

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

L'indice diatomique Réunion

**IDR**



Cette version (juin 2018) sera en test courant 2018 et les ajustements seront intégrés dans une version ultérieure.

Ce document présente la méthode réglementaire d'évaluation biologique de l'état des cours d'eau basée sur les diatomées, dénommée « IDR » (indice diatomique Réunion), ainsi que les modalités pratiques de sa mise en œuvre. Ce guide est téléchargeable sur le site de l'AFB (<http://www.onema.fr/node/3391>).

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

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

L'indice diatomique Réunion

**IDR**



A. Eulin, G. Gassiole, E. Lefrançois, F. Delmas, M. Coste, S. Boutry, O. Monnier



## Auteurs et contributeurs

### Coordinateur

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

---

### Auteurs

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

**Gilles Gassiole** (gilles.gassiole@gmail.com), MicPhyc

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

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

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

**Sébastien Boutry** (sebastien.boutry@irstea.fr), Irstea

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

---

### Contributeurs

**Olivier Navaro, Alexandre Moullama, Lucie Maillot et Karoline Ruffié**, Office de l'eau Réunion

**Sonia Bennevaud et Cécile Reilhes**, Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de La Réunion

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

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

---

La rédaction du guide a été réalisée par les partenaires techniques et scientifiques qui ont élaboré la méthode, Irstea, Asconit et MicPhyc (G. Gassiole, anciennement Asconit), sous la coordination de l'AFB. L'AFB, l'office de l'eau Réunion, la DEAL Réunion et le MTES ont contribué à la relecture, à la vérification et à l'amélioration du document.

Faites parvenir tout retour critique à cette adresse mail : [olivier.monnier@afbiodiversite.fr](mailto:olivier.monnier@afbiodiversite.fr)

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



## Avant-propos

La bioindication est l'un des dispositifs essentiels du processus d'évaluation de l'état des milieux aquatiques dans le cadre de la directive cadre sur l'eau (DCE). L'Agence française pour la biodiversité\* (AFB), anciennement Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema), est l'organisme technique national de référence concernant la mise en œuvre de cette directive. Il a la responsabilité du développement et de la validation des méthodes prescrites réglementairement par le ministère de la Transition écologique et solidaire (MTES). Les organismes gestionnaires de bassins, les offices de l'eau, ont quant à eux la charge du déploiement opérationnel de la surveillance de la qualité des milieux aquatiques.

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

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

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

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

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

---

\* Le 1<sup>er</sup> janvier 2017, l'Agence des aires marines protégées, l'Atelier technique des espaces naturels, l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques et Parcs nationaux de France ont regroupé leurs compétences pour créer l'Agence française pour la biodiversité.



## Résumé

L'indice diatomique Réunion (IDR) est un outil de bioindication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de La Réunion à partir de la structure de la communauté des diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par Asconit et Irstea, dans le cadre d'un programme de Recherche-Développement sous la maîtrise d'ouvrage de l'Office de l'eau Réunion, avec la participation de la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) de La Réunion et avec le soutien technique et financier de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema), afin de doter La Réunion d'un outil « DCE-compatible » disponible pour le 2<sup>e</sup> plan de gestion DCE (2016-2021 ; European commission 2000, MEDDE 2015a&b). Réglementairement, l'usage de l'IDR est limité au suivi du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

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

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

## Mots clés

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



## Sigles et abréviations

**ACC** : analyse canonique des correspondances

**ACP** : analyse en composantes principales

**API** : *application programming interface*

**BE** : bon état

**DBO<sub>5</sub>** : demande biologique en oxygène sur cinq jours

**DCE** : directive cadre sur l'eau

**DCO** : demande chimique en oxygène

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

**EQB** : élément de qualité biologique

**EQR** : *ecological quality ratio*

**GCA** : gradient composite d'anthropisation

**GCMA** : gradient composite multimétrique d'anthropisation

**HER** : hydro-écorégion

**IBD** : indice biologique diatomées

**IDR** : indice diatomique Réunion

**MES** : matières en suspension

**NKJ** : azote Kjeldahl

**NO<sub>2</sub>** : nitrites

**NO<sub>3</sub>** : nitrates

**O<sub>2</sub>** : dioxygène

**P. Tot** : phosphore total

**PO<sub>4</sub>** : phosphates

**RCS** : réseau de contrôle et de surveillance

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

**SO<sub>4</sub>** : sulfates

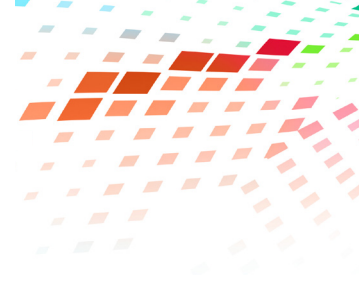
**TBE** : très bon état



# Sommaire

Résumé et mots clés .....	4
Sigles et abréviations.....	5
<b>1 Le contexte et les objectifs du guide.....</b>	<b>8</b>
1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE) .....	8
1.2 Le contexte réunionnais .....	8
1.3 Les diatomées benthiques à La Réunion .....	9
<i>La biologie des diatomées</i> .....	9
<i>Des capacités bioindicatrices avérées</i> .....	11
1.4 L'indice diatomique Réunion (IDR) .....	14
1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDR .....	14
1.6 Les restrictions d'application de la méthode et les réserves sur la fiabilité des résultats d'IDR .....	16
<b>2 La création de l'indice diatomique Réunion .....</b>	<b>18</b>
2.1 La démarche globale d'analyse.....	18
2.2 La sélection des taxons contributifs à l'indice .....	21
<i>Le seuillage des espèces indicielles</i> .....	21
<i>Le calcul des profils écologiques de chaque espèce</i> .....	21
<i>Les taxons d'alerte</i> .....	22
2.3 La transformation de l'information écologique en seuils de qualité.....	25
<i>L'interprétation des résultats</i> .....	25
<i>La construction de la grille d'EQR (ecological quality ratio) au relevé</i> .....	25
<i>La vérification de la relation « pression-impact » obtenue</i> .....	27
<b>3 L'acquisition du matériel biologique .....</b>	<b>28</b>
3.1 La période d'échantillonnage.....	28
3.2 Les conditions de prélèvement .....	29
3.3 La méthode de prélèvement .....	31
3.4 Les données complémentaires.....	33
<i>Les informations géodésiques et de projection</i> .....	33
<i>Les mesures des paramètres physico-chimiques in situ</i> .....	33
<i>Les images du site de prélèvement</i> .....	33
<i>Les conditions hydrologiques et morphologiques</i> .....	33
3.5 La fixation des échantillons .....	33
3.6 L'identification des échantillons .....	35
3.7 Le traitement des échantillons et la confection des préparations permanentes ....	35
<i>Le matériel</i> .....	35
<i>Le principe du traitement</i> .....	36
<i>Les difficultés couramment rencontrées</i> .....	39
3.8 L'archivage des données, des préparations permanentes et des prélèvements ..	40





<b>4 L'acquisition des données biologiques : l'inventaire des diatomées</b> .....	<b>41</b>
4.1 L'analyse des lames permanentes .....	41
<i>Le matériel</i> .....	41
<i>La méthode de comptage</i> .....	41
<i>Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles</i> .....	42
4.2 La bancarisation des résultats .....	42
<i>L'encodage des taxons</i> .....	42
<i>La saisie et la bancarisation des données</i> .....	43
<b>5 Le calcul de l'IDR</b> .....	<b>44</b>
5.1 La formule de calcul .....	44
5.2 Le calcul de l'IDR avec le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE) .....	45
5.3 La grille d'interprétation de la note d'IDR au relevé .....	46
5.4 L'évaluation intégrée de l'état écologique au site .....	46
<b>6 Niveau de confiance et d'incertitude</b> .....	<b>47</b>
6.1 Le niveau de confiance de l'état écologique .....	47
6.2 Les incertitudes associées à l'IDR .....	47
<i>Les incertitudes liées à l'utilisation de l'élément de qualité « diatomées »</i> .....	47
<i>Les incertitudes liées à la conception de l'outil</i> .....	48
<i>Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'outil</i> .....	48
<b>Références bibliographiques</b> .....	<b>50</b>
<b>Table des illustrations</b> .....	<b>56</b>
<b>Annexe 1 - Liste des taxons indiciaires et autres taxons de La Réunion</b> .....	<b>57</b>
<b>Annexe 2 - Illustrations des taxons indiciaires qui ne sont pas illustrés dans l'atlas des diatomées des cours d'eau de La Réunion (Gassiole <i>et al.</i> 2015)</b> .....	<b>68</b>
<b>Annexe 3 - Table de correspondance entre les appellations de taxons de l'atlas des diatomées des cours d'eau de La Réunion (Gassiole <i>et al.</i> 2015) et les nouvelles appellations de taxons prises en compte dans l'annexe 1 du présent guide</b> .....	<b>69</b>



# Le contexte et les objectifs du guide

## 1

### 1.1 La directive cadre sur l'eau (DCE)

La directive cadre sur l'eau (*European commission 2000*), adoptée le 23 octobre 2000 et transcrite en droit français par la loi n° 2004-338 du 21 avril 2004, établit le cadre de la politique communautaire dans le domaine de l'eau et définit les objectifs environnementaux à atteindre pour l'ensemble des eaux, avec obligation de résultats. Les principaux objectifs sont la réduction ou la suppression des rejets de substances chimiques prioritaires, la non détérioration de la qualité des eaux, et dans bien des cas la reconquête du bon état des eaux et des milieux aquatiques. La mise en œuvre de la DCE est réalisée par cycles de gestion de six ans, l'objectif général d'atteinte du bon état des eaux étant fixé à 2027, avec des échéances intermédiaires en 2015 et 2021.

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

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

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

### 1.2 Le contexte réunionnais

L'application de la DCE dans les départements et régions d'outre-mer (DROM) nécessite, comme en métropole, la réalisation régulière d'opérations de surveillance de la qualité des eaux, ainsi que la mise en application d'indices biologiques permettant d'évaluer l'état écologique des milieux aquatiques. Ces opérations soumises à rapportage vers l'Union européenne sont réalisées dans le cadre des réseaux institutionnels de surveillance, et notamment du réseau de contrôle et de surveillance (RCS ; Figure 1).



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

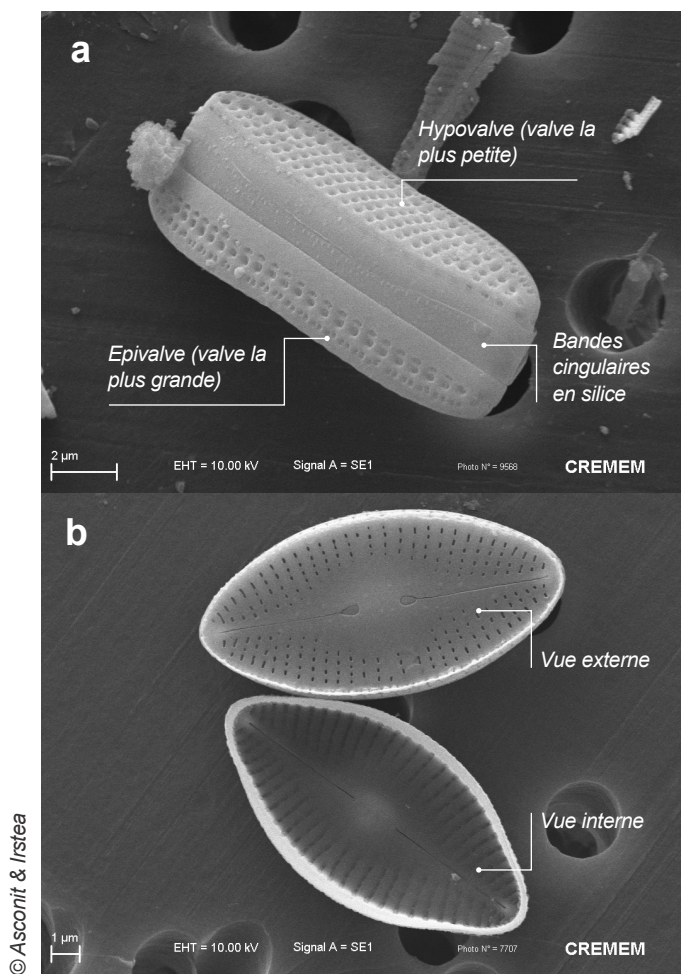


Figure 2. a) frustule fermé de *Nitzschia amphibia* ; b) frustule ouvert de *Diadesmis confervacea* (Microscopie électronique à balayage). (D'après Asconit consultants & Irstea 2013).

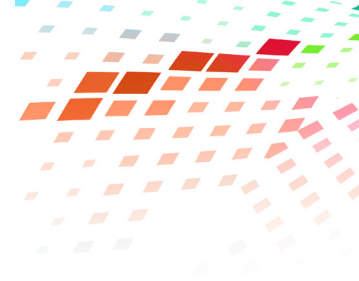
Selon les espèces, les diatomées adoptent différentes formes de vie :

- les **diatomées benthiques** (ou périphytiques) vivent fixées sur des substrats durs (de nature minérale, végétale ou animale) au sein d'un biofilm (lui-même composé d'une matrice polysaccharidique et d'organismes unicellulaires ou pluricellulaires microscopiques de différentes natures : bactéries, autres algues, etc.). Elles peuvent être fixées au substrat selon différents modes d'attachement ou motiles au sein du biofilm (Figure 4, page 13) ;
- les **espèces planctoniques** flottent librement en pleine eau.

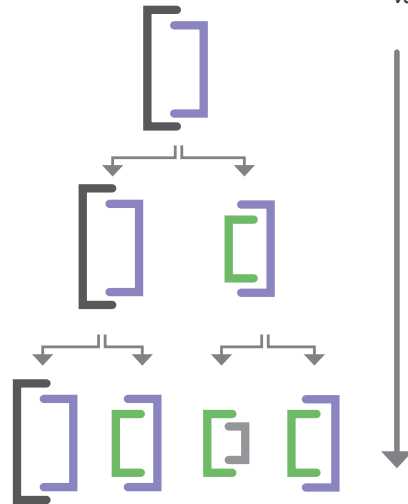
Néanmoins, certaines espèces peuvent vivre soit en suspension dans la colonne d'eau, soit être fixées au substrat (espèces tychoplanctoniques).

Elles peuvent être solitaires ou former des colonies.

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

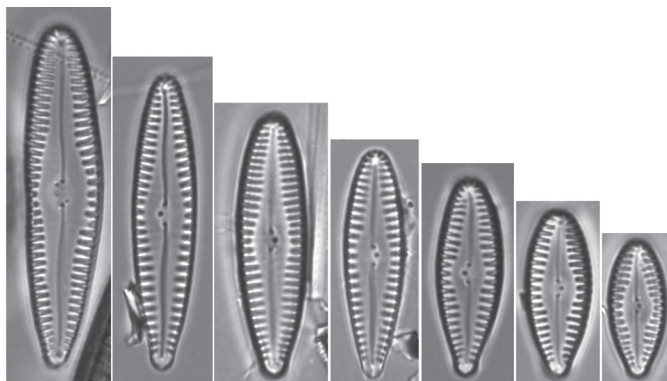


a) principe de la réduction de taille des valves au fil des divisions cellulaires



À chaque division cellulaire, le frustule issu de l'hypovalve est plus petit que le frustule précédent

b) exemple de réduction de taille des individus d'une même espèce (Gomphonema clevei).  
Barre d'échelle = 10 µm.



© Gilles Gassiole

Figure 3. Multiplication végétative des diatomées. (Modifié d'après Gassiole 2014).

## Des capacités bioindicatrices avérées

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

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

Au cours du programme de recherche et développement destiné à la création de l'IDR, 343 taxons différents ont été inventoriés à La Réunion. Depuis 2011 (mise en place du réseau de surveillance) 14 taxons de plus ont été observés.

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

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

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

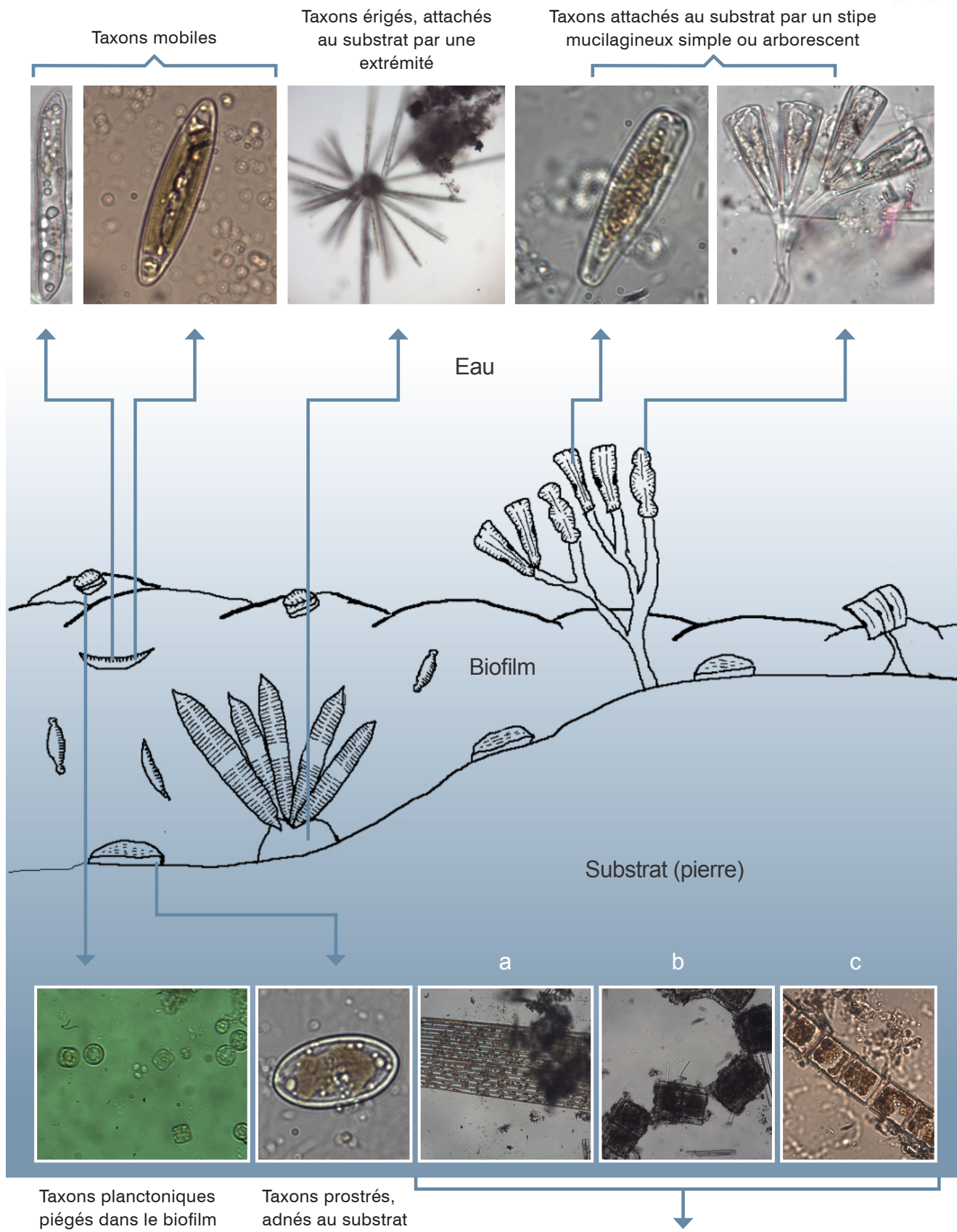
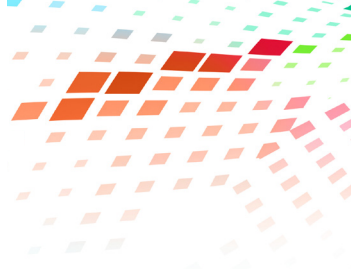
Ces caractéristiques biologiques sont particulièrement intéressantes à La Réunion, où les crues intenses et fréquentes entraînent des phénomènes de chasse à la suite desquels les communautés de diatomées benthiques se reconstituent plus rapidement que les autres communautés biologiques (EQB).

Elles sont abondantes dans le milieu et faciles à prélever.

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

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

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



© Gilles Gassiole

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

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

## 1.4 L'indice diatomique Réunion (IDR)

L'indice diatomique Réunion (IDR) a été créé dans le cadre d'un programme de recherche et développement mené de 2008 à fin 2011 par Asconit et Irstea, sous la maîtrise d'ouvrage de l'Office de l'eau Réunion. Il a été soutenu financièrement par l'Europe (FEDER), l'Office de l'eau Réunion, la DEAL et l'Onema, incluant également une part d'autofinancement des deux opérateurs impliqués. Il a été retravaillé et finalisé en 2012 et 2013 par Irstea avec le soutien de l'Onema. Le développement de l'indicateur et les recherches associées sur la systématique et l'écologie des diatomées ont donné lieu à une thèse de doctorat de l'université de Bordeaux (Gassiole 2014), réalisée au sein d'Asconit et encadrée par Irstea.

Outre cette thèse, la conception de l'IDR est développée dans les rapports de Boutry *et al.* (2012, 2013 & 2014) et résumé dans la synthèse de Monnier *et al.* (2016), ainsi qu'en partie 3 du présent guide. Un atlas des diatomées des rivières de La Réunion (Gassiole *et al.* 2015) a également été produit au cours du programme de R&D et est un outil indispensable à la mise en œuvre de l'IDR.

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

Cet indice a été validé et est préconisé réglementairement pour l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau de type « cours d'eau » dans le cadre du programme de surveillance DCE à La Réunion, conformément à l'arrêté ministériel (MEDDE 2015a) 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. L'application du présent guide méthodologique est donc limitée à ce cadre.

