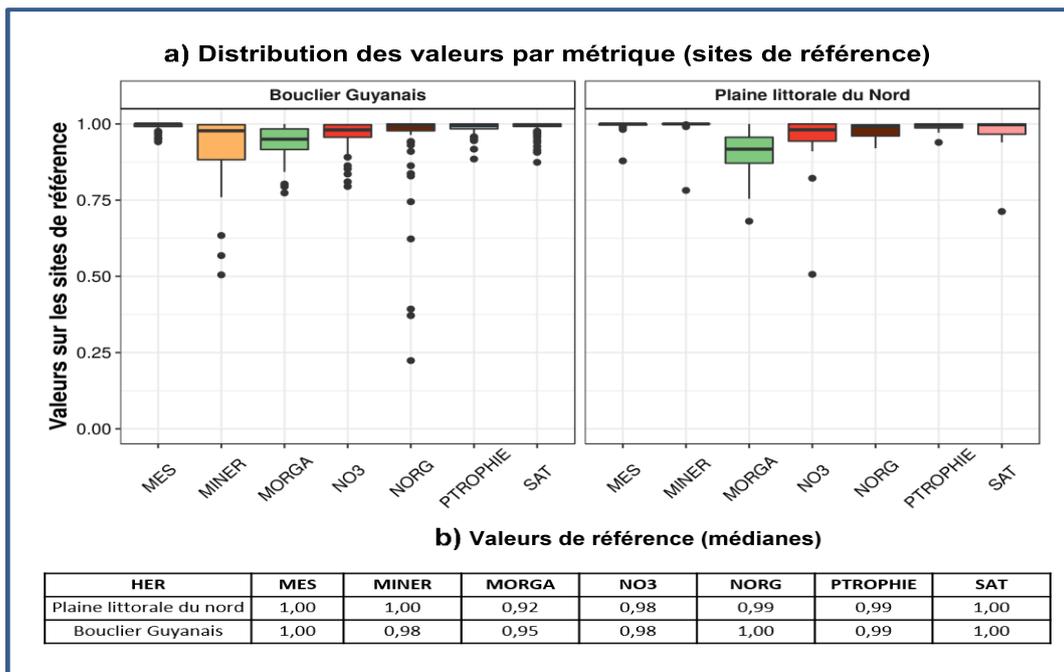


Figure 13 : a) Box plots de distribution des valeurs par métrique générique d'altération sur sites de référence.
b) valeurs de référence retenues par HER.

Afin que l'IDGF s'appuie sur une participation équilibrée de chacun des 7 EQR de métriques génériques dans le résultat final obtenu, il est procédé à ce stade au **calcul de la moyenne des 7 EQR** calculés précédemment. C'est en effet ce principe d'agrégation qui conduit à la **meilleure gradation des résultats intégrés d'indice** en fonction du **nombre de métriques génériques altérées** et de **l'intensité de chaque altération**.

Cependant, par rapport à la dynamique individuelle des métriques ainsi agrégées, qui peuvent chacune varier dans tout l'espace [0 – 1], ce calcul de moyenne présente l'inconvénient de **compresser sensiblement la gamme de variation** des résultats finaux obtenus, qui ne fluctuent plus que sur la gamme [0,73–1].

Aussi, en s'appuyant sur l'hypothèse la plus probable que le jeu de données d'étude couvre déjà l'amplitude complète des gradients allant des situations de référence vraie jusqu'aux pires situations de pressions anthropiques qu'il est possible de rencontrer dans les cours d'eau de Guyane, il a été décidé de **corriger ce problème de compression d'échelle** pour tirer parti de toute la gamme de variation des résultats moyennés de l'IDGF.

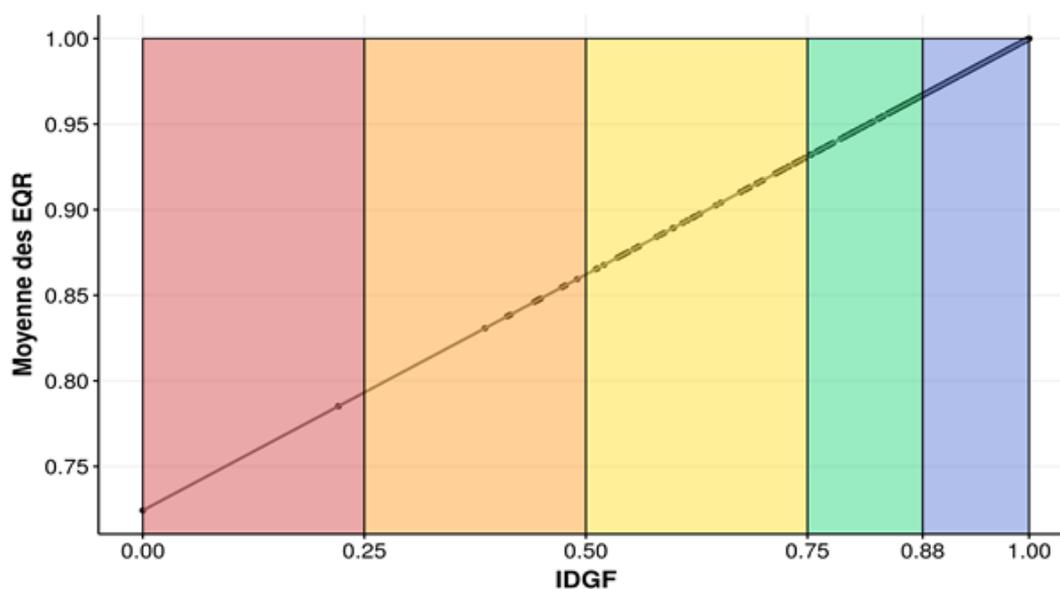


Figure 14 : Re-normalage [0 - 1] des moyennes d'EQR obtenues sur les 327 relevés diatomiques et superposition des classes de qualité écologique

Dans ce but, le domaine de variation **[0,7243 – 1]** des **résultats de calculs de moyennes** a été re-normé vers le domaine de variation **[0 – 1]** des **notes finales d'IDGF**, selon l'abaque présenté à la **Figure 14**.

La formule prenant en compte ce re-normage correspond à l'équation linéaire suivante :

$$\text{IDGF} = (3,63 \times \text{EQR}_{\text{moy}}) - 2,63$$

Sur la **Figure 14**, les limites de classes de qualité diatomique à prendre en compte pour l'évaluation diatomique à partir de l'IDGF ont été plaquées sur l'échelle des notes d'IDGF (Axe des x), à l'aide des codes-couleurs habituellement utilisés pour les classes de qualité. Pour rappel, les notes finales d'IDGF sont directement exprimées sous forme d'EQR moyennés renormés [0-1].

3.3 Le dispositif d'évaluation diatomique de Guyane

Le recul-données encore peu important de la Guyane et le flou attaché aux référentiels de chimie n'autorisaient pas un calage très précis du dispositif d'évaluation. Aussi, le principe d'établissement des **limites de classes de qualité** à utiliser au niveau des notes finales d'IDGF, relativement simple et analogue à celui adopté pour d'autres DOM, a découlé de la distribution des notes de référence obtenues par l'IDGF dans chacune des 2 HER de Guyane. Le système d'évaluation ainsi construit a été soumis à l'expertise locale, puis validé.

La méthodologie générale appliquée pour délimiter les classes de qualité diatomique des cours d'eau de Guyane est présentée en **Figure 15**.

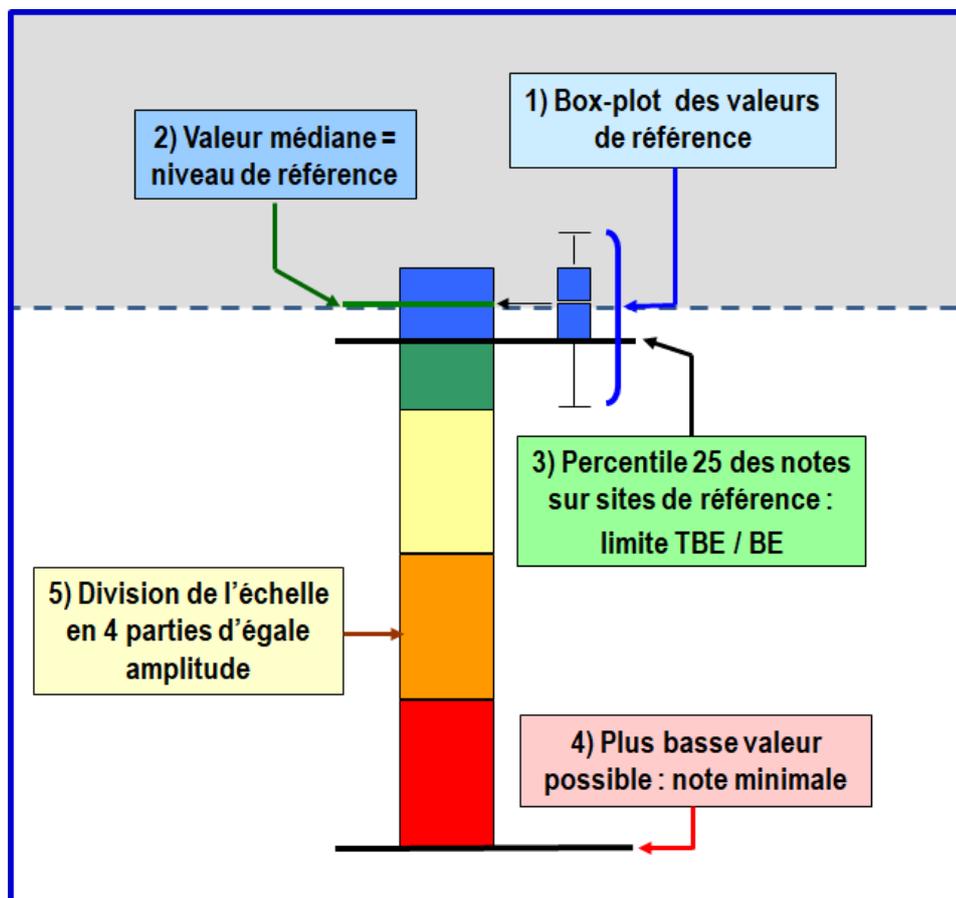


Figure 15 : Principe de conception des EQR et des grilles d'évaluation de Guyane basées sur l'IDGF

Il a tout d'abord été établi un box-plot de distribution des résultats d'IDGF obtenus en situations de référence de la région naturelle considérée (**Etape 1**). La **valeur médiane obtenue** par ce calcul, directement exprimée en EQR, correspond à la **valeur de référence** de l'IDGF (=1) pour cette région naturelle (**Etape 2**).

Le **percentile 25** du box-plot des valeurs d'IDGF de référence, correspondant ici à la valeur de **0,88**, est ensuite utilisé comme seuil de limite basse de la classe de TBE (**Etape 3**).

Selon un principe de construction souvent utilisé au niveau européen et dans les autres DOM, le domaine complet d'évaluation, allant des plus hautes notes à la plus basse valeur possible (**Etape 4**) est ensuite divisé en 4 parties égales (**Etape 5**).

La partie située du côté des meilleures qualités, comme les 3 autres, couvre 1/4 de l'amplitude totale. Elle se trouve subdivisée par construction en 2 classes délimitées par le percentile 25 des notes d'IDGF de référence. En effet, la valeur-seuil de la classe de TBE, qui résulte de l'**Etape 3**, délimite 2 classes de qualité d'amplitude à peu près égale (à l'arrondi près) : la classe de TBE (de couleur bleue), qui couvre le domaine [**1 à 0,88**], et la classe de BE (de couleur verte), qui couvre le domaine [**0,88 à 0,75**].

Les grilles d'évaluation diatomique des cours d'eau à appliquer en Guyane à partir des notes d'IDGF correspondent à 3 cas de figure différents (**Tableau 4**), selon leur appartenance géographique : **1**) à l'HER 51 (Plaine Littorale Nord) ; **2**) à l'HER 52 (Bouclier Guyanais) ; ou **3**), en fonction des particularités naturelles locales, à 2 TGCE (Maroni, Mana) et à un GCE (Sinnamary) exogènes de l'HER 52 qui traversent ensuite l'HER 51. En fonction de la résilience de l'hydrochimie et des communautés diatomiques naturelles venant de l'amont, pendant tout leur parcours dans l'HER 52, cette catégorie de cours d'eau reste donc à évaluer selon la grille de l'HER 52 "Bouclier Guyanais" (3^{ème} ligne du tableau 4).

Tableau 4 : Dispositif d'évaluation diatomique par type de cours d'eau de Guyane, et codes-couleur associés aux classes de qualité

Limite inférieure des classes de qualité des cours d'eau de Guyane (IDGF)						
Zonage naturel	Classe d'Etat	TBE Très Bon Etat	BE Bon Etat	EM Etat Moyen	Em Etat médiocre	ME Mauvais Etat
	Code-couleur	C90M15J20N0 RVB : 26/217/204	C60M10J50N0 RVB : 102/230/128	COM10J65N0 RVB : 255/230/89	COM40J100N0 RVB : 255/153/0	COM100J100N0 RVB : 255/0/0
HER 51 "Plaine littorale Nord"		0,88	0,75	0,50	0,25	< 0,25
HER 52 "Bouclier Guyanais"		0,88	0,75	0,50	0,25	< 0,25
Fleuves exogènes de l'HER 52 (*)		0,88	0,75	0,50	0,25	< 0,25

(*) : Les TGCE et GCE suivants, exogènes de l'HER 52 "Bouclier Guyanais" et traversant l'HER 51 "Plaine littorale du Nord" sans changer de typologie, doivent être évalués tout au long de leur cours selon la grille de l'HER 52 : Maroni, Mana, Sinnamary, Approuague, Oyapock

Remarque : L'IDGF étant exprimé directement sous forme d'EQR régionalisé moyenné-renormé [0-1], les limites des classes de qualité sous ce mode d'expression donnent l'impression d'être identiques pour les 3 ensembles naturels considérés, alors que les niveaux de référence calculés pour les métriques individuelles d'altération et pour l'IDGF peuvent présenter quelques différences selon la métrique de réponse biologique considérée et la région naturelle (voir tableau en partie b de la **Figure 13**). De façon non-apparente, il intervient donc des calculs d'écart à la référence d'amplitude éventuellement variable selon la métrique et la région.

3.4 Outil complémentaire de diagnostic

L'IDGF a été élaboré selon un principe d'emblée multimétrique qui permet d'utiliser directement la valeur en EQR des métriques de réponse biotique à chaque catégorie générique d'altération afin de repérer la ou les sources principales d'altération les plus impactantes à une station donnée. Cet outil complémentaire, qui utilise les résultats des métriques utilisées pour l'évaluation d'état écologique, aide à visualiser et à hiérarchiser le(s) type(s) d'altération(s) qui impacte(nt) le statut diatomique d'un site évalué en état écologique dégradé.

Cette information visuelle peut aider le gestionnaire à cibler des mesures de remédiation visant les altérations les plus impactantes, qui devraient aider à restaurer avec efficacité l'état diatomique sur ce site.

Les résultats obtenus sont présentés sous la forme de diagrammes radar (**Figure 16**). L'édition de ces graphiques de diagnostic au site est aussi assurée par le module SEEE à la suite des calculs d'IDGF et d'état diatomique.

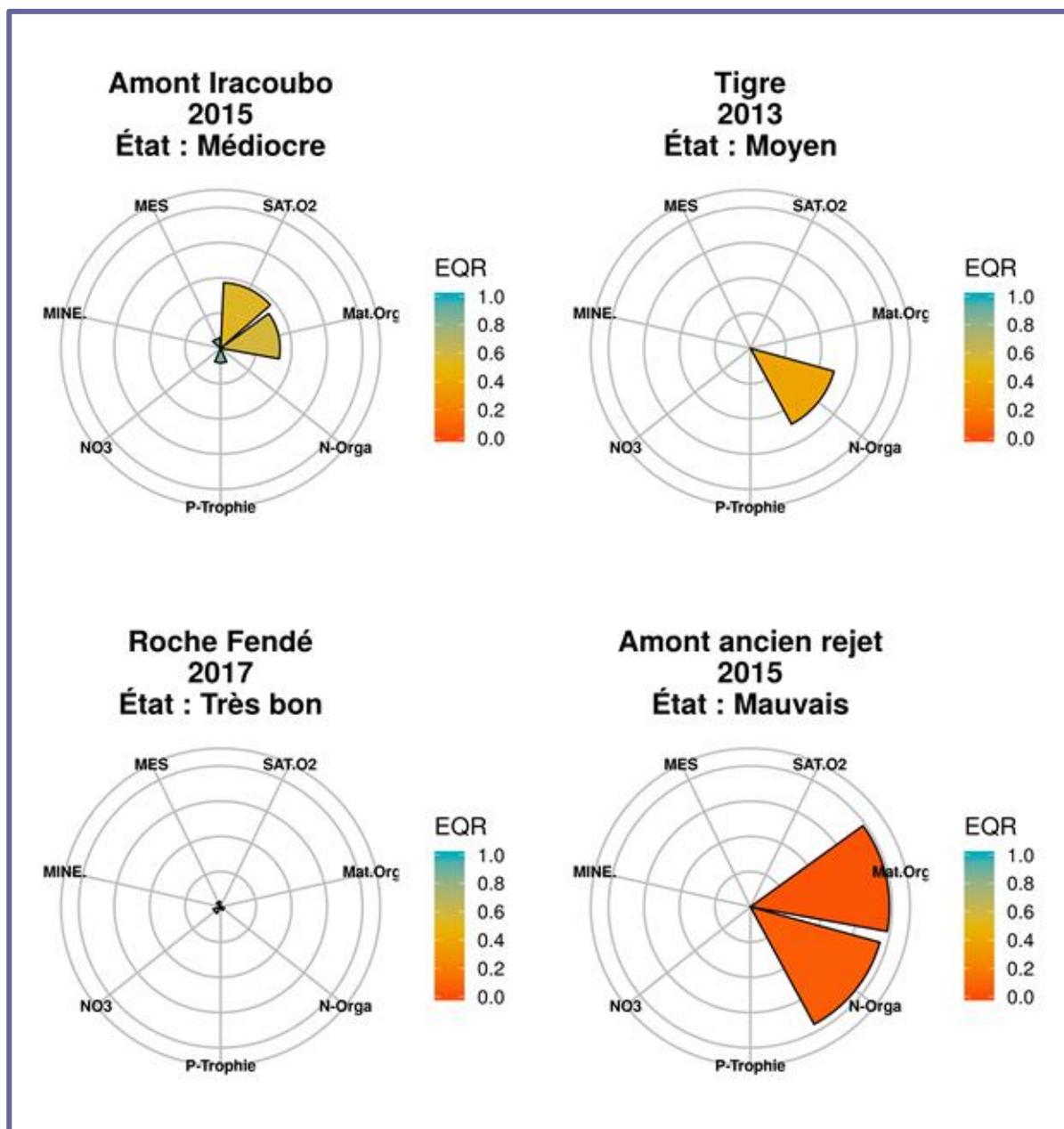


Figure 16 : Diagnostic des sites de Guyane : exemples-typiques de diagrammes-radar obtenus pour 4 relevés diatomiques

Pour chaque catégorie d'altération, les résultats sont présentés sous la forme $[1 - \text{EQR}]$ de la métrique, de façon à orienter la visualisation vers l'intensité des altérations biotiques subies au site.

Selon ce principe de présentation, un site non-altéré ne présente aucun signal d'altération visible (cas de la station Roche Fendé en 2017, en bas à gauche).

A l'inverse, plus l'altération considérée provoque une réponse intense du maillon diatomique, plus le ou les paramètres dégradés sont affectés d'un signal important d'altération et d'une coloration évoluant vers l'orange, puis le rouge (ex : Amont de l'ancien rejet en 2015, en bas à droite, qui présente un fort signal d'impact biologique sur les 2 altérations génériques "Mat.Org" et "N Orga").

4 L'ACQUISITION DU MATÉRIEL BIOLOGIQUE

4.1 La période d'échantillonnage

Le climat de la Guyane, de type équatorial humide, présente une stabilité climatique et des températures constantes entre 25 et 26 °C, en liaison avec sa façade océanique et sa proximité avec l'équateur. La saisonnalité est structurée par les variations annuelles de précipitations. Ainsi, on dénombre quatre saisons distinctes :

- La petite saison des pluies débutant vers la mi-décembre, durant laquelle les pluies sont abondantes et la couverture nuageuse quasi permanente ;
- Le petit été de mars, une saison sèche courte (2 à 3 semaines) se traduisant par une trêve des précipitations et un ciel souvent ensoleillé ;
- La saison des pluies, suivant le petit été de mars et durant laquelle les précipitations redeviennent très fréquentes et les éclaircies alternent avec des averses brèves, mais souvent intenses ;
- La saison sèche, caractérisant un été avec des journées le plus souvent ensoleillées et qui s'étend de la mi-août à fin novembre.

Il est recommandé d'effectuer les prélèvements diatomiques durant la saison sèche, de fin août à fin novembre, lorsque les conditions hydrologiques sont stabilisées et que les événements de forte intensité sont rares pendant plusieurs semaines consécutives.

En effet, un premier niveau de contrainte est lié à la sécurité des missions et aux risques liés à l'accès aux stations, qui doivent souvent être atteintes en remontant les cours d'eau par le corridor fluvial au moyen de pirogues.