## 1.5 Le périmètre de mise en œuvre de l'IDR

L'IDR a été conçu à partir d'un jeu de données issues d'échantillons prélevés sur l'ensemble du territoire de La Réunion, à l'exception du versant sud-est du Piton de la Fournaise (hydro-écorégion HER 6, Figure 5) qui n'a pas de réseau hydrographique organisé (formations volcaniques récentes). Par conséquent, le territoire d'application de l'IDR concerne toute l'île de La Réunion, à l'exception de cette HER.

Pour l'évaluation plus judicieuse de l'état écologique, comme précisé section 5.3 de ce document, ces HER ont été regroupées au sein de deux grands ensembles naturels (Figure 6), en fonction des caractéristiques très différentes du régime climatique et pluviométrique de ces deux zones (côte au vent à l'est, sous influence des alizés, plus fraîche et plus arrosée ; côte sous le vent à l'ouest, plus ensoleillée et à étiages très marqués). Ces différences influencent fortement les régimes des rivières et la température de l'eau et par contrecoup, les gammes de variabilité naturelle des notes de l'IDR (sensiblement plus fortes à l'ouest qu'à l'est).



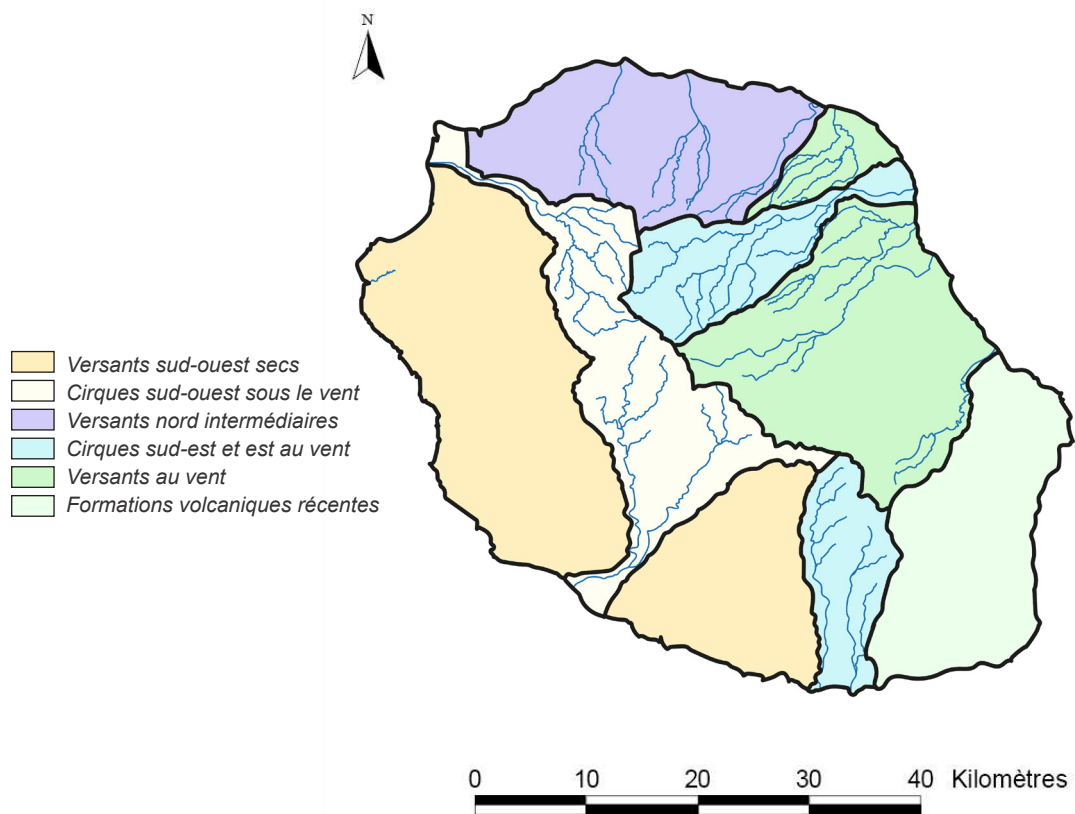


Figure 5. Délimitation des hydro-écorégions (HER) de La Réunion (D'après Wasson et al. 2004).

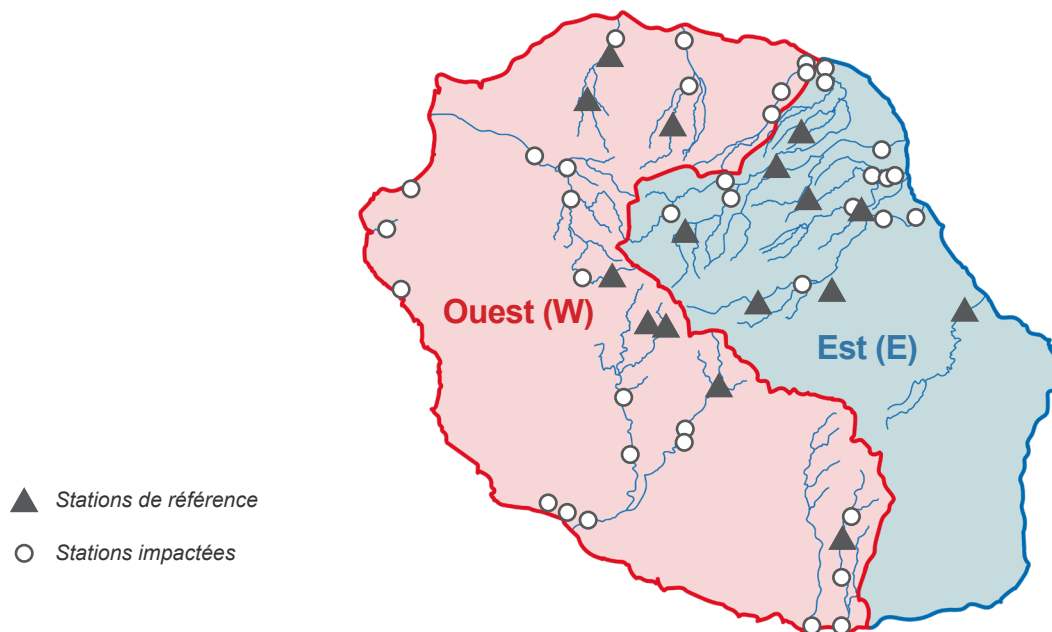


Figure 6. Les deux grands secteurs naturels abiotiques « homogènes » définis à La Réunion pour la mise en œuvre de l'IDR. Ils permettent la prise en compte de la variabilité naturelle dans l'évaluation de la qualité écologique par le biais des peuplements de diatomées. Les stations figurées sont celles utilisées pour la construction de l'indicateur (D'après Boutry et al. 2014).

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

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

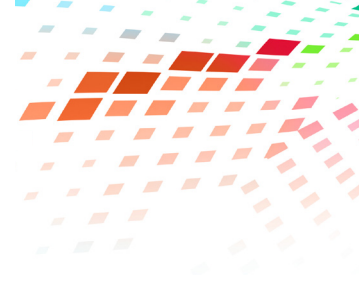
Les rares cas recensés jusqu'à présent correspondent aux trois cas de figure suivants :

- site momentanément très peu biogène (ex. : Rivière des Roches suite à un épisode de débits soutenus). La quantité faible de matériel biologique collecté sur le terrain permet difficilement l'atteinte de l'effectif cible de comptage (500 unités diatomiques comptées), même après comptage de deux lames différentes (limite indiquée par la norme NF T 90 – 354, Afnor 2016). Les effectifs du relevé en taxons totaux et en taxons indiciels comptés peuvent au final être inférieurs à 500 ;
- site contenant beaucoup de taxons actuellement non-indiciels. Dans ce cas, l'effectif compté est en phase avec la pression de comptage de 500 unités diatomiques, mais pas mal d'espèces trouvées dans l'inventaire ne sont pas encore indicielles dans l'IDR (certaines pourront être amenées à le devenir lors d'une nouvelle version de cet indice, suite à l'atteinte des seuils quantitatifs de sélection sur l'occurrence et l'abondance relative) ;
- site périodiquement sous influence haline. Dans ce cas, la présence au moins périodique de formes halines arrivées du milieu littoral, indépendante de l'altération anthropique, peut marquer l'assemblage diatomique. Cependant, de tels sites peuvent subir des impacts anthropiques de moyens à forts et justifier d'être intégrés au réseau de surveillance en eaux douces (ex. : Ravine du Cimetière aval STEP, Ravine de l'Ermitage aval STEP, Rivière Sainte Suzanne aval - station D). Sous réserve que l'influence haline ne devienne pas trop importante, le reste de la flore du relevé témoigne certainement assez bien de la qualité du cours d'eau avant cette intrusion de taxons halins.

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

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

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



À La Réunion, certains cours d'eau peuvent aussi se révéler sous influence thermique (par l'intermédiaire d'écoulements de surface ou de résurgence des nappes phréatiques, comme par exemple le Bras des étangs près des anciens thermes à Cilaos - *Nota bene* : pour cette raison, cette station ne fait plus partie du RCS). La note indicielle calculée sur des prélèvements réalisés trop à proximité de la résurgence (moins de 500 m en conditions normalement turbulentes) est susceptible d'être biaisée et impactée à la baisse (aspect thermique, forte charge minérale, conditions réductrices), même en l'absence de toute altération anthropique.



## La création de l'indice diatomique Réunion

### 2.1 La démarche globale d'analyse

Toutes les étapes d'analyses de données préalables à la conception de la première version de l'IDR sont détaillées dans le rapport de synthèse final de conception de l'indice (Boutry *et al.* 2012), qui est venu conclure le programme de recherche et développement initial (2008-2011). Les ajustements ultérieurs ayant trouvé leur aboutissement dans la version actuelle de l'IDR sont consignés dans la note de travail de Boutry *et al.* (2014). Une synthèse sur la construction de l'indice est également donnée dans Monnier *et al.* (2016).

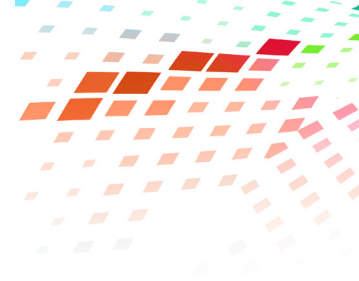
L'organisation des différentes phases suivies au cours de la démarche d'analyse biomathématique des données est résumée dans la Figure 7.

**L'étape 1** (Figure 7, ①) a visé à repérer et à comprendre la **structuration biologique des assemblages multispécifiques de diatomées** en réponse aux forçages environnementaux rencontrés à La Réunion.

Cette étape, dite de biotypologie, a été importante pour mieux caractériser les flores typiques et les associations d'espèces (naturelles, altérées) dans ce contexte biogéographique antérieurement méconnu. Elle a notamment servi à déterminer, dans le cadre d'application de la DCE, à quel groupe de sites de référence il conviendra de comparer un site de réseau dont on va chercher à évaluer l'état écologique. Dans cette optique, l'utilisation d'un réseau neuronal non supervisé, la *self-organizing map* (SOM), a permis de définir les assemblages types en fonction des similarités de composition spécifique (exprimée en abondance relative pour mille) des différents relevés diatomiques qui les composent.

L'interprétation des résultats des regroupements des relevés biologiques en clusters (ou biotypes) a ensuite été mise en relation avec les conditions abiotiques associées à chaque relevé, utilisées comme variables explicatives externes de la biotypologie obtenue. Il a ainsi été possible de rapprocher les assemblages diatomiques caractéristiques avec les variables abiotiques qui leur correspondent et d'analyser la portée statistique de ces relations.

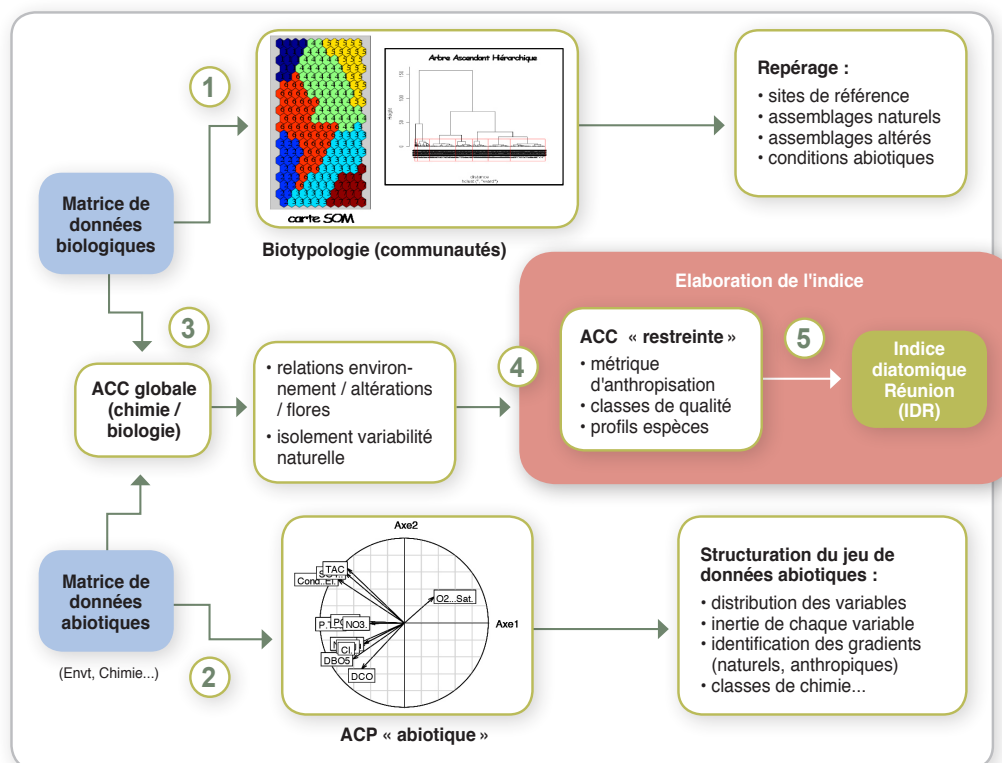
Cette première démarche a permis de repérer quelles conditions environnementales correspondaient aux différents clusters de sites de référence et, au contraire, celles inféodées à différents types d'assemblages altérés, permettant ainsi de mieux situer la place de certains clusters correspondant à des conditions altérées dans les gradients d'altération (type d'altération dominante, intensité...).



**L'étape 2**, réalisée en parallèle de la précédente, a visé à prendre connaissance de toute l'étendue des **conditions abiotiques naturelles et d'anthropisation** qu'il est possible de rencontrer dans les cours d'eau de La Réunion. Elle a consisté en la réalisation d'une analyse exploratoire, une **ACP complète** (Figure 7, ②). Après un premier test réalisé sur toutes les données abiotiques complètes acquises pendant le programme (20 descripteurs différents collectés en bonne correspondance avec 269 relevés exploitables), elle a ensuite été simplifiée à 14 paramètres, après élimination de quelques descripteurs très autocorrélés et redondants. Elle a permis de repérer les principaux gradients présents dans le jeu de données abiotiques, ainsi que leur organisation sur les axes principaux. Cette analyse a permis de mettre en évidence neuf variables les plus synonymes d'altération anthropique (MES, P. Tot., PO<sub>4</sub>, DCO, DBO<sub>5</sub>, NKJ, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, auxquelles s'ajoute la saturation en O<sub>2</sub> qui varie en sens inverse des précédentes au long du gradient d'anthropisation). L'information d'anthropisation était principalement portée par les axes 1 et 3 de l'ACP, alors que l'axe 2 était surtout porteur d'informations sur les caractéristiques géochimiques et hydrochimiques naturelles (conductivité électrique, TAC, SO<sub>4</sub>, chlorures liés aux influences halines).

Dans la démarche ayant conduit à la première version de l'IDR (fin 2012-début 2013), l'information d'anthropisation portée par les neuf variables précitées sur les axes 1 et 3 de cette ACP a été directement utilisée pour la création d'une **métrique composite d'anthropisation** ou **gradient composite d'anthropisation** (GCA) uniquement basée sur les résultats des analyses chimiques, qui a servi à déterminer les **classes de chimie** des eaux échantillonnées (cinq classes de qualité).

**L'étape 3**, aussi réalisée dans un but exploratoire, a consisté en la réalisation d'une **analyse canonique des correspondances complète** (ACC complète, Figure 7, ③) permettant de mieux relier l'état chimique naturel et anthropique aux « sites - dates » et le positionnement des assemblages et des espèces diatomiques. Le principe est d'intégrer dans l'analyse et de mettre en correspondance deux matrices, la matrice des 14 descripteurs abiotiques naturels et impactés par l'anthropisation (celle utilisée pour



**Figure 7.** Organigramme de la démarche d'analyse de données pour le développement de l'indice diatomique Réunion (IDR).  
 ACP : analyse en composantes principales ;  
 ACC : analyse canonique des correspondances  
 (D'après Boutry et al. 2014).

l'ACP précédemment décrite) et la matrice des assemblages biologiques échantillonnés sur les sites lors des cinq campagnes. Les paramètres abiotiques, les relevés (sites - dates) et les taxons peuvent alors être projetés dans le même espace des données, permettant de formaliser une information très utile sur l'écologie des taxons et des communautés diatomiques, en conditions naturelles comme au long des gradients d'anthropisation.

**Nota bene : Les étapes qui suivent**, réalisées une première fois pour la première version de l'IDR (Boutry *et al.* 2012), **ont été complètement réitérées entre juin et octobre 2013** (Boutry *et al.* 2013). Ce 2<sup>e</sup> cycle de réalisation a permis d'asseoir l'assise de l'IDR sur 76 relevés supplémentaires des réseaux de surveillance 2011 et 2012, portant le jeu de données à 345 relevés disponibles au lieu de 269 pour sa version initiale. Elles ont aussi comporté des améliorations et adaptations méthodologiques spécifiques visant à solutionner quelques problèmes de jeunesse diagnostiqués sur la version initiale de l'IDR (manque de sensibilité sur le début du gradient d'altération anthropique, problème particulier posé par certaines espèces saprobes naturellement présentes sur des sites amont indemnes de toute anthropisation, versatilité de biotypologie et de diagnostic sur les zones de transition climatique nord et sud). Ce travail complémentaire a aussi permis d'étoffer un peu la liste des espèces contributives, avec le rajout de quelques taxons dépassant nouvellement les seuils de sélection après l'ajout des nouveaux relevés disponibles, et de raffiner l'interprétation des profils de qualité des taxons d'alerte (page 22), en s'appuyant sur trois catégories graduelles de taxons d'alerte au lieu d'une seule pour la première version de l'IDR.

**L'étape 4** a visé à **mettre en relation la réponse des espèces avec les gradients d'anthropisation**, afin de pouvoir **calculer des profils écologiques de probabilité de présence par classe de qualité des eaux** pour les **espèces contributives au calcul de l'IDR**. Dans cet objectif, les neuf variables abiotiques de qualité des eaux préalablement repérées comme fortement affectées dans un sens non équivoque par les activités humaines (MES, P. Tot., PO<sub>4</sub>, DCO, DBO<sub>5</sub>, NKJ, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> et saturation en O<sub>2</sub>) ont été sélectionnées et utilisées pour la réalisation d'une nouvelle **analyse canonique des correspondances dite « restreinte », uniquement basée sur ces neuf variables abiotiques et sur la composition des assemblages diatomiques** (ACC restreinte, Figure 7, ④).

Cette ACC restreinte a tout d'abord servi à construire un **gradient composite multimétrique d'anthropisation** (GCMA) basé à la fois sur les valeurs intégrées de chimie au site durant les trois mois précédant et incluant la date d'un échantillonnage diatomique, et sur la réponse des taxons de diatomées contenus dans le relevé correspondant (matrice-réponse des taxons). Ce gradient composite, utilisé par la suite jusqu'à la version finale de l'IDR, intègre donc deux métriques rendant compte de l'altération anthropique :

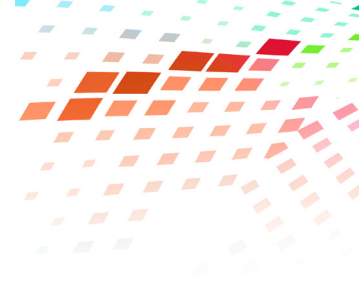
- la première basée sur l'exploitation des gradients contenus dans le référentiel abiotique d'anthropisation (ACP restreinte) ;
- la seconde émanant de la matrice-réponse des assemblages biologiques au même assortiment de variables abiotiques dans l'ACC restreinte.

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

GCMA = Gradient ACP + Gradient ACC, où

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

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



Le GCMA a ensuite été discrétisé en quatre classes de qualité. Chaque relevé (site - date) et chaque taxon ont ainsi pu être affectés à une classe de qualité.

La probabilité d'abondance relative pondérée de chaque taxon contributif à l'IDR à une classe de qualité donnée peut ainsi être calculée sur tout le jeu de données, en fonction de son effectif par relevé et de la classe de qualité affectée à chaque relevé. La représentation graphique de cette donnée pour toutes les classes de qualité et pour un taxon donné correspond au profil écologique du taxon.

**L'étape 5**, en articulation étroite avec la précédente, correspond à la **conception proprement dite de l'IDR** (Figure 7, ⑤), à savoir :

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

La description plus détaillée de ces étapes et les choix réalisés pour stabiliser la version finale de l'IDR sont présentés dans les parties qui suivent.

## 2.2 La sélection des taxons contributifs à l'indice

### Le seuillage des espèces indiciaires

Compte tenu du nombre de taxons inventoriés (343 taxons) et du nombre important de taxons ayant une très faible occurrence et/ou abondance relative, il a été jugé opportun de réduire la liste des taxons pris en compte dans le calcul de l'indice. Ce choix présentait le double avantage de produire un outil indiciaire présentant une assise taxinomique et écologique relativement fiable et de garantir une mise en œuvre opérationnelle plus aisée.

Des profils de qualité ont ainsi été calculés pour les 191 taxons présents dans au moins trois relevés. Parmi eux, onze espèces dont l'écologie est typique de conditions halines ont été écartées, portant ainsi le nombre de taxons participant au calcul effectif de l'IDR à 180. Ces taxons sont listés en annexe 1.

### Le calcul des profils écologiques de chaque espèce

Les profils écologiques se définissent comme la probabilité, exprimée en abondance relative pondérée, de trouver une espèce donnée dans les différentes classes de qualité telles qu'elles ont été définies par la discrétisation du GCMA.

La probabilité d'appartenance d'un taxon à une classe de qualité donnée se calcule par la formule suivante :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Une fois les valeurs d'abondance relative pondérée pour chaque taxon et chacune des quatre classes de qualité calculées, il devient possible de représenter graphiquement les profils de qualité de chaque espèce (Figure 8, page 24).

Ces profils de qualité ont été ensuite mobilisés et exploités avec certaines règles spécifiques, afin de donner à chaque espèce contributive de l'indice un message écologique permettant à l'IDR de rendre compte du **gradient d'anthropisation à la station et à la date** en fonction de la **composition floristique spécifique du relevé collecté** (Étape 4, Figure 7, page 19).

Il restait donc à déterminer quelles étaient ces espèces contributives, quel était leur message écologique ou profil écologique et enfin comment les faire intervenir au sein d'une règle de calcul.

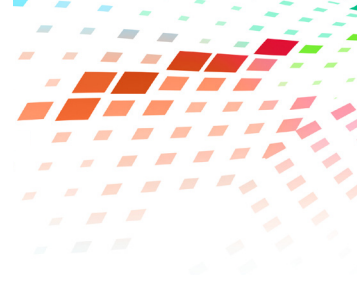
## Les taxons d'alerte

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

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

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





De plus, il est à noter qu'il existe un fort niveau de saprobie naturel dans les DROM insulaires tropicaux, y compris en têtes de bassins très préservées, qui ne correspond pas à une conséquence d'anthropisation mais à la chute saisonnière de quantités importantes de fruits ou d'autre matériel végétal fermentescible (fleurs, feuilles) provenant de la ripisylve.

C'est en tenant compte de tous ces éléments et sur la base des profils écologiques préalablement déterminés que les critères de choix des taxons d'alerte ont été adoptés (Tableau 2).

**Tableau 2.** Critères de sélection des taxons d'alerte servant au calcul de l'indice diatomique Réunion (IDR)

Niveau d'alerte	Valence d'altération dans l'IDR	Critères de sélection
Taxon « 3 - »	-5	Au moins quatre occurrences au total et au moins trois occurrences en classe 1 ET Valeur de classe 1 $\geq 0,40$ ET Somme des classes 1 et 2 $> 0,70$ et valeur de classe 4 en abondance relative moyenne $< 0,05$ .
Taxon « 2 - »	-3	Au moins trois occurrences ET Somme des classes 1 et 2 $> 0,70$ et valeur de classe 4 en abondance relative moyenne $< 0,10$
Taxon « - »	-1	Au moins trois occurrences ET Somme des classes 1 et 2 $> 0,50$ et valeur de classe 4 en abondance relative moyenne $< 0,20$

Tous les autres taxons indiciaires ne remplissant pas les conditions précisées dans le Tableau 2, ne présentent aucun message particulier vis-à-vis de la détection de l'altération et sont nommés taxons « + ».

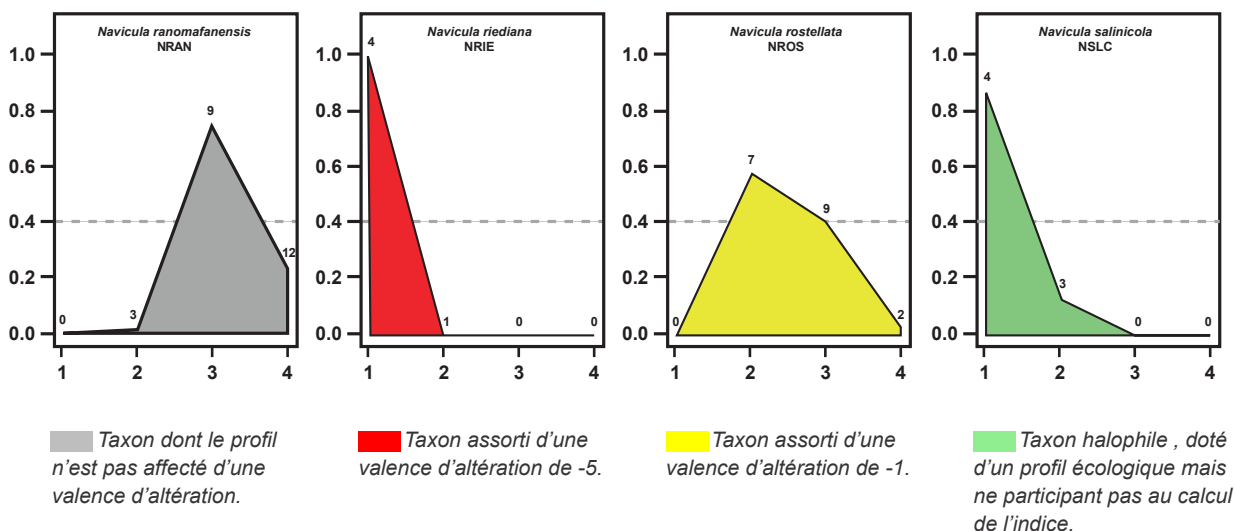
#### Les 180 taxons contributifs pour l'IDR sont ainsi répartis :

- 17 taxons « 3 - », assortis d'une valence d'altération de -5 ;
- 21 taxons « 2 - », assortis d'une valence d'altération de -3 ;
- 17 taxons « - », assortis d'une valence d'altération de -1 ;
- 125 taxons « + », sans signification particulière vis-à-vis de la détection de l'altération.

*NB : 11 taxons halophiles dépassant les seuils quantitatifs ont été dotés d'un profil. Néanmoins, ils ne participent ni à l'effectif du relevé servant à calculer la note indiciaire, ni au calcul d'indice.*

Les représentations graphiques des profils écologiques de tous les taxons indiciaires sont présentées en annexe du rapport de Boutry *et al.* (2012).

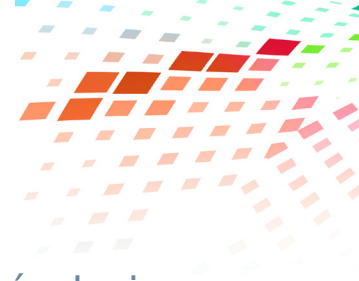
Vingt-huit taxons ont fait l'objet d'une expertise individualisée, le plus souvent faute de possibilité d'application automatique des critères précisés dans le Tableau 2. Tout d'abord, sur la base de la bibliographie internationale, le statut halophile de 11 taxons trouvés en des sites proches du littoral s'est vu confirmé.



**Figure 8.** Représentation graphique des profils écologiques de quatre taxons. En abscisse, les classes de qualité ; en ordonnées, l'abondance relative pondérée du taxon pour chaque classe ; en étiquette au-dessus de la courbe, le nombre de relevés dans lesquels le taxon a été inventorié (D'après Boutry et al. 2012).

Une autre raison ayant pu rendre nécessaires ces expertises est qu'au moment de la finalisation de l'indicateur, la chimie de la plupart des 76 nouveaux relevés biologiques des réseaux 2012 et 2013 n'était pas encore totalement disponible et utilisable pour permettre de calculer à nouveau de manière complète les profils de toutes les espèces à partir de la totalité des données abiotiques. Les co-auteurs de la méthode ont donc attribué un statut aux taxons ayant nouvellement dépassé le seuil de trois occurrences, après expertise des données abiotiques déjà disponibles sur ces sites, ou après avoir vérifié par expertise la conformité de l'affectation antérieure du profil de certaines espèces qui dépassaient de très peu le seuil d'occurrence dans la version initiale de l'IDR, en fonction de l'arrivée de nouvelles données donnant plus de recul sur leur écologie (données biotiques et nouvelles données de chimie, souvent partielles). Ainsi, un nombre très réduit d'espèces, souvent en limite de basculement entre une catégorie et une autre, a changé de statut entre les deux versions de l'IDR, en fonction de la portée des nouvelles données arrivées. Le bilan de ces attributions non-automatiques de statut est le suivant :

- taxons expertisés en statut « 2 - » : *Fistulifera saprophila*, *Tryblionella apiculata* ;
- taxons expertisés en statut « - » : *Navicula* aff. *brasiliiana*, *Navicula* aff. *juanitalinda*, *Nitzschia biacrula*, *Nitzschia dissipata*, *Stauroneis* aff. *thermicola*, *Ulnaria acus* ;
- taxons expertisés en statut « + » : *Craticula submolesta*, *Humidophila* aff. *subtropica*, *Encyonema* sp. n°1, *Encyonema* sp. n°2, *Encyonema* sp. n°3, *Eunotia* sp. n°4, *Eunotia* sp. n°5, *Frustulia* sp. n°6 ;
- taxons expertisés en statut « halin » : *Fallacia meridionalis*, *Karayevia* aff. *amoena*, *Navicula erifuga*, *Navicula salinicola*, *Nitzschia clausii*, *Nitzschia filiformis*, *Nitzschia filiformis* var. *conferta*, *Nitzschia* sp. n°27, *Seminavis* sp. n°1, *Pseudostaurosira subsalina*, *Tryblionella granulata*.



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

### L'interprétation des résultats

Une fois calculé, l'IDR doit permettre de rendre compte de l'état écologique d'une masse d'eau au sein d'une HER ou, pour La Réunion, d'une zone naturelle (Figure 6, page 15). Pour ce faire, il a fallu définir la grille d'interprétation des notes d'IDR.

Dans un premier temps, un prototype provisoire de grille d'interprétation a été défini, toutes zones naturelles confondues, afin d'étudier la plausibilité des résultats qu'elle pouvait procurer. Le seuil de basculement entre classes de très bon état (TBE) et bon état (BE) a été fixé au percentile 20, le reste du vecteur découpé en quatre classes selon l'algorithme de Jenks-Fisher. Cinq classes d'état (ou de qualité biologique) ont ainsi été définies.

Cependant cette relation pression-impact était encore améliorée en considérant séparément les relevés de chaque zone naturelle. En effet, les deux grands ensembles naturels repérés à La Réunion (la zone « est » plus abondamment et plus régulièrement arrosée et la zone « ouest » moins arrosée, Figure 6) sont caractérisés par des forçages naturels différents qui influent sur le niveau de notation des sites de référence. Ceci conduit inévitablement à de sensibles décalages de niveau d'évaluation entre ces deux ensembles naturels à fortes particularités. Afin de pouvoir rendre un diagnostic plus juste d'altération anthropique, il était judicieux de concevoir un système d'évaluation qui s'affranchisse en grande partie des effets de cette variation naturelle. Cela a donc pleinement justifié la construction d'une grille d'EQR<sup>1</sup> centrée sur les niveaux de référence de chacune de ces zones, avec des niveaux de basculement d'une classe de qualité à l'autre adaptés plus spécifiquement à ces différences de contexte local.

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

Le principe de la conception de la grille d'EQR est résumé par la Figure 9.

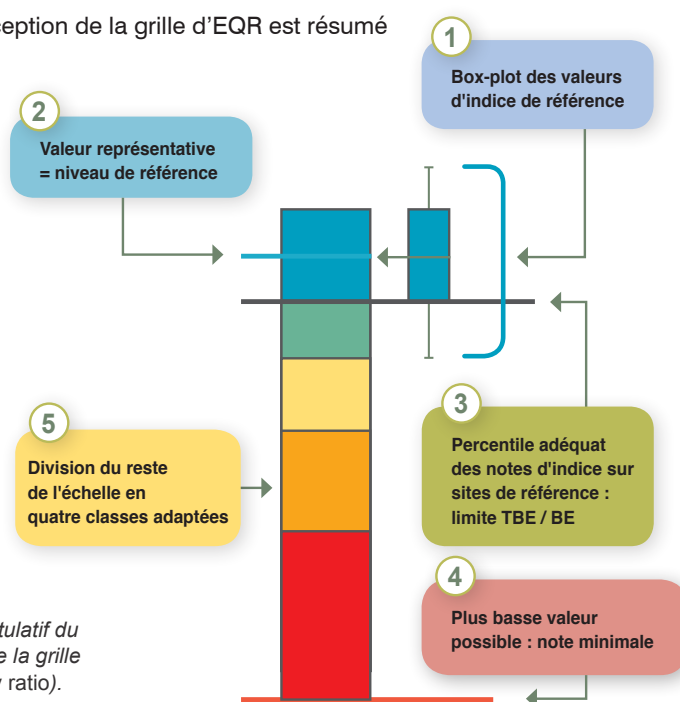


Figure 9. Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR (ecological quality ratio).

<sup>1</sup> L'Ecological Quality Ratio (EQR) intègre la note indicielle calculée selon la formule établie, rapportée au niveau indiciel de référence de la zone naturelle dans laquelle l'échantillon a été prélevé. L'état écologique au site de prélèvement se détermine par rapport aux limites de classes d'état définies pour la zone considérée (Arrêté « évaluation » du 27 Juillet 2015, MEDDE 2015a).

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

En ce qui concerne les classes de qualité écologique de chaque zone naturelle, la valeur d'EQR de chaque seuil de basculement d'une classe à l'autre est calculée en divisant la note d>IDR considérée (par exemple le 25<sup>e</sup> percentile ou 20<sup>e</sup> percentile) par la valeur de référence (la valeur médiane ou moyenne de l>IDR calculée sur les relevés des stations de référence).

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

**En zone naturelle « est »** (de la Rivière Sainte-Suzanne au Nord à la Rivière de l'Est au Sud), les calculs reposent sur les notes IDR de 164 relevés disponibles sur cette zone.

La valeur représentative de la classe « très bon état » (TBE) est définie par la médiane des valeurs d>IDR calculées sur les sites de références (IDR = 19,821 arrondi à 19,82 ; EQR = 1).

L'EQR de basculement TBE-BE (bon état) correspond au 20<sup>e</sup> percentile de la distribution des notes de référence (IDR = 19,571 ; EQR = 0,9875), arrondi dans le but d'intégrer la variabilité de la zone mais en minimisant l'effet des valeurs extrêmes observées pour ces sites de référence de la zone est. Les valeurs définitivement retenues pour le basculement TBE-BE sont IDR = 19,572 et EQR = 0,9875.

Les limites de basculement entre les classes suivantes ont fait l'objet de simulations dans lesquelles différents EQR de basculement et leur conséquence sur le classement des stations ont été étudiés et expertisés collectivement. Les limites de classes entrées en vigueur sont présentées ci-dessous (Tableau 3).

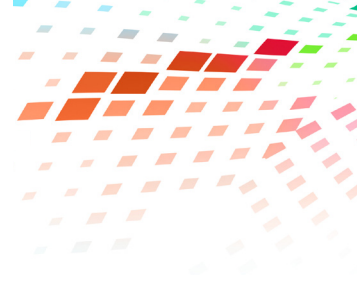
**Tableau 3.** Limites des classes d'état écologique de la zone « est » (de la Rivière Sainte-Suzanne au Nord à la Rivière de l'Est au Sud) pour l'indice diatomique Réunion (IDR)

Classe d'état	Niveau de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Grille d'EQR	1	≥ 0,9875	≥ 0,935	≥ 0,740	≥ 0,400	< 0,400
Notes d>IDR	19,82	≥ 19,572	≥ 18,532	≥ 14,667	≥ 7,928	< 7,928
Effectif de relevés pour chaque classe		88	59	16	1	0
Pourcentage de relevés pour chaque classe		54 %	36 %	10 %	1 %	0 %

**En zone naturelle « ouest »** (de la Rivière des Pluies au Nord à la Rivière des Remparts au Sud), les calculs reposent sur les notes IDR de 181 relevés disponibles sur cette zone.

La valeur représentative de la classe TBE est définie par la médiane des valeurs d>IDR calculées sur les sites de référence (IDR = 19,691 arrondi à 19,7 ; EQR = 1).

L'EQR de basculement TBE-BE optimal correspond au 20<sup>e</sup> percentile de la distribution des notes de référence (IDR = 19,331 ; EQR = 0,980), arrondi à la baisse toujours dans le but d'intégrer la variabilité de la zone mais en minimisant l'effet des valeurs extrêmes observées pour ces sites de références de la zone ouest. Les valeurs définitivement retenues pour le basculement TBE-BE sont IDR = 19,306 et EQR = 0,980. Les limites de



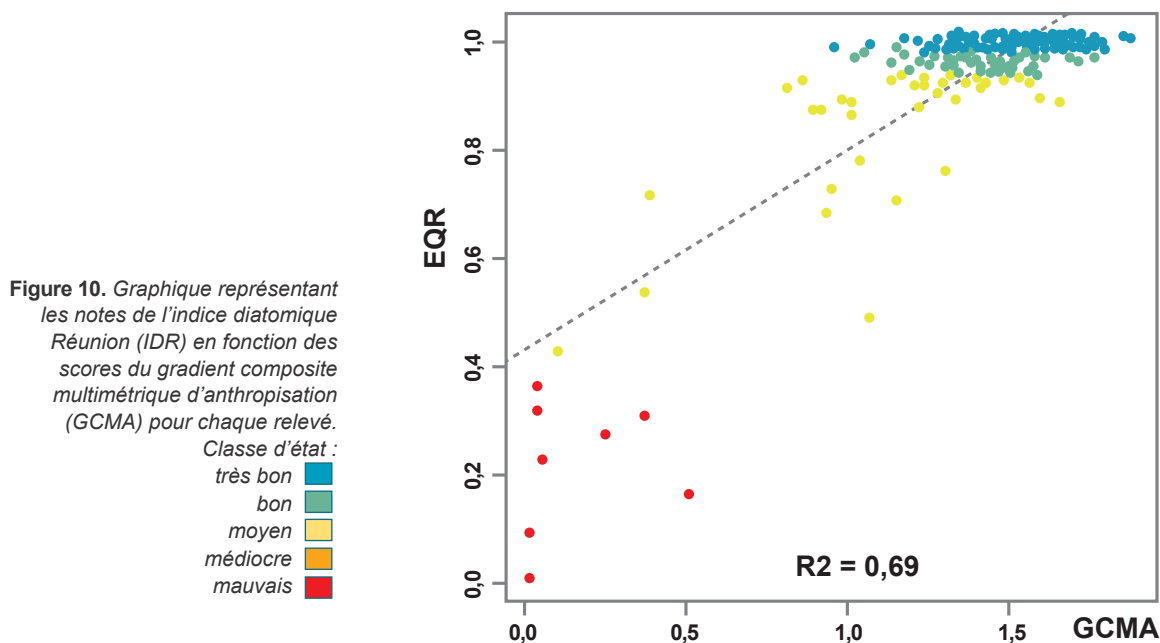
basculement entre les classes suivantes ont fait l'objet de simulations dans lesquelles différents EQR de basculement et leur conséquence sur le classement des stations ont été étudiés. Les limites de classes entrées en vigueur sont présentées ci-dessous.

**Tableau 4.** Limites des classes d'état écologique de la zone « ouest » (de la Rivière des Pluies au Nord à la Rivière des Remparts au Sud) pour l'indice diatomique Réunion (IDR)

Classe d'état	Niveau de référence	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
Grille d'EQR	1	≥ 0,980	≥ 0,940	≥ 0,760	≥ 0,420	< 0,420
Notes d'IDR	19,7	≥ 19,306	≥ 18,518	≥ 14,972	≥ 8,274	< 8,274
Effectif de relevés pour chaque classe		110	33	22	7	9
Pourcentage de relevés pour chaque classe		61 %	18 %	12 %	4 %	5 %

### La vérification de la relation « pression-impact » obtenue

En projetant les EQR d'IDR calculés pour chaque relevé en fonction du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) (Figure 10), on observe que l'IDR – renormalisé par région naturelle via le calcul d'EQR régionalisés – rend bien compte de la relation pression-impact. L'évaluation de l'état écologique ainsi obtenue est donc jugée satisfaisante.



Après étude des divers tests de scénarios de grilles d'évaluation par grands ensembles naturels, les résultats ont été examinés et discutés conjointement entre scientifiques et gestionnaires, et le scénario de grille jugé le plus satisfaisant par grand ensemble naturel a été adopté (§ 5.3).



## L'acquisition du matériel biologique

# 3

### 3.1 La période d'échantillonnage

Le climat de La Réunion est caractérisé par deux périodes climatiques bien différenciées :

- l'hiver austral de mai à novembre (frais et sec) ;
- l'été austral de décembre à avril (saison chaude), pendant lequel des épisodes cycloniques ou de fortes pluies tropicales sont à redouter surtout de décembre à fin février.

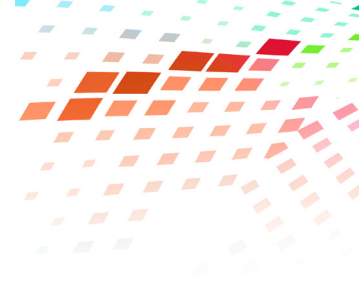
Il est recommandé de privilégier la saison sèche, soit la fin de l'hiver austral, lorsque l'hydrologie est bien stabilisée et que les événements climatiques de forte intensité sont rares. En effet, comme le précise la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'intensité des événements hydrologiques antérieurs au prélèvement doit être prise en compte :

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

Les prélèvements de diatomées se font donc à l'étiage (période favorable : fin août à octobre).