D'autre part, 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 d'incidence limitée (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 au moins 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.

4.2 Les conditions de prélèvement

L'ensemble des prélèvements doit être réalisé conformément à la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), dont les recommandations principales sont rappelées ci-dessous. Compte tenu des caractéristiques environnementales particulières et des peuplements diatomiques de Guyane, des adaptations doivent être considérées.

Le prélèvement en faciès lotique de type "radier" est préconisé en priorité, même si ce n'est pas le faciès dominant du site (**Figure 17**).



Figure 17 : Exemple de condition idéale pour réaliser un prélèvement de diatomées
(Crédit photos : Julian Frédérick, HYDRECO)

Photos : a) : station Kapiri b) faciès du radier c) substrats prélevés sur la station.

La vitesse de courant, estimée visuellement à partir de la vitesse de surface, doit idéalement avoisiner ou être supérieure à 20 cm/s. Ces conditions minimisent l'effet de dérive-dépôt des diatomées sur les substrats, qui biaiserait le résultat en augmentant la sédimentation de valves provenant de l'amont (éventuellement mortes, ou à l'écologie décalée par rapport aux conditions locales de la station).

L'échantillonnage de milieux lenticulaires, non normatif sur ce maillon biologique, ne serait à réaliser que par défaut, pour la prise en compte de situations locales bien particulières.

Du fait de son réseau hydrographique particulièrement dense et varié, la Guyane présente un large panel de stations présentant différentes spécificités. Les milieux prospectés vont du petit cours d'eau de quelques mètres de largeur - appelé "crique" - au fleuve de plusieurs dizaines, voire centaines de mètres de largeur (**Figure 18**).

Cette diversité de milieux induit une grande variabilité de conditions de prélèvements. Aussi, les recommandations ci-dessous sont à adapter en fonction du milieu prospecté.

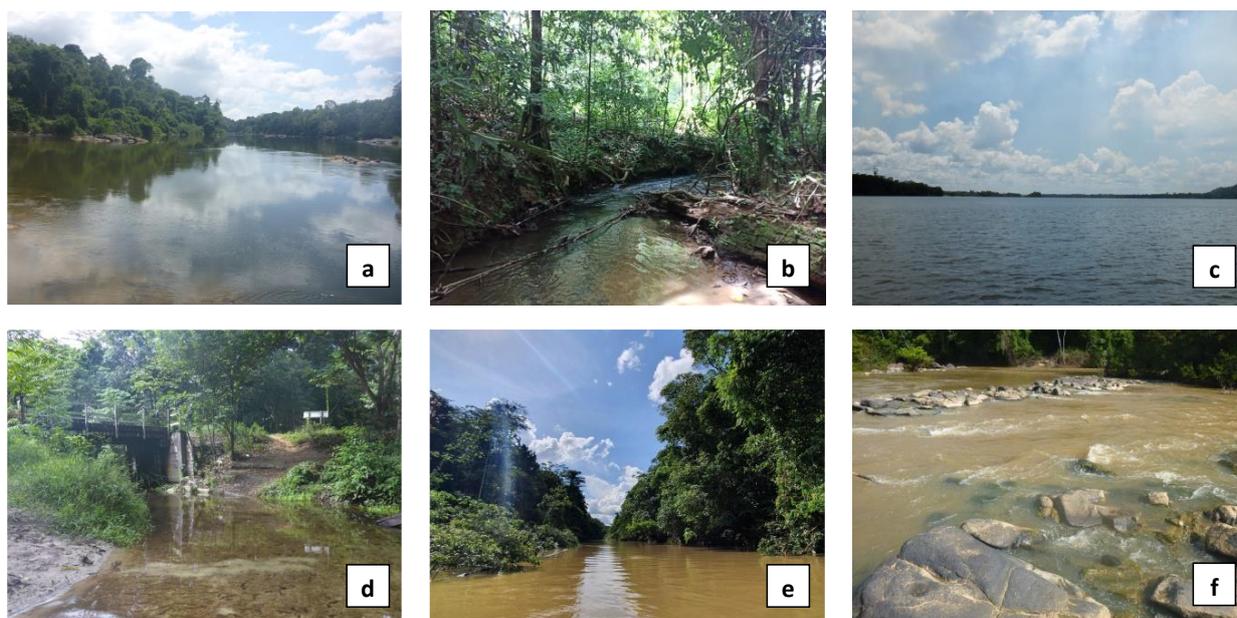


Figure 18 Variabilité des types de milieux prospectés en Guyane pour la réalisation de prélèvements diatomiques.
(Crédit photos : Julian Frédérick, HYDRECO)

Photo a : Litany - Apsik Icholi

Photo b : Crique à l'Est

Photo c : Maroni – Aval Apatou

Photo d : Crique Matiti

Photo e : Bagot

Photo f : Grand Inini - Saut Sonnelle

Un seul échantillon composite est réalisé par station, quels que soient la nature et le nombre de supports prospectés.

Dans les conditions de Guyane, la nature des supports à échantillonner est hiérarchisée comme suit :

A. Support minéral naturel inerte, dur et stable : pierres/galets en priorité, puis blocs et cailloux.

A noter : Le choix de la taille des substrats prélevés se fait en fonction des conditions environnementales : dans une zone à fort courant de type saut¹, les substrats les plus gros de type blocs seront préférés, afin de s'assurer qu'ils soient restés dans la même position les semaines précédentes. A contrario, dans une zone à courant réduit, les pierres/galets seront choisis.

B. Substrats artificiels durs et stables : plaque de plexiglas, carrelage...

¹ On nomme « sauts » les rapides formés par l'affleurement de **filons de roche volcanique très dure nommés dykes de dolérite** dans les cours d'eau.

A noter : Lorsque la station ne présente pas de substrats naturels adéquats pour un prélèvement, par exemple en zone de marnage, des substrats artificiels sont mis en place dans la zone photique pendant un minimum de 6 semaines afin de permettre de réaliser un prélèvement *a posteriori*. Les supports lisses comme le verre ne sont pas adéquats car ils ne présentent pas une surface favorable au développement des diatomées.

C. Support artificiel dur et stable : en cas d'absence de support naturel accessible, des supports inertes peuvent être prospectés (pontons flottants, piles de ponts...).

A noter : Quel que soit le choix des supports prélevés, il est primordial de s'assurer que les supports à échantillonner soient immergés *a minima* depuis 6 semaines consécutives dans une zone photique, de façon à présenter un peuplement diatomique représentatif des conditions chimiques de l'eau.

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

Attention : Aucun prélèvement sur support meuble (vases, sable...) ni sur bois ne doit être réalisé car les espèces saprophytes favorisées par ces types de substrats non-inertes, dont les messages pourraient être confondus avec des signaux d'alerte de pollutions organiques, risqueraient de biaiser le calcul de l'indice.

La surface à échantillonner en Guyane en vue d'obtenir une flore diatomique représentative est d'environ 1000 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 2 000 cm² ou plus (substrats pauvres en biofilm diatomique).

Généralement, l'échantillonnage est réalisé sur dix substrats différents *a minima* (100 cm² par substrat). Dans certaines conditions particulières (milieux marnants et (ou) dépourvus de substrats durs naturels), l'utilisation de substrats artificiels est recommandée (1 seul substrat artificiel de surface supérieure à 1000 cm² par site).

A noter : La biomasse, globalement faible, des diatomées en Guyane 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.

Attention : Seule, la face supérieure des substrats, directement exposée à la colonne d'eau, est à échantillonner. Au moment du prélèvement de chaque substrat, leur face inférieure doit donc être débarrassée immédiatement et soigneusement des sédiments adhérents directement dans la rivière, avant stockage provisoire ou avant de procéder directement à l'échantillonnage diatomique dans la cuvette. En effet, les espèces diatomiques présentes en zone non-éclairée, mortes ou adaptées à des accumulations de fines organiques et à une ambiance plus réductrice, risqueraient de fausser l'appréciation de l'état écologique réel de la station en dégradant la note indicielle obtenue.

Si des supports sont recouverts d'algues filamenteuses ou de bryophytes, il convient de préférer les supports exempts de végétaux. Cependant, au cas où plus de 75 % des supports en seraient porteurs (cas de figure peu rencontré jusqu'à présent en Guyane), il deviendrait alors 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.

Le prélèvement doit être effectué dans le lit du cours d'eau afin d'éviter les zones de faible courant et limiter le colmatage sur les substrats de prélèvements.

Si toutes les conditions 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.

4.3 La méthode de prélèvement

Les aspects pratiques relatifs à la réalisation du prélèvement de terrain sont illustrés en **Figure 19**.



Figure 19 : Prélèvement sur le terrain des échantillons de diatomées
(Crédit photos : Julian Frédéric, HYDRECO)

Photo a : Repérage et inspection de la station.

Photo b : Prises d'informations relatives au prélèvement de l'échantillon composite

Photo c : Sélection de plusieurs substrats sur lesquels seront prélevées les diatomées

Photo d : Récolte du matériel biologique par brossage.

Photo e : Prélèvement coloré indiquant une quantité suffisante de biofilm.

Photo f : Flacon identifié réceptionnant l'échantillon.

Suite à l'arrivée de l'opérateur sur la station, une inspection rapide permet de repérer le faciès le plus adéquat pour adapter la réalisation des prélèvements en fonction de la morphologie de la station et des conditions hydrologiques du jour (*Photo a*). La fiche-station doit être soigneusement remplie (*Photo b*), en décrivant notamment les conditions naturelles spécifiques observées à la station le jour du prélèvement (voir Chapitre 3-4 : Les données complémentaires).

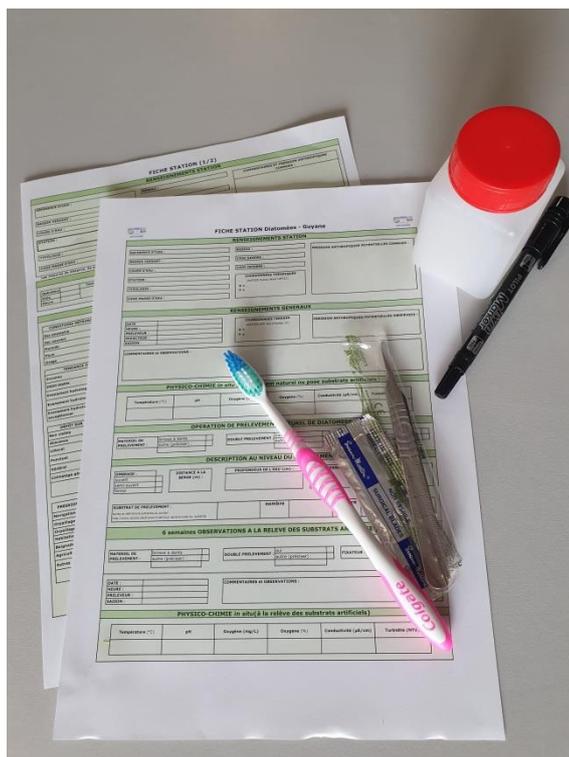


Figure 20 : Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique, brosse à dents et scalpel, étiquettes, stylo, marqueur (Crédit photos : Julian Frédéric, HYDRECO)

Le matériel de prélèvement recommandé (**Figure 20**) est la brosse à dents ou le scalpel. La brosse à dents est l'outil le plus fréquemment utilisé pour prélever le biofilm, quel que soit le type de support.

Attention : Afin d'éviter toute contamination entre échantillonnages successifs, ce matériel doit être renouvelé à chaque prélèvement et en aucun cas réutilisé.

L'échantillonnage diatomique du substrat doit concerner uniquement sa face supérieure (exposée à la lumière), en évitant soigneusement de le contaminer avec du matériel biologique provenant de zones d'accumulation situées sous le substrat (risque accru de conditions hypoxiques et de présence d'espèces saprophytes : cf. fin du Chap. 3-2 page 37).

Echantillonner individuellement chaque substrat dans la cuvette ou les déposer l'un après l'autre dans la cuvette (lorsque l'opération de prélèvement sur les différents substrats est faite ensuite de façon regroupée, en retournant au bord du cours d'eau ou sur la berge).

La surface du support est brossée (*Photo d*) en effectuant de petites rotations, puis rincée à l'éthanol à l'aide d'une pissette. Le prélèvement est collecté dans une bassine préalablement rincée (*Photo e*), avant d'être transféré dans un flacon hermétique (*Photo f*). L'utilisation de flacons à assez large ouverture et d'un volume de 150 ml est conseillé.

Attention : Le préleveur doit collecter assez de matériel végétal pour assurer un contenu diatomique suffisant dans l'échantillon prélevé (coloration brunâtre du contenu de la cuvette). D'autre part, il doit veiller à récupérer la globalité du biofilm sur toute son épaisseur, de façon à ne pas privilégier les espèces motiles ou dressées présentes en surface du biofilm au détriment des espèces prostrées.

4.4 Les données complémentaires

Chaque prélèvement de biofilm doit systématiquement être accompagné d'éléments descriptifs du site et des conditions de prélèvement (**Tableau 5**), qui seront utiles à la présentation, la bancarisation et l'interprétation des résultats.

Tableau 5 : Eléments descriptifs accompagnant tout prélèvement diatomées

	Elément descriptif	Condition/format 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	000000000	
	Station	Nom de la station		
	Cours d'eau	Nom du cours d'eau		
	Bassin versant	Nom du bassin versant		
	Code Masse d'eau	Code de la masse d'eau	FRKR0000	
	Longitude	WGS84, UTM 22N	mètres	
	Latitude	WGS84, UTM 22N	mètres	
	Réseau	Réseau d'appartenance de la station (Référence, RCS, RCO,...)		
	Typologie	Caractérisation de la taille du cours d'eau (PME ou crique/fleuve)		
Informations générales sur la station au moment du prélèvement	Date/heure	Jour du prélèvement et heure	jj/mm/aaaa - hh:mm	
	Conditions hydrologiques	Inconnue/nulle/étiage/moyennes eaux/hautes eaux	Nomenclature SANDRE (0/1/2/3/4/5)	
	Largeur	Largeur moyenne du lit mouillé à l'endroit de la station de prélèvement (télé-mètre ou estimation visuelle)	mètres	
	Pressions	Pressions anthropiques ou naturelles observées pouvant influencer le prélèvement		
	mesures physico-chimie <i>in situ</i>	Température	Mesurée à l'aide d'une sonde	°C
		Conductivité	Mesurée à l'aide d'un conductimètre	µS/cm
		Oxygène dissous	Mesurée à l'aide d'un oxymètre	mg/L - %
		pH	Mesurée à l'aide d'un pH-mètre	
	Turbidité	Mesurée à l'aide d'un turbidimètre	NTU	
Informations sur le prélèvement	Support	- Pierres, galets (25-250mm) - Roches, dalles, blocs (taille supérieure) - Cailloux, graviers (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 (N1/N3/N5/N4/N2)	
	Ombrage	Ombrage au niveau du prélèvement (fermé/semi-ouvert/ouvert)		

Précisions sur quelques aspects particuliers :

Les informations géodésiques et de projection

Il est indispensable de relever les coordonnées géographiques du point de prélèvement sur la station échantillonnée pour vérifier la conformité de la position de prélèvement par rapport à la localisation théorique de la station de mesure.

A noter : C'est le système géodésique WGS84 qui 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 à la Guyane : UTM zone 22N.

Les mesures des paramètres physico-chimiques *in situ*

En parallèle du prélèvement, une mesure des paramètres environnementaux physico-chimiques *in situ* doit être réalisée avec des sondes calibrées selon les normes en vigueur pour mesurer : la température de l'eau (°C), le pH, le taux d'oxygène dissous (mg/L), la saturation en oxygène (%), la conductivité ($\mu\text{S}/\text{cm}$) et la turbidité (NTU).

Ces mesures permettront de vérifier les conditions environnementales au moment du prélèvement et de s'assurer qu'elles sont cohérentes avec les conditions attendues sur le site prospecté.

Les images du site de prélèvement et des supports échantillonnés

Ces prises de vues, bien que facultatives, peuvent s'avérer fort utile lors de l'interprétation des résultats en permettant de pouvoir visualiser le site dans sa globalité (amont et aval de la station), mais aussi les supports sélectionnés, ou encore la zone échantillonnée.

Les conditions hydrologiques, morphologiques et autres informations essentielles

Outre les informations générales sur la station échantillonnée et les photographies réalisées, il est important de bien décrire les conditions environnementales rencontrées sur la station le jour du prélèvement (notamment les conditions hydrologiques, morphologiques...), mais aussi toute autre information ou observation particulière susceptible d'impacter les communautés diatomiques échantillonnées (**Tableau 5**). Tous ces éléments seront collectés et soigneusement reportés sur une fiche terrain conçue à cet effet.

4.5 La conservation de l'échantillon

La fixation des échantillons a pour but de stopper toute activité biologique afin :

- D'arrêter la division cellulaire, ce qui permet de respecter les proportions relatives entre espèces au moment du prélèvement ;
- De limiter le développement de flores hétérotrophes (champignons, bactéries...) susceptibles de nuire à la bonne conservation des frustules diatomiques et à la qualité ultérieure des observations.

La Norme NF T 90-354 (AFNOR 2016) préconise l'utilisation d'une solution tamponnée d'éthanol pour la conservation des échantillons. Sous les conditions d'application précisées ci-dessous, ce conservateur peut à la fois permettre la réalisation des déterminations taxonomiques et la préservation de l'ADNe pour analyse métagénomique.

Une concentration finale supérieure ou égale à 20 % (v/v) permet la bonne conservation sur le court à moyen-terme d'échantillons destinés à une détermination taxonomique à base morphologique.

L'utilisation d'un peu d'éthanol à 95 % au moment du broyage de substrat, puis un rajout avant fermeture du flacon afin d'obtenir une concentration finale supérieure à 70 % (v/v) est nécessaire à la bonne conservation de l'ADN dans les échantillons. Une pratique complémentaire (ajout d'un produit spécifique de préservation de l'ADN et/ou congélation rapide de l'échantillon) doit éventuellement être mise en œuvre en complément afin d'assurer la conservation satisfaisante de l'échantillon jusqu'à la phase d'amplification/analyse.

Attention : L'éthanol ayant tendance à se volatiliser, en vue d'assurer une durée de conservation plus longue des échantillons, il convient d'utiliser des flacons à fermeture bien étanche, voire de sceller le bouchon et le haut du flacon avec du parafilm ou du film alimentaire étirable.

4.6 L'identification des échantillons

Chaque échantillon doit être identifié dès son prélèvement. A cette fin, plusieurs mentions doivent être inscrites directement sur le pilulier :

- Le nom et le code de la station ;
- Le nom de l'étude ;
- La nature du fixateur ;
- La date.

A noter : Les mentions précédemment citées sont celles qui doivent absolument apparaître sur le flaconnage de prélèvement. Cela n'empêche pas de rajouter des informations complémentaires jugées utiles, par exemple à l'aide d'une étiquette autocollante imprimée en amont, à renseigner et à apposer sur le flacon.

En parallèle de ces informations sur l'échantillon, une "fiche station" dont le contenu est décrit au Chapitre 3.4 "Données complémentaires" vient compléter les informations descriptives de la station, ainsi que celles relatives au prélèvement (substrats prélevés, faciès d'écoulement, vitesse du courant...).

4.7 Le traitement de l'échantillon et la confection des préparations permanentes

4.7.1 Le matériel

Le traitement de l'échantillon diatomique collecté fait appel au matériel décrit dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016) :

- Hotte aspirante ou système équivalent ;
- Plaque chauffante et bain-marie (facultatif) ;
- Verrerie de laboratoire (tubes à essai, béchers, coupelles, lames, lamelles rondes). Ces tubes et béchers doivent être résistants aux oxydants ou aux acides utilisés pour nettoyer les échantillons.
- Pipette Eppendorf® ;
- Cahier de laboratoire, qui permet de consigner l'ensemble des informations des opérations réalisées tout au long du traitement des échantillons au laboratoire ;
- Les réactifs correspondants aux méthodes de traitement utilisées :
 - o Acide chlorhydrique à 30 % (v/v) environ ;
 - o Acide nitrique à 69 % (v/v) environ ;
 - o Solution de peroxyde d'hydrogène à 30 % (v/v) minimum.
- Une résine à indice de réfraction élevé (supérieur à 1,7) pour le montage des lames permanentes, par exemple Naphrax® :
 - o Toluène pour la dilution de la résine de montage ;
- Eau distillée ou déminéralisée.

4.7.2 Le principe du traitement

L'identification des diatomées étant basée sur l'examen microscopique des frustules siliceux, les échantillons sont traités afin d'éliminer les impuretés, le protoplasme cellulaire et toute la matière organique présente.

Par ailleurs, la plupart des détails structuraux sur lesquels repose la détermination des espèces sont à la limite de la résolution permise par les microscopes optiques et leur source d'éclairage.

Le montage de la lamelle sur la lame est donc réalisé dans une résine à indice de réfraction élevé comme le Naphrax®, afin de permettre une meilleure visualisation en microscopie des caractéristiques morphologiques des frustules.

Le traitement et le montage des échantillons diatomiques est aussi décrit dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), ainsi que dans la norme européenne NF EN 13496 (CEN 2014) actuellement en cours de révision.

Le traitement comporte plusieurs étapes. Certaines d'entre elles peuvent être adaptées afin d'améliorer la qualité des lames permanentes fabriquées à partir des échantillons guyanais.

Des photographies illustratives de ces étapes sont présentées en **Figure 21**.

Après mélange et homogénéisation, une partie aliquote de l'échantillon est prélevée pour être traitée et mise dans un bécher ou un tube à essai qui seront couverts afin d'éviter toute contamination extérieure et entre les échantillons (*Photo a*).

En suivant la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'échantillon est débarrassé de la matière organique par de multiples traitements. Dans un premier temps, l'échantillon sera mis en réaction à froid avec de l'acide chlorhydrique (*Photo b*).

A noter : Si l'échantillon comporte beaucoup de matière organique à éliminer (biofilm dense, algues filamenteuses...), de l'acide nitrique est ajouté afin d'accroître la réaction chimique et de permettre l'élimination de la matière organique.

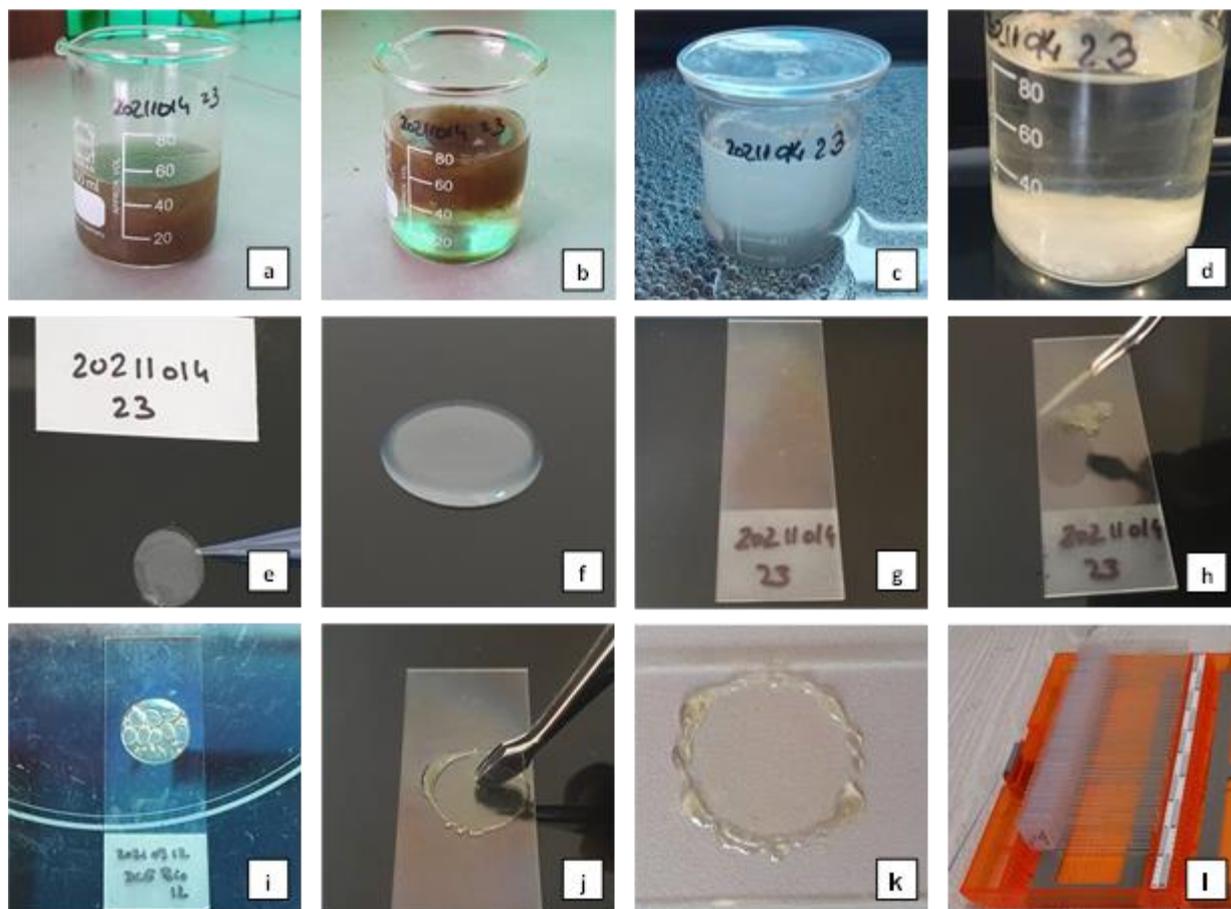


Figure 21 : Traitement des échantillons et confection des préparations permanentes de diatomées
(Crédit photos : Julian Frédérick, HYDRECO)

Photo a : Prélèvement de l'aliquote du prélèvement dans un bécher.

Photo b : Premières réactions à froid avec de l'acide chlorhydrique.

Photo c : chauffage du bécher contenant l'aliquote de l'échantillon et les réactifs pour éliminer la matière organique.

Photo d : échantillon après traitement.

Photo e : Dépôt d'une goutte d'échantillon traité sur une lamelle posée à plat, à l'aide d'une pipette.

Photo f : Séchage des lamelles suite au dépôt des échantillons traités.

Photo g : Lame porte-objet référencée avec le numéro de l'échantillon.

Photo h : Suite au dépôt de gouttes de résine sur la lame porte-objet, placer la lamelle sèche de l'échantillon traité à l'aide d'une pince fine, en retournant la face couverte de frustules de diatomées côté résine.

Photo i : Chauffage de la lame sur la plaque chauffante. Le solvant contenu dans la résine s'évapore en formant des bulles.

Photo j : Pression délicate au centre de la lamelle pour éliminer les dernières bulles et permettre une répartition uniforme de la résine.

Photo k : Lame diatomique en fin de préparation, juste avant grattage de l'excédent de résine

Photo l : Stockage des préparations permanentes.

Il s'ensuit une série de réactions avec de l'eau oxygénée (Photo c). La première réaction peut être réalisée à froid mais le reste des traitements se fera à chaud. La température, la durée du traitement et de 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 (entre deux et six volumes de H_2O_2 sont conseillés).

A noter : Le premier traitement au peroxyde d'hydrogène à 30% minimum (v/v) peut s'effectuer à froid. Pour cela, six volumes d'eau oxygénée pour un volume d'échantillon brut doivent être laissés en réaction pendant 2 à 3 jours. Il s'ensuit une série de traitements à chaud, en renouvelant l'eau oxygénée afin de permettre une réaction optimale pour éliminer toute la matière organique. Les échantillons seront chauffés entre 4 et 5 heures lors d'un cycle de chauffe.

Quelques gouttes d'acide chlorhydrique peuvent être ajoutées avant ou après le traitement à chaud afin d'amplifier la réaction chimique.

A noter : Ces étapes (cycles de traitement des échantillons au peroxyde d'hydrogène à chaud, refroidissement et ajout d'acide chlorhydrique) doivent être réalisées sous une hotte ou système équivalent. Ces étapes doivent être renouvelées au moins 4 fois afin de garantir la qualité des préparations.

Après traitement des échantillons, quatre cycles de rinçage par dilution et décantation dans l'eau distillée ou déminéralisée sont ensuite réalisés *a minima* afin d'éliminer tout résidu de produit chimiques présent au sein des échantillons traités (*Photo d*). La décantation nécessite au moins une dizaine d'heures afin de s'assurer qu'il n'y ait aucune perte de frustule.

Le culot de l'échantillon nettoyé et rincé est ensuite mis en suspension dans un volume d'eau distillée ou déminéralisée de manière à obtenir une suspension légèrement trouble. Une goutte de la suspension est déposée sur une lamelle dégraissée (dans une solution aqueuse tensioactive obtenue par exemple avec quelques gouttes de liquide vaisselle) à l'aide de la pipette Eppendorf® (*Photo e*).

Repérer méthodiquement le positionnement des lamelles en cours de séchage, en bonne correspondance avec les numéros d'échantillons. Attendre jusqu'à évaporation complète du liquide à température ambiante, en protégeant chaque lamelle de la poussière et des courants d'air (*Photo f*).

A noter : Il est possible d'accélérer l'évaporation en plaçant la lamelle dans une étuve ou dans une pièce climatisée.

Préparer le référencement des lames porte-objets avec le numéro d'échantillon correspondant (*Photo g*).

Une fois la résine de montage diluée avec du toluène, en déposer quelques gouttes sur une lame préalablement identifiée. Puis placer la lamelle sur sa lame porte-objet à l'aide d'une pince, la face couverte de frustules étant retournée côté résine (*Photo h*).

Poser la lame sur la plaque chauffante afin de laisser évaporer tout le solvant contenu dans la résine (*Photo i*). Une fois que les bulles de solvant se raréfient, une pression est appliquée uniformément et délicatement sur la lamelle, en faisant attention de ne pas la casser (*Photo j*). Cette opération permet d'éliminer les dernières bulles et d'obtenir une répartition uniforme de la résine sous la lamelle (*Photo k*).

A noter : Il est primordial que l'étape de montage s'effectue sous une hotte afin de ne pas inhaler les vapeurs toxiques issues de cette évaporation.

Après refroidissement et durcissement de la résine de montage, les éventuelles bavures autour de la lamelle devront être éliminées avec une lame de rasoir, afin d'éviter les surépaisseurs susceptibles de gêner l'observation sous l'objectif à immersion.

Une vérification de la concentration en diatomées en conditions réelles de comptage (grossissement x 1000) est réalisée. Celle-ci doit être comprise entre 10 et 20 unités diatomiques par champ. Dans le cas contraire, un ajustement de la dilution ou de la concentration de la solution est à effectuer, jusqu'à obtenir la densité de frustules souhaitée.

La préparation permanente est alors prête pour la réalisation de l'observation. Elle peut être stockée dans une boîte porte-lames dans l'attente de l'opération de détermination-comptage (*Photo l*)

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

4.7.3 Les difficultés couramment rencontrées

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

- 1- **Une réaction d'ébullition importante** lors de rajout des réactifs lors du traitement des échantillons.

Attention : Il est recommandé d'ajouter les réactifs lentement et graduellement, et d'augmenter la température progressivement afin d'éviter une réaction incontrôlée. Le traitement au peroxyde d'hydrogène à froid préalablement au traitement à chaud minimise l'intensité de la réaction suivante tout en améliorant la qualité finale des préparations permanentes.

- 2- **La présence de matière organique résiduelle (Figure 22)** formant une gangue autour des frustules ou des valves gênant l'observation.



Figure 22 : Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomées
(Crédit photo : Estelle LEFRANCOIS, ASCONIT)

A noter : La répétition des cycles complets de traitement au peroxyde d'hydrogène concentrée (H_2O_2) à chaud, puis à l'acide chlorhydrique permet de limiter ce phénomène.

- 3- **La présence de particules sédimentaires (Figure 23)**, qui vont nuire à la bonne visualisation des frustules sur la préparation permanente.



Figure 23 : Présence de nombreux sédiments mêlés aux frustules et valves diatomiques
(Crédit photos : Anne Eulin-Garrigue, HYDRECO)

A noter : Une séparation mécanique peut être envisagée afin de réduire le nombre de grosses particules de sédiments sur la préparation. Cette opération consiste à mettre en suspension l'échantillon nettoyé, à le laisser décanter quelques secondes et à récupérer le surnageant en prenant bien soin d'éviter le culot.

4- Des frustules contiennent des bulles (Figure 24).

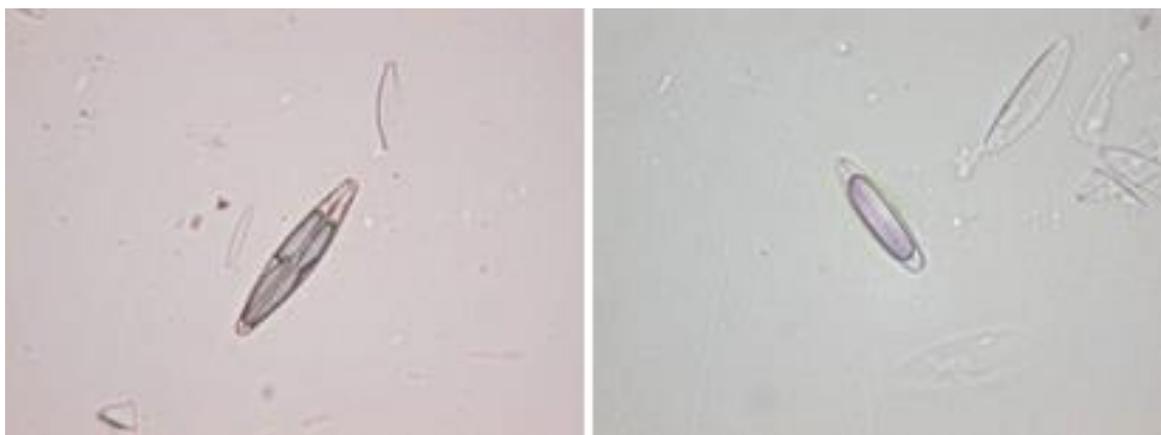


Figure 24 : Présence de bulles dans les frustules
(Crédit photo : Estelle LEFRANCOIS, ASCONIT).

A noter : Si les bulles sont peu nombreuses, la lame peut être chauffée à nouveau 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.

5- La quantité de matériel biologique est insuffisante, du fait d'une faible biomasse algale trouvée sur certaines stations.

Attention : En Guyane, du fait de conditions souvent oligotrophes, il est recommandé de prélever du matériel biologique sur une surface mesurant *a minima* 1000 cm² afin d'avoir suffisamment de matière. 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 le prélèvement.

4.8 L'archivage des données, des lames et des prélèvements

Comme précisé dans la Norme NF T 90-354 (AFNOR 2016), les lames d'observation préparées de la façon indiquée ci-dessus constituent des lames permanentes.

Il est néanmoins conseillé de conserver ce qu'il reste de l'échantillon traité après 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 nouvelles lames permanentes, ou encore pour l'observation du matériel en microscopie électronique.

Le matériel traité peut être conservé dans l'éthanol > 20 % (v/v) 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.

Le scellement du haut des flacons avec du parafilm ou avec du film alimentaire étirable permet de retarder la volatilisation de l'éthanol et de rallonger la durée de conservation de l'échantillon brut sur le moyen terme (quelques années).

5 L'ACQUISITION DES DONNÉES BIOLOGIQUES : L'INVENTAIRE DES DIATOMÉES

5.1 L'analyse des lames permanentes

5.1.1 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.

5.1.2 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 permettant d'identifier le plus d'espèces possible, un comptage par champs successifs (par exemple grâce à un balayage par transects tel qu'illustré en **Figure 25**) est effectué sur au moins 500 unités de comptage diatomique (valves), comme préconisé dans cette norme pour le cas spécifique des départements et territoires d'Outre-mer.

Dans les conditions de diversité taxonomique extrême et encore un peu méconnue qui intervient dans la composition des assemblages diatomiques locaux, la pression de comptage de 500 UTI (= valves d'espèces indiciaires) est l'effectif-cible à viser en Guyane (cf. **Tableau 6**). En effet, en vue d'une application adéquate de la DCE dans ce contexte particulier, c'est cette pratique qui permettra à la fois de conforter l'inventaire taxonomique et d'obtenir des évaluations d'état présentant le niveau de fiabilité et de robustesse recherché.

Il est recommandé d'éviter les champs situés en bordure de la lame afin de limiter l'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.



Figure 25 : Balayage de la lame par transects horizontaux (extrait de la Norme NF T 90-354 d'avril 2016 modifiée)

Une attention particulière est à apporter pour ne pas compter plus d'une fois une même 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.

La biodiversité des flores diatomiques de Guyane est de 3 à 4 fois plus importante que celles des flores de métropole ou des autres DOM, atteignant très souvent 100 taxons différents par inventaire, ou même 160 à 180 taxons pour les plus riches d'entre eux. De plus, les communautés diatomiques de cette zone sont encore imparfaitement connues, du fait du fort taux d'endémisme présent dans des milieux naturels restant encore peu prospectés et de l'antériorité encore limitée des travaux ayant permis d'asseoir l'inventaire des espèces présentes (étude scientifique DRE Guyane-IRD-Cemagref 1998-2000, puis démarrage des réseaux de surveillance diatomique à partir de 2007). Aussi, beaucoup de nouveaux prélèvements diatomiques réalisés à partir de 2018 comportent encore une part non-négligeable à relativement importante d'espèces rares ou nouvelles, qui n'ont pas encore de profil indiciaire dans l'IDGF.

A noter : Du fait de ces particularités, l'effectif-cible d'unités diatomiques à compter en Guyane (**500 unités de comptage de taxons indiciels ou UTI** par prélèvement) est supérieur à celui préconisé pour le calcul d'autres indices diatomiques DOM (**500 unités de comptage diatomique par prélèvement**) et de l'IBD en métropole (**400 unités de comptage**). L'atteinte de cet objectif-cible chaque fois que possible permet d'asseoir et de fiabiliser le calcul de l'I.D.G.F. dans la plupart des situations, ainsi qu'une prise en compte plus robuste des taxons d'alerte (cf. **Tableau 3** page 29), qui sont souvent très minoritaires dans les assemblages locaux. Enfin, en renforçant la capitalisation d'information sur les taxons rares ou nouveaux, qui doivent aussi être déterminés ou repérés/comptés dans l'assemblage, cette pratique devrait permettre, à l'occasion d'un futur reversionnage de l'IDGF, d'en ajouter le plus possible à la liste des taxons indiciels et de leur assigner un calcul de préférences écologiques relativement robustes.

Le secteur aval des cours d'eau de l'HER 51 "Zone littorale nord" représente un enjeu de gestion important, puisqu'il est soumis aux plus forts gradients de pressions anthropiques que l'on peut trouver en Guyane. Certaines stations situées en conditions d'eau douce dominante et sur lesquelles l'IDGF a aussi été mis au point peuvent donc subir plus ou moins épisodiquement des influences halines littorales, qui seront facilement détectées en cours de comptage par la présence d'espèces d'origine marine (cf. liste en **Annexe 2**).

Une méthodologie spécifique de comptage a été prévue pour permettre d'assurer l'évaluation diatomique de tels sites tant que le degré d'influence haline ne fait pas sortir d'IDGF de son domaine de validité (cf. bas du **Tableau 6**).

Tableau 6 : Méthodologie de détermination-comptage diatomique sur les cours d'eau de Guyane

- Dans le **domaine typiquement d'eau douce** de Guyane, le nombre de valves diatomiques à compter pour atteindre l'effectif-cible de **500 unités taxonomiques indicielles (UTI)** varie le plus souvent entre 500 et 700 selon l'origine et la nature des échantillons.
 - ↳ **En cours de comptage, l'opérateur devra tenir un compte à part du nombre d'UTI atteintes. Il arrêtera son comptage dès l'atteinte de l'effectif-cible de 500 UTI, sans toutefois dépasser la pression maximale de détermination - comptage de 700 valves diatomiques sur l'échantillon (toutes espèces confondues)**
 - ↳ **Les calculs de fiabilité sur le résultat du calcul indiciel d' IDGF (cf. Tableau 8) seront réalisés à partir du nombre total d'UTI atteint lors du comptage (dans la limite des 700 valves diatomiques totales identifiées par échantillon)**
- Certaines stations aval des cours d'eau de l'HER 51 "Plaine littorale nord" sur lesquelles d'IDGF a aussi été mis au point peuvent être soumises à des **entrées halines littorales épisodiques**, le message sur l'état diatomique des cours d'eau étant porté par les taxons d'eau douce.
 - ↳ **Dans ces situations, comme précédemment, l'opérateur arrêtera son comptage dès l'atteinte de l'effectif-cible de 500 UTI, sans toutefois dépasser la pression maximale de détermination - comptage de 700 valves diatomiques sur l'échantillon (toutes espèces confondues, dont espèces halines)**
 - ↳ **Les calculs de fiabilité sur le résultat du calcul indiciel d' IDGF (cf. Tableau 8) seront réalisés à partir du nombre total d'UTI atteint lors du comptage (dans la limite des 700 valves diatomiques totales identifiées par échantillon)**

5.1.3 Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles

L'identification des diatomées trouvées en Guyane, qu'il s'agisse de déterminations historiques effectuées sur les inventaires déjà identifiés-comptés par le passé, ou de la détermination de nouvelles espèces trouvées au cours de chaque nouvelle campagne annuelle de prélèvements, fait en premier lieu appel aux ouvrages des séries "Süßwasserflora von Mitteleuropa", "Diatoms of Europe", "Iconographia Diatomologica", "Bibliotheca Diatomologica".

Les ouvrages de référence précités ayant une portée systématique de large échelle sur le plan géographique, il est aussi fait recours à d'autres ouvrages et articles ciblés sur des flores plus régionales, en particulier sur les flores tropicales et sub-tropicales d'Amérique du Sud publiées respectivement par Metzeltin & Lange Bertalot (1998), Rumrich & al (2000), Metzeltin & al. 2003, Metzeltin & Lange Bertalot (2007) et Costa & al (2017).