Malgré une rythmicité saisonnière connue et plutôt marquée à La Réunion, la météorologie des DOM îliens est parfois soumise à des circonstances un peu atypiques, sur le plan saisonnier voire interannuel (arrivée d'un épisode de pluies tropicales, série d'années très sèches, ou au contraire anormalement arrosées), nécessitant une adaptabilité de la mise en œuvre des prélèvements biologiques aux conditions du moment.

Il peut arriver, au cœur d'une campagne de prélèvement, un épisode pluvieux plus ou moins localisé à certaines rivières et d'une intensité inhabituelle, entraînant une perturbation physique marquée dans le lit de la rivière (bouffée turbide durant plusieurs jours, déplacement et décapage des substrats) et imposant une adaptation du planning de prélèvement. Il appartient donc à l'organisme en charge de la réalisation des prélèvements d'adapter sa pratique en fonction de ces éléments, en accord avec le commanditaire.



## 3.2 Les conditions de prélèvement

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

Le prélèvement en faciès lotique de type « radier » est préconisé en priorité (Figure 11), même si ce n'est pas le faciès dominant du site. La vitesse de courant, estimée visuellement, doit idéalement être supérieure à 20 cm/s. Ces conditions minimisent l'effet de dérive-dépôt des diatomées sur les substrats, ce qui biaiserait le résultat en augmentant la proportion de valves provenant de l'amont. Les milieux lentiques ne sont prospectés que par défaut et l'on privilégiera les supports verticaux dans ce cas de figure.



a : © Asconit pour AFB ; b-e : © Gilles Gassiole - MicPhyc pour AFB

**Figure 11.** Exemples de conditions idéales de prélèvement des diatomées (présence de nombreux substrats durs, faciès lotique, ensoleillement).

- Photo (a) : Rivière des Pluies
- Photo (b) (d) et (e) : Rivière du Mât
- Photos (c) : Rivière des Galets
- Photo (d) : substrats en place

Les faciès lotiques et les supports de type blocs/pierres/galets sont très fréquents à La Réunion. Lorsqu'un effet de dérive-dépôt est suspecté (milieu plus lentique), le rinçage délicat du substrat dans le courant est préconisé.

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

La nature des supports à échantillonner est hiérarchisée comme suit.

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

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

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



Les prélèvements sur support végétal n'ont pas été testés et ne sont jamais justifiés dans le contexte de La Réunion. Ils ne doivent pas être réalisés.

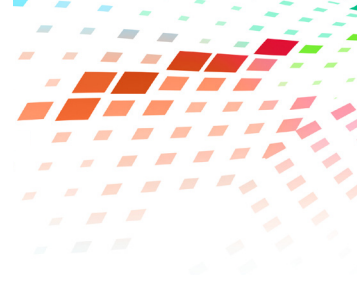
Aucun prélèvement sur support meuble (sable, vases,...) ni sur bois ne doit être réalisé, car la présence d'espèces saprophiles biaiserait la note indicielle.

La surface à échantillonner afin d'obtenir une flore diatomique représentative est au minimum d'environ 100 cm<sup>2</sup>, quels que soient le nombre et la nature des supports prospectés, et la technique d'échantillonnage utilisée. Dans certains cas, cette surface pourra être étendue à 1 000 cm<sup>2</sup> ou plus (cours d'eau avec un biofilm peu développé). Généralement, l'échantillonnage est réalisé sur cinq substrats différents (20 cm<sup>2</sup> par substrat).

La biomasse des diatomées, globalement faible à La Réunion, 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 est très souvent supérieur à cinq (parfois 10 ou plus) pour une surface cumulée pouvant dépasser 1 000 cm<sup>2</sup>.

En cas de grande abondance de supports adaptés, la stratégie d'échantillonnage aléatoire est appliquée. Des précautions, comme le prélèvement dans la veine d'eau principale, sont prises pour éviter de prélever des substrats qui auraient pu être exondés avant l'échantillonnage. Les substrats sont choisis selon leur taille, leur stabilité et un biofilm développé, sans interaction avec des dépôts de feuilles ou autres matières organiques, en suivant une direction aval-amont.





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

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

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.

### 3.3 La méthode de prélèvement

Le prélèvement de biofilm doit systématiquement être accompagné d'éléments descriptifs du site, qui seront utiles à la présentation, la bancarisation et l'interprétation des résultats (Tableau 5, page 34).

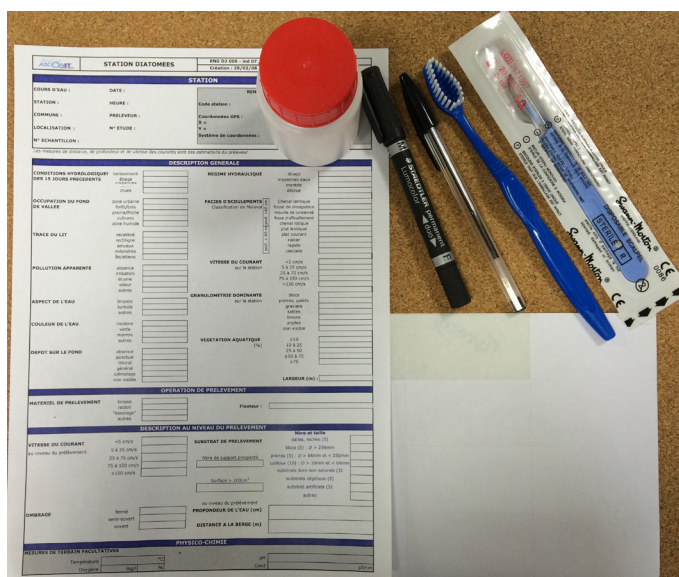
Le matériel préconisé est la brosse à dents ; le scalpel peut aussi être utilisé quand le biofilm est épais (Figure 12).

Le préleveur doit veiller à récupérer le biofilm sur toute son épaisseur afin de ne pas privilégier les espèces présentes dans l'épaisseur ou en surface du biofilm au détriment des espèces au port prostré.

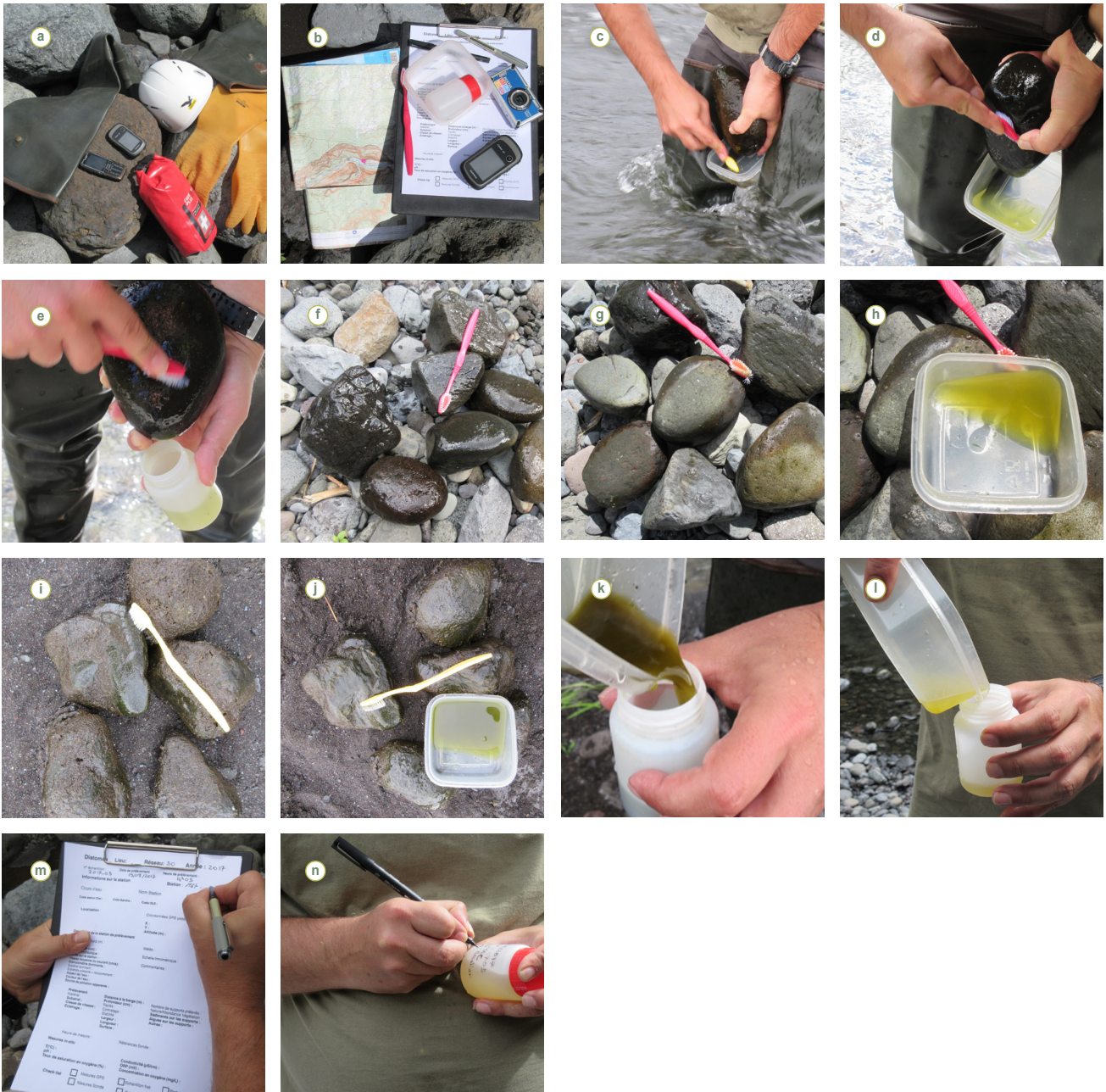
Afin d'éviter toute contamination entre échantillonnages successifs, le matériel doit être renouvelé pour chaque prélèvement et en aucun cas réutilisé.

Le biofilm ainsi prélevé peut être recueilli directement dans un flacon hermétique ou un sachet de prélèvement (un volume de 100 ml est conseillé) ou par l'intermédiaire d'un récipient plus large, préalablement soigneusement rincé pour éviter toute contamination, avant d'être transféré (Figure 13).

Figure 12. Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique, brosse à dents et scalpel, étiquettes, stylo, marqueur.



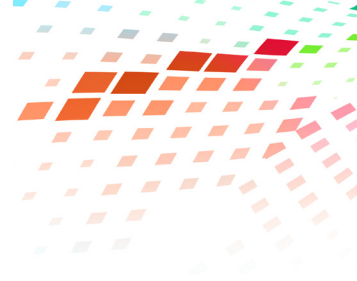
© Asconit pour AFB



© Gilles Gassiole - MicPhyc pour AFB

**Figure 13.** Prélèvement sur le terrain des échantillons de diatomées :

- (a) matériel de sécurité (gants, casque, trousse de secours...) ;
- (b) matériel utilisé lors du prélèvement (GPS, appareil photo, carte, brosse à dents, cuvette...) ;
- (c) prélèvement du biofilm à l'aide d'une brosse à dents et d'une cuvette ;
- (d) prélèvement du biofilm à l'aide d'une brosse à dents directement dans le pilulier ;
- (f) substrats de prélèvement (biofilm en place) ; plus de cinq substrats sont prélevés quand le biofilm est fin ;
- (g) substrats après le prélèvement du biofilm ;
- (h) biofilm récupéré dans la cuvette ;
- (k) biofilm versé dans le pilulier ;
- (m) renseignement de la fiche terrain avec les informations relatives aux conditions de prélèvement ;
- (n) inscription sur le pilulier des données d'identification du prélèvement.



## 3.4 Les données complémentaires

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

### Les informations géodésiques et de projection

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

Le système géodésique WGS84 doit être employé. La longitude (encodée X) et la latitude (encodée Y) du site de prélèvement doivent être relevées en mètres selon le système de projection adapté à La Réunion : UTM 40 S.

### Les mesures des paramètres physico-chimiques *in situ*

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

### Les images du site de prélèvement

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

### Les conditions hydrologiques et morphologiques

Il est conseillé d'accompagner ces données et photographies du descriptif des conditions hydrologiques et morphologiques de la station au moment du prélèvement (Tableau 5, page 34).

Tous ces éléments sont généralement consignés sur une « fiche terrain » conçue à cet effet. Un exemple de fiche terrain, conçu par Irstea, est téléchargeable sur le site « Hydrobio DCE » : [http://hydrobio-dce.irstea.fr/wp-content/uploads/2014/05/fiche-RCS-diatom%C3%A9es-v4-Nov12\\_format-papier.pdf](http://hydrobio-dce.irstea.fr/wp-content/uploads/2014/05/fiche-RCS-diatom%C3%A9es-v4-Nov12_format-papier.pdf). Dans le cadre des marchés avec l'Office de l'eau Réunion, celui-ci fournit un fichier pour bancariser les données de terrain et d'inventaires.

## 3.5 La fixation des échantillons

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

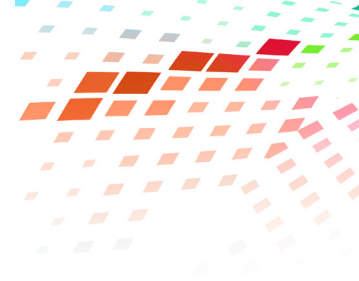
**Tableau 5. Éléments descriptifs accompagnant tout prélèvement de diatomées**

	Élément 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	
	Cours d'eau	Nom de la rivière	
	Station	Nom de la station	
	Commune	Nom de la commune	
	Code INSEE	Code de la commune	format 00000
	Longitude	WGS84, UTM zone 40 Sud	mètres
	Latitude	WGS84, UTM zone 40 Sud	mètres
	Altitude	de la station	mètres
	Réseau	Réseau d'appartenance de la station (Référence, RCS, RCO, contrôle d'enquête)	
Informations sur la station au moment du prélèvement	Date / heure	Jour du prélèvement / heure	jj/mm/aaaa/hh:mn
	Conditions hydrologiques	Inconnue/Nulle/Étiage/Forte/Hautes eaux	Nomenclature SANDRE (0/1/2/3/4)
	Largeur	Largeur moyenne du lit mouillé à l'endroit de la station (Télémètre ou estimation visuelle)	mètres
	Température	Température de l'eau mesurée à l'aide d'une sonde	°C
	Conductivité	Mesurée à l'aide d'une sonde	µS/cm
Informations sur le prélèvement	Support	- Pierres, galets (25-250 mm) - Roches, dalles, blocs (taille supérieure)	Nomenclature SANDRE (E/J)
	Classe de vitesse du courant	Estimation visuelle de la vitesse en surface (<5/5-25/25-75/75-150/>150)	Nomenclature SANDRE (cm/s) (N1/N3/N5/N4/N2)
	Ombrage	Fermé/semi-ouvert/ouvert	

Selon la Norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'utilisation d'une solution tamponnée de formaldéhyde<sup>2</sup> ou d'éthanol est recommandée pour la conservation des échantillons à long terme.

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

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



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

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



### 3.6 L'identification des échantillons

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

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

### 3.7 Le traitement des échantillons et la confection des préparations permanentes

#### Le matériel

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

- hotte aspirante ou système équivalent recommandé ;
- plaque chauffante et four à sable (facultatif) ;
- verrerie de laboratoire (tubes à essai, coupelles, lames, lamelles de préférence rondes). Les tubes doivent être résistants aux oxydants ou aux acides utilisés pour nettoyer les diatomées. L'utilisation de béciers plutôt que de tubes à essai est recommandée afin d'éviter les débordements et de favoriser une circulation lente et douce des liquides lors du chauffage. Les frustules sont ainsi mieux nettoyés et préservés ;

- pipettes ;
- cahier de laboratoire pour consigner les informations utiles au fur et à mesure des opérations ;
- centrifugeuse et cuve à ultrasons sont facultatives ;
- les réactifs correspondants aux méthodes de traitement utilisées :
  - solution de peroxyde d'hydrogène à 30 % (v/v) minimum,
  - acide chlorhydrique à 30 % (v/v) environ,
  - acide nitrique concentré,
  - acide sulfurique concentré,
  - permanganate de potassium,
  - acide oxalique saturé ;
- résine de montage à indice de réfraction élevé (supérieur à 1,7), par exemple Naphrax®, (Brunel Microscopes Ltd) :
  - toluène ou xylène pour la dilution de la résine de montage,
  - eau déminéralisée ou distillée.

## Le principe du traitement

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

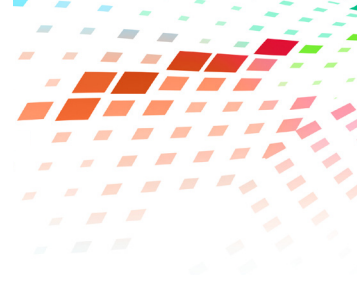
Le traitement est décrit dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), d'autres méthodes sont aussi décrites dans la norme européenne NF EN 13496 (CEN 2014).

Ce traitement comporte plusieurs étapes (Figure 14, page 38). Certaines étapes peuvent être adaptées afin d'améliorer la qualité des lames permanentes fabriquées à partir des échantillons réunionnais.

Une partie aliquote de l'échantillon est prélevée pour être traitée et mise dans un bécher ou un tube à essai. En cas d'utilisation du formol pour la fixation des échantillons, l'aliquote en est débarrassée par des cycles de lavage/décantation à l'eau distillée ou déminéralisée. Les béchers ou les tubes à essai sont couverts pour éviter toute contamination entre les échantillons.

En suivant la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), l'échantillon est débarrassé de la matière organique par un traitement à chaud avec de l'eau oxygénée. La température, la durée du traitement et la concentration finale en peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) à 30 % (v/v) sont variables en fonction de l'estimation de la quantité de matière organique de l'échantillon (de deux à six volumes d' $H_2O_2$  sont conseillés).

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



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

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

D'autres méthodes sont possibles pour débarrasser les échantillons de la matière organique. La norme européenne NF EN 13496 (CEN 2014) propose entre autre une méthode basée sur l'utilisation combinée à froid du permanganate de potassium et de l'acide sulfurique. 5 ml d'acide sulfurique concentré sont ajoutés à l'échantillon. Ensuite, 0,1 g de permanganate de potassium à l'état solide est ajouté. Puis l'échantillon est agité doucement pour permettre aux cristaux de se dissoudre. La suspension prend alors une coloration pourpre. Le traitement est poursuivi pendant deux jours, période au cours de laquelle la solution est homogénéisée plusieurs fois. Puis 10 ml d'acide oxalique sont ajoutés lentement pour obtenir au final une suspension de particules décolorées (principalement des valves de diatomées).

Quatre cycles de rinçage par dilution et décantation dans de l'eau distillée ou déminéralisée sont ensuite effectués pour éliminer tous les résidus des produits chimiques utilisés. La décantation nécessite une dizaine d'heures au minimum, mais peut être accélérée par centrifugation (1 500 tours/min pendant trois minutes).

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

Déposer une ou plusieurs gouttes de résine de montage sur la lame préalablement identifiée.

A l'aide d'une pince, déposer la lamelle – face recouverte de diatomées – sur la résine, poser la lame sur la plaque chauffante afin de laisser évaporer tout le solvant contenu dans la résine.

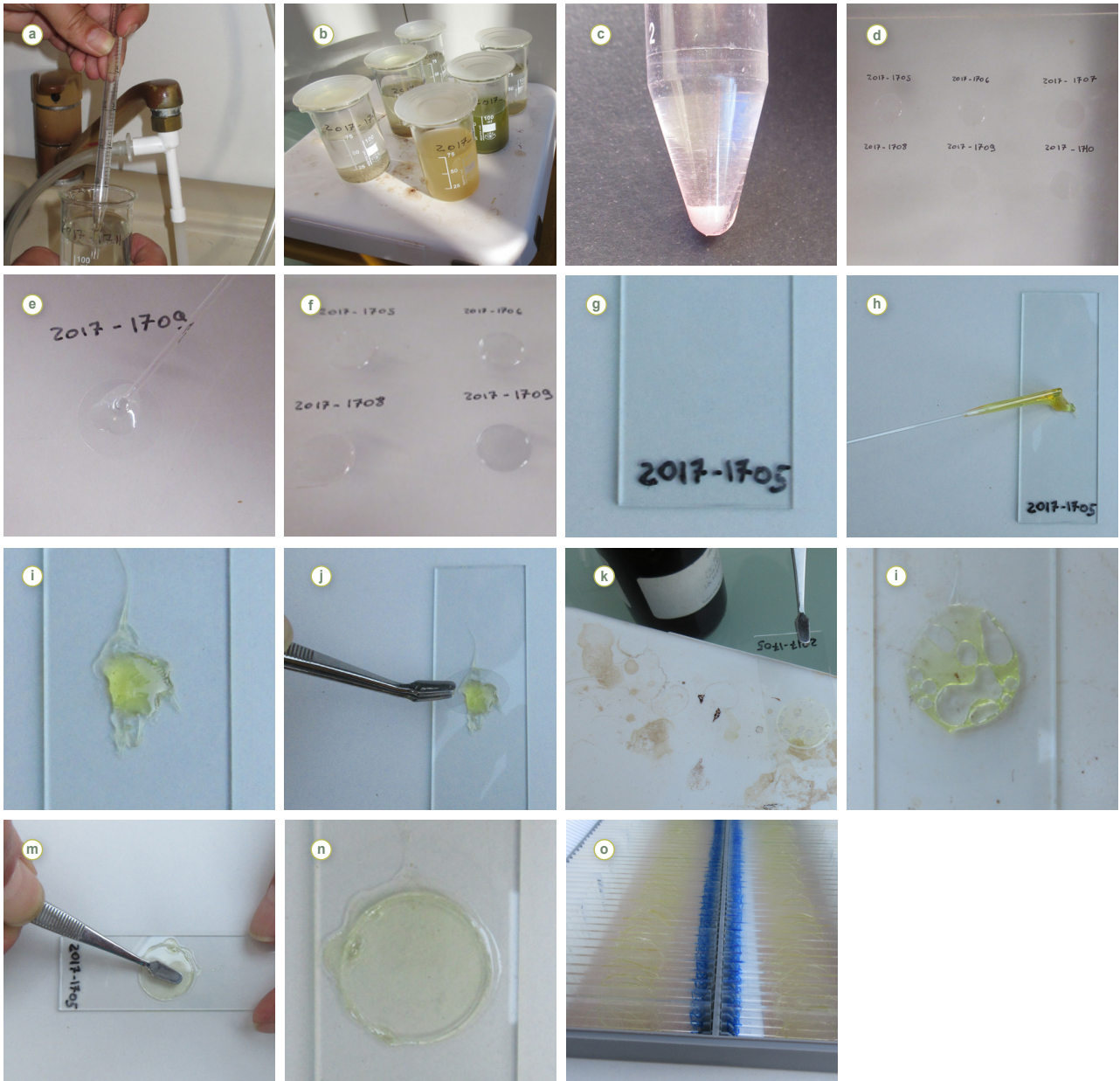
Lorsque les bulles de solvant se font plus rares, presser uniformément et délicatement la lamelle afin d'éliminer les dernières bulles et d'obtenir une répartition uniforme de la résine sur toute la surface de la lamelle.