Malgré tout, cet ensemble de sources ne répertorie pour l'instant **qu'une partie très modeste (soit moins de 14 %) des espèces diatomiques trouvées en Guyane**, dont beaucoup sont endémiques de la zone et/ou encore inconnues de la littérature taxonomique (plus de 86 %). Cette liste de références et d'ouvrages est donc donnée à titre indicatif à la fin de ce guide, juste après la liste des références bibliographiques ayant servi à étayer la démarche de création de l'IDGF proprement dite. Elle aide parfois à nommer une espèce, et plus souvent à la classer comme nouvelle espèce sous numéro dans un genre déjà connu. Parfois, même l'affectation de l'espèce à un genre déjà décrit pose problème (de nouveaux genres endémiques à la zone amazonienne sont périodiquement trouvés, d'autres restent probablement encore à découvrir et à décrire).

A noter : Comme rappelé ci-dessus, le haut niveau d'endémisme propre au bassin hydrographique Guyanais et plus largement, au grand bassin forestier amazonien, fait qu'un pourcentage très important des taxons trouvés dans les inventaires locaux est complètement nouveau pour la science. Avec l'appui scientifique historique ou au fil de l'eau apporté par 3 chercheurs spécialistes européens (cités à la rubrique "Remerciements", page 2) qui ont pu aider à la caractérisation et/ou la détermination taxonomique de certaines espèces ou de certains genres de diatomées peu connus ou encore inconnus, **la totalité des 327 inventaires Guyanais** (dont 308 avec un bon couplage chimie) ayant servi à la mise au point de ce nouvel indicateur ont été déterminés-comptés **par un opérateur taxonomique unique** (Dr Anne EULIN-GARRIGUE, actuellement employée par le Bureau d'Etude HYDRECO Guyane).

S'agissant de flores nouvelles et méconnues, cette façon de procéder a eu le grand avantage d'éviter l'inclusion d'un effet-opérateur indésirable dans la réalisation des inventaires, d'améliorer l'homogénéité des jeux de données résultants et de faciliter ainsi la mise au point d'un outil d'évaluation diatomique d'emblée performant.

Attention : En raison du haut niveau d'endémisme local, il n'existe donc pour l'instant **aucun ouvrage floristique de référence** couvrant l'ensemble des taxons indicels de la méthode IDGF. L'édition d'un guide taxinomique, qui permettra de faciliter le transfert de l'IDGF vers l'ensemble de ses utilisateurs potentiels, est prévue à court/moyen terme. Cet ouvrage contiendra *a minima* un recueil de fiches-taxons présentant une signalétique de chacun des **445 taxons indicels de l'IDGF** et facilitant leur identification à l'aide de supports photographiques adéquats. Leur contenu couvrira également la répartition géographique, les caractéristiques autoécologiques et les valeurs indicelles affectées à ces taxons. Enfin, ce guide inclura une sélection des principaux taxons halins, aidant ainsi à déceler les situations locales soumises à ce type d'influence naturelle périodique.

En vue de garantir une reconnaissance correcte de la plupart des taxons présents dans les cours d'eau de Guyane et déjà reconnus au niveau spécifique, un ouvrage de portée plus large, du type **atlas diatomique**, serait également utile. Il aiderait ainsi à recenser plus exhaustivement la plupart des espèces diatomiques pour l'instant non-indicelles mais susceptibles d'être rencontrées dans les cours d'eau locaux, ainsi qu'à les déterminer de façon adéquate en vue de banqueriser des jeux de données de qualité pour les évolutions futures de l'IDGF (*i.e.* reversionnage / complétion de la liste des taxons indicels).

5.1.4 Caractéristiques et particularités des flores diatomiques Guyanaises

Les inventaires historiques ayant servi à la mise au point de l'IDGF, acquis sur le créneau temporel : 2008 – 2017, contenaient en tout **1 923 entités taxonomiques plus ou moins précises**, incluant notamment 58 abréviations au genre (terminées par *sp*), et même certains taxons au genre encore incertain ou indéterminé. Cependant, la plupart des taxons des inventaires de Guyane ont été déterminés au niveau spécifique, avec parfois quelques doublons historiques de dénomination ayant nécessité un transcodage avant utilisation des données.

Au niveau générique, la flore diatomique des cours d'eau de Guyane est extrêmement diversifiée. A ce stade, on peut y recenser **68 genres connus** (et quelques genres nouveaux restant encore à décrire). En effet, pour mémoire et au stade actuel, 98 espèces de Guyane actuellement sous numéro seront à rattacher à des genres encore inconnus ou indéfinis.

La **Figure 26** illustre les différents genres décrits qu'on y rencontre, la taille figurée pour chaque genre étant fonction de la biodiversité spécifique interne à ce genre en Guyane (*i.e.* le nombre de taxons différents appartenant à ce genre dans le jeu de données complet ayant servi à la création de l'I.D.G.F.).

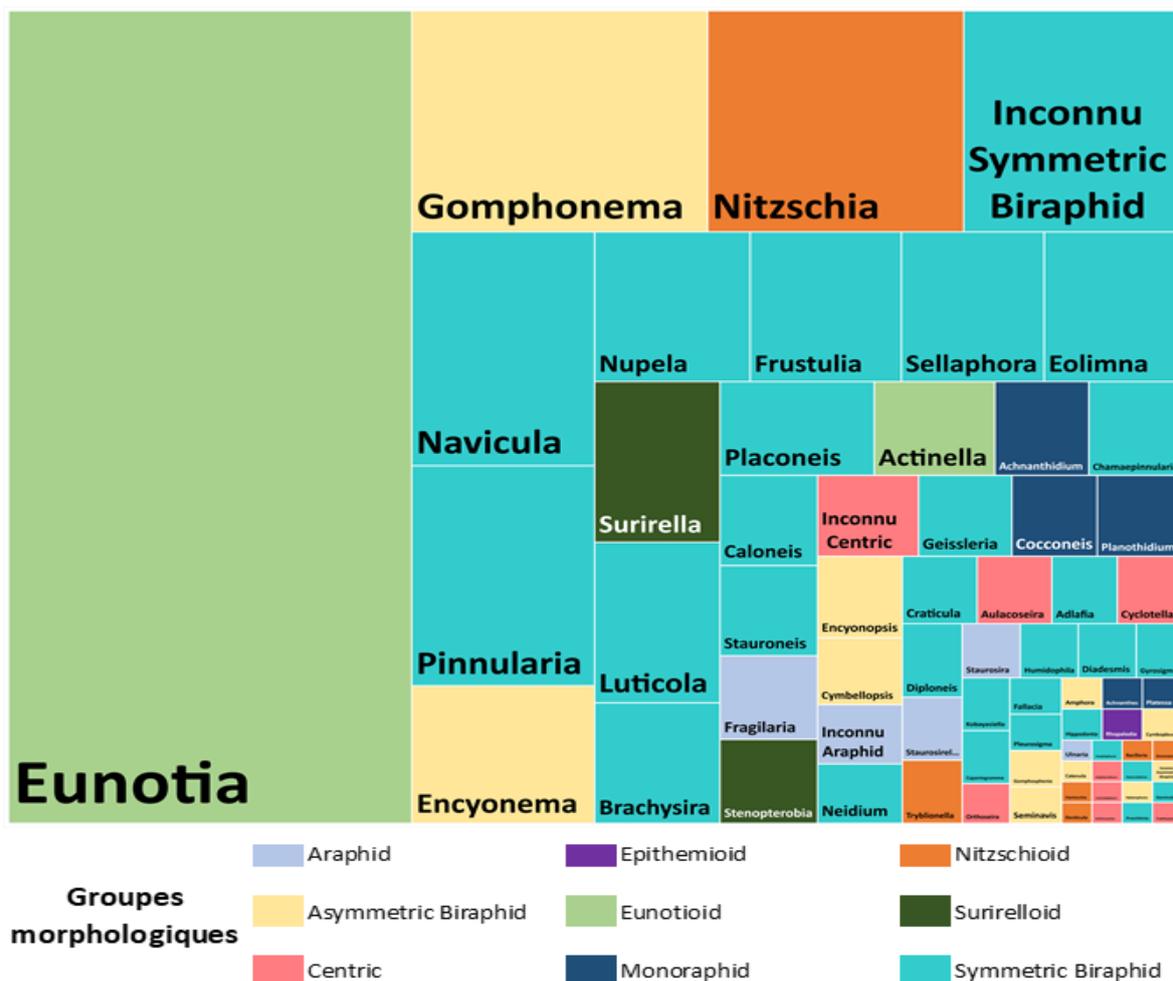


Figure 26 : Richesse taxonomique des diatomées des cours d'eau de Guyane par groupes morphologiques (68 genres connus)

Le genre *Eunotia* (dont beaucoup d'espèces font partie de flores « régionales », voire endémiques du bassin Amazonien) est de loin le genre le plus représenté dans les eaux de Guyane avec plusieurs centaines d'espèces différentes reconnues actuellement, dont une très large majorité sous numéro. La plupart des espèces de ce genre se complaisent dans des eaux à pH plutôt acides et à très faibles conductivités électriques, conditions hydrochimiques naturelles rencontrées à large échelle sur le bouclier précambrien.

A différents endroits de la **Figure 26**, on peut voir l'importance que revêtent encore certaines espèces de Guyane rattachées à des genres indéterminés ; le nombre d'espèces encore mal décrites sur le plan du genre étant à ce jour à peu près du même ordre que celui des espèces rattachées à certains genres bien connus et répandus (ex : *Nitzschia*, *Navicula*, *Pinnularia*).

Au niveau spécifique, il est très probable que la forêt amazonienne constitue encore un réservoir très important de taxons de diatomées inconnus dans le reste du monde, comme cela a déjà été mis en évidence, notamment, par les travaux sur le bassin de l'Amazonie brésilienne (Wetzel, 2011 a, b) et sur la Guyane (Tudesque et al. 2015).

A partir du jeu de données initial, les analyses biomathématiques associées à la mise au point de l'IDGF, qui n'ont pris en compte que les déterminations effectuées **au niveau spécifique**, représentaient déjà, au total et après transcodage, **1 646 espèces différentes** répertoriées.

Cet inventaire reste encore largement incomplet. En effet, la réalisation des campagnes d'échantillonnage récentes (2018 et suivantes) dans les réseaux de surveillance a encore amené chaque année la découverte d'un nombre conséquent de nouvelles espèces, portant actuellement ce total à **1 952 espèces différentes** déjà inventoriées et classifiées sur place, et probablement à plus de 2 500 les espèces ayant actuellement fait l'objet de clichés (dont certaines restent encore à examiner plus précisément et à numéroter).

Ce nombre très important d'espèces trouvées est le signe indéniable que la Guyane possède une richesse spécifique particulièrement forte par rapport à d'autres DOM. Pour mémoire et par comparaison, ce total est au moins 4 fois plus important que celui rencontré dans le programme mené pour la mise au point de l'IDA aux Antilles (Martinique et Guadeloupe réunies), qui couvrait pourtant des milieux très contrastés sur le plan hydrochimique, et 5 fois plus important que dans le programme de mise au point de l'IDR à la Réunion. Comme dans ces autres DOM, la liste des espèces inventoriées en cours d'eau inclut un certain nombre de taxons halins listés en **Annexe 2** (soit ici, **113 taxons halins** trouvés dans des stations de cours d'eau de la bande littorale Nord subissant des influences littorales périodiques), qu'il est important de reconnaître.

Chacune des espèces du total pré-indiqué a été reconnue et dénombrée dans les inventaires au niveau spécifique. La liste Guyanaise comprend :

- **Des espèces déjà décrites et connues par ailleurs**, incluses notamment dans les bibliothèques-taxons du logiciel scientifique OMNIDIA (*Ref. 18 : LECOINTE, C. et al*, 1993) et dans le SEEE, qui sont nommées à l'espèce au moyen d'un code-métier à 4 lettres et de leur nom taxonomique déployé actualisé. Elles sont aussi dotées d'un code SANDRE en vigueur.
- **Beaucoup d'espèces nouvelles pour la science**, identifiées sous un code-métier à 4 caractères indiquant tout d'abord le genre par une ou 2 lettres, lorsqu'il est connu, et affectant ensuite un nom d'espèce sous numéro (1, 2 ou 3 chiffres selon le cas, notamment pour les très nombreuses espèces locales du genre *Eunotia*). Du fait de leur endémisme ou de leur rareté, ces espèces sous numéro ne sont pas encore nommées ni décrites dans la littérature bibliographique mondiale, et ne pourront être définitivement nommées que suite à publication scientifique décrivant leurs caractéristiques spécifiques selon la méthodologie taxonomique en vigueur. Cependant, au stade actuel, elles sont déjà reconnues en tant qu'espèces à partir de leurs critères morphologiques et de clichés qui ont pu être capitalisés au moment de leur observation au microscope optique, voire chaque fois que possible au MEB. Parmi elles, celles qui ont dépassé les seuils de sélection des taxons indiciaires sur les occurrences et/ou abondances ont eu des profils calculés dans le nouvel IDGF et font partie de ses listes indiciaires. Bien qu'elles ne soient pas encore nommées dans la littérature mondiale, elles participent pleinement au calcul de l'IDGF et à l'évaluation d'état écologique des cours d'eau telle que requise dans la DCE.

La liste actuelle des **445 espèces diatomiques indiciaires de l'IDGF** ne comporte que 146 espèces vraies déjà connues et codées SANDRE (soit seulement 33 % des espèces indiciaires), pour 299 espèces reconnues et comptées en tant que telles, mais encore sous numéro (soit près de 67 % des espèces indiciaires).

Attention : Il est tout particulièrement important de reconnaître et de bien dénombrer les Taxons d'Alerte vis-à-vis des différents gradients d'altération représentés en Guyane (cf. **Tableau 3** page 28), car ce sont eux qui sont spécifiquement porteurs des messages de réponse diatomique aux pressions anthropiques et qui contribuent à faire baisser la note d'IDGF. Ne pas les identifier correctement conduirait à biaiser de manière significative la note indiciaire en sous-évaluant le degré d'altération de la station.

5.2 La bancarisation des résultats

5.2.1 L'encodage des taxons

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

Le codage des taxons utilisé à ce jour correspond :

- Soit à des **codes-métiers spécifiques à 4 lettres** correspondant à des espèces déjà décrites et nommées, qui préexistaient dans les bibliothèques-taxons du logiciel OMNIDIA / Version 6 (Lecoite et al. 2016). Ces taxons nommés dans la littérature scientifique mondiale font l'objet d'une codification SANDRE en vigueur.

- Soit à des **codes-métiers à 4 caractères combinant 1, 2 ou 3 lettres et 1, 2 ou 3 chiffres** (nouvelles espèces sous numéro, et parfois même nouvelle espèce d'un genre sous numéro). Ces nouveaux codes-métiers comportant des numéros ont dû être nouvellement créés à chaque découverte de nouveau taxon diatomique encore inconnu de la science, dans les échantillons collectés lors des campagnes annuelles de prélèvements dans le cadre des différents réseaux de Guyane.

Une version-client unique du logiciel OMNIDIA (*Ref. 18*) a été historiquement alimentée et progressivement enrichie par les Bureaux d'Etude ASCONIT (jusqu'en 2017), puis HYDRECO (depuis 2018) pour le codage, la gestion et le stockage des résultats des inventaires diatomiques locaux. Ses bibliothèques-taxons ont été régulièrement complétées en fonction des besoins spécifiques rencontrés en Guyane (notamment, création de nouveaux codes-métier à 4 caractères, incluant 1 ou 2 lettres pour le genre et 2 à 3 chiffres pour l'espèce) à chaque découverte d'une espèce *a priori* nouvelle pour la science.

Depuis 2018 et afin de sécuriser le dispositif collectif, ces bibliothèques-taxons uniques ont été reprises dans un script de calcul de l'IDGF sous R mis au point par Irstea/INRAE et librement accessible aux usagers, qui a été récemment actualisé sur le plan des bibliothèques-taxons.

Ce script a servi de base pour la création d'un module de calcul de l'IDGF librement accessible sur le site du SEEE depuis 2022, qui a été reversionné au 1^{er} trimestre 2024. Enfin, toutes les informations utiles ont été transmises à l'Office de l'Eau de Guyane pour archivage historique ré-harmonisé des inventaires diatomiques guyanais et des calculs indiciaires d'IDGF dans le cadre d'organisation national du dispositif données (SIE).

La liste des taxons indiciaires et de leurs codes est fournie en **Annexe 1** page 71.

Au stade actuel, la bancarisation nationale, ainsi que l'utilisation des inventaires diatomiques Guyanais par le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE), pour le calcul d'état écologique et le rapportage européen dans le cadre de la DCE, se font à partir de **codes-métiers à 4 caractères du type "Codes OMNIDIA"**.

Les taxons au nom déjà connu de la littérature taxonomique mondiale ont déjà été codés SANDRE. Du fait de l'incertitude actuelle sur leur dénomination taxonomique, il est envisagé à l'avenir de doter les **taxons actuellement sous numéro** de Guyane de **codes SANDRE provisoires**.

5.2.2 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 de type Excel®, ou de type base de données (ex : Access®) si le nombre d'inventaires et d'espèces devient trop conséquent, peuvent convenir pour 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.hub.inrae.fr/telecharger/phytobenthos-methodes-metropole-et-dom>

Depuis 2024, le calcul de l'IDGF est réalisé à l'aide d'un module de calcul de l'IDGF intégré au système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE), qui constitue l'outil de calcul de référence et qui est accessible au lien suivant : <https://see.eaufrance.fr/>.

Les renseignements liés à la nature, au format et à l'organisation des données d'entrée sont à consulter sur ce même site officiel.

Type d'Indicateur :

- Outils d'Evaluation

Données d'entrée :

Veillez sélectionner un indicateur

- IDGF

Version d'indicateur

- 1.0.0

Sélectionner un fichier

- Cette commande ouvre l'explorateur Windows de votre PC pour aller chercher un fichier d'inventaires diatomiques de Guyane dont les notes indicielles sont à calculer.

Documentation :

Une notice pdf relative au format de présentation des données d'entrée en vue du calcul d'IDGF, ainsi que de la présentation des données de sortie, est disponible à la rubrique « Documentation » relative à l'IDGF et est téléchargeable au lien suivant :

https://seee.eaufrance.fr/algos/IDGF/Documentation/IDGF_v1.0.0_Format_echange.pdf

Cette notice contient des informations importantes à consulter au préalable :

- 1) Le **format de présentation des données d'entrée**. Il est très important de respecter précisément les consignes et la syntaxe précise des données d'entrée pour que le module de calcul soit en mesure de réaliser le(s) calcul(s) d'IDGF.

Le fichier d'entrée nécessaire au calcul de l'indicateur IDGF par SEEE doit être au format texte séparé par des tabulations et construit comme cet exemple:

CODE_OPERATION	CODE_STATION	DATE	CODE_TAXON	RESULTAT	HER
792	792	21/02/2022	ADCT	118	2
792	792	21/02/2022	ZZZZ	3	2
792	792	21/02/2022	ADM2	24	2
792	792	21/02/2022	ADMA	15	2
792	792	21/02/2022	CA07	1	2
792	792	21/02/2022	CADH	1	2

Il doit, à minima, comporter ces 6 champs complétés comme suit:

Nom de l'entête	Descriptif du champ
CODE_OPERATION	Code de l'opération de contrôle désignée. Le champ est obligatoire et de type alphanumérique.
CODE_STATION	Code de la station associée à l'opération. Le champ est facultatif.
DATE	Date à laquelle l'opération a été effectuée. Le champ est facultatif.
CODE_TAXON	Code sandre du taxon identifié. Le champ est obligatoire et de type entier numérique positif.
ABONDANCE	L'abondance. Le champ est obligatoire et de type entier numérique positif.
HER	Le HER. Le champ est obligatoire et de type entier positif, soit 1 soit 2.

NB: L'ordre des colonnes n'a pas d'importance. Les champs facultatifs peuvent rester vides ou être complétés par un type de données quelconque.

! Peu importe que le champ soit obligatoire ou facultatif, le nom des 6 entêtes doit être respecté.

! Ne pas introduire d'espace dans les cellules des champs obligatoires (hors code opération).

□ 2) Un mode de présentation "par défaut" des données de sortie :

Le fichier de sortie par défaut du calcul de l'indicateur IDGF par SSEE est construit comme cet exemple:

IDGF	v1.0.0	2022-04-27	Temps d'exécution :	0.53secs		
CODE_OPERATION	CODE_STATION	DATE	CODE_PAR	LIB_PAR	RESULTAT	COMMENTAIRES
792	792	21/02/2022	10	IDGF	1	Fiabilité : satisfaisante
792	792	21/02/2022	11	NumClasse	1	Classe:Tres bon

Il comporte les 7 champs suivants complétés comme suit:

Nom de l'entête	Descriptif du champ (correspondance Sandre)
CODE_OPERATION	Code de l'opération de contrôle renseigné. Ce champ est repris du fichier d'entrée. (<RefOperationPrelBio>)
CODE_STATION	Code de la station associée à l'opération. Ce champ est repris du fichier d'entrée. (<CdStationMesureEauxSurface>)
DATE	Date à laquelle l'opération a été effectuée. Ce champ est repris du fichier d'entrée. (<DateDebutOperationPrelBio >)
CODE_PAR	Code sandre du paramètre de sortie. (<CdParametre>)
LIB_PAR	Libellé du paramètre de sortie. (<NomParametre>)
RESULTAT	Valeur du paramètre de sortie. (<ResIndiceResultatBiologique>)
COMMENTAIRES	Information sur les taxons non contributifs (liste taxonomique et proportion du prélèvement). (<ComResultatBiologique>)

□ 3) Un mode de présentation "optionnel" des données de sortie :

Le fichier de sortie optionnel du calcul de l'indicateur IDGF par SSEE est construit de la manière suivante:

IDGF	v1.0.0	2022-04-27	Temps d'exécution :	0.53secs	
CODE_OPERATION	CODE_STATION	DATE	CODE_PAR	LIB_PAR	RESULTAT
792	792	21/02/2022	1	%_indiciels	100
792	792	21/02/2022	2	%_halins	0
792	792	21/02/2022	3	MES	1
792	792	21/02/2022	4	MINE	1
792	792	21/02/2022	5	Mat_Orga	1
792	792	21/02/2022	6	NO3	1
792	792	21/02/2022	7	N_Orga	1
792	792	21/02/2022	8	P_Trophie	1
792	792	21/02/2022	9	SAT_O2	1

Il comporte les 6 champs suivants complétés comme suit:

Nom de l'entête	Descriptif du champ (correspondance Sandre)
CODE_OPERATION	Code de l'opération de contrôle renseigné. Ce champ est repris du fichier d'entrée.(<RefOperationPrelBio>)
CODE_STATION	Code de la station associée à l'opération. Ce champ est repris du fichier d'entrée.<CdStationMesureEauxSurface>
DATE	Date à laquelle l'opération a été effectuée. Ce champ est repris du fichier d'entrée.(<DateDebutOperationPrelBio >)
CODE_PAR	Code sandre du paramètre de sortie.(en cours)
LIB_PAR	Libellé du paramètre de sortie. (en cours)
RESULTAT	Valeur du paramètre de sortie (<ResIndiceResultatBiologique>)

Pour chaque type de présentation des sorties (qu'elle soit "par défaut", ou "optionnelle"), la première ligne du tableau de sortie comporte les informations suivantes :

- Indicateur, version,
- Date d'exécution du calcul, temps d'exécution du calcul.

Le tableau de résultats produit par le module de calcul de l'IDGF vient s'insérer en-dessous.

6 LE CALCUL DE L'IDGF ET DE L'ETAT ECOLOGIQUE DES COURS D'EAU EN GUYANE

6.1 Processus de calcul de l'IDGF (rappel)

Les différentes phases de construction du calcul de l'IDGF (phases A à D) et les formules ou algorithmes de calcul successivement employés à chacune de ces phases sont présentés en détail au Sous-Chapitre 2.2.4 du présent guide. Elles sont prises en charge successivement par le module de calcul du SEEE selon le workflow décrit à ce sous-chapitre.

6.2 Zonage naturel retenu pour l'évaluation

Le zonage naturel des cours d'eau servant de trame à l'évaluation DCE (*i.e.* par écart avec le niveau de référence adéquat pour chaque type naturel de cours d'eau de Guyane) est présenté en **Figure 5** page 18 et au **Tableau 2** page 19. La pertinence de ce zonage naturel abiotique, proposé de longue date par Chandesris *et al* (2005), a de nouveau été vérifiée sur les flores diatomiques par 3 approches comparées de biotypologie (pages 22 et 23 du présent guide, les résultats de la démarche de biotypologie associant NMDS et Kmeans étant présentés en **Figure 8** à titre d'illustration de la structure plurispécifique des communautés).

Outre la zonation géographique des flores naturelles, ce dispositif envisage aussi spécifiquement le cas des grands hydrosystèmes Guyanais venant juste traverser la zone littorale Nord. Certains grands (GCE) et très grands (TGCE) cours d'eau amazoniens exogènes (Maroni, Mana, Sinnamary, Approuague, Oyapock), à l'hydrochimie et aux flores très influencées par le massif Amazonien dont ils sont issus, ne font que traverser la Zone Littorale Nord sans que leur biotypologie naturelle n'ait le temps d'être sensiblement modifiée par ce passage dans une zone naturelle à hydrochimie différente (eaux plus acides et à conductivité électrique plus faible). Même sur les stations appartenant géographiquement à la zone littorale Nord, les grands cours d'eau traversants pré-listés restent donc à évaluer par rapport au niveau de référence de la zone Amazonienne.

6.3 Dispositif d'évaluation d'état écologique au relevé diatomique

En fonction de l'analyse biotypologique des flores diatomiques naturelles, rappelée ci-dessus, les grilles à utiliser pour l'évaluation de l'état écologique par HER et/ou selon les types de cours d'eau de Guyane sont récapitulées dans le **Tableau 4** page 32.

Le module de calcul de l'IDGF du SEEE est programmé pour donner directement les résultats d'évaluation de l'état diatomique des cours d'eau de Guyane au relevé en fonction de l'ensemble naturel considéré (évaluation annuelle d'emblée DCE-compatible). Ces résultats viennent sous-tendre le rapportage européen d'état écologique, après la réalisation de l'intégration temporelle prévue dans le guide national REEE).

6.4 Dispositif complémentaire d'appui au diagnostic d'altération

Un outil de diagnostic utilisant exactement les mêmes métriques de réponse diatomique que pour l'évaluation d'état, qui sont ici mobilisées pour construire des diagrammes-radars (cf. **Figure 16** page 33), permet de repérer quels paramètres les plus fortement impactés par des perturbations d'origine anthropique seraient à restaurer en priorité pour améliorer l'état écologique du site, en pleine cohérence avec l'évaluation d'état réalisée. Cet outil de diagnostic complémentaire a lui aussi été intégré au module de calcul de l'état diatomique à partir de l'IDGF. Ses résultats sont produits sous forme de fichiers pdf.

7 NIVEAU DE CONFIANCE ET D'INCERTITUDE

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

De nombreux facteurs environnementaux peuvent influencer la composition du peuplement diatomique, ayant conduit un peu partout dans le monde à considérer ce maillon comme un bio-indicateur pertinent vis-à-vis de la qualité de l'eau. Cependant, il faut garder en tête que toute **perturbation à caractère exceptionnel**, non-représentative des conditions environnementales habituelles à la station, peut influencer sur la composition du peuplement diatomique et fausser l'interprétation de la qualité du milieu qu'on en déduira. Malgré tout, les communautés diatomiques vont intégrer les conditions de milieu des 2 à 3 mois précédant le prélèvement, ce qui permet le plus souvent de lisser les impacts d'événements exceptionnels qui auraient pu passer inaperçus.

Dans les conditions spécifiques de la Guyane il convient cependant de manifester une attention particulière vis-à-vis de certains événements pouvant entraîner des biais :

- Les variations brutales de niveau d'eau sont rapides et fréquentes. Aussi, il n'est pas toujours aisé de repérer les substrats restés assurément immergés au cours des 2 mois précédents ;
- Des crues fugaces peuvent survenir sur des cours d'eau démunis de données de surveillance des crues. Il peut donc être difficile de vérifier le respect d'au moins 15 jours après le passage d'une onde de crue, comme recommandé dans la Norme AFNOR 90-T-354. Veiller à prélever des substrats stables (visiblement non-déplacés et/ou non retournés) permet d'atténuer les effets d'un éventuel épisode hydrologique ;
- Du fait de l'oligotrophie du milieu, de la présence d'une ripisylve dense qui atténue la pénétration lumineuse sur le cours d'eau, de la force du courant, de crues régulières et de l'intervention d'organismes brouteurs qui peuvent contribuer à son abrasion, la biomasse du biofilm est souvent assez faible en Guyane. L'influence de ces paramètres sur la biomasse, la composition spécifique du peuplement diatomique et par conséquent, sur le calcul de l'IDGF n'a cependant pas été spécifiquement étudiée ;
- Comme les opérations de détermination-comptage se basent sur l'observation de frustules pré-digérés, il est difficile de savoir si les valves de diatomées observées/comptées étaient initialement vivantes ou mortes. C'est pourquoi les conditions normatives de réalisation des prélèvements (*i.e.* sur la face supérieure de substrats lotiques), qui évitent les conditions de sédimentation excessive, visent à privilégier la probabilité de présence de diatomées vivantes en multiplication active sur les substrats échantillonnés. Il reste cependant possible que certaines pollutions toxiques ayant entraîné la mort de cellules puissent passer inaperçues tant que les cellules mortes restent présentes et amalgamées dans le biofilm.

7.2 Les incertitudes liées à la conception de l'IDGF

Les analyses statistiques ayant conduit à l'élaboration de l'IDGF reposant sur les données de **327 relevés diatomiques** acquis entre 2008 et 2017 (dont seulement **308** ont pu être correctement **couplés à des référentiels abiotiques**), une part des incertitudes liées à l'utilisation de cet indice peut être attribuée au **volume limité** du jeu de données initial disponible. En effet, pour raisons climatiques et hydrologiques (et seulement une année sur 2 sur les stations de référence), les diatomées de Guyane ne sont échantillonnées que sur une seule campagne annuelle en grande saison sèche (Octobre-Novembre). Aussi, le recul acquis sur les flores et leurs préférences autoécologiques est encore limité, surtout dans le contexte d'une biodiversité locale foisonnante (1 832 entités taxonomiques différentes inventoriées à la fin de l'étude IDGF, ce score progressant encore rapidement à chaque nouvelle campagne). L'IDGF a bien sûr été élaboré à partir des 445 espèces les plus rencontrées. Il reste cependant évident que la robustesse de cet outil indicial résulte de l'assise quantitative du jeu de données utilisé, du recul historique acquis et du degré de couverture biogéographique du territoire sur lequel il a vocation à être appliqué.

Du fait des contraintes logistiques de terrain (durée des missions, chaîne de froid...), ainsi que de la variabilité des méthodes analytiques et des limites de quantification des différents laboratoires qui ont fourni ces données, les valeurs des **paramètres physico-chimiques** couplés aux relevés diatomiques comportent une dose d'incertitude et peuvent induire du flou dans la relation pression-impact. En outre, le couplage des données de chimie avec un inventaire diatomique était basé sur un seul prélèvement ponctuel d'eau fait à la date du prélèvement biologique, avec le déficit de représentativité temporelle que cette stratégie implique. A la condition que les prélèvements soient bien réalisés hors épisode de grosse perturbation physique, cette faiblesse exerce probablement un impact assez limité sur sites de référence, aux conditions hydrochimiques relativement stables.

Par contre, le défaut de représentativité temporelle est certainement plus important sur des sites subissant des impacts anthropiques, qui peuvent varier en nature et en intensité selon le moment du prélèvement, le niveau d'activité humaine, les conditions hydrologiques...

Enfin, au niveau des espèces diatomiques constitutives de l'IDGF, seulement 33 % des taxons utilisés pour le calcul indiciel sont des espèces déjà nommées et reconnues par ailleurs (et seulement 14 % de toutes les espèces inventoriées en Guyane). En raison du haut niveau d'endémisme local, 67% des taxons indiciels présentent des différences avec les taxons déjà connus dans la littérature et une bonne partie est probablement inconnue de la science jusqu'à présent. De tels taxons ont donc été identifiés et dénombrés sous numéro. S'agissant d'espèces antérieurement non décrites et non-illustrées dans la littérature existante, en l'attente de la production de guide taxonomique ou d'atlas des flores locales, les incertitudes de détermination peuvent s'en trouver majorées.

7.3 Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDGF

Chaque étape dans la mise en œuvre de la méthode peut entraîner des incertitudes, depuis l'opération de prélèvement sur le terrain jusqu'au calcul de l'IDGF et de l'Etat Ecologique, en passant par les phases de préparation des lames et de comptage des échantillons. Le **Tableau 7** résume leurs origines et les moyens de les minimiser.

Tableau 7 : Incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDGF pour l'évaluation de l'état écologique.

Prélèvement des échantillons	
Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
Forte dérive amont/aval (drift)	Choix du faciès lotique
Régime turbulent, fréquence des crues	Choix des substrats les plus stables possibles
Forte variation des niveaux d'eau / marnage	Choix des substrats dans la veine centrale des cours d'eau ou pose de substrats artificiels
Faible biomasse algale	Augmentation de l'effort d'échantillonnage
Restrictions d'application de l'I.D.F.G. (stations sous influence thermique, marine...)	Bonne connaissance du terrain
Traitement des échantillons	
Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
Difficultés de traitement de l'échantillon	Respect du protocole IBD modifié
Détermination	
Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
Erreur de détermination, en particulier des espèces non décrites	Effort de diagnose en particulier concernant les taxons indiciels
Calcul de l'I.D.G.F. basé sur l'abondance relative des taxons indiciels	Effort de comptage porté de 500 à 700 unités diatomiques
Calcul de l'I.D.G.F.	
Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
Mode de calcul de l'I.D.G.F. et de bancarisation des données totalement différent de celui de l'IBD	Utilisation du module de calcul de l'I.D.G.F. intégré au SEEE
Interprétation des notes d'I.D.G.F. et qualification de l'état écologique	
Source de l'incertitude	Mesure à mettre en œuvre
Grille d'interprétation par HER, sauf pour TGCE exogènes de la Zone Littorale Nord	Respect de la grille d'interprétation fournie (TGCE toujours à évaluer selon HER 52)
Plusieurs systèmes de coordonnées géographiques et de références en Guyane	Système géodésique : WGS84 ; système de projection : UTM zone 22N

7.4 Les incertitudes liées à une assise indicielle trop faible des espèces du relevé

Afin de tirer le meilleur parti de l'assise et des limites connues des jeux de données disponibles, divers choix méthodologiques raisonnés ont été effectués dans l'optique de garantir à l'IDGF des performances d'évaluation à la fois robustes, sensibles et fiables.

Cependant, il faut garder en tête que cette nouvelle méthode a été mise au point dans un **contexte naturel et biogéographique encore fortement méconnu**, et à partir d'une **assise-données restant modeste**, tant sur le plan de l'assise temporelle des chroniques mobilisées (créneau temporel : de 2008 à 2017, avec une seule campagne de prélèvements par an) que du nombre encore modéré de relevés présentant les qualités suffisantes pour être finalement utilisables (308). Le recul historique acquis au stade de ce programme, dans un bassin couvert de façon peu densifiée par des sites de réseaux et fortement concerné par le phénomène d'endémisme, est encore trop limité pour espérer cerner **la liste complète** des taxons diatomiques susceptibles d'être rencontrés de façon non-anecdotique dans les relevés de Guyane, et **potentiellement porteurs d'information intéressante** pour la bio-indication de l'état de ses cours d'eau.

Aussi, dans quelques cas particuliers détaillés ci-dessous, il peut encore arriver que le calcul d'IDGF au relevé et que le calcul d'état écologique correspondant soient entachés d'un problème d'**assise indicielle un peu faible, voire insuffisante**, susceptible d'**altérer la fiabilité des résultats** :

- **Sites peu biogènes** (cas fréquent dans certains cours d'eau de Guyane à statut ultra-oligotrophe, dont le chenal peut de plus subir l'ombrage du corridor forestier), ou **sites turbides** aux conditions plutôt défavorables à la vie des biofilms phototrophes, ou **sites soumis à un important broutage des biofilms** par des invertébrés ou les poissons. Quelle qu'en ait été la raison, l'obtention d'une **trop faible quantité** ou d'une **trop faible proportion de matériel biologique** dans l'échantillon collecté sur le terrain peut rendre difficile l'atteinte de l'effectif cible de comptage. Même après préparation-comptage de deux lames différentes, qui constitue la limite haute de la pratique cadrée par la norme NF T 90 – 354 (*Ref. 9 : Afnor 2016*), il est possible de ne pas pouvoir atteindre l'**effectif maximum à compter en taxons totaux** (fixé pour la Guyane à **700 valves**) et par contre-coup, l'**effectif-cible de 500 UTI comptées**.
- **Sites contenant beaucoup de taxons actuellement non-indiciels de l'IDGF**. Dans ce cas, l'atteinte de la pression maximale de comptage de 700 valves diatomiques, toutes espèces confondues, n'est pas problématique mais trop d'espèces trouvées dans l'inventaire ne font pas encore partie des 445 espèces indicielles de l'IDGF, empêchant l'atteinte de l'**effectif-cible de 500 UTI observées**. Il peut s'agir : **1) d'espèces recensées dans la liste des 1 648 taxons** déjà inventoriés au niveau spécifique en Guyane, mais dont la rareté a empêché l'établissement d'un profil indiciel fiable dans la 1^{ère} version d'IDGF ; ou **2) d'espèces encore jamais inventoriées jusqu'à présent**. Il pourrait dans ce cas s'agir : soit de l'**introduction** d'une **espèce réellement nouvelle** sur ce territoire ; soit, de façon plus probable dans ces contextes isolés et résilients, de l'observation de **taxons méconnus** faisant déjà partie du patrimoine biogéographique de la Guyane, mais que l'effort d'échantillonnage et/ou le type de séquence bioclimatique n'avait pas encore permis de révéler jusqu'alors. Certains de ces taxons pourront devenir indiciels lors d'un futur re-versionnage, sous condition qu'ils dépassent les seuils quantitatifs de sélection sur l'occurrence et l'abondance relative.
- **Sites subissant des influences halines littorales périodiques**. Les zones les plus peuplées et les plus soumises à des pressions anthropiques de Guyane, où l'on rencontre notamment les plus fortes pollutions péri-urbaines et industrielles, se situent sur la plaine littorale Nord, région naturelle de très faible altitude. Or selon la saison, les régimes hydrologiques et les coefficients de marées, des influences halines occasionnelles peuvent s'exercer à l'intérieur des terres voire plus exceptionnellement, lors de la conjonction d'étiages sévères et de forts coefficients de marées, se rapprocher du secteur des premiers sauts. L'entrée d'eaux halines amène mécaniquement son lot de taxons d'origine marine dont la liste n'a pas grand-chose à voir avec le statut de naturalité ou de pollution du cours d'eau. 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 tronçon de cours d'eau avant cette intrusion de taxons halins.

Les trois types de situations pré-décrits, seuls ou en cumul, sont susceptibles de provoquer un **affaiblissement de l'assise indicielle et de la représentativité** de bon nombre de calculs indiciels en Guyane.

Afin d'arriver à des calculs d'IDGF robustes dans la plupart des situations rencontrées localement, il a été décidé de caler l'effectif-cible de comptage sur **l'atteinte chaque fois que possible de l'effectif de 500 UTI** (= unités indicielles qui contribuent effectivement au calcul de l'IDGF) plutôt que sur le nombre total de valves déterminées/comptées, toutes espèces confondues.

En effet, le recul limité de connaissance sur beaucoup d'espèces rares ou encore à découvrir de Guyane, la plupart endémiques et caractéristiques de milieux forestiers ultra-oligotrophes, diminue mécaniquement l'assise indicielle sans que ce volant d'espèces encore méconnues n'apporte d'information utile renseignant, à ce stade, sur l'état écologique de la station et notamment, sur le degré d'impact anthropique subi.

D'autre part, l'expérience antérieurs acquise sur plusieurs DOM-COM montre que la quasi-totalité des taxons indicateurs de pressions anthropiques sont déjà connus et décrits sur d'autres zones géographiques, voire ont une répartition cosmopolite calquée sur les implantations humaines et les pollutions qui les accompagnent. En vue d'atteindre chaque fois que possible l'effectif-cible d'UTI précité, il faut augmenter lorsque nécessaire le nombre total de valves comptées, jusqu'à concurrence des plafonds indiqués au **Tableau 8**, en fonction du type de situation spéciale concerné. Les règles indiquées dans ce tableau permettent de traiter toutes les situations de Guyane selon un référentiel d'interprétation unique, qui va assortir au calcul d'indice un niveau de réserve croissant sur la validité du résultat en fonction de la perte d'assise indicielle du calcul d'IDGF réalisé :

Tableau 8: Seuils de fiabilité du calcul d'IDGF en fonction de l'assise indicielle du relevé diatomique

○ **Dénombrement d'unités taxonomiques indicielles ≥ 425 UTI / 500 UTI :**

Comptages atteignant ou approchant l'effectif-cible de 500 valves de taxons indiciels de l'IDGF :
1) que le relevé ait été déterminé un peu en dessous de l'effectif-cible **après examen complet de 2 lames permanentes** ; ou 2) après atteinte de la pression maximale de comptage de **700 valves en conditions d'eau douce ou en situations sous influence haline occasionnelle**, toutes espèces confondues :

↳ Pas de message particulier d'alerte sur la représentativité du calcul d'IDGF



○ **Dénombrement compris entre 350 et 424 UTI / 500 UTI :**

(Dans les mêmes limites de pression de comptage maximum que ci-dessus)

↳ **Assise en taxons indiciels un peu faible** ⇒ message de fiabilité réduite du calcul d'IDGF



○ **Dénombrement inférieur à 350 UTI / 500 UTI :**

(Dans les mêmes limites de pression de comptage maximum que ci-dessus)

↳ **Assise en taxons indiciels trop faible** ⇒ message de calcul IDGF non-valide



Avec la version actuelle d'IDGF, en fonction des stations et de leurs caractéristiques de flore ou d'influence haline occasionnelle, la pression totale de comptage nécessaire pour atteindre l'**objectif-cible de 500 UTI** dans la plupart des situations de Guyane nécessite donc un **effort d'observation – détermination variable et un peu plus important que dans les autres DOM** (dans la limite d'un plafond de 700 valves au maximum ou, selon le cas, de l'observation complète de 2 lames permanentes au maximum).