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

Une vérification de la concentration en diatomées en conditions réelles de comptage (grossissement x 1000) est réalisée. Celle-ci doit être de 10 à 20 unités diatomiques par champs. Dans le cas contraire, il faut ajuster la dilution ou la concentration de la solution, jusqu'à obtention de la densité correcte.

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

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

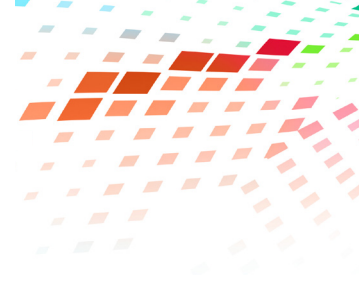


© Gilles Gassiole - MicPhyc pour AFB

**Figure 14.** Traitement des échantillons et confection des préparations permanentes de diatomées :

- (a) aspiration du surnageant lors des différentes phases de lavage-décantation à l'aide d'une pompe à vide ou avec une simple pipette ;
- (b) chauffage des béchers contenant l'aliquote de l'échantillon ainsi que les réactifs pour éliminer la matière organique ;
- (c) après traitement, obtention d'un culot blanc composé des frustules de diatomées ;
- (d) préparation des lamelles propres avant le dépôt de l'échantillon traité ;
- (e) dépôt d'une goutte d'échantillon traité sur la lamelle à l'aide d'une pipette ;
- (f) séchage des lamelles après dépôt de l'échantillon traité ;
- (g) lame porte-objet référencée avec le numéro d'échantillon ;
- (h) dépôt de la résine sur la lame porte-objet ;
- (i) goutte de résine sur la lame porte-objet ;
- (j) dépôt de la lamelle sèche de l'échantillon traité, face couverte de diatomées sur la résine ;
- (k) chauffage de la lame sur la plaque chauffante ;
- (l) le solvant contenu dans la résine s'évapore en formant des bulles ;
- (m) pression délicate au centre de la lamelle pour éliminer les dernières bulles et permettre une répartition uniforme de la résine ;
- (n) lamelle collée avec quelques bavures de résine qui pourront être enlevées avec une lame de rasoir ;
- (o) stockage des préparations permanentes.





## Les difficultés couramment rencontrées

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

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

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

La présence de matière organique résiduelle formant une gangue autour des frustules ou des valves et gênant l'observation (Figure 15).

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

**Figure 15.**  
*Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomées.*

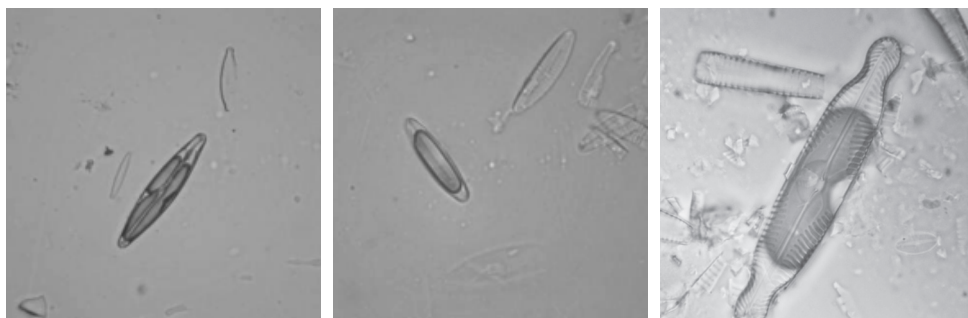


© Asconit pour AFB

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

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

Des frustules contiennent des bulles (Figure 16).



© Asconit pour AFB

**Figure 16.** *Présence de bulles dans les frustules.*

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.

La quantité de matériel biologique est insuffisante, du fait de la biomasse algale souvent faible à La Réunion.

Il est recommandé de prélever une grande quantité de matériel biologique, sur une surface dépassant parfois 1 000 cm<sup>2</sup>. La collecte des diatomées dans un récipient et le rinçage de la surface échantillonnée avec le biofilm déjà prélevée sans nouvel ajout d'éthanol permettent également de concentrer l'échantillon.

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

Comme précisé dans la norme NF T 90-354 (Afnor 2016), les lames d'observation sont des préparations 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 l'observation du matériel en microscopie électronique.

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



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

## 4

### 4.1 L'analyse des lames permanentes

#### Le matériel

Les observations peuvent être réalisées au microscope avec un objectif x 100 à immersion pour un grossissement final de x 1000, en contraste de phase, en contraste interférentiel ou en fond clair. Le mode fond clair peut être pénalisant pour certaines espèces très peu silicifiées comme *Mayamaea permitis* ou *Fistulifera saprophila*. Le contraste de phase est dans ce cas le meilleur moyen de les détecter.

#### La méthode de comptage

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

Après un balayage exhaustif de la lame afin d'identifier le plus d'espèces possible, un comptage par champs (par exemple grâce à un balayage par transects, Figure 17) est effectué sur au moins 500 unités diatomiques afin de dresser un inventaire taxinomique. Il est recommandé d'éviter les champs situés en bordure de la lame afin de limiter un effet de bord (abondance relative des diatomées différente sur les bords). L'unité de comptage, ou unité diatomique, est la valve. Le frustule entier comporte deux valves soit deux unités diatomiques.

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

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

Le nombre d'unités diatomiques à compter est supérieur à celui préconisé pour le calcul de l'IBD. Ce nombre correspond à un bon compromis entre l'effort d'analyse et le nombre d'espèces prises en compte pour le calcul de l>IDR et permet notamment une



**Figure 17.** Balayage de la lame par transects horizontaux (d'après la norme NF T 90-354, Afnor 2007, modifié).

meilleure prise en compte des taxons d'alerte (§ 2.2 page 22). Il a été déterminé lors de comptages à épuisement (détermination du nombre de nouveaux taxons observés par tranches de 100 valves comptées à concurrence de 1 000 valves).

## Les ouvrages de référence et autres ouvrages utiles

### Les ouvrages de références pour la détermination des diatomées de La Réunion

L'ouvrage de base pour l'identification des diatomées de La Réunion est *l'Atlas des diatomées des rivières de La Réunion* (Gassiole *et al.* 2015). Il reprend le rapport « Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des diatomées - Partie iconographie » (Gassiole *et al.* 2011, [http://www.onema.fr/IMG/pdf/2011\\_059.pdf](http://www.onema.fr/IMG/pdf/2011_059.pdf)). Ces documents n'illustrent pas tous les taxons indiciaires de l'IDR ; l'annexe 2 du présent guide illustre les taxons manquants.

### Les autres ouvrages utiles

Certaines espèces présentes à La Réunion sont cosmopolites ou déjà inventoriées dans les Mascareignes. D'autres ouvrages peuvent être utiles à la détermination en proposant d'autres illustrations et des descriptions. Les ouvrages les plus utiles sont référencés dans la bibliographie (page 50 et suivantes).

## 4.2 La bancarisation des résultats

### L'encodage des taxons

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

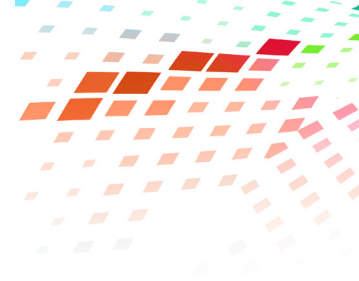
Les codes métier utilisés à ce jour sont les codes préexistants ou créés dans le logiciel Omnidia (Lecoing *et al.* 1993), utilisé au cours du développement de l'indicateur pour la saisie des données. Le logiciel Omnidia ne peut cependant pas être utilisé pour le calcul de l'IDR et ne présente donc pas d'intérêt, même pour la bancarisation des données floristiques.

Les autres espèces inventoriées à La Réunion, qui bien que reconnues et illustrées dans le guide iconographique et l'atlas (Gassiole *et al.* 2011, 2015), ne sont pas encore décrites ou associées à une référence dans la bibliographie mondiale, se sont vu affecter un code métier constitué, en règle générale, des deux ou trois premières lettres du genre et d'un nombre à un ou deux chiffres.

La liste des taxons et de leurs codes est fournie en annexe 1.

Pour les taxons qui ont changé de dénomination entre l'Atlas des diatomées de La Réunion (Gassiole 2015) et le présent guide, une table de correspondance est fournie en annexe 3.

Afin que les données puissent être bancarisées dans une base de données nationale et utilisées par le système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE), les taxons réunionnais sont en voie d'être dotés d'un code SANDRE. Cependant, et jusqu'à nouvel ordre, le calcul de l'IDR via le SEEE se fait avec les codes métier.



Les codes SANDRE n'auront un intérêt pour le calcul de l'IDR que lorsqu'ils seront pris en compte par le SEEE. D'ici là, les codes SANDRE auront leur utilité pour l'import des données dans les banques nationales (Naïades).

## La saisie et la bancarisation des données

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

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

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

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

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



# Le calcul de l'IDR

# 5

## 5.1 La formule de calcul

Le calcul de l'IDR se fait en trois étapes.

**Étape 1**

$$IDR_{site} = \left( \frac{Occ^+}{Rspe^{profils}} * \sum Ab_{relative}^+ \right) - \left( \frac{Occ^-}{Rspe^{profils}} * \sum Ab_{relative}^- \right) - 3 * \left( \frac{Occ^{--}}{Rspe^{profils}} * \sum Ab_{relative}^{--} \right) - 5 * \left( \frac{Occ^{---}}{Rspe^{profils}} * \sum Ab_{relative}^{---} \right)$$

Avec :

- $Occ^{+, -, --, ---}$  = occurrence des taxons possédant un attribut (+, -, --, ---)
- $Rspe^{profils}$  = richesse spécifique des taxons possédant un profil dans l'échantillon
- $\sum Ab_{relative}^{+, -, --, ---}$  = somme des abondances relatives de tous les taxons possédant un attribut (+, -, --, ---)

### Étape 2

Pondération de l'IDR par rapport à la somme des abondances relatives des taxons ayant un attribut. Cette valeur sert aussi d'alerte pour signaler une sous-représentativité de la flore prise en compte dans l'indice.

$$IDR = \frac{IDR_{site}}{\sum Ab_{relative}^{profils}}$$

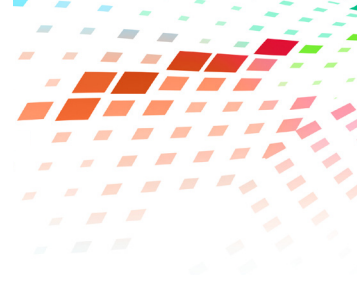
Avec :

- $\sum Ab_{relative}^{profils}$  = somme des abondances relatives de tous les taxons possédant un attribut (+, -, --, ---)

### Étape 3

Transformation de l'indice brut en une note de 0 à 20.

$$IDR_{20} = \frac{IDR+330}{100+330} * 20$$



C'est cette note indicielle sur 20 qui peut ensuite être convertie en EQR, comme demandé par la DCE, pour chaque zone naturelle, en se basant sur le niveau de référence interne à la zone (Tableaux 3 et 4) pour calculer l'écart du relevé à la valeur de référence (échelle 0-1). La valeur d'EQR obtenue est ensuite confrontée à la grille adéquate d'évaluation en EQR (Arrêté « évaluation » du 27 Juillet 2015, MEDDE 2015a ; Tableau 6), afin d'évaluer l'état écologique sur la station au relevé.

**Tableau 6.** Grille retenue pour l'interprétation de l'IDR en classes d'état écologique exprimées en EQR et en notes /20, et codes couleurs associés. Source : arrêté « évaluation », MEDDE 2015a

	Classe d'état	Très bon état	Bon état	État moyen	État médiocre	Mauvais état
	Code couleur	<b>C90M15J20N0</b> RVB : 26/217/204	<b>C60M10J50N0</b> RVB : 102/230/128	<b>C0M10J65N0</b> RVB : 255/230/89	<b>C0M40J100N0</b> RVB : 255/153/0	<b>C0M100J100N0</b> RVB : 255/0/0
<b>Zone naturelle « est »</b> <small>(de la Rivière Sainte-Suzanne au Nord à la Rivière de l'Est au Sud)</small>	EQR	≥ 0,9875	≥ 0,935	≥ 0,740	≥ 0,400	< 0,400 - 0
	Notes d'IDR	≥ 19,572	≥ 18,532	≥ 14,667	≥ 7,928	< 7,928 - 0
<b>Zone naturelle « ouest »</b> <small>(de la Rivière des Pluies au Nord à la Rivière des Remparts au Sud)</small>	EQR	≥ 0,980	≥ 0,940	≥ 0,760	≥ 0,420	< 0,420 - 0
	Notes d'IDR	≥ 19,306	≥ 18,518	≥ 14,972	≥ 8,274	< 8,274 - 0

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

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

## 5.3 La grille d'interprétation de la note d'IDR au relevé

Une fois calculé, l'IDR doit permettre d'évaluer l'état écologique d'une masse d'eau au sein d'une HER ou, en ce qui concerne La Réunion, d'une zone naturelle (§ 1.5). Pour ce faire, une grille d'interprétation des notes d'IDR a été définie (§ 2.3).

La grille d'interprétation produite doit être mise en œuvre au cours du 2<sup>e</sup> plan de gestion DCE (2016-2021). Elle est prescrite réglementairement (arrêté « évaluation », MEDDE 2015a).

La grille d'évaluation de l'état écologique sur la base de l'IDR retenue réglementairement (arrêté « évaluation », MEDDE 2015a) est donnée par le Tableau 6 page précédente.

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

Selon l'arrêté « évaluation » du 27 juillet 2015 (MEDDE 2015a), la classification de l'état pour l'élément de qualité biologique « diatomées » s'établit en calculant « *la moyenne des indices des trois années consécutives les plus récentes pour lesquelles on dispose de données acquises et validées, conformément aux dispositions de l'article 12 (plus précisément de l'annexe 9). À défaut de celles-ci, on utilise les données disponibles et validées de la ou des années les plus récentes.* » Cette moyenne est ensuite comparée aux mêmes limites de classe que celles déterminées pour l'évaluation au relevé (Tableau 6).





## Niveau de confiance et d'incertitude

# 6

### 6.1 Le niveau de confiance de l'état écologique

Le niveau de confiance de l'état écologique pour les eaux douces de surface doit être évalué conformément à l'annexe 11 de l'arrêté « évaluation » du 27 juillet 2015 (MEDDE 2015a).

Trois niveaux de confiance sont distingués (Tableau 7).

**Tableau 7.** Niveau de confiance de la classification de l'état écologique et codes couleurs associés (MEDDE 2015a)

Niveau de confiance	3 (Élevé)	2 (Moyen)	1 (Faible)	Pas d'information
Code couleur	C45M0J70N0 RVB: 140/255/77	C10M5J30N0 RVB: 230/242/179	COM50J25N0 RVB: 255/128/191	Gris 30 % RVB: 77/77/77

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

### 6.2 Les incertitudes associées à l'IDR

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

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

Les variations brutales de niveau d'eau sont rapides et fréquentes. Il n'est pas toujours aisé de repérer les substrats restés immergés en permanence au cours des deux mois précédents.

Les crues peuvent être très fugaces et difficiles à repérer. De plus les données de surveillance des crues ne sont pas disponibles en temps réel. Il n'est donc pas toujours possible de s'assurer avec certitude que le prélèvement respecte le délai recommandé en fonction de l'occurrence et de l'intensité d'un épisode de crue.

La biomasse du biofilm est variable et globalement faible. Les facteurs explicatifs avancés sont l'oligotrophie du milieu, le broutage intense – notamment par les poissons des genres *Sicyopterus* et *Cotylopus*, et plusieurs espèces de mollusques –, l'abrasion du biofilm liée aux crues et la présence d'une ripisylve dense qui limite l'apport en lumière. L'influence de ces paramètres sur la biomasse, la composition spécifique du peuplement diatomique et par conséquent sur le calcul de l'IDR n'a cependant pas été étudiée.

À La Réunion, comme en métropole, la détermination des espèces étant liée à l'observation du frustule après préparation de lames permanentes, certaines pollutions toxiques entraînant la mort des cellules peuvent passer inaperçues tant que les cellules mortes restent présentes dans le biofilm.

### Les incertitudes liées à la conception de l'outil

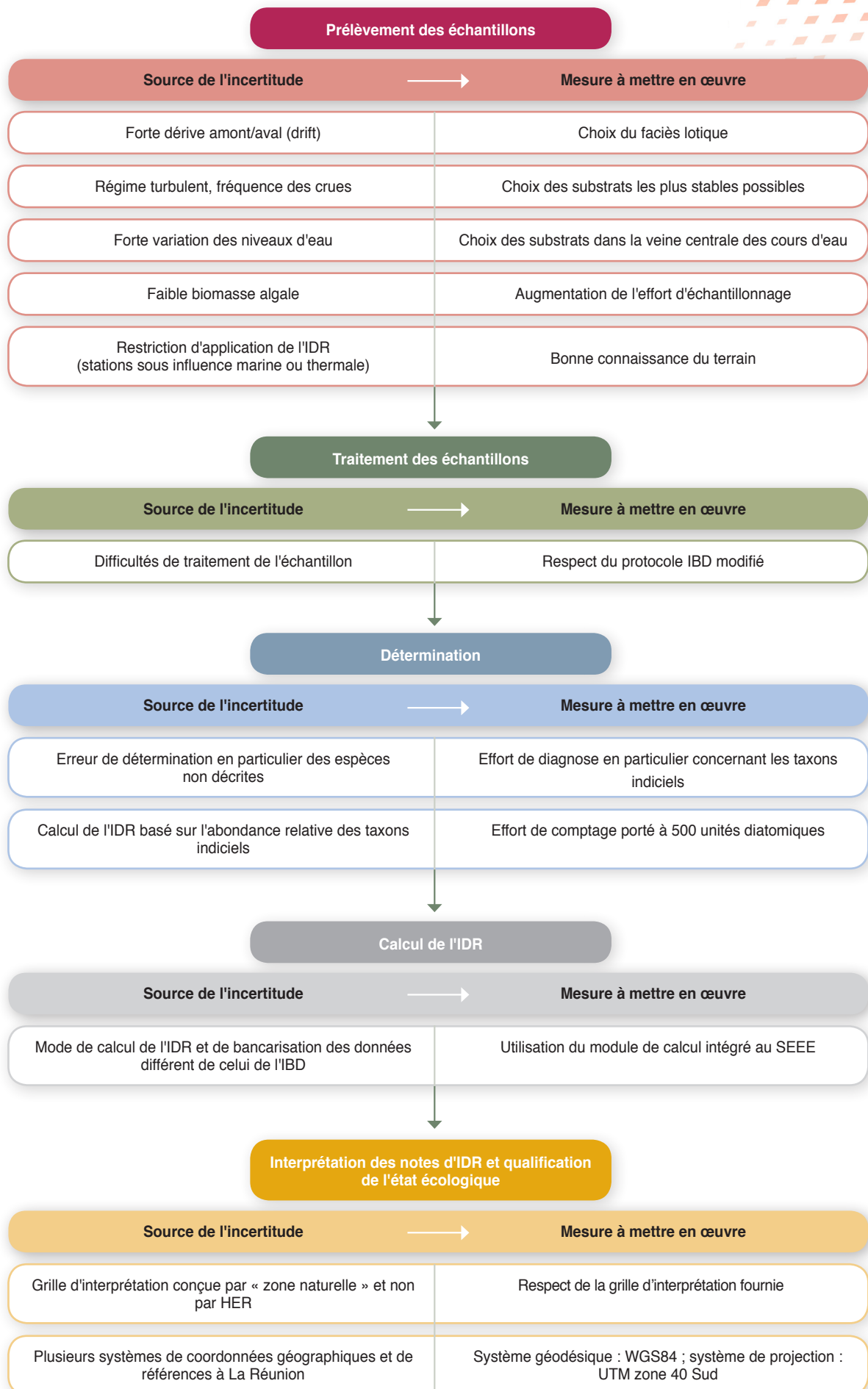
Une part des incertitudes liées à l'IDR peut être attribuée au volume du jeu de données à partir duquel l'indicateur a été conçu. En effet, les analyses statistiques qui ont conduit à l'élaboration de l'indice reposent sur les données de 345 relevés diatomiques acquis entre 2008 et 2013. Or il est évident que la robustesse de l'indice dépend en grande partie de l'importance du jeu de données.