8 PISTES EN VUE DU MAINTIEN/DE L'AMELIORATION DE L'IDGF POUR L'AVENIR

8.1 Principe d'une actualisation périodique, aspects méthodologiques liés

Le maintien des performances dans le temps de toute méthode de bio-indication de communautés multisécifiques est en partie conditionné par l'**adaptation-actualisation** au fil du temps des **listes et des profils indiciels** en fonction du recul que l'on a pu acquérir sur les assemblages présents sur le territoire d'application, ainsi que de l'**évolution spatio-temporelle des cortèges rencontrés** (incluant l'introduction et la diffusion de nouvelles espèces...). Aussi, un principe d'actualisation périodique est nécessaire pour intégrer au fur et à mesure, avec l'augmentation des jeux de données locaux capitalisés, les nouveaux acquis de connaissance concernant des taxons locaux et de leurs messages écologiques, en vue d'éviter le décalage biogéographique progressif, puis la désuétude du bio-indicateur concerné.

Ce principe d'actualisation est d'autant plus important en cas de méthode jeune développée sur des zones d'application encore dotées d'un faible recul-données comme la Guyane, où on continuera probablement de capitaliser une quantité importante d'informations nouvelles sur les assemblages présents, leur biogéographie et leur signification écologique pendant une, voire deux décennies.

A noter : L'IDGF est une méthode indicielle de conception **encore très récente** (élaboration à la jonction 2018-2019) dont la mise au point s'est appuyée sur un **recul temporel limité** associé aux jeux de données collectés en Guyane sur une dizaine d'années (de 2008 à 2017) et une seule campagne de prélèvements par an. De fait, chaque nouvelle campagne d'acquisition de relevés diatomiques depuis 2018 continue de révéler l'accroissement significatif de l'abondance cumulée d'espèces déjà connues mais qui, lors de la création de l'IDGF, n'étaient pas encore assez fréquentes/abondantes pour figurer dans les listes indicielles actuelles. Il s'y rajoute un nombre assez conséquent d'espèces nouvelles ou jamais trouvées auparavant.

Cette partie non-indicelle des assemblages observés peut contribuer à l'**affaiblissement de la fiabilité** du calcul indiciel réalisé. C'est pourquoi les règles du **Tableau 8**, qui permettent de statuer sur la fiabilité des résultats d'IDGF en fonction de l'assise de son calcul indiciel, ont fixé la **pression d'observation-cible** sur l'atteinte de l'**effectif de 500 UTI** plutôt que sur le nombre total de valves observées, toutes espèces confondues. Si l'effectif-cible d'UTI n'est pas atteint dans le cadre de la pression maximum d'observation définie, le calcul indiciel pourra avoir une fiabilité dégradée, voire être déclaré invalide en fonction du nombre d'unités indicielles comptées et des seuils fixés.

↳ Dans ce contexte biogéographique dont la connaissance reste encore fortement évolutive, en vue de maintenir le niveau de performance actuel de l'IDGF, il est important de planifier un **principe périodique d'actualisation** en fonction de l'augmentation des jeux de données disponibles, par exemple en vue du début de chaque nouveau Plan de Gestion (soit tous les 6 ans), permettant de **compléter-adapter ses listes et valences indicielles** en tirant parti de l'augmentation de la connaissance acquise. Vu qu'il est important de conserver le même thermomètre afin de préserver une évaluation stable sur la grande majorité des stations, il vaudra mieux réaliser ces actualisations *a minima*, en se limitant à :

- L'ajout de **nouveaux taxons indiciels**, qui permettront d'améliorer l'assise biogéographique de l'IDGF sur les relevés **avec assise indicelle insuffisante**,
- Une **optimisation modérée de l'assignation indicelle** pour les quelques taxons dont le positionnement aurait manifestement été remis en cause par l'augmentation de la connaissance acquise.

ATTENTION : La capitalisation de connaissance en vue d'un re-versionnage futur de l'IDGF est conditionnée par l'acquisition de référentiels diatomiques de bonne qualité, y compris sur la partie actuellement non-indicelle des assemblages.

↳ Toutes les valves présentes dans l'assemblage devront être déterminées à l'espèce jusqu'à concurrence du plafond de pression d'observation prévu (**Tableau 8**), y compris pour les espèces actuellement non-indicielles de l'IDGF :

- Espèces ayant déjà été répertoriées en Guyane mais en quantité insuffisante pour les inclure à l'indice (cf. **Table 3** de l'outil de calcul IDGF du SEEE) ;
- Espèces nouvelles ou jamais observées antérieurement en Guyane (auquel cas le comptage impliquera un codage spécifique préalable et la capture d'iconographies suffisantes pour la reconnaissance du taxon). A l'occasion d'un futur reversionnage de l'IDGF, la matière recueillie via ces nouveaux inventaires sera utilisée pour la complétion de l'indice, en permettant l'ajout de nouvelles espèces dotées de nouveaux profils indiciels.

Nota : L'ampleur des réactualisations devrait rapidement se réduire au fur et à mesure des cycles de gestion, du fait de l'augmentation du recul biogéographique acquis sur la zone et de la stabilisation progressive des listes floristiques trouvées dans les nouveaux inventaires.

8.2 Problématique des zones sous influence haline occasionnelle

Comme signalé au début de ce guide, les plus fortes pollutions péri-urbaines et industrielles rencontrées en Guyane se situent **au niveau de l'HER 51 "Plaine littorale Nord"**, région naturelle située à proximité du littoral et de très faible altitude, où les linéaires aval de cours d'eau **peuvent être soumis à des entrées halines plus ou moins occasionnelles**. Il y a donc un enjeu environnemental important à tenter d'évaluer judicieusement les impacts provoqués et les altérations de l'Etat Ecologique directement dans le chenal des cours d'eau concernés, avant qu'ils ne soient trop fortement dilués et rejetés en mer.

Il paraît inenvisageable d'espérer mettre au point *de novo* une autre **méthode efficace d'évaluation floristique, notamment micro-algale**, permettant une évaluation homogène sur toute la zone de transition s'échelonnant depuis le milieu d'eau douce jusqu'aux masses d'eau côtières. En effet, les chenaux de ces cours d'eau présentent des **faciès extrêmement différents** (du chenal de cours d'eau en pied de dernier saut à section relativement modeste au petit canal fortement marnant, ou à la très large zone estuarienne) ; des **gradients hydrochimiques très importants** (depuis des eaux complètement douces jusqu'à des eaux fortement salées) ; et enfin, des **cortèges biologiques aux préférences ou contraintes écologiques très différentes** depuis le pied des premiers sauts jusqu'à la zone euryhaline. D'autre part, les entrées halines que ces masses d'eau peuvent subir, originaires du puissant panache de l'Amazone, **augmentent fortement la conductivité électrique et la minéralisation** des eaux douces de ces secteurs lorsque ces entrées ont lieu ; mais aussi, paradoxalement, elles provoquent dans le même temps un **fort effet dilutif des pollutions** originaires de la zone continentale et qui viennent s'exercer dans le chenal des cours d'eau (notamment en ce qui concerne les concentrations en nutriments, en matière organique et en autres apports anthropiques) ; ces dilutions pouvant intervenir de façon rythmée et à une cadence rapprochée (2 fois par jour) sur les secteurs proches du littoral, en phase avec le cycle des marées.

Tant que les influences halines restent très épisodiques et/ou modérées, il est actuellement possible d'évaluer leur état écologique à partir de l'IDGF, dont l'apprentissage a été réalisé en incluant de telles stations.

A noter : Les enjeux liés à un contexte local sous pressions importantes font qu'il est intéressant d'évaluer l'état des cours d'eau du littoral nord de Guyane y compris à l'aval du 1^{er} saut, dans des secteurs qui peuvent subir l'influence d'un marnage provoqué par des marées, et éventuellement aussi d'une influence haline occasionnelle (du moins, tant que les flores d'eau douce restent dominantes). Les modalités de comptage sont précisées dans le **Tableau 6**, et les limites de validité de l'IDGF par rapport à ces situations sous influence haline modérée sont précisées dans le **Tableau 8**.

Les évaluations d'état diatomique du présent Guide concernent en premier lieu les stations du programme de surveillance des cours d'eau, notamment celles du RCS. Mais ces méthodologies opérationnelles peuvent aussi être valides sur une partie des secteurs aval des autres drains importants traversant l'HER 51 "Zone littorale Nord", parfois classés MET et non-rattachés typologiquement à l'HER 51 (par exemple l'Oyapock, l'Approuague et la Comté).

Du fait de leur classement, ces secteurs ne sont pas soumis à rapportage d'état selon les modalités utilisées pour les eaux douces. Il peut néanmoins être intéressant de les soumettre périodiquement à une expertise ou à un diagnostic des impacts anthropiques subis sur un site ou un tronçon donné en s'appuyant sur l'utilisation de l'IDGF (à condition qu'ils soient effectivement exposés à des conditions d'eau douce dominantes).

Attention : Sur de telles stations souvent marnantes et susceptibles de subir des inversions de courant, voire même une influence haline occasionnelle, une adaptation spécifique des pratiques d'échantillonnage-prélèvement est à prendre en compte (ex : pose et exploitation de substrats artificiels), ainsi que l'augmentation de la pression d'observation des échantillons diatomiques visant à atteindre ou à se rapprocher **du comptage effectif de 500 UTI** (valves de taxons d'eau douce indicielles de l'IDGF) dans la limite de 700 valves observées, toutes espèces confondues.

Les **espèces halines** ayant déjà été trouvées dans les secteurs aval des cours d'eau de Guyane sont listées en **Annexe 2**. En cas d'influence haline trop forte à cette station et/ou sur l'épisode, l'observateur constatera rapidement la trop forte présence de taxons halins et l'atteinte du plafond de 700 valves observées ne permettra pas, de toute façon, d'obtenir 500 taxons d'eau douce indiciels de l'IDGF. Dans ce cas de figure trop exposé à l'influence haline, l'IDGF sort complètement de son domaine de validité et son résultat ne sera pas calculable

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1) BIBLIOGRAPHIE DU GUIDE METHODOLOGIQUE

(Références classées par ordre d'apparition dans le texte)

Ref. 1 : 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.

Ref. 2 : WASSON, J.G., CHANDESRIS, A., PELLA, H., BLANC, L. - 2004. Les hydro-écorégions : une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la Directive cadre européenne sur l'eau. Ingénieries Eau-Agriculture-Territoires, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF, 2004, p. 3 - p. 10.

Ref. 3 : CHANDESRIS, A., WASSON, J.-G. & PELLA, H. - 2005. Hydroécorégions de la Guyane. Propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la directive-cadre. Rapport Cemagref / BEA Lyon /LHQ, 10 p. + annexes.

Ref. 4 : MANN, D.G. & DROOP, S.J.M. - 1996. Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, 337, 19-32.

Ref. 5 : CARAYON, D. & DELMAS, F., EULIN-GARRIGUE, A., VIGOUROUX, R. – 2019. Programme 2016-2018 AFB-Irstea / Fiche-Action n° 87 - Evaluation de l'état écologique des cours d'eau de Guyane : Un nouvel indice diatomique pour la Guyane Française (l'IDGF): Rapport final (V₁ du 30-04-2019). 123 p.

Ref. 6 : CARAYON, D., EULIN-GARRIGUE, A., VIGOUROUX, R., DELMAS, F. - 2020. A new multimetric index for the evaluation of water ecological quality of French Guiana streams based on benthic diatoms. *Ecological Indicators*, 113 (2020) 106-248.

Ref. 7 : COSTE, M., BOUTRY, S., TISON ROSEBERY, J., DELMAS, F. - 2009. Improvements of the Biological Index (BDI): description and efficiency of the new version (BDI-2006). *Ecological Indicators*, vol. 9, n° 4, p. 621-650.

Ref. 8 : AFNOR - 2016. AFNOR / T95F : Qualité écologique des milieux aquatiques. Norme NF T 90-354 révisée "Échantillonnage, traitement et analyse de diatomées benthiques en cours d'eau et canaux" (Avril 2016). 111 p.

Ref. 9 : ZELINKA, M., MARVAN, P., 1961. Zur präzisierung der biologischen klassifikation des Reinheit fließender gewässer. *Arch. Hydrobiol.* 57, p. 389–407.

Ref. 10 : BOUTRY, S., GASSIOLE, G., ROSEBERY, J., GIRAUDEL, J.L., PERES, F., COSTE, M., DELMAS, F. - 2013. Mise au point d'un indice diatomique pour les cours d'eau de la Réunion (IDR) : Rapport final sur la démarche d'élaboration de l'indice (Version finale, 05-02-2013). 130 p.

Ref. 11 : GUEGUEN, J., EULIN, A., LEFRANCOIS, E., BOUTRY, S., TISON ROSEBERY, J., COSTE, M., DELMAS, F. - 2015. Production d'une version améliorée de l'Indice Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour l'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles : Rapport Final (Version Finale du 12/03/2015). 185 p.

Ref. 12 : MARQUIE, J., BOUTRY, S., LEFRANCOIS, E., COSTE, M., DELMAS, F. - 2018. Programme de Recherche et d'Étude 2012-2016 « Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie » : Conception d'un nouvel indice de bio-évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir des diatomées benthiques (IDNC). Tome 1 : Rapport final d'élaboration de l'IDNC. 284 p. Tome 2 : Annexes. 130 p.

Ref. 13 : BAKER, M.E., KING, R.S. - 2010. A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds: Threshold Indicator Taxa Analysis (TITAN). *Methods in Ecology and Evolution* 1, 25–37.

Ref. 14 : DUFRENE, M., LEGENDRE, P. - 1997. Species Assemblages and Indicator Species:the Need for a Flexible Asymmetrical Approach. *Ecological Monographs* 67, 345–366.

Ref. 15 : KING, R.S. & RICHARDSON, C.J. – 2003. Integrating bioassessment and ecological risk assessment: an approach to developing numerical water-quality criteria. *Environmental Management*, 31, 795–809.

Ref. 16 : QUIAN, S.S., KING, R.S. & RICHARDSON, C.J. – 2003. Two methods for the detection of environmental thresholds. *Ecological Modelling*, 166, 87–97.

Ref. 17 : DE'ATH, G. – 2002. Multivariate regression trees: a new technique for modeling species-environment relationships. *Ecology*, vol.83, 2002, p. 1105-1117

Ref. 18 : LECOINTE, C., COSTE, M. & PRYGIEL, J. 1993 – « Omnidia » : software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia* 269/270: 509-213.

Ref. 19 : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie (MEDDE). Arrêté du 27 juillet 2015 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.

2) REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES UTILISEES POUR LA DETERMINATION DES ESPECES DIATOMIQUES DE GUYANE

Sübwasserflora von Mitteleuropa :

KRAMMER K. and LANGE-BERTALOT H., Bacillariophyceae 1. Naviculaceae. H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer ed., Sübwasserflora von Mitteleuropa - Vol.2/1 (Gustav Fisher Verlag, Stuttgart - New York, 1986). 876 p.

KRAMMER K. and LANGE-BERTALOT H., Bacillariophyceae 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer ed., Sübwasserflora von Mitteleuropa - Vol.2/2 (Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 1988). 611 p.

KRAMMER K. and LANGE-BERTALOT H., Bacillariophyceae 3. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer ed., Sübwasserflora von Mitteleuropa - Vol.2/3 (Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 1991). 599 p.

KRAMMER K. and LANGE-BERTALOT H., Bacillariophyceae 4. Achnantheaceae. Kritische Ergänzungen zu *Navicula* (Lineolatae) und *Gomphonema*. H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer ed., Sübwasserflora von Mitteleuropa - Vol.2/4 (Spektrum Akademischer Verlag, Berlin, 1991). 468 p.

Diatoms of Europe :

KRAMMER K., The genus *Pinnularia*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.1 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2000). 703 p.

KRAMMER K., *Cymbella*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.3 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2002). 584 p.

KRAMMER K., *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbela*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.4 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2003). 530 p.

LANGE-BERTALOT H., *Navicula sensu stricto* - 10 genera separated from *Navicula sensu lato* - *Frustulia*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.2 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2001). 526 p.

LANGE-BERTALOT H., BAK M., WITKOWSKI A., AND TAGLIAVENTI N., Eunotia and some related genera. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.6 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2011). 747 p.

LEVKOV Z., *Amphora sensu lato*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.5 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2009). 916 p.

LEVKOV Z., METZELTIN D. & PAVLOV A., *Luticola* and *Luticolopsis*. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.7 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2013). 698 p.

LEVKOV Z., MITIC-KOPANJA D. & REICHARDT E., The diatom genus *Gomphonema* from the Republic of Macedonia. H. Lange-Bertalot ed., Diatoms of Europe - Diatoms of the European Inland Waters and Comparable Habitats - Vol.7 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2016). 552 p.

Iconographia Diatomologica :

- ANTONIADES D., HAMILTON P.B., DOUGLAS M.S.V. AND SMOL J.P., Diatoms of North America: Freshwater Floras of Prince Patrick, Ellef Ringnes and northern. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.17 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2008). 649 p.
- HEIN, M. K., WINSBOROUGH B. M. and SULLIVAN M. J., Bacillariophyta (Diatoms) of the Bahamas. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.19 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2008). 303 p.
- LANGE-BERTALOT H. and METZELTIN D., Annotated Diatom Micrographs. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.2 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 1996). 390 p.
- LANGE-BERTALOT H. and GENKAL S.I., Diatoms from Sibéria I - Islands in the Arctic Ocean (Yugorsky-Shar Strait). H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.6 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 1999). 294 p.
- LANGE – BERTALOT H., CAVACINI P., TAGLIAVENTI N. and ALFINITO S., Diatoms of Sardinia. Rare and 76 new species in rock pools and other ephemeral waters. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.12 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2003). 438 p.
- LEVKOV Z., KRSTIC S., METZELTIN D. and NAKOV T., Diatoms of Lakes Prespa and Ohrid. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.16 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2007). 613 p.
- METZELTIN D. and LANGE-BERTALOT H., Diatoms from the Island continent Madagascar. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.11 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2002). 286 p.
- METZELTIN D. and LANGE-BERTALOT H., Tropical Diatoms of South America. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.18 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2007). 877 p.
- METZELTIN D. and LANGE-BERTALOT H., Tropical Diatoms of South America I. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.5 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 1998). 695 p.
- METZELTIN D., LANGE-BERTALOT H. and GARCIA-RODRIGUEZ F., Diatoms of Uruguay. Compared with other taxa from South America and elsewhere. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.15 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2005). 736 p.
- REICHARDT E., Die Diatomeen (Bacillariopyceae) in Ehrenbergs Material von Cayenne, Guyana Gallica (1843). H. Lange-Bertalot ed., (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 1995). 99p.
- REICHARDT E., Zur Revision der Gattung *Gomphonema*. Die Arten um *G. affine/insigne*, *G. angustatum/micropus*, *G. acuminatum* sowie gomphonemoide Diatomeen aus dem Oberoligozän in Böhmen. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.8 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 1999). 203 p.
- RUMRICH U., LANGE-BERTALOT H. and RUMRICH M., Diatomeen der Anden, Von Venezuela bis Patagonien/Tierra del Fuego. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.9 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2000). 673 p.
- SIVER P.A., HAMILTON P.B., STACHURA-SUCHOPLES K. AND KOCIOLEK J.P., Diatoms of North America: The Freshwater Flora of Cape Cod. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica -Vol.14 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2005). 463 p.
- WERUM M. and LANGE-BERTALOT H., Diatom in springs. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica -Vol.13 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2004). 479 p.
- WITKOWSKI A., LANGE-BERTALOT H. and METZELTIN D., Diatom flora of marine coasts. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.7 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2000). 925 p.
- YANLINKG L., LANGE-BERTALOT H. and METZELTIN D., Diatoms in Mongolia. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.7 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2009). 702 p.
- ZIMMERMAN C., POULIN M. and PIENITZ R., Diatoms of North America: The Pliocene-Pleistocene Freshwater Flora of Bylot Island, Nunavut, Canadian High Arctic. H. Lange-Bertalot ed., Iconographia Diatomologica - Vol.21 (A.R.G. Gantner Verlag K.G., Ruggell, 2010). 407 p.

Bibliotheca Diatomologica :

- ARCHIBALD R.E.M., The Diatoms of the Sundays and Great Fish Rivers in the Eastern Cape Province of South Africa. Bibliotheca Diatomologica - Vol. 1. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1983).
- BENSON M.E. & KOCIOLEK J.P., Freshwater diatom floristics of the late Eocene Florissant Formation, Clare's Quarry site, central Colorado, USA. Bibliotheca Diatomologica - Vol. 58. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2012) 136 p.
- CASSIE V., A contribution to the study of New Zealand Diatoms. Bibliotheca Diatomologica - Vol. 17. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1989). 266 p.