Les paramètres physico-chimiques qui sont couplés aux relevés diatomiques peuvent également être source d'incertitudes du fait de la variabilité des méthodes analytiques et des limites de quantification proposées par les laboratoires qui ont fourni ces données. L'échantillonnage ponctuel est aussi porteur d'une variabilité intrinsèque importante. C'est pourquoi, dans le cadre du programme d'élaboration de l'IDR, l'assise de données abiotiques a fait l'objet d'une intégration temporelle sur le trimestre, afin de minimiser la variabilité pouvant résulter de la stratégie d'échantillonnage ponctuel de chimie des eaux.

Enfin, un nombre non négligeable de taxons, y compris parmi les taxons indiciaires et les taxons d'alerte, ne sont pas encore décrits, ou bien sont peu ou pas illustrés dans la littérature, ce qui augmente les difficultés et incertitudes de détermination.

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

Chaque étape dans la mise en œuvre de la méthode peut entraîner des incertitudes. La Figure 18, page suivante, résume leurs origines et les moyens de les minimiser.



**Figure 18.** Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDR pour l'évaluation de l'état écologique et les mesures à mettre en œuvre pour y remédier.



## Références bibliographiques

### Bibliographie du guide

Afnor (2007). *Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)*. Norme NF T 90-354. Afnor, 80 p.

Afnor (2016). *Qualité de l'eau. Détermination de l'indice biologique diatomées (IBD)*. Norme NF T 90-354, 121 p.

Asconit consultants & Irstea (2013). Programme d'étude et de recherche 2009-2012. Guide méthodologique pour la mise en oeuvre de l'indice diatomique antillais. Vol. 1 : guide iconographique. Rapport, 237 p.

Boutry S., Gassiole G., Rosebery J., Giraudel J.-L., Pérès F., Coste M. & Delmas F. (2012). *Mise au point d'un indice diatomique pour les cours d'eau de La Réunion (IDR) : rapport final sur la démarche d'élaboration de l'indice*. Rapport Asconit Consultants & Irstea, 128 p.

Boutry S., Gassiole G., Coste M., Rosebery J. & Delmas F. (2013). *Note de travail sur l'optimisation de l'indice diatomique Réunion : « De l'IDR\_V1 à l'IDR\_V5 / Variante 4 » (Synthèse des travaux réalisés entre Juillet et Octobre 2013)*. Rapport Asconit consultants & Irstea (V2 du 04-12-2013), 61 p.

Boutry S., Gassiole G., Coste M., Rosebery J. & Delmas F. (2014). *Evaluation de l'état écologique des cours d'eau de La Réunion à l'aide du compartiment diatomique sur la base de l'IDR\_V5 stabilisé. Synthèse des travaux réalisés entre octobre et décembre 2013*. Rapport Asconit consultants & Irstea (VF du 7/03/2014), 39 p.

CEN (2014). *Qualité de l'eau - guide pour l'échantillonnage en routine et le prétraitement des diatomées benthiques de rivières*. Norme NF EN 13946, 17 p.

European commission (2000). *Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*. 72 p.

Gassiole G. (2014). *Diatomées épilithiques des cours d'eau pérennes de l'île de La Réunion. Taxinomie-Ecologie*. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux soutenue le 26 mars 2014, 512 p.

Gassiole G., Boutry S., Picot A., Delmas F., Gwilherm J., Moreira S., Giraudel J.-L., Le Cohu R., Coste M. & Pérès F. (2011a). *Conception d'indices de bio-évaluation de la qualité écologique des rivières de l'île de La Réunion à partir des diatomées. Partie guide méthodologique*. Rapport Asconit Consultants & Irstea, 83 p.

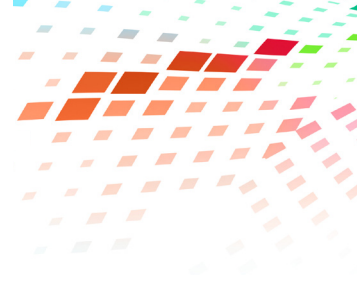
Lecoite C., Coste M. & Prygiel J. (1993). "Omnidia": software for taxonomy, calculation of diatom indices and inventories management. *Hydrobiologia*, 269/270: 209-213.

Mann D.G. & Droop S.J.M. (1996). Biodiversity, biogeography and conservation of diatoms. *Hydrobiologia*, 336: 19-32.

MEDDE - ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015a). *Arrêté du 27 juillet 2015, 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*. Journal officiel de la République française.

MEDDE - ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (2015b). *Arrêté du 7 août 2015, établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement*. Journal officiel de la République française.

Monnier O., Basilico L., Reyjol Y. & Ximénès M.-C. (2016). La bioindication en outre-mer. Situation et perspectives dans le contexte de la directive cadre sur l'eau. Synthèse du séminaire « Méthodes de bioindication adaptées aux départements d'outre-mer », Paris, les 20 et 21 mars 2014. *Les Rencontres de l'ONEMA - Synthèse*, 126 p.



Wasson J.-G., Chandesris A. & Pella H. (2004). *Hydro-écorégions de l'île de La Réunion. Propositions de régionalisation des écosystèmes aquatiques en vue de l'application de la directive cadre européenne sur l'eau*. Rapport Cemagref, 16 p.

## Bibliographie taxinomique

*NB : hors travaux de référence, ne sont listés ici que les travaux qui ne sont pas cités dans l'atlas des diatomées de La Réunion (Gassiole et al. 2015).*

### - Travaux de référence

Gassiole G. (2014). *Diatomées épilithiques des cours d'eau pérennes de l'île de La Réunion. Taxinomie-Ecologie*. Thèse de doctorat de l'Université de Bordeaux soutenue le 26 mars 2014, 512 p.

Gassiole G., Boutry S., Picot A., Delmas F., Gwilherm J., Moreira S., Giraudel J.-L., Le Cohu R., Coste M., Pérès F. & Ruffié K. (2015). *Atlas des diatomées des eaux douces de l'île de La Réunion*. Office de l'eau Réunion, 235 p.

Gassiole G., Le Cohu R. & Coste M. (2013). *Achnantheidium palmeti* (Bacillariophyta, Achnanthidiaceae), a new freshwater species from Réunion Island. *Phytotaxa*, 119: 21-32.

Klee R., Houk V. & Bielsa S. (2000). *Cyclotella mascarenica* nov. spec., a new stelligeroid *Cyclotella* (Bacillariophyceae) from a pond of the Réunion Island (France). *Algological studies*, 133: 7-25.

Le Cohu R., Gassiole G. & Coste M. (2012). *Kobayasiella bebourensis*, a new freshwater diatom species from Réunion Island and further observations on *K. micropunctata* and *K. jagii*. *Journal of Phycology*, 48: 401-408.

Le Cohu R., Gassiole G. & Coste M. (2014). Three new species of Cymbellales (Bacillariophyceae) from Réunion Island. *Phytotaxa*, 156: 117-132.

Le Cohu R., Ten-Hage L. & Coste M. (2009). *Geissleria bourbonensis*, *G. mascarenicensis*, *G. creolorum* et *G. mafatensis*, quatre espèces nouvelles de diatomées d'eau douce de l'île de La Réunion (France). *Diatom Research*, 24: 307-326.

Reichardt E. (1997). Taxonomische Revision des Artenkomplexes um *Gomphonema pumilum* (Bacillariophyceae). *Nova Hedwigia*, 65: 99-130.

Reichardt E. (2001). Revision der Arten um *Gomphonema truncatum* und *G. capitatum*. In : Jahn R., Kociolek J.P., Witkowski A. & Compère P. (eds), *Lange-Bertalot Festschrift: Studies on Diatoms. Dedicated to Prof. Dr. Dr. h.c. Horst Lange-Bertalot on the occasion of his 65th Birthday*. A.R.G. Gantner Verlag, K.G., p. 187-224.

### - Sélection de travaux concernant des taxons de la flore réunionnaise et d'ouvrages de détermination non référencés dans l'atlas des diatomées de La Réunion (Gassiole et al. 2015) ou nécessaires au suivi de l'évolution des dénominations de taxons

Abarca N., Jahn R., Zimmermann J. & Enke N. (2014). Does the cosmopolitan diatom *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing have a biogeography? *PLoS ONE*, 9: 1-18.

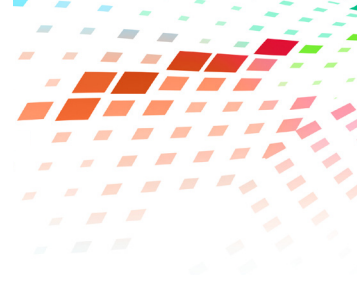
Ács A., Wetzel C.E., Buczkó K., Kiss K.T., Nagy K., Trábert Z., Földi A., Pozderka V., Werner P., Heudre D. & Ector L. (2017). Biogeography and morphology of a poorly known *Sellaphora* species. *Fottea*, 17: 57-64.

Archibald R.E.M. (1982). Diatoms of South Africa 1. New species from the Sundays River (Eastern Cape Province). *Bacillaria*, 5: 23-42.

Bukhtiyarova L.N. (1999). *Diatoms of Ukraine. Inland waters*. National Academy of Sciences of Ukraine. M.G. Kholodny Institute of Botany, Kiev, Ukraine. 133 p.

Bukhtiyarova L.N. & Pomazkina G.V. (2013). *Bacillariophyta of Lake Baikal*. Volume 1. Genera *Baikalia*, *Slavia*, *Navigeia*, *Placogeia*, *Grachevia*, *Goldfishia*, *Nadiya*, *Cymbelgeia*. Lviv, Lega-Pres, 184 p.

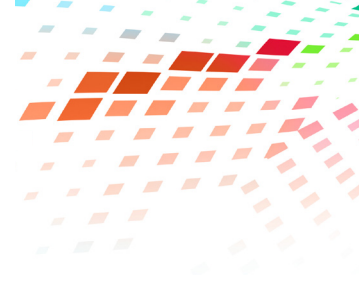
- Cleve P.T. (1891). The diatoms of Finland. *Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica*, 8(2): 1-68.
- Cleve P.T. & Grunow A. (1880). Beiträge zur Kenntniss der arctischen Diatomeen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, ser. IV, 17(2): 1-121.
- Cleve P.T. & Möller J.D. (1879). Diatoms. Part IV. *Upsala Esatas Edquists Boktryckeri*, N° 169-216.
- Cleve-Euler A. (1952). Die Diatomeen von Schweden und Finnland. Part V. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, ser. IV, 3(3): 1-153.
- De Toni G.B. (1891). *Sylloge algarum omnium hucusque cognitarum. Vol. II. Sylloge Bacillariearum. Sectio I. Rhaphideae*. Padua, Sumptibus auctoris, 490 p.
- Ehrenberg C.G. (1832). Über die Entwicklung und Lebensdauer der Infusionsthierie ; nebst ferneren Beiträgen zu einer Vergleichung ihrer organischen Systeme. *Abhandlungen der Königlichen Akademie Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse*, 1831: 1-154.
- Ehrenberg C.G. (1838). *Die Infusionsthierchen als vollkommene Organismen: Ein Blick in das tiefere organische Leben der Natur*. Leipzig, Verlag von Leopold Voss, 547 p.
- Ehrenberg C.G. (1843). Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika. *Abhandlungen der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*, 1841: 291-466.
- Fryxell G.A & Hasle G.R. (1977). The genus *Thalassiosira*: species with a modified ring of central strutted processes. *Beihefte zur Nova Hedwigia*, 54: 67-98.
- Gregory W. (1857). On the post-Tertiary diatomaceous sand of Glenshira. Part II. Containing an account of a number of additional undescribed species. *Transactions of the Microscopical Society of London*, 5: 67-88.
- Grunow A. (1880). Bemerkungen zu den Diatomeen von Finnmark, dem Karischen Meere und vom Jenissey nebst Vorarbeiten für Monographie der Gattungen *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Pleurosigma*, *Amphiprora*, *Plagiotropis*, *Hyalodiscus*, *Podosira* und einiger *Navicula*-Gruppen. *Kongliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar*, ser. IV, 17(2): 16-121.
- Grunow A. (1884). Die Diatomeen von Franz Josefs-Land. *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*, Wien, 48: 53-112.
- Hantzsch C.A. (1860). Neue Bacillarien: *Nitzschia vivax* var. *elongata*, *Cymatopleura nobilis*. *Hedwigia*, 2(7): 1-40.
- Heinzerling O. (1908). Der Bau der Diatomeenzelle mit besonderer Berücksichtigung der ergastischen Gebilde und der Beziehung des Baues zur Systematic. *Bibliotheca Botanica* 15(69): 1-88.
- Hofmann G., Werum M. & Lange-Bertalot H. (2017). *Freshwater benthic diatoms of central Europe: over 800 common species used in ecological assessment*. Cantonati M., Kelly M.G, Lange-Bertalot H. (Eds), Koeltz botanical books, 942 p.
- Hohn M.H. & Hellermann J. (1963). The taxonomy and structure of diatom populations from three eastern North American rivers using three sampling methods. *Transactions of the American Microscopical Society*, 82(3): 250-329.
- Hustedt F. (1935). Die fossile Diatomeenflora in den Ablagerungen des Tobasses auf Sumatra. *Archiv für Hydrobiologie Supplement*, 14: 143-192.
- Hustedt F. (1939). Die Diatomeenflora des Küstengebietes der Nordsee vom Dollart bis zur Elbemündung. I. Die Diatomeenflora in den Sedimenten der unteren Ems sowie auf den Watten in der Leybucht, des Memmert und bei der Insel Juist. *Adhandlungen des Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen*, 31(2/3): 571-677.
- Hustedt F. (1950). Die Diatomeenflora norddeutscher Seen mit besonderer Berücksichtigung des holsteinischen Seengebiets V-VII. Seen in Mecklenburg, Lauenburg und Nordostdeutschland. *Archiv für Hydrobiologie*, 43: 329-458.



- Hustedt F. (1957). Die Diatomeenflora des Fluss-systems der Weser im Gebiet der Hansestadt Bremen. *Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Verein zu Bremen*, 34(3): 181-440.
- Krammer K. (1992). *Pinnularia*. Eine Monographie der europäischen Taxa. *Bibliotheca Diatomologica*, 26: 1-353.
- Krammer K. (1997b). Die cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 2. *Encyonema* Part. 2, *Encyonopsis* und *Cymbellopsis*. *Bibliotheca Diatomologica*, 37: 1-469.
- Krammer K. (2003). *Cymbopleura*, *Delicata*, *Navicymbula*, *Gomphocymbellopsis*, *Afrocymbella*. *Diatoms of Europe*, 4: 1-529.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (1991). Bacillariophyceae Teil 3: Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 2/3: 1-576 p.
- Krammer K. & Lange-Bertalot H. (2004). Bacillariophyceae Teil 4: Achnanthesaceae, Kritische Ergänzungen zu *Achnanthes* s. l., *Navicula* s. str., *Gomphonema*. Gesamtliteraturverzeichnis Teil 1-4. In: H. Ettl, G. Gärtner, J. Gerloff, H. Heynig & D. Mollenhauer (Eds), *Süßwasserflora von Mitteleuropa*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg & Berlin, 2/4: 1-468.
- Kützing F.T. (1849). *Species algarum*. Leipzig, F.A. Brockhaus, 922 p.
- Lange-Bertalot H. (1976). Eine Revision zur Taxonomie der Nitzschiae lanceolatae Grunow. Die «klassischen» bis 1930 beschriebenen Süßwasserarten Europas. *Nova Hedwigia*, 28: 253-307.
- Lange-Bertalot H. (1993). 85 neue taxa und über 100 weitere neu definierte Taxa ergänzend zur Süßwasserflora von Mitteleuropa. *Bibliotheca Diatomologica*, 27: 1-164.
- Lange-Bertalot H. (1997). Zur Revision der Gattung *Achnanthes* sensu lato (Bacillariophyceae): *Achnantheiopsis*, eine neue Gattung mit dem Typus generis *A. lanceolata*. *Archiv für Protistenkunde*, 148: 199-208.
- Lange-Bertalot H. (2001). *Navicula* sensu stricto. 10 Genera separated from *Navicula* sensu lato. *Frustulia. Diatoms of Europe*, 2: 1-526.
- Lange-Bertalot H. & Genkal S.I. (1999). Diatomeen aus Sibirien I. Inseln im Arktischen Ozean (Yugorsky-Shar Strait). *Iconographia Diatomologica*, 6: 1-303.
- Lange-Bertalot H. & Krammer K. (1987). Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae. Neue und wenig bekannte Taxa, neue Kombinationen und Synonyme sowie Bemerkungen und Ergänzungen zu den Naviculaceae. *Bibliotheca Diatomologica*, 15: 1-289.
- Lange-Bertalot H. & Metzeltin D. (1996). Oligotrophie-Indikatoren. 800 Taxa repräsentativ für drei diverse Seentypen: Kalkreich - Oligodystroph - Schwach gepuffertes Weichwasser. *Iconographia Diatomologica* 2: 1-390.
- Le Cohu R. & Van de Vivier B. (2002). The diatom genus *Diademsis* in the Crozet and Kerguelen Archipelagos with the description of five new species. *Annales de Limnologie*, 38: 119-132.
- Lemmermann E. (1900). Beiträge zur Kenntnis der Planktonalgen. III. Neue Schwebalgen aus der Umgegend von Berlin. *Berichte der deutsche botanischen Gesellschaft*, 18: 24-32.
- Lowe R.L., Kociolek P., Johansen J.R., Van de Vijver B., Lange-Bertalot H. & Kopalová K. (2014). *Humidophila* gen. nov., a new genus for a group of diatoms (Bacillariophyta) formerly within the genus *Diademsis*: species from Hawai'i, including one new species. *Diatom Research*, 29: 351-360.
- Lund J.W.G. (1946). Observations on soil algae I. The ecology, size and taxonomy of British soil diatoms. Part 2. *New Phytologist*, 45: 56-110.
- Manguin E. (1942). Contribution à la connaissance des diatomées d'eau douce des Açores. *Travaux Algologiques*, Sér. I, 2: 115-160.

- Mayama S. (1999). Taxonomics revisions to the differentiating diatom groups for water quality evaluation and some comments for taxa with new designations. *Diatom, the Japanese Journal of Diatomology*, 15: 1-9.
- Meister F. (1932). *Kieselalgen aus Asien*. Berlin, Verlag von Gebrüder Borntraeger, 56 p.
- Mereschkowsky C. (1902). On *Sellaphora*, a new genus of diatoms. *Annals and Magazine of Natural History*, Ser. VII, 9: 185-195.
- Morales E.A. (2005). Observations of the morphology of some known and new fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from rivers in the USA. *Phycological Research*, 53(2): 113-133.
- Müller O. (1905). Bacillariaceen aus dem Nyassaland und einigen benachbarten Gebieten. III. Folge Naviculoideae, Naviculeae, Gomphoneminae, Gomphocymbellinae, Cymbellinae, Nitzschioidae, Nitzschieae. *Botanische Jahrbucher fur Systematik, Pflanzengeschichte und Pflantengeographie*, 36(1/2): 137-206.
- O'Meara E. (1873). *Tryblionella debilis* Arnott in Ireland. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 2nd series, 13: 310.
- Pantocsek J. (1901 '1902'). A Balaton kovamoszatai vagy Bacillariái [The Lake Balaton diatoms or Bacillariaceae]. In: *A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei [The results of the scientific study of the Lake Balaton]*, Budapest, Hornyánsky Könyvnyomdája, p. 1-143.
- Peragallo M. (1903). *Le Catalogue Général des Diatomées*. Clermont-Ferrand, vol. 2: 472-973.
- Pfitzer E. (1871). *Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Bacillariaceen (Diatomaceen)*. Bonn, Adolph Marcus, 189 p.
- Rabenhorst L. (1848-1860). *Die Algen Sachsens*. Resp. Mittel-Europas Gesammelt und herausgegeben von Dr. L. Rabenhorst, Dec. 1-100. No. 1-1000. Exsikkata, Dresden.
- Rabenhorst L. (1853). *Die Süßwasser-Diatomaceen (Bacillarien): für Freunde der Mikroskopie*. Leipzig, Eduard Kummer, 72 p.
- Rabenhorst L. (1862). *Die Algen Europas*. Fortsetzung der Algen Sachsens, resp. Mittel-Europas, Dec. 29-30, no 1281-1300, Dresden.
- Reichardt E. (1994). Zur Diatomeenflora (Bacillariophyceae) tuffabscheidender Quellen und Bäche im südlichen Frankenjura. *Berichte der Bayerische Botanische Gesellschaft*, 64: 119-133.
- Reichardt E. (1997). Taxonomische Revision der Artencomplexes um *Gomphonema pumillum* (Bacillariophyceae). *Nova Hedwigia*, 65: 99-129.
- Reichardt E. (2015). *Gomphonema gracile* Ehrenberg sensu stricto et sensu auct. (Bacillariophyceae): a taxonomic revision. *Nova hedwigia*, 101: 367-393.
- Round F.E & Basson P.W. (1997). A new monoraphid diatom genus (*Pogoneis*) from Bahrain and the transfer of previously described species *A. hungarica* and *A. taeniata* to new genera. *Diatom Research*, 12(1): 71-81.
- Round F.E. & Bukhtiyarova L.N. (1996). Four new genera based on *Achnanthes* (*Achnantheidium*) together with a re-definition of *Achnantheidium*. *Diatom Research*, 11(2): 345-361.
- Round F.E., Crawford R.M. & Mann D.G. (1990). *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 747 p.
- Schaarschmidt J. (1881). Algae. In: Kanitz A., Plantas Romaniae hucusque cognitae. *Magyar Novenytani Lapok*, 5: 151-165, 261-268.
- Schoeman F.R. & Archibald R.E.M. (1986). Observations on *Amphora* species (Bacillariophyceae) in the British Museum (Natural History). V. Some species from the subgenus *Amphora*. *South African Journal of Botany*, 52: 425-437.