- COCQUYT C., Diatoms from the Northern Basin of Lake Tanganyika. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 39. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1998).
- COSTA L.F., WETZEL C.E., LANGE-BERTALOT H., ECTOR L. & BICUDO D. C., Taxonomy and ecology of *Eunotia* species (Bacillariophyta) in southern Barzilian reservoirs. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 64. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2017) 302 p.
- FALLU M. A., ALLAIRE N. & PIENITZ R., Freshwater Diatoms from northern Québec and Labrador (Canada). *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.45 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2000). 200 p.
- FOGED N., Freshwater and Littoral Diatoms from Cuba. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.5 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1984).
- FOGED N., Diatoms in Gambia. Diatoms in the Volo Bay, Greece. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.12 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1986).
- FOGED N., Diatoms from Viti Levu, Fiji Islands. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.14 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1987).
- FUNGLADDA N., KACZMARSKA I. & RUSHFORTH S.R., A contribution to the Freshwater Diatom Flora of the Hawaiian Islands. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.2 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1983). 103 p.
- FUREY P.C., LOWE R.L. & JOHANSEN J.R., *Eunotia* Ehrenberg (Bacillariophyta) of Great Smoky Mountains National Park, USA. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.56 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2011). 132 p.
- GASSE F., East African diatoms. Taxonomy, ecological distribution. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.11 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1986).
- KACZMARSKA I. & RUSHFORTH S.R., The Diatom Flora of Blue Lake Warm Spring, Utah, USA. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.2 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1983). 122 p.
- KRAMMER K., Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. H. Lange-Bertalot and P. Kociolek ed., *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.36 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1997). 382 p.
- KRAMMER K., Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. Encyonema part., Encyonopsis and Cymbellopsis. H. Lange-Bertalot and P. Kociolek ed., *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.37 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1997). 469 p.
- KRAMMER K. & LANGE-BERTALOT H., Naviculaceae. Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen zu einigen Gattungen. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.9 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1985). 230 p.
- LANGE-BERTALOT H. 85 Neue Taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa Vol. 2/1-4. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.27 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1993). 454 p.
- LANGE-BERTALOT H. & KRAMMER K., Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen und Ergänzungen zu den Naviculaceae. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.15 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1987). 289 p.
- LANGE-BERTALOT H. and KRAMMER K., *Achnanthes*, eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung *Cocconeis* und Nachträgen zu den Naviculaceae. H. Lange-Bertalot ed., *Bibliotheca Diatomologica* - Vol.18 (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1989). 389 p.
- LANGE-BERTALOT H. & MOSER G., *Brachysira* Monographie der Gattung. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 29. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1994) 212 p.
- MOSER G., Die Diatomeenflora von Neukaledonien. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 43. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1999) 205 p.
- MOSER G., LANGE-BERTALOT H. and METZELTIN D., Insel der Endemiten. Geobotanisches Phänomen Neukaledonien. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 38. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1998) 464 p.
- MOSER G., STEINDORF A. & LANGE-BERTALOT H., Neukaledonien Diatomeenflora einer Tropeninsel. Revision der Collection maillard und Untersuchung neuen Materials. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 32. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1995) 340 p.
- NAGUMO T., Taxonomic studies of the subgenus *Amphora* Cleve of the genus *Amphora* (Bacillariophyceae) in Japan. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 49. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 200) 265 p.
- PIENITZ R., FEDJE D. & POULIN M., Marine and Non-Marine Diatoms from Haide Gwaii Archipelago and surrounding Coasts, Northern Pacific, Canada. *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 48. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2003) 146 p.
- PODZORSKI A.C. & HAKANSSON H., Freshwater and marine diatoms from Palawan (a Philippine island). *Bibliotheca Diatomologica* - Vol. 13. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1998).

REAVIE E.D. & SMOL J.P., Die Freshwater diatoms from the St. Lawrence River. Bibliotheca Diatomologica - Vol. 41. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1987).

REICHARDT E., Die Diatomeen der Altmühl. Bibliotheca Diatomologica - Vol. 6. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 1984).

RIAUX-GOBIN C., ROMERO O.E., COMPERE P. & AL-HANDAL A.Y., Small-sized Achnanthes (Bacillariophyta) from coral sands Mascarenes (Western Indian Ocean). Bibliotheca Diatomologica - Vol. 57. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2011) 234 p.

RUCK E.C. & KOCIOLEK J.P., Preliminary Phylogeny of the Family Surirellaceae (Bacillariophyta). Bibliotheca Diatomologica - Vol. 50. H. Lange-Bertalot ed. (J. Cramer, Berlin - Stuttgart, 2004) 236 p.

Autres livres ou ouvrages :

BOURRELLY P., Les algues d'eau douce. Initiation à la systématique. Tome II : Les algues jaunes et brunes : Chrysophytes, Xanthophycées et Diatomées (N. BOUBÉE & Cie, Paris, 1981) 517 p.

ECTOR L. and HLUBIKOVA D., Atlas des diatomées des Alpes-Maritimes et de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Conseil Général des Alpes-Maritimes, 2009) 393 p.

HOFMANN et al., 2011. Diatomeen im Süßwasser - Benthos von Mitteleuropa. Lange-Bertalot, H. Eds., (A.R.G. Gantner Verlag K.G. 2011) 908 p.

KOBAYASI H., IDEI M., MAYAMA S., NAGUMO T. and OSADA K. Kobayasi's Atlas of Japanese Diatoms based on electron microscopy. Kobayasi H., Idei M., Mayama S., Nagumo T. and Osada K. Ed (Uchida Rokakuho Publishing Co. 2006)

LAVOIE I., HAMILTON P.B., CAMPEAU S., GRENIER M. and DILLON P.J., Guide d'identification des Diatomées des rivières de l'Est du Canada (Presses de l'Université du Québec, Québec, 2008) 252 p.

ROUND F.E., CRAWFORD R.M. and MANN D.G., The diatoms. Biology & morphology of the genera (Cambridge University Press, Cambridge, 2007) 747 p.

TAYLOR JC, HARDING WR, ARCHBALD GM - An illustrated Guide to Some Common Diatom Species from South Africa - WRC Report TT 282/07 - January 2007

TUDESQUE & al (2015) *Lacuneolimna* gen. nov., *Lacuneolimna zalokariae* comb. nov. and *Lacuneolimna novagallia* spec. nov. (Bacillariophyceae) from the French Guiana diatom freshwater flora

TUDESQUE L., ECTOR L., 2002. Pré-atlas iconographique des rivières de la Guadeloupe. p. 78.

WETZEL, C.E. (2011a) Biodiversidade e distribuição espacial de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio Negro, Amazonas, Brasil. Volume 1. Ph D Thesis, Universidad de São Paulo, São Paulo, 524 pp.

WETZEL, C.E. (2011b) Biodiversidade e distribuição espacial de diatomáceas (Bacillariophyceae) na bacia hidrográfica do Rio Negro, Amazonas, Brasil. Volume 2. Ph D Thesis, Universidad de São Paulo, São Paulo, 1372 pp.

ANNEXES : INFORMATIONS TAXONOMIQUES ET AUTO-ÉCOLOGIQUES SUR LES TAXONS INDICIELS DE L'IDGF ET LES TAXONS HALINS PRÉSENTS DANS LES COURS D'EAU DE GUYANE

L'**Annexe 1** liste l'ensemble des **445 taxons indiciels** de l'IDGF :

- Trame rose : **112 Taxons d'Alerte** vis-à-vis d'un ou de plusieurs paramètre(s) de pression anthropique considéré(s),
- Trame bleue : **333 Taxons +**, indiciels de l'IDGF mais non-porteurs d'information particulière vis-à-vis des altérations anthropiques de Guyane).

Les valeurs indicatrices de chaque taxon indiciel par gradient abiotique d'altération sont données dans les colonnes correspondant à chaque paramètre élémentaire, permettant ainsi de repérer le statut détaillé de chaque Taxon d'Alerte de l'IDGF vis-à-vis de chacun des 11 gradients abiotiques d'altération considérés (prise en compte de **149 messages d'alerte** en déployé).

L'**Annexe 2** liste **113 taxons d'origine marine** ayant pu être observés et dénombrés à l'aval des cours d'eau de Guyane. Leur présence dans l'assemblage est révélatrice d'un certain niveau d'influence haline s'exerçant sur la station concernée. En fonction de la conjonction entre des conditions de faible débit fluvial et les coefficients de marée, cette influence peut s'exercer de façon relativement exceptionnelle (stations à conditions d'eau douce très dominantes) ou sur un mode plus périodique (stations de type MET).

Les taxons déterminés en Guyane sont identifiés par un code-métier (de type OMNIDIA) à 4 caractères. Le calcul de l'IDGF nécessite **une codification et une identification à l'espèce**. De même, et bien qu'ils n'interviennent pas dans le calcul de l'IDGF, les taxons halins sont codés autant que possible à l'espèce.

Lorsque les taxons indiciels ou halins appartiennent à une entité taxonomique connue dans la littérature mondiale et dans OMNIDIA, ils sont affectés d'un code-métier à 4 lettres et d'une identité taxonomique précise donnée par les auteurs (cf. colonne "Espèce" figurant dans ces annexes). Lorsque les taxons sont endémiques ou plus spécifiques de la zone Amazonienne, mais pas encore recensés clairement, ou non-retrouvés à ce stade dans la bibliographie taxonomique mondiale, ils ont fait l'objet d'une codification incluant des chiffres. Le plus souvent, leur nom d'espèce n'est pas connu et parfois même, le nom de genre auquel ils appartiennent n'est pas encore clairement établi. La description taxonomique utile à leur nommage nécessiterait des investigations ultra-structurales poussées sous microscope électronique, matériel dont la mise en œuvre n'est pas prévue dans le cadre d'application en routine de la Norme AFNOR NF-T90-354. Malgré tout, ces taxons encore sous numéro d'espèce et parfois de genre sont reconnus et dénombrés en tant que tels au niveau spécifique. Lorsqu'ils ont été suffisamment rencontrés pour passer les seuils de sélection dans le jeu de données disponible, il a pu leur être affecté des attributs écologiques spécifiques dans l'IDGF. Leur comptage dans les assemblages diatomiques les fait alors participer aux calculs indiciels.

Les codes SANDRE actuellement en vigueur sont donnés pour les taxons indicateurs déjà nommés dans le cadre de la taxonomie mondiale et, lorsque c'est le cas, pour d'autres taxons présents dans cette liste (certains taxons halins antérieurement connus à l'espèce). Par contre, il n'a pas encore été créé de codes SANDRE pour des taxons nouveaux trouvés en Guyane (taxons affectés pour l'instant d'un code-métier sous numéro, probablement inconnus de la science jusqu'à présent).

Le module de calcul du SEEE prend en compte ces mêmes listes de taxons d'alerte par paramètre.

Par contre, les références taxonomiques complètes des **1 646 taxons diatomiques d'eau douce + 113 taxons halins inventoriés au niveau spécifique** dans les cours d'eau de Guyane lors du programme de genèse de l'IDGF n'ont pas pu être présentées *in extenso* dans le présent guide, du fait de la longueur de ces listes, de leur évolution rapide à la hausse (chaque nouvelle campagne réalisée à partir de 2018 a encore permis de trouver son lot de nouvelles entités taxonomiques, le total actuel dépassant largement les 2000 espèces...), et de la difficulté de présentation de cette information dans le présent guide sous une forme lisible et facilement exploitable.

Le module de calcul de l'IDGF dans le SEEE contient cette liste complète mise à jour (**Table 3**), qui peut être rapatriée directement sur ce système national de référence sous la forme d'un fichier de tableur directement exploitable par les utilisateurs potentiels.

Lien de téléchargement vers le module « Production » du SEEE :

<https://seee.eaufrance.fr/>

En vue de pouvoir utiliser valablement les nouveaux inventaires diatomiques qui seront réalisés à l'avenir en Guyane pour des mises à jour et améliorations futures de l'IDGF, qui reste une méthode indicielle jeune et évolutive, il est recommandé de déterminer la composition des assemblages **à l'espèce** en se référant à la **nomenclature précise de cette liste complète**. C'est ce qui permettra d'assurer la comparabilité des inventaires diatomiques et des résultats d'évaluation nouvellement acquis avec le jeu de données historique. Outre l'aspect de continuité et d'homogénéité de la chronique historique capitalisée en Guyane, il sera ainsi plus aisé de re-versionner cet indice le moment venu, via : 1) la révision de certains profils existants à partir de l'accroissement des données disponibles, et 2) la création de nouveaux profils d'espèces indicielles pour celles qui auront dépassé les seuils quantitatifs de sélection sur les occurrences et (ou) les abondances cumulées, rendant ainsi possible le calcul d'attributs écologiques.

L'édition d'un guide ou atlas taxonomique des diatomées des cours d'eau de Guyane est prévue sur le court à moyen terme (horizon : 2025-2026), permettant de faciliter la reconnaissance correcte des taxons et la réalisation d'inventaires plus homogènes au niveau local.

ANNEXE 1 : Statut écologique affecté aux 445 taxons indiciels de l'IDGF
(Trame bleue : Taxons + – Trame rose : Taxons d'Alerte pour le paramètre)

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DB05	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
ADCT	Achnanthydium catenatum (Bily & Marvan) Lange-Bertalot	7074	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADEG	Achnanthydium exiguum (Grunow) Czarnecki var. exiguum	10370	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
ADMA	Achnanthydium macrocephalum (Hustedt) Round & Bukhtiyarova	10591	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
ADM1	Achnanthydium minutissimum forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADM2	Achnanthydium minutissimum forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADM4	Achnanthydium minutissimum forme 4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADRO	Adlafia drouetiana (Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot	10352	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ADLS	Adlafia suchlandtii (Hustedt) Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin	10589	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AUGR	Aulacoseira granulata (Ehrenberg) Simonsen	8559	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AUHE	Aulacoseira herzogii (Lemm.) Simonsen	8563	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AU04	Aulacoseira sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AU05	Aulacoseira sp5	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
BPAX	Bacillaria paxillifera (O.F. Müller) Hendey var. paxillifera	20044	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
BBRE	Brachysira brebissonii Ross in Hartley ssp. brebissonii Lange-Bertalot & Moser	11316	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BNEO	Brachysira neoexilis Lange-Bertalot	7159	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
BR01	Brachysira sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR02	Brachysira sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR03	Brachysira sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR05	Brachysira sp5	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
BR06	Brachysira sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR08	Brachysira sp8	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BR8A	Brachysira sp8a	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
BR10	Brachysira sp10	NA	Alerte	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
BR12	Brachysira sp12	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
BR22	Brachysira sp22	NA	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CA07	Caloneis sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CCRU	Capartogramma crucicula (Grunow ex Cleve) Ross	11672	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CPUM	Capartogramma pumila Metzeltin & Lange-Bertalot	12123	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CADH	Catenula adhaerens Mereschkowsky	7206	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CE19	Centrique sp19	NA	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBRS	Chamaepinnularia brasiliiana Metzeltin & Lange-Bertalot	11648	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBRP	Chamaepinnularia brasiliianopsis Metzeltin & Lange-Bertalot	11647	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH02	Chamaepinnularia sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DBO5	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
CH05	Chamaepinnularia sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CH07	Chamaepinnularia sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CNTH	Cocconeis neothumensis Krammer var. neothumensis	7225	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO02	Cocconeis sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO03	Cocconeis sp3	NA	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
CSBM	Craticula submolesta (Hustedt) Lange-Bertalot	12228	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAGR	Cyclotella atomus var. gracilis Genkal & Kiss	11415	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CB01	Cymbellale sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CMIR	Cymbellopsis mirabilis Krammer	12015	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CTER	Cymbellopsis terminis Krammer	12288	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CBPA	Cymbopleura acuta (A.Schmidt) Krammer	11576	Alerte	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
DCOF	Diadesmis confervacea Kützing var. confervacea	10647	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DP01	Diploneis sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EAGC	Encyonema angustecapitatum Krammer	12617	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ELTL	Encyonema cf. latareolatum	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENCS	Encyonema costei Metzeltin & Lange-Bertalot	13012	Alerte	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
EGLD	Encyonema graciloides Krammer	12833	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EGUE	Encyonema guettingeri Krammer	12805	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENIN	Encyonema incurvatum Krammer var. incurvatum	13076	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EIDS	Encyonema indistinctum Krammer	12853	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ENJE	Encyonema jemtlandicum Krammer var. jemtlandicum	13078	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENJV	Encyonema jemtlandicum var. venezolana Krammer	13079	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENLI	Encyonema lineolatum Krammer var. lineolatum	13049	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENMF	Encyonema minutiforme Krammer var. minutiforme	13086	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENOB	Encyonema obtusum Krammer var. obtusum	13063	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESLE	Encyonema silesiacum (Bleisch in Rabh.) D.G. Mann var. silesiacum	7443	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ESHI	Encyonema subhinzae Krammer	10754	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESRO	Encyonema subrostratum Krammer	13286	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENVZ	Encyonema venezolanum Krammer var. venezolanum	13109	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENVS	Encyonema venezolanum var. similis Krammer	13108	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN03	Encyonema sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN04	Encyonema sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN07	Encyonema sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN10	Encyonema sp10	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EN11	Encyonema sp11	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
ECF1	Encyonopsis frequentis forme 1	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
ECF2	Encyonopsis frequentis forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPO5	Encyonopsis sp5	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
EPO6	Encyonopsis sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EO01	Eolimna sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EO02	Eolimna sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EO03	Eolimna sp3	NA	Alerte	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
EO04	Eolimna sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EO05	Eolimna sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EO08	Eolimna sp8	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EACN	Eunotia acutinasuta Metzeltin & Lange-Bertalot	12578	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DBO5	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
EBIL	Eunotia bilunaris (Ehrenberg) Mills var. bilunaris	7499	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBOT	Eunotia botuliformis Wild, Nörpel-Schempp & Lange-Bertalot	12661	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
EBO1	Eunotia botuliformis forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO2	Eunotia botuliformis forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO3	Eunotia botuliformis forme 3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO4	Eunotia botuliformis forme 4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO5	Eunotia botuliformis forme 5	NA	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO6	Eunotia botuliformis forme 6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EBO7	Eunotia botuliformis forme 7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECAM	Eunotia camelus Ehrenberg var. camelus	12670	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ECAR	Eunotia cf. carolina	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EMIN	Eunotia cf. minor	NA	Alerte	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
EVIO	Eunotia cf. viola	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EDTG	Eunotia distinguenda Metzeltin & Lange-Bertalot	12756	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EFOR	Eunotia formica Ehrenberg sensu stricto var. formica	7521	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EGEO	Eunotia georgii Metzeltin & Lange-Bertalot	12796	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EMER	Eunotia meridiana Metzeltin & Lange-Bertalot	12958	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EME1	Eunotia meridiana forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EME2	Eunotia meridiana forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EME3	Eunotia meridiana forme 3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ENAE	Eunotia naegeli Migula	7538	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EODE	Eunotia odebrechtiana Metzeltin & Lange-Bertalot	13114	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPTR	Eunotia paludosa var. trinacria (Krasske) Nörpel et Alles	13234	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPAS	Eunotia parasiolii Metzeltin & Lange-Bertalot	13159	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA1	Eunotia parasiolii forme 1	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
EPA2	Eunotia parasiolii forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA4	Eunotia parasiolii forme 4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA5	Eunotia parasiolii forme 5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA6	Eunotia parasiolii forme 6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA7	Eunotia parasiolii forme 7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EPA9	Eunotia parasiolii forme 9	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ERBH	Eunotia rabenhorstii Cleve & Grunow in Van Heurck	13239	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESIO	Eunotia siolii Hustedt	10724	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ESOU	Eunotia souzae Metzeltin & Lange-Bertalot	10766	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ETGB	Eunotia trigibba Hustedt in Schmidt & al.	12132	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EYAN	Eunotia yanomami Metzeltin & Lange-Bertalot	13374	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU01	Eunotia sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU03	Eunotia sp3	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
EU04	Eunotia sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU06	Eunotia sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU10	Eunotia sp10	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E10A	Eunotia sp10a	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E10B	Eunotia sp10b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E10C	Eunotia sp10c	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU11	Eunotia sp11	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E11A	Eunotia sp11a	NA	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E11B	Eunotia sp11b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E11E	Eunotia sp11e	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU15	Eunotia sp15	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E19A	Eunotia sp19a	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DBO5	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
E19B	Eunotia sp19b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E19C	Eunotia sp19c	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
E19D	Eunotia sp19d	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E20D	Eunotia sp20d	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU34	Eunotia sp34	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU35	Eunotia sp35	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E35A	Eunotia sp35a	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU37	Eunotia sp37	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU40	Eunotia sp40	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU41	Eunotia sp41	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E41A	Eunotia sp41a	NA	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU45	Eunotia sp45	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU47	Eunotia sp47	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU53	Eunotia sp53	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU57	Eunotia sp57	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU59	Eunotia sp59	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
EU61	Eunotia sp61	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU64	Eunotia sp64	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E74B	Eunotia sp74b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU81	Eunotia sp81	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E81A	Eunotia sp81a	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E81B	Eunotia sp81b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E81D	Eunotia sp81d	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU82	Eunotia sp82	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU83	Eunotia sp83	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E83B	Eunotia sp83b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU85	Eunotia sp85	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E85A	Eunotia sp85a	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E85B	Eunotia sp85b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU87	Eunotia sp87	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU95	Eunotia sp95	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EU98	Eunotia sp98	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E100	Eunotia sp100	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E103	Eunotia sp103	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E105	Eunotia sp105	NA	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E109	Eunotia sp109	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E115	Eunotia sp115	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E131	Eunotia sp131	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E137	Eunotia sp137	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E139	Eunotia sp139	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E147	Eunotia sp147	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E149	Eunotia sp149	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DBO5	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
E153	Eunotia sp153	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E156	Eunotia sp156	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E167	Eunotia sp167	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E175	Eunotia sp175	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E180	Eunotia sp180	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E185	Eunotia sp185	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E186	Eunotia sp186	NA	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E188	Eunotia sp188	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E189	Eunotia sp189	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E194	Eunotia sp194	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E196	Eunotia sp196	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E197	Eunotia sp197	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E198	Eunotia sp198	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
E202	Eunotia sp202	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E209	Eunotia sp209	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E223	Eunotia sp223	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E226	Eunotia sp226	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E227	Eunotia sp227	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E235	Eunotia sp235	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E239	Eunotia sp239	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E251	Eunotia sp251	NA	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E255	Eunotia sp255	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
E256	Eunotia sp256	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E259	Eunotia sp259	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E263	Eunotia sp263	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E267	Eunotia sp267	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E272	Eunotia sp272	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E275	Eunotia sp275	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E291	Eunotia sp291	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E293	Eunotia sp293	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E299	Eunotia sp299	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
E312	Eunotia sp312	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E314	Eunotia sp314	NA	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E318	Eunotia sp318	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E320	Eunotia sp320	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E321	Eunotia sp321	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
E331	Eunotia sp331	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
E337	Eunotia sp337	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E350	Eunotia sp350	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E381	Eunotia sp381	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E386	Eunotia sp386	NA	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
E396	Eunotia sp396	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
E411	Eunotia sp411	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E435	Eunotia sp435	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
E451	Eunotia sp451	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E458	Eunotia sp458	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DBO5	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
E461	Eunotia sp461	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E472	Eunotia sp472	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E473	Eunotia sp473	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FECU	Fallacia cf. ecuadoriana	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCA1	Fragilaria capucina forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCA2	Fragilaria capucina forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FCA3	Fragilaria capucina forme 3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FFON	Fragilaria fonticola Hustedt var. fonticola	6674	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FGOU	Fragilaria goulardii (Brébisson) Lange-Bertalot	6678	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FVAU	Fragilaria vaucheriae (Kützing) Petersen var. vaucheriae	6722	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FFJA	Fragilariforma javanica (Hustedt) C.E.Wetzel, E. Morales & Ector	39359	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FFTL	Fragilariforma telum (Carter & Denny) P.D. Almeida & C.E.Wetzel & E. Morales	43727	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FMAG	Frustulia cf. magna	NA	Alerte	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
FCRS	Frustulia crassinervia (Brébisson) Lange-Bertalot et Krammer	13447	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FPMG	Frustulia pseudomagaliesmontana Camburn & Charles	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FSNE	Frustulia saxoneotropica Metzeltin & Lange-Bertalot	13718	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FUDO	Frustulia undosa Metzeltin & Lange-Bertalot	13759	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
FU01	Frustulia sp1	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
FU02	Frustulia sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU03	Frustulia sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU04	Frustulia sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU07	Frustulia sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU11	Frustulia sp11	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
FU12	Frustulia sp12	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU13	Frustulia sp13	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FU14	Frustulia sp14	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
FU16	Frustulia sp16	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNTF	Geissleria neotropica Metzeltin & Lange-Bertalot	34488	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
GPTF	Geissleria punctifera(Hustedt) Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez	14134	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GDO1	Geissleria sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GBUT	Gomphonema aff. butantanum	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GARV	Gomphonema archaevibrio Lange-Bertalot & Reichardt	13815	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GBOB	Gomphonema bourbonense E. Reichardt et Lange-Bertalot	13826	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GBPA	Gomphonema brasiliense Grunow ssp.pacificum Moser Lange-Bertalot & Metzeltin	13670	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GBRD	Gomphonema brasiliensoides Metzeltin Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez	13673	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCAM	Gomphonema camburnii Metzeltin & Lange-Bertalot	13830	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GCOS	Gomphonema costei Metzeltin & Lange-Bertalot	13837	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GDEM	Gomphonema demerarae(Grunow) Frenguelli	13845	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GEQD	Gomphonema equadorianum Metzeltin & Lange-Bertalot	13854	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GGBR	Gomphonema gibberum Hustedt	13886	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GKOB	Gomphonema kobayashiae Metzeltin & Lange-Bertalot	13972	Alerte	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
GLGN	Gomphonema lagenula Kützing	13983	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GLEP	Gomphonema lepidum Fricke	13979	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNAP	Gomphonema neopapulatum Lange-Bertalot Reichardt & Metzeltin	14012	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GNEN	Gomphonema neonasutum Lange-Bertalot & Reichardt	14016	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GPAS	Gomphonema parvulum f. saprophilum Lange-Bertalot & Reichardt	7709	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DB05	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
GPA1	Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GPA2	Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum forme 2	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
GPA3	Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum forme 3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GPA4	Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum forme 4	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
GPA6	Gomphonema parvulum var. parvulum f. parvulum forme 6	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
GO01	Gomphonema sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO03	Gomphonema sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO04	Gomphonema sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO05	Gomphonema sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO06	Gomphonema sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO07	Gomphonema sp7	NA	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
GO08	Gomphonema sp8	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO09	Gomphonema sp9	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO10	Gomphonema sp10	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO16	Gomphonema sp16	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO19	Gomphonema sp19	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
GO32	Gomphonema sp32	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO37	Gomphonema sp37	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
GO38	Gomphonema sp38	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
GO54	Gomphonema sp54	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
GO61	Gomphonema sp61	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GO66	Gomphonema sp66	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
GO70	Gomphonema sp70	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
GYRE	Gyrosigma reimeri Sterrenburg	14251	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
GSCI	Gyrosigma sciotoense(sciotense) (Sullivan et Wormley) Cleve	14104	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HI01	Hippodonta sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HBCP	Humidophila biceps (Grunow in Van Heurck) Furey, Manoylov & R.L.Lowe	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HUCO	Humidophila contenta (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopa	38622	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HNIE	Humidophila nienta (Carter) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopa	45551	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DI04	Humidophila sp4	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
DI05	Humidophila sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN04	Inconnu sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN05	Inconnu sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN06	Inconnu sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN07	Inconnu sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN09	Inconnu sp9	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN10	Inconnu sp10	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN12	Inconnu sp12	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IN14	Inconnu sp14	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN15	Inconnu sp15	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
IN1B	Inconnu sp1b	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN34	Inconnu sp34	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN51	Inconnu sp51	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
IN72	Inconnu sp72	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
KO01	Kobayasiella sp1	NA	Alerte	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DB05	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
K004	Kobayasiella sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LNOG	Lacuneolimna novagallia Tudesque & Le Cohu	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LZAL	Lacuneolimna zalokariae (Lange-Bertalot & Metzeltin) Tudesque, Le Cohu & Lange-Bertalot	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LU01	Luticola sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LU02	Luticola sp2	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
LU03	Luticola sp3	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
LU04	Luticola sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LU05	Luticola sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LU07	Luticola sp7	NA	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
LU11	Luticola sp11	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LU12	Luticola sp12	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
LU13	Luticola sp13	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
LU15	Luticola sp15	NA	Alerte	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
LU21	Luticola sp21	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBCN	Navicula bicuneolus Metzeltin & Lange-Bertalot	14949	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCOL	Navicula coraliana Metzeltin & Lange-Bertalot	15112	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCRY	Navicula cryptocephala Kützing var. cryptocephala	7874	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCTE	Navicula cryptotenella Lange-Bertalot var. cryptotenella	7881	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NESC	Navicula escambia (Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot	15370	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
NISA	Navicula insulsa Metzeltin & Lange-Bertalot	15707	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NLGC	Navicula longicephala Hustedt var. longicephala	15750	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
NNOT	Navicula notha Wallace	15974	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NROS	Navicula rostellata Kützing var. rostellata	8124	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA04	Navicula sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA08	Navicula sp8	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA10	Navicula sp10	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
NA11	Navicula sp11	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NA21	Navicula sp21	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA28	Navicula sp28	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NA33	Navicula sp33	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA35	Navicula sp35	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA40	Navicula sp40	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA49	Navicula sp49	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NA50	Navicula sp50	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NNGO	Naviculadicta nanogomphonema Lange-Bertalot & Rumrich	15969	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NEEX	Neidium excisum Krammer & Metzeltin	15271	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NSDU	Neidium subproductum Metzeltin & Lange-Bertalot	16391	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NBR1	Nitzschia brevissima forme 1	NA	Alerte	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NBR2	Nitzschia brevissima forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCPL	Nitzschia capitellata Hustedt in A.Schmidt & al.	8847	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NCLA	Nitzschia clausii Hantzsch var. clausii	8851	Alerte	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDEN	Nitzschia denticula Grunow in Cleve & Grunow	8866	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDMA	Nitzschia dissipata f. maewensis Foged	15217	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NDIS	Nitzschia dissipata subsp. dissipata (Kützing) Grunow var. dissipata	8875	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NFAS	Nitzschia fasciculata (Grunow) Grunow in Van Heurck	8885	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NFIC	Nitzschia filiformis var.conferta (Richter) Lange-Bertalot	8888	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DB05	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
NIGR	Nitzschia gracilis Hantzsch var. gracilis	8914	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NZLB	Nitzschia lange-bertalotii Coste & Ricard	16847	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NNAN	Nitzschia nana Grunow in Van Heurck	8974	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NOBT	Nitzschia obtusa W.M.Smith var. obtusa	16052	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPA1	Nitzschia palea forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPA2	Nitzschia palea forme 2	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
NPA3	Nitzschia palea forme 3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NPA4	Nitzschia palea forme 4	NA	Alerte	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1
NISC	Nitzschia scalpelliformis (Grunow) Grunow in Cleve & Grunow	9027	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NI01	Nitzschia sp1	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
NI02	Nitzschia sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI05	Nitzschia sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI06	Nitzschia sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI07	Nitzschia sp7	NA	Alerte	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
NI13	Nitzschia sp13	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI14	Nitzschia sp14	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
NI15	Nitzschia sp15	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NI30	Nitzschia sp30	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
NI32	Nitzschia sp32	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
NI46	Nitzschia sp46	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI50	Nitzschia sp50	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NI54	Nitzschia sp54	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NUA1	Nupela astartiella forme 1	NA	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NUA2	Nupela astartiella forme 2	NA	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
NUA3	Nupela astartiella forme 3	NA	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NUCY	Nupela cymbelloidea Metzeltin & Lange-Bertalot	16625	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NUPR	Nupela praecipua (Reichardt) Reichardt in U.Rumrich Lange-Bertalot & M.Rumrich	16671	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NURU	Nupela rumrichorum Lange-Bertalot	16637	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NUSP	Nupela subpallavicini Metzeltin & Lange-Bertalot	16641	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
NUTN	Nupela tenuistriata (Hustedt) Metzeltin, Lange-Bertalot & Kusber	16676	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU01	Nupela sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU03	Nupela sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU04	Nupela sp4	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU05	Nupela sp5	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU06	Nupela sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU12	Nupela sp12	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU15	Nupela sp15	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU16	Nupela sp16	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU17	Nupela sp17	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
NU29	Nupela sp29	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NU30	Nupela sp30	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PACI	Pinnularia acidophila Hofmann & Krammer in Krammer	17009	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PCER	Pinnularia certa Krammer & Metzeltin	16939	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPRC	Pinnularia procera Metzeltin & Krammer	17640	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRUM	Pinnularia rumrichae Krammer	17738	Alerte	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
PI06	Pinnularia sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Code Métier	Espèce	Code SANDRE	Statut taxon	Alerte Minér.	Alerte O2	Alerte COT	Alerte DB05	Alerte DCO	Alerte MES	Alerte NKJ	Alerte NO3	Alerte PO4	Alerte Ptot	Alerte NH4
PI12	Pinnularia sp12	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PI22	Pinnularia sp22	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSRM	Placoneis santaremensis Metzeltin & Krammer	17872	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLTE	Placoneis tersa (Hustedt) Metzeltin & Krammer	17430	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PC02	Placoneis sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLBO	Planothidium boudoui (Metzeltin & Lange-Bertalot) Coste	28240	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PHET	Planothidium heteromorphum (Grunow) Lange-Bertalot	17292	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PLMG	Planothidium magnificum (Hustedt) Lange-Bertalot	28160	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PPCH	Planothidium pulcherrimum (Hustedt) Coste	28186	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PL03	Planothidium sp3	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PGUI	Platessa guianensis Le Cohu, Tudesque & C.E.Wetzel	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SARV	Sellaphora arvensis (Hustedt) C.E. Wetzel et Ector	43258	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SCOS	Sellaphora costei Metzeltin & Lange-Bertalot	18241	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGIB	Sellaphora gibbula Metzeltin & Lange-Bertalot	18316	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGRG	Sellaphora gregoryana (Cleve & Grunow) Metzeltin & Lange-Bertalot	18321	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SGUY	Sellaphora guyanensis Metzeltin & Lange-Bertalot	18348	Alerte	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
SNIG	Sellaphora nigri (De Not.) C.E. Wetzel et Ector comb. nov. emend.	43146	Alerte	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
STAP	Sellaphora tapajosensis Metzeltin & Lange-Bertalot	18823	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLTA	Sellaphora tau (Cleve) Metzeltin & Lange-Bertalot	18466	Alerte	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL01	Sellaphora sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL02	Sellaphora sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL03	Sellaphora sp3	NA	Alerte	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SL06	Sellaphora sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL10	Sellaphora sp10	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL12	Sellaphora sp12	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SL15	Sellaphora sp15	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEM1	Seminavis sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SEM2	Seminavis sp2	NA	Alerte	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
SARO	Stausosira acutirostrata (Metzeltin & Lange-Bertalot) Metzeltin & Lange-Bertalot	18033	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ST01	Stausosira sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLC1	Stausosirella crassa forme 1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SLC2	Stausosirella crassa forme 2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
STDE	Stenopterobia delicatissima (F.W.Lewis) Brébisson ex van Heurck var. delicatissima	8479	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SKRA	Stenopterobia krammeri Metzeltin & Lange-Bertalot	18390	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SPLC	Stenopterobia planctonica Metzeltin & Lange-Bertalot	18614	Alerte	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
SP03	Stenopterobia sp3	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
SP04	Stenopterobia sp4	NA	Alerte	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
SU01	Surirella sp1	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU02	Surirella sp2	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU04	Surirella sp4	NA	Alerte	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
SU06	Surirella sp6	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU07	Surirella sp7	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU08	Surirella sp8	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU09	Surirella sp9	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SU16	Surirella sp16	NA	Taxon +	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ANNEXE 2 : Liste des 113 taxons halins déjà trouvés dans les inventaires diatomiques de l'aval des cours d'eau de Guyane (à identifier-compter)

Code Métier	Groupe morphologique	Famille	Espèce	Code SANDRE
AMI1	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Amicula sp1	NA
AMDE	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Amphora delphinea L.W.Bailey	7103
AM02	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Amphora sp2	NA
AM03	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Amphora sp3	NA
AM04	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Amphora sp4	NA
FR04	Araphid	Inconnue	Araphid sp4	NA
FR05	Araphid	Inconnue	Araphid sp5	NA
AZNO	Centric	Hemidiscaceae	Azpeitia nodulifer (Schmidt) G.Fryxell & P.A. Sims	28210
BA01	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp1	NA
BA02	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp2	NA
BA03	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp3	NA
BA04	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp4	NA
BA05	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp5	NA
BA06	Nitzschioid	Inconnue	Bacillariale sp6	NA
BK01	Symmetric Biraphid	Berkeleyaceae	Berkeleya sp1	NA
BK02	Symmetric Biraphid	Berkeleyaceae	Berkeleya sp2	NA
CE11	Centric	Inconnue	Centrique sp11	NA
CE20	Centric	Inconnue	Centrique sp20	NA
CE22	Centric	Inconnue	Centrique sp22	NA
CE23	Centric	Inconnue	Centrique sp23	NA
CE24	Centric	Inconnue	Centrique sp24	NA
CE25	Centric	Inconnue	Centrique sp25	NA
CE26	Centric	Inconnue	Centrique sp26	NA
CT01	Centric	Chaetocerotaceae	Chaetoceros sp1	NA
CSTR	Centric	Stephanodiscaceae	Cyclotella striata (Kützinger) Grunow in Cleve & Grunow	8650
CSTY	Centric	Stephanodiscaceae	Cyclotella stylorum Brightwell	12318
CY06	Centric	Stephanodiscaceae	Cyclotella sp6	NA
CMPL	Centric	Coscinodiscaceae	Cymatodiscus planetophorus (Meister) Hendey	38040
CWSF	Centric	Thalassiosiraceae	Cymatotheca weissflogii (Grunow in Van Heurck) Hendey var. weissflogii	38070
DPO4	Symmetric Biraphid	Diploneidaceae	Diploneis sp4	NA
HLO2	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp2	NA
HLO3	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp3	NA
HLO4	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp4	NA
HLO5	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp5	NA
HLO6	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp6	NA
HLO7	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp7	NA
HLO8	Asymmetric Biraphid	Catenulaceae	Halamphora sp8	NA
HS01	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Haslea sp1	NA
HS02	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Haslea sp2	NA
HS03	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Haslea sp3	NA
HS04	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Haslea sp4	NA
HY01	Araphid	Striatellaceae	Hyalosira sp1	NA
HY02	Araphid	Striatellaceae	Hyalosira sp2	NA
I101	Symmetric Biraphid	Inconnue	Inconnu sp101	NA
I102	Symmetric Biraphid	Inconnue	Inconnu sp102	NA
I103	Symmetric Biraphid	Inconnue	Inconnu sp103	NA
I104	Symmetric Biraphid	Inconnue	Inconnu sp104	NA
KA01	Monoraphid	Achnanthesiaceae	Karayevia sp1	NA
LUUN	Symmetric Biraphid	Diadesmidaceae	Luticola undulata (Hilse) N.A.Andresen Stoermer & Kreis	14699
NPTV	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula platyventris Meister	16212
NA66	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp66	NA
NA67	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp67	NA
NA68	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp68	NA

Code Métier	Groupe morphologique	Famille	Espèce	Code SANDRE
NA69	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp69	NA
NA70	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp70	NA
NA71	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp71	NA
NA72	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp72	NA
NA73	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp73	NA
NA74	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp74	NA
NA75	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp75	NA
NA76	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp76	NA
NA77	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp77	NA
NA78	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp78	NA
NA79	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp79	NA
NA80	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp80	NA
NA81	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp81	NA
NA83	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp83	NA
NA84	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp84	NA
NA85	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp85	NA
NA86	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp86	NA
NA87	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp87	NA
NA88	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp88	NA
NA89	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp89	NA
NA90	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp90	NA
NA91	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp91	NA
NA92	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp92	NA
NA93	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp93	NA
NA94	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp94	NA
NA95	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp95	NA
NA96	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp96	NA
NA97	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp97	NA
NA98	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp98	NA
NA99	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp99	NA
N100	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp100	NA
N101	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp101	NA
N102	Symmetric Biraphid	Naviculaceae	Navicula sp102	NA
NAMC	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia amplectens Hustedt	8827
NDI2	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia dissipata forme 2	NA
NFIL	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia filiformis (W.M.Smith) Van Heurck var. filiformis	15443
NI40	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp40	NA
NI77	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp77	NA
NI80	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp80	NA
NI81	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp81	NA
NI82	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp82	NA
NI83	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp83	NA
NI84	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp84	NA
NI85	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp85	NA
NI86	Nitzschioid	Bacillariaceae	Nitzschia sp86	NA
PS01	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp1	NA
PS02	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp2	NA
PS03	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp3	NA
PS04	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp4	NA
PS05	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp5	NA
PS06	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp6	NA
PS07	Symmetric Biraphid	Pleurosigmataceae	Pleurosigma sp7	NA
PLE1	Centric	Triceratiaceae	Pleurosira sp1	NA
PRO1	Symmetric Biraphid	Proschkiniaceae	Proschkinia sp1	NA
PM02	Nitzschioid	Bacillariaceae	Psammodictyon sp2	NA
PSA1	Araphid	Fragilariaceae	Psammosynedra sp1	NA
SEM3	Asymmetric Biraphid	Naviculaceae	Seminavis sp3	NA
SEM4	Asymmetric Biraphid	Naviculaceae	Seminavis sp4	NA
TAB1	Araphid	Fragilariaceae	Tabularia sp1	NA
TCOC	Centric	Thalassiosiraceae	Tryblioptychus cocconeiformis(Grunow ex Cl.)Hendey	18965

RESUME

L'Indice Diatomique de Guyane Française (IDGF) est un outil de bio-indication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de Guyane à partir de la structure des communautés de diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par HYDRECO et INRAE (ex-Irstea), dans le cadre d'un programme de Recherche - Développement réalisé en collaboration avec l'Office de l'Eau de Guyane (OEG) et la Direction Générale des Territoires et de la Mer de la Guyane (DGTM Guyane), en bénéficiant du soutien technique et financier de l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Ce programme visait à doter la Guyane d'un outil de bio-indication diatomique "DCE-compatible", élaboré à partir de données abiotiques et diatomiques d'origine locale et destiné à être mis en œuvre dans le cadre du 3^{ème} plan de gestion DCE (2022-2027). Sur le plan réglementaire, l'IDGF est prescrit pour une utilisation en routine dans le cadre du programme de surveillance des cours d'eau.

Le présent guide a pour objet de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de l'IDGF afin d'obtenir des résultats d'évaluation les plus fiables possibles. A chaque étape de l'acquisition des données de surveillance, il convient de respecter le protocole de mise en œuvre de l'indice depuis la phase de terrain jusqu'au calcul de l'EQR indiciel, 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.