Simonsen R. (1979). The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria*, 2: 9-71.

Smith W. (1853). *A synopsis of the British Diatomaceae, with remarks on their structure, function and distribution, and instructions for collecting and preserving specimens*. London, John van Voorst, Vol. 1, 89 p.

Stachura-Suchoples K. & Williams D.M. (2009). Description of *Conticribra tricircularis*, a new genus and species of Thalassiosirales, with a discussion on its relationship to other continuous cribra species of *Thalassiosira* Cleve (Bacillariophyta) and its freshwater origin. *European Journal of Phycology*, 44(4): 477-486.

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

Taylor J.C., Lange-Bertalot H. (2006). *Eolimna archibaldii* spec. nov. and *Navigiolum adamantiforme* comb. nov. (Bacillariophyceae): two possibly endemic elements of the South African diatom flora tolerant to surface water pollution. *African Journal of Aquatic Science*, 31(2): 175-183.

Theriot E., Stoermer E. & Håkansson H. (1987). Taxonomic interpretation of the rimoportula of freshwater genera in the centric diatom family Thalassiosiraceae. *Diatom Research*, 2(2): 251- 265.

Wetzel C.E., Ector L., Van de Vijver B., Compère P. & Mann D.G. (2015). Morphology, typification and critical analysis of some ecologically important small naviculoid species (Bacillariophyta). *Fottea*, 15(2): 203-234.

Williams D.M. & Round F.E. (1987). Revision of the genus *Fragilaria*. *Diatom Research*, 2: 267-288.

# Tables des illustrations

## Tableaux

Tableau 1. Quelques éléments descriptifs de La Réunion .....	9
Tableau 2. Critères de sélection des taxons d'alerte servant au calcul de l'indice diatomique Réunion (IDR) .....	23
Tableau 3. Limites des classes d'état écologique de la zone est pour l'indice diatomique Réunion (IDR) .....	26
Tableau 4. Limites des classes d'état écologique de la zone ouest pour l'indice diatomique Réunion (IDR) .....	27
Tableau 5. Eléments descriptifs accompagnant tout prélèvement de diatomées .....	34
Tableau 6. Grille retenue pour l'interprétation de l'IDR en classes d'état écologique exprimées en EQR et en notes/20, et codes couleurs associés .....	45
Tableau 7. Niveau de confiance de la classification de l'état écologique et codes couleurs associés .....	47

## Figures

Figure 1. Les stations « diatomées » du réseau de contrôle et de surveillance (RCS) des cours d'eau de La Réunion .	9
Figure 2. Frustule fermé de <i>Nitzschia amphibia</i> a) ; frustule ouvert de <i>Diademesmis confervacea</i> b) (Microscopie électronique à balayage) .....	10
Figure 3. Multiplication végétative des diatomées. a) principe de la réduction de la taille des valves au fil des divisions cellulaires. b) exemple de réduction de taille des individus d'une même espèce ( <i>Gomphonema clevei</i> ) .....	11
Figure 4. Formes de vie des diatomées benthiques .....	13
Figure 5. Délimitation des hydro-écorégions (HER) de La Réunion .....	15
Figure 6. Les deux grands secteurs naturels abiotiques « homogènes » définis à La Réunion pour la mise en œuvre de l'IDR .....	15
Figure 7. Organigramme de la démarche d'analyse de données pour le développement de l'indice diatomique Réunion (IDR) .....	19
Figure 8 : Représentation graphique des profils écologiques de quatre taxons .....	24
Figure 9. Schéma récapitulatif du principe de conception de la grille d'EQR (ecological quality ratio) .....	25
Figure 10. Graphique représentant les notes de l'indice diatomique Réunion (IDR) en fonction des scores du gradient composite multimétrique d'anthropisation (GCMA) pour chaque relevé .....	27
Figure 11. Exemples de conditions idéales de prélèvement des diatomées (présence de nombreux substrats durs, faciès lotique, ensoleillement) .....	29
Figure 12. Matériel indispensable au prélèvement d'un échantillon de biofilm : fiche terrain, flacon hermétique, brosse à dents et scalpel, étiquettes, stylo, marqueur .....	31
Figure 13. Prélèvement sur le terrain des échantillons de diatomées .....	32
Figure 14. Traitement des échantillons et confection des préparations permanentes de diatomées .....	38
Figure 15. Présence de substances d'aspect mucilagineux autour des frustules ou des valves des diatomées .....	39
Figure 16. Présence de bulles dans les frustules .....	39
Figure 17. Balayage de la lame par transects horizontaux .....	41
Figure 18. Les incertitudes liées à la mise en œuvre de l'IDR pour l'évaluation de l'état écologique et les mesures à mettre en œuvre pour y remédier .....	49



# Annexe 1

## Liste des taxons indiciels et autres taxons de La Réunion

Cette annexe liste l'ensemble des taxons inventoriés à La Réunion et bénéficiant d'une illustration dans l'atlas des diatomées des cours d'eau de La Réunion (Gassiole *et al.* 2015), complété par l'annexe 2 du présent guide. Les codes métiers sont nécessaires pour le calcul de l'IDR avec le SEEE. Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels sont également données, ce qui permet de calculer les valeurs d'IDR par n'importe quel moyen approprié. Les taxons halins exclus du calcul de l'indicateur sont également indiqués.

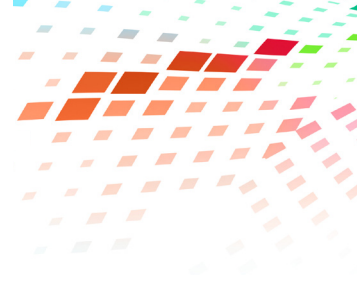
\* Sensibilité et valence d'altération des taxons contributifs de l'IDR :

- taxon « + » : taxon sans signification particulière vis-à-vis de la détection de l'altération ; valence d'altération = +1
- taxon « - » : taxon tolérant à la pollution ; valence d'altération = -1
- taxon « 2- » : taxon très tolérant à la pollution ; valence d'altération = -2
- taxon « 3- » : taxon indicateur d'une forte altération anthropique ; valence d'altération = -5

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

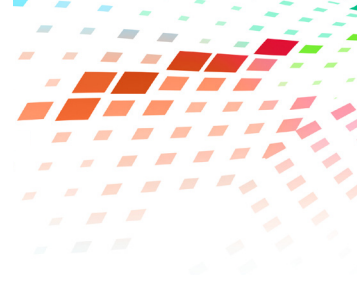
Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Achnanthes inflata</i> (Kützing) Grunow 1868	AINF	+
<i>Achnanthes rupestoides</i> Hohn 1961	ARPT	+
<i>Achnantheidium catenatum</i> (Bily & Marvan) Lange-Bertalot 1999	ADCT	+
<i>Achnantheidium exiguum</i> (Grunow) Czarniecki 1994	ADEG	3 -
<i>Achnantheidium navaroi</i> nom. prov.	ADNA	+
<i>Achnantheidium palmeti</i> Gassiole, Le Cohu & M.Coste 2013	ADBE	+
<i>Achnantheidium panonensis</i> nom. prov.	ADPN	+
<i>Achnantheidium</i> sp. n°1	ADC1	
<i>Achnantheidium</i> sp. n°2	ADC2	+
<i>Achnantheidium</i> sp. n°3	ADC3	
<i>Achnantheidium subhudsonis</i> (Hustedt) H.Kobayasi 2006	ADSH	+
<i>Adlafia muscora</i> (Kociolek & Reviere) G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	AMUS	+
<i>Adlafia</i> sp. n°1	ADSP	
<i>Amphora</i> cf. <i>copulata</i> (Kützing) Schoeman & R.E.M.Archibald 1986	ACOP	3 -
<i>Amphora pediculus</i> (Kützing) Grunow ex A.Schmidt 1875	APED	-
<i>Amphora</i> sp. n°1	AMP1	

Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Amphora</i> sp. n°2	AMP2	
<i>Aulacoseira ambigua</i> (Grunow) Simonsen 1979	AAMB	
<i>Brachysira brebissonii</i> R.Ross 1986	BBRE	+
<i>Brachysira</i> sp. n°1	BRC1	
<i>Brachysira</i> sp. n°2	BRC2	
<i>Caloneis</i> aff. <i>hyalina</i> Hustedt 1937	CHYA	
<i>Caloneis fontinalis</i> (Grunow) Cleve-Euler 1932	CFON	+
<i>Caloneis</i> sp. n°1	CAL1	
<i>Caloneis</i> sp. n°2	CAL2	
<i>Caloneis</i> sp. n°3	CAL3	
<i>Chamaepinnularia</i> aff. <i>hippodontiforma</i> Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	CHHI	
<i>Chamaepinnularia</i> aff. <i>submuscularia</i> (Krasske) Lange-Bertalot 1998	CSMU	
<i>Chamaepinnularia</i> sp. n°1	CHS1	+
<i>Chamaepinnularia</i> sp. n°2	CHS2	
<i>Chamaepinnularia</i> sp. n°3	CHS3	
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehrenberg 1838	CPED	+
<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow 1884	CEUG	+
<i>Cocconeis</i> sp. n°1	COC1	+
<i>Cocconeis</i> sp. n°2	COC2	2 -
<i>Conticribra weissflogii</i> (Grunow) Stachura-Suchoples & D.M.Williams 2009	TWEI	
<i>Craticula molestiformis</i> (Hustedt) Mayama 1999	CMLF	
<i>Craticula submolesta</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 1996	CSBM	+
<i>Craticula</i> sp. n°1	CRT1	
<i>Crucicostulifera bebourensis</i> M.Coste, Le Cohu & Gassiole 2014	CRCD	+
<i>Cyclostephanos invisitatus</i> (Hohn & Hellermann) Theriot, Stoermer & Håkansson 1988	CINV	
<i>Cyclotella atomus</i> Hustedt 1937	CATO	3 -
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kützing 1844	CMEN	3 -
<i>Cyclotella radiosa</i> (Grunow) Lemmermann 1900	CRAD	
<i>Cymbella bengaliformis</i> Krammer 2002	CBGF	2 -
<i>Cymbella excisa</i> Kützing 1844	CAEX	+
<i>Cymbella</i> sp. n°1	CYM1	
<i>Cymbella</i> sp. n°2	CYM2	
<i>Cymbella</i> sp. n°3	CYM3	
<i>Cymbella</i> sp. n°4	CYM4	
<i>Cymbella</i> sp. n°5	CYM5	
<i>Cymbella tropica</i> Krammer 2002	CTRO	+



Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Cymboppleura</i> aff. <i>diminuta</i> (Grunow) Krammer 2003	CDMN	+
<i>Denticula sundayensis</i> R.E.M.Archibald 1982	DSUN	
<i>Diadasmus confervacea</i> Kützing 1844	DCOF	3 -
<i>Diadasmus</i> sp. n°1	DDS1	
<i>Diadasmus</i> sp. n°2	DDS2	
<i>Diatoma vulgare</i> Bory 1824	DVUL	+
<i>Diploneis puella</i> (Schumann) Cleve 1894	DPUE	3 -
<i>Diploneis</i> sp. n°2	DIP2	
<i>Discostella pseudostelligera</i> (Hustedt) Houk & Klee 2004	DPST	+
<i>Encyonema</i> aff. <i>lacustre</i> (C. Agardh) Pantocsek 1902	ELAC	
<i>Encyonema silesiacum</i> (Bleisch) D.G.Mann 1990	ESLE	-
<i>Encyonema</i> sp. n°1	ENS1	+
<i>Encyonema</i> sp. n°2	ENS2	+
<i>Encyonema</i> sp. n°3	ENS3	+
<i>Encyonema</i> sp. n°4	ENS4	
<i>Encyonema</i> sp. n°5	ENS5	
<i>Encyonema stigmatoides</i> Krammer 1997	ESTI	+
<i>Encyonopsis</i> aff. <i>rumrichae</i> Krammer 1997	ECRU	
<i>Encyonopsis cilaosensis</i> Le Cohu & Gassiole 2014	ECIL	+
<i>Encyonopsis palmeti</i> Gassiole & Le Cohu 2014	ECP1	+
<i>Eolimna minima</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1998	EOMI	+
<i>Eolimna</i> sp. n°1	EOS1	
<i>Eolimna</i> sp. n°2	EOS2	
<i>Eolimna subminuscula</i> (Manguin) G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	ESBM	3 -
<i>Epithemia adnata</i> (Kützing) Brébisson 1838	EADN	+
<i>Eunotia</i> aff. <i>pyramidata</i> Hustedt in A.Schmidt et al. 1913	EPYR	
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt in Kanitz 1880 form. 1 in Gassiole et al. 2015	EBI1	+
<i>Eunotia bilunaris</i> (Ehrenberg) Schaarschmidt in Kanitz 1880 form. 2 in Gassiole et al. 2015	EBI2	+
<i>Eunotia botuliformis</i> F.Wild, Nörpel & Lange-Bertalot 1993	EBOT	+
<i>Eunotia exigua</i> (Brébisson ex Kützing) Rabenhorst 1864	EEXI	+
<i>Eunotia minor</i> (Kützing) Grunow 1881	EMIN	+
<i>Eunotia</i> sp. n°1	EUN1	
<i>Eunotia</i> sp. n°2	EUN2	
<i>Eunotia</i> sp. n°3	EUN3	
<i>Eunotia</i> sp. n°4	EUN4	+
<i>Eunotia</i> sp. n°5	EUN5	+

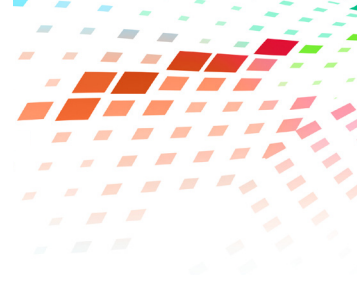
Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Eunotia</i> sp. n°6	EUN6	
<i>Eunotia</i> sp. n°8	EUN8	
<i>Eunotia</i> sp. n°9	EUN9	
<i>Eunotia</i> sp. n°10	EUSD	
<i>Eunotia</i> sp. n°11	EUNZ	
<i>Fallacia</i> aff. <i>crassicostata</i> Lange-Bertalot & Werum 2004	FACS	+
<i>Fallacia insociabilis</i> (Krasske) D.G.Mann 1990	FINS	
<i>Fallacia lenzii</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 2004	FLEN	
<i>Fallacia meridionalis</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez 2005	FMER	halin**
<i>Fallacia pygmaea</i> (Kützing) Stickle & D.G.Mann 1990	FPYG	2 -
<i>Fistulifera saprophila</i> (Lange-Bertalot & Bonik) Lange-Bertalot 1997	FSAP	2 -
<i>Fragilaria</i> aff. <i>goulardii</i> (Brébisson ex Grunow) Lange-Bertalot 1991	FGOU	+
<i>Fragilaria</i> sp. n°1	FRA1	+
<i>Fragilaria</i> sp. n°2	FRA2	+
<i>Fragilaria</i> sp. n°3	FRA3	+
<i>Fragilaria</i> sp. n°5	FRA5	
<i>Fragilaria</i> sp. n°6	FRA6	
<i>Fragilaria</i> sp. n°7	FRA7	
<i>Fragilaria</i> sp. n°8	FRA8	+
<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kützing) J.B.Petersen 1938	FVAU	+
<i>Frustulia crassinervia</i> (Brébisson ex W.Smith) Lange-Bertalot & Krammer 1996	FCRS	+
<i>Frustulia</i> sp. n°1	FRU1	+
<i>Frustulia</i> sp. n°3	FRU3	
<i>Frustulia</i> sp. n°4	FRU4	+
<i>Frustulia</i> sp. n°5	FRU5	
<i>Frustulia</i> sp. n°6	FRU6	+
<i>Frustulia</i> sp. n°7	FRU7	
<i>Frustulia vulgaris</i> (Thwaites) De Toni 1891	FVUL	
<i>Gomphoneis minuta</i> (Stone) Kociolek & Stoermer 1988	GMMI	+
<i>Gomphoneis</i> sp. n°1	GNEI	
<i>Gomphonema</i> aff. <i>acidoclinatum</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt 2004	GADC	+
<i>Gomphonema</i> aff. <i>angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1864	GAN1	
<i>Gomphonema</i> aff. <i>designatum</i> E.Reichardt 1997	GDES	+
<i>Gomphonema</i> aff. <i>subclavatum</i> (Grunow) Grunow 1884	GSCL	+
<i>Gomphonema</i> aff. <i>subclavatum</i> (Grunow) Grunow 1884 form. 2 in Gassiole et al. 2015	GSC2	-
<i>Gomphonema afrhombicum</i> E.Reichardt 2007	GARB	+



Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Gomphonema angustatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1864	GANG	
<i>Gomphonema angustivalva</i> E.Reichardt 1997	GAGV	+
<i>Gomphonema bourbonense</i> E.Reichardt 1997	GBOB	+
<i>Gomphonema brachyneurum</i> O.Müller 1905	GBRC	
<i>Gomphonema brasiliense</i> ssp. <i>pacificum</i> G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	GBRA	+
<i>Gomphonema clevei</i> Fricke 1902	GCLE	+
<i>Gomphonema contraturreis</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt 1993	GCTT	
<i>Gomphonema curvipdatum</i> H.Kobayasi ex Osada 2006	GCUV	+
<i>Gomphonema graciledictum</i> E.Reichardt 2015	GGRA	
<i>Gomphonema lagenula</i> Kützing 1844	GLGN	+
<i>Gomphonema laticollum</i> E.Reichardt 2001	GLTC	+
<i>Gomphonema minutum</i> (C.Agardh) C.Agardh 1831	GMIN	+
<i>Gomphonema parvulum</i> (Kützing) Kützing 1849	GPAR	-
<i>Gomphonema perapicatum</i> Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	GPAP	
<i>Gomphonema pumilum</i> var. <i>rigidum</i> E.Reichardt & Lange-Bertalot 1997	GPRI	+
<i>Gomphonema saprophilum</i> (Lange-Bertalot & E.Reichardt) Abraca, R.Jahn, J.Zimmermann & Enke 2014	GPAS	3 -
<i>Gomphonema</i> sp. n°1	GOM1	
<i>Gomphonema</i> sp. n°2	GOM2	
<i>Gomphonema</i> sp. n°3	GOM3	+
<i>Gomphonema</i> sp. n°4	GOM4	2 -
<i>Gomphonema</i> sp. n°5	GOM5	
<i>Gomphonema</i> sp. n°6	GOM6	
<i>Gomphonema</i> sp. n°7	GOM7	+
<i>Gomphonema</i> sp. n°8	GOM8	+
<i>Gomphonema</i> sp. n°9	GOM9	+
<i>Gomphonema</i> sp. n°10	GOMX	
<i>Gomphonema</i> sp. n°11	GOMZ	-
<i>Gomphonema</i> sp. n°12	GOMD	
<i>Gomphonema</i> sp. n°13	GOTZ	
<i>Gomphonema</i> sp. n°14	GOQT	
<i>Gomphonema</i> sp. n°15	GOQI	
<i>Gomphonema</i> sp. n°16	GOSZ	
<i>Gomphonema</i> sp. n°17	GODS	
<i>Gomphonema</i> sp. n°18	GODH	
<i>Gomphonema</i> sp. n°19	GODN	

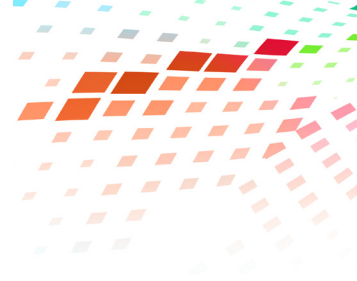
Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenberg 1832	GTRU	
<i>Gomphonitzschia</i> sp.	GNIT	
<i>Gomphosphenia</i> cf. <i>oahuensis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 1998	GOAH	
<i>Gomphosphenia tenerrima</i> (Hustedt) E.Reichardt 1999	GTNR	
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kützing) Rabenhorst 1853	GYAC	+
<i>Halamphora acutiusscula</i> (Kützing) Levkov 2009	HLAC	2 -
<i>Halamphora ghanensis</i> Levkov 2009	HGHA	2 -
<i>Halamphora montana</i> (Krasske) Levkov 2009	HLMO	2 -
<i>Halamphora veneta</i> (Kützing) Levkov 2009	HVEN	2 -
<i>Hantzschia amphioxys</i> (Ehrenberg) Grunow 1880	HAMP	
<i>Humidophila</i> aff. <i>discordabilis</i> (G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	DDSC	+
<i>Humidophila</i> aff. <i>subtropica</i> (Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	DDST	+
<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	DCOT	+
<i>Humidophila corrugata</i> (G.Moser) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	DCOR	
<i>Humidophila nienta</i> (Carter) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	DLBE	
<i>Karayevia</i> aff. <i>amoena</i> (Hustedt) Bukhtiyarova 1999	KAAM	halin**
<i>Kobayasiella bebourensis</i> Le Cohu, Gassiole & M.Coste 2012	KBEB	+
<i>Kolbesia gessneri</i> (Hustedt) Aboal 2003	KAPG	
<i>Lemnicola hungarica</i> (Grunow) Round & Basson 1997	LHUN	2 -
<i>Luticola goeppertiana</i> (Bleisch ex Rabenhorst) D.G.Mann 1990	LGOE	+
<i>Luticola mutica</i> (Kützing) D.G.Mann 1990	LMUT	-
<i>Luticola</i> sp. n°1	LUT1	
<i>Mayamaea agrestis</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 2001	MAGR	
<i>Mayamaea permitis</i> (Hustedt) Bruder & Medlin 2008	MAPE	3 -
<i>Melosira varians</i> C.Agardh 1827	MVAR	+
<i>Navicula</i> aff. <i>brasiliiana</i> (Cleve) Cleve 1894	NBRL	-
<i>Navicula</i> aff. <i>crassulexigua</i> E.Reichardt 1994	NCRX	+
<i>Navicula</i> aff. <i>cryptocephala</i> Kützing 1844	NCRY	+
<i>Navicula</i> aff. <i>juanitalinda</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez 2005	NJUA	-
<i>Navicula</i> aff. <i>subrhynchocephala</i> Hustedt 1935	NSRH	
<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot 2000	NANT	





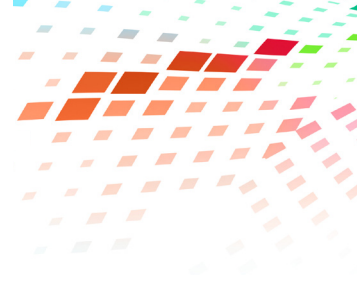
Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Navicula capitatoradiata</i> Germain 1981	NCPR	+
<i>Navicula cruxmeridionalis</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & García-Rodríguez 2005	NCXM	
<i>Navicula cryptotenella</i> Lange-Bertalot 1985	NCTE	+
<i>Navicula erifuga</i> Lange-Bertalot 1985	NERI	halin**
<i>Navicula escambia</i> (R.M.Patrick) Metzeltin & Lange-Bertalot 2007	NESC	-
<i>Navicula gregaria</i> Donkin 1861	NGRE	+
<i>Navicula lanceolata</i> Ehrenberg 1838	NLAN	
<i>Navicula notha</i> Wallace 1960	NNOT	+
<i>Navicula podzorskii</i> Lange-Bertalot 1993	NPDZ	
<i>Navicula quasidisjuncta</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	NQDJ	+
<i>Navicula ranomafanensis</i> (Manguin) Metzeltin & Lange-Bertalot 2002	NRAN	+
<i>Navicula riediana</i> Lange-Bertalot & Rumrich 2000	NRIE	3 -
<i>Navicula rostellata</i> Kützing 1844	NROS	-
<i>Navicula salinicola</i> Hustedt 1939	NSLC	halin**
<i>Navicula simulata</i> Manguin 1942	NSIA	
<i>Navicula</i> sp. n°1	NAS1	+
<i>Navicula</i> sp. n°2	NAS2	+
<i>Navicula</i> sp. n°3	NAS3	2 -
<i>Navicula</i> sp. n°4	NAS4	+
<i>Navicula</i> sp. n°5	NAS5	
<i>Navicula</i> sp. n°6	NAS6	
<i>Navicula</i> sp. n°7	NAS7	+
<i>Navicula</i> sp. n°8	NAS8	3 -
<i>Navicula</i> sp. n°9	NAS9	
<i>Navicula</i> sp. n°10	NXX0	
<i>Navicula</i> sp. n°11	NXX1	2 -
<i>Navicula</i> sp. n°12	NXX2	
<i>Navicula</i> sp. n°13	NXX3	
<i>Navicula</i> sp. n°14	NXX4	
<i>Navicula</i> sp. n°15	NXX5	+
<i>Navicula</i> sp. n°16	NXX6	
<i>Navicula</i> sp. n°17	NXX7	
<i>Navicula</i> sp. n°18	NXX8	
<i>Navicula</i> sp. n°19	NXX9	
<i>Navicula tripunctata</i> (O.F.Müller) Bory 1831	NTPT	+
<i>Navicula vandamii</i> Schoeman & R.E.M.Archibald 1987	NVDA	+

Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Navicula veneta</i> Kützing 1844	NVEN	3 -
<i>Navigeia decussis</i> (Østrup) Bukhtiyarova 2013	GDEC	+
<i>Navigeia ignota</i> (Krasske) Bukhtiyarova 2013	GINO	
<i>Neidium</i> sp. n°1	NES1	
<i>Neidium</i> sp. n°2	NES2	
<i>Nitzschia acidoclinata</i> Lange-Bertalot 1976	NACD	
<i>Nitzschia</i> aff. <i>pusilla</i> Grunow 1862	NIPU	
<i>Nitzschia agnita</i> Hustedt 1957	NAGN	+
<i>Nitzschia amphibia</i> f. <i>frauenfeldii</i> (Grunow) Lange-Bertalot 1987	NAFR	-
<i>Nitzschia amphibia</i> Grunow 1862	NAMP	+
<i>Nitzschia biacricula</i> Hohn & Hellermann 1963	NBIA	-
<i>Nitzschia bourbonensis</i> nom. prov.	NZBO	+
<i>Nitzschia brevissima</i> Grunow 1880	NBRE	
<i>Nitzschia clausii</i> Hantzsch 1860	NCLA	halin**
<i>Nitzschia dissipata</i> (Kützing) Rabenhorst 1860	NDIS	-
<i>Nitzschia epiphyticoides</i> Hustedt 1949	NEPD	+
<i>Nitzschia filiformis</i> (W.Smith) Van Heurck 1896	NFIL	halin**
<i>Nitzschia filiformis</i> var. <i>conferta</i> (Richter) Lange-Bertalot 1987	NFIC	halin**
<i>Nitzschia fonticola</i> (Grunow) Grunow 1880	NFON	+
<i>Nitzschia inconspicua</i> Grunow 1862	NINC	3 -
<i>Nitzschia labella</i> G.Moser 1998	NLAL	+
<i>Nitzschia linearis</i> W.Smith 1853	NLIN	-
<i>Nitzschia lorenziana</i> Grunow 1879	NLOR	
<i>Nitzschia microcephala</i> Grunow 1880	NMIC	3 -
<i>Nitzschia nyassensis</i> O.Müller 1905	NNYS	2 -
<i>Nitzschia obtusa</i> W.Smith 1853	NOBT	
<i>Nitzschia palea</i> (Kützing) W.Smith 1856	NPAL	-
<i>Nitzschia paleaeformis</i> Hustedt 1950	NIPF	+
<i>Nitzschia recta</i> Hantzsch ex Rabenhorst 1862	NREC	
<i>Nitzschia solgensis</i> Cleve-Euler 1952	NSOL	+
<i>Nitzschia soratensis</i> Morales & Vis 2007	NSTS	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°1	NZS1	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°2	NZS2	2 -
<i>Nitzschia</i> sp. n°3	NZS3	
<i>Nitzschia</i> sp. n°4	NZS4	
<i>Nitzschia</i> sp. n°5	NZS5	



Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Nitzschia</i> sp. n°6	NZS6	
<i>Nitzschia</i> sp. n°7	NZS7	2 -
<i>Nitzschia</i> sp. n°8	NZS8	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°9	NZS9	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°10	NZZ0	
<i>Nitzschia</i> sp. n°11	NZZ1	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°12	NZZ2	
<i>Nitzschia</i> sp. n°13	NZZ3	
<i>Nitzschia</i> sp. n°14	NZZ4	
<i>Nitzschia</i> sp. n°15	NZZ5	
<i>Nitzschia</i> sp. n°16	NZZ6	
<i>Nitzschia</i> sp. n°17	NZZ7	
<i>Nitzschia</i> sp. n°18	NZZ8	
<i>Nitzschia</i> sp. n°19	NZZ9	
<i>Nitzschia</i> sp. n°20	NZY0	
<i>Nitzschia</i> sp. n°21	NZY1	+
<i>Nitzschia</i> sp. n°22	NZY2	
<i>Nitzschia</i> sp. n°23	NZY3	
<i>Nitzschia</i> sp. n°24	NZY4	
<i>Nitzschia</i> sp. n°25	NZY5	
<i>Nitzschia</i> sp. n°26	NZY6	
<i>Nitzschia</i> sp. n°27	NZY7	halin**
<i>Nitzschia</i> sp. n°28	NZY8	
<i>Nitzschia</i> sp. n°29	NZY9	
<i>Nitzschia</i> sp. n°30	NZX0	3 -
<i>Nitzschia</i> sp. n°31	NZX1	
<i>Nitzschia</i> sp. n°32	NZX2	
<i>Nitzschia</i> sp. n°33	NZX3	
<i>Nitzschia</i> sp. n°34	NZX4	
<i>Nitzschia</i> sp. n°35	NZX5	
<i>Nitzschia</i> sp. n°36	NZX6	
<i>Nitzschia</i> sp. nov. n°1	NSN1	3 -
<i>Nitzschia</i> sp. nov. n°2	NSN2	+
<i>Nitzschia supralitorea</i> Lange-Bertalot 1979	NZSU	2 -
<i>Nitzschia tropica</i> Hustedt 1949	NTRO	+
<i>Nitzschia umbonata</i> (Ehrenberg) Lange-Bertalot 1978	NUMB	3 -

Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciels*
<i>Nupela</i> sp. n°1	NUP1	
<i>Nupela</i> sp. n°2	NUP2	
<i>Pinnularia gibba</i> var. <i>sancta</i> (Grunow ex Cleve) F.Meister 1932	PGSC	
<i>Pinnularia microstauron</i> (Ehrenberg) Cleve 1891	PMIC	+
<i>Pinnularia sinistra</i> Krammer 1992	PSIN	
<i>Pinnularia</i> sp. n°1	PIN1	
<i>Pinnularia</i> sp. n°2	PIN2	
<i>Pinnularia</i> sp. n°3	PIN3	
<i>Pinnularia</i> sp. n°4	PIN4	
<i>Placogeia bourbonensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	GBBO	+
<i>Placogeia mafatensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	GMAF	+
<i>Placogeia mascarenicensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	GMAS	+
<i>Placoneis placentula</i> Heinzerling 1908	PPLC	
<i>Placoneis symmetrica</i> (Hustedt) Lange-Bertalot 2005	PSYM	
<i>Planothidium</i> aff. <i>aueri</i> (Krasske) Lange-Bertalot 1999	PTD6	
<i>Planothidium biporumum</i> (Hohn & Helleman) Lange-Bertalot 1999	PLBI	+
<i>Planothidium delicatulum</i> (Kützing) Round & Bukhtiyarova 1996	PTDE	
<i>Planothidium frequentissimum</i> (Lange-Bertalot) Lange-Bertalot 1999	PLFR	+
<i>Planothidium lanceolatum</i> (Brébisson ex Kützing) Bukhtiyarova 1999	PTLA	+
<i>Planothidium robustius</i> Lange-Bertalot 1999	PRBU	+
<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup) Lange-Bertalot 1999 form. 1 in Gassiole et al. 2015	PRS1	+
<i>Planothidium rostratum</i> (Østrup) Lange-Bertalot 1999 form. 2 in Gassiole et al. 2015	PRS2	+
<i>Planothidium</i> sp. n°1	PTD1	
<i>Planothidium</i> sp. n°2	PTD2	2 -
<i>Planothidium</i> sp. n°3	PTD3	
<i>Planothidium</i> sp. n°4	PTD4	
<i>Planothidium</i> sp. n°5	PTD5	
<i>Platessa conspicua</i> (A.Mayer) Lange-Bertalot 2004	ACON	
<i>Pseudostaurosira</i> aff. <i>subsalina</i> (Hustedt) Morales 2005	PSSB	halin**
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bertalot 1980	RABB	+
<i>Rhopalodia gibba</i> (Ehrenberg) O.Müller 1895	RGIB	+
<i>Rhopalodia hirudiniformis</i> O.Müller 1895	RHIR	+
<i>Rhopalodia</i> sp. n°1	RHOS	2 -
<i>Rhopalodia</i> sp. n°2	RHO2	
<i>Sellaphora archibaldii</i> (Taylor & Lange-Bertalot) Ács, C.E.Wetzel & Ector 2017	EOS3	
<i>Sellaphora pupula</i> (Kützing) Mereschkovsky 1902	SPUP	



Dénomination du taxon	Code métier	Sensibilité et valence d'altération des taxons indiciaires*
<i>Sellaphora rhombelliptica</i> (G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin) C.E.Wetzel & Ector 2015	EORH	
<i>Sellaphora ruttneri</i> (Hustedt) C.E.Wetzel 2015	EORU	+
<i>Sellaphora seminulum</i> (Grunow) D.G.Mann 1989	SSEM	+
<i>Sellaphora</i> sp. n°1	SEL1	
<i>Sellaphora</i> sp. n°2	SEL2	
<i>Sellaphora</i> sp. n°3	SEL3	
<i>Seminavis</i> sp. n°1	SMN1	halin**
<i>Stauroneis</i> aff. <i>thermicola</i> (J.B.Petersen) J.W.G.Lund 1946	STHE	-
<i>Stauroneis resoluta</i> G.Moser 1998	SRES	
<i>Stausira mutabilis</i> (W.Smith) Pfitzer 1871	SSMU	
<i>Stausira venter</i> (Ehrenberg) Cleve & J.D.Möller 1879	SSVE	
<i>Stausirella</i> aff. <i>pinnata</i> (Ehrenberg) Williams & Round 1988	SPIN	+
<i>Stenopterobia</i> sp. n°1	STB1	+
<i>Surirella angusta</i> Kützing 1844	SANG	2 -
<i>Surirella</i> sp. n°1	SUR1	
<i>Terpsinoë musica</i> Ehrenberg 1843	TMUS	
<i>Tryblionella apiculata</i> W.Gregory 1857	TAPI	2 -
<i>Tryblionella debilis</i> Arnott ex O'Meara 1873	TDEB	2 -
<i>Tryblionella granulata</i> (Grunow) D.G.Mann 1990	TGRA	halin**
<i>Ulnaria acus</i> (Kützing) Aboal 2003	UACU	-
<i>Ulnaria biceps</i> (Kützing) Compère 2001	UBIC	+
<i>Ulnaria lanceolata</i> (Kützing) Compère 2001	ULAN	+
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère 2001	UULN	+



## Annexe 2

# Illustrations des taxons indiciaux

illustrations des taxons indiciaux qui ne sont pas illustrés dans l'atlas des diatomées des cours d'eau de La Réunion (Gassiole *et al.* 2015)

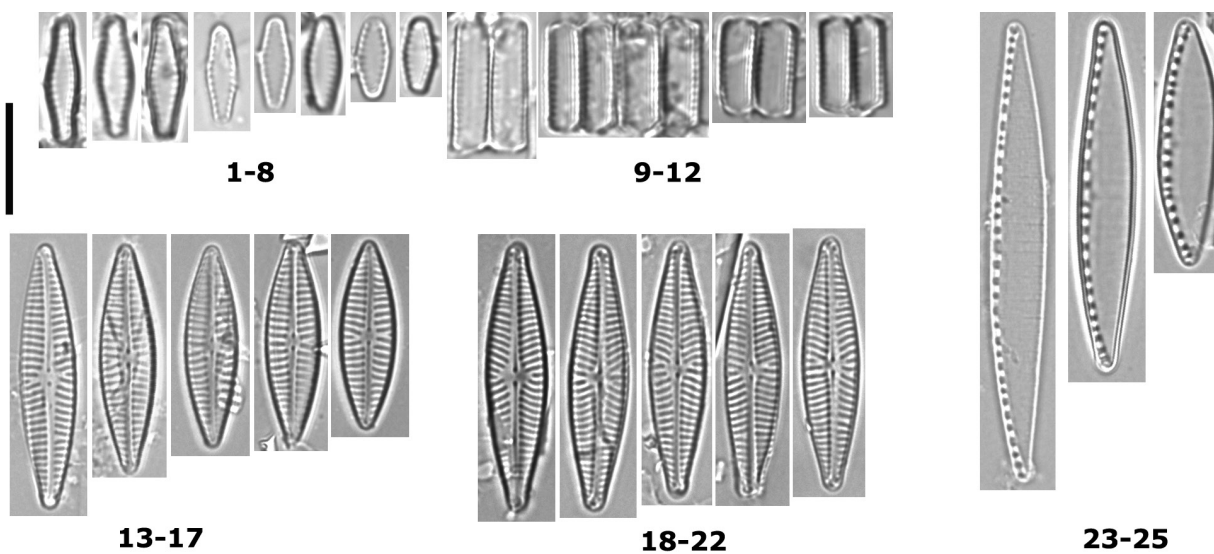


Planche (barre d'échelle = 10  $\mu$ m)

1-12. *Pseudostaurosira* aff. *subsalina* (Hustedt) Morales 2005 - © Gilles Gassiole - MicPhyc pour AFB

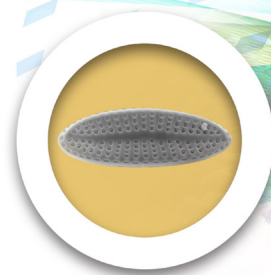
1-8. Vues valvaires

9-12. Vues connectives

13-17. *Navicula* sp. n°1 - © Gilles Gassiole (modifié d'après Gassiole 2014)

18-22. *Navicula* sp. n°2 - © Gilles Gassiole (modifié d'après Gassiole 2014)

23-25. *Nitzschia filiformis* var. *conferta* (Richter) Lange-Bertalot 1987 - © Gilles Gassiole (modifié d'après Gassiole 2014)



## Annexe 3

# Table de correspondance entre les appellations de taxons

Table de correspondance entre les appellations de taxons de l'atlas des diatomées des cours d'eau de La Réunion (Gassiole *et al.* 2015) et les nouvelles appellations de taxons prises en compte dans l'annexe 1 du présent guide.

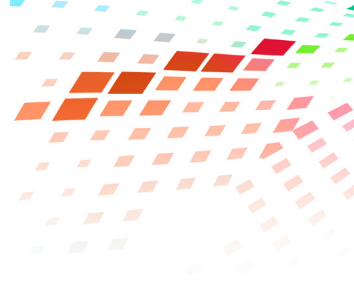
Les références citées renvoient à la bibliographie du présent guide.

Code métier	Dénomination utilisée dans l'atlas des diatomées de La Réunion (2015)	Nouvelle dénomination utilisée dans le guide méthodologique IDR (2018)	Référence
CEUG	<i>Cocconeis euglypta</i> Ehrenberg 1854	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenberg) Grunow 1884	Grunow 1884
CDMN	<i>Cymbella</i> aff. <i>diminuta</i> (Grunow) E.Reichardt 1994	<i>Cymbopleura</i> aff. <i>diminuta</i> (Grunow) Krammer 2003	Krammer 2003
GPAS	<i>Gomphonema parvulum</i> f. <i>saprophilum</i> Lange-Bertalot & E.Reichardt 1993	<i>Gomphonema saprophilum</i> (Lange-Bertalot & E.Reichardt) Abarca, R.Jahn, J.Zimmermann & Enke 2014	Abarca <i>et al.</i> 2014
DDSC	<i>Diadesmis</i> aff. <i>discordabilis</i> G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	<i>Humidophila</i> aff. <i>discordabilis</i> (G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	Lowe <i>et al.</i> 2014
DDST	<i>Diadesmis</i> aff. <i>subtropica</i> Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez 2005	<i>Humidophila</i> aff. <i>subtropica</i> (Metzeltin, Lange-Bertalot & Garcia-Rodriguez) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	Lowe <i>et al.</i> 2014
DCOT	<i>Diadesmis contenta</i> (Grunow) D.G.Mann 1990	<i>Humidophila contenta</i> (Grunow) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	Lowe <i>et al.</i> 2014
DCOR	<i>Diadesmis corrugata</i> G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	<i>Humidophila corrugata</i> (G.Moser) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	Lowe <i>et al.</i> 2014
DLBE	<i>Diadesmis langebertalotii</i> Le Cohu & Van de Vijver 2002	<i>Humidophila nienta</i> (Carter) Lowe, Kociolek, Johansen, Van de Vijver, Lange-Bertalot & Kopalová 2014	Lowe <i>et al.</i> 2014
EOS3	<i>Eolimna archibaldii</i> Taylor & Lange-Bertalot 2006	<i>Sellaphora archibaldii</i> (Taylor & Lange-Bertalot) Ács, C.E.Wetzel & Ector 2017	Ács <i>et al.</i> 2017
KBEB	<i>Kobayasiella bebourensis</i> sp. nov.	<i>Kobayasiella bebourensis</i> Le Cohu, Gassiole & M.Coste 2012	Le Cohu <i>et al.</i> 2012
GDEC	<i>Geissleria decussis</i> (Østrup) Lange-Bertalot & Metzeltin 1996	<i>Navigeia decussis</i> (Østrup) Bukhtiyarova 2013	Bukhtiyarova & Pomazkina 2013
GINO	<i>Geissleria ignota</i> (Krasske) Lange-Bertalot & Metzeltin 1996	<i>Navigeia ignota</i> (Krasske) Bukhtiyarova 2013	Bukhtiyarova & Pomazkina 2013
GBBO	<i>Geissleria bourbonensis</i> Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste 2009	<i>Placogeia bourbonensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	Bukhtiyarova & Pomazkina 2013
GMAF	<i>Geissleria mafatensis</i> Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste 2009	<i>Placogeia mafatensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	Bukhtiyarova & Pomazkina 2013
GMA5	<i>Geissleria mascarenicensis</i> Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste 2009	<i>Placogeia mascarenicensis</i> (Le Cohu, Ten-Hage & M.Coste) Bukhtiyarova 2013	Bukhtiyarova & Pomazkina 2013
GGRA	<i>Gomphonema gracile</i> sensu auct. non null.	<i>Gomphonema graciledictum</i> E.Reichardt 2015	Reichardt 2015
EORH	<i>Eolimna rhombelliptica</i> G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin 1998	<i>Sellaphora rhombelliptica</i> (G.Moser, Lange-Bertalot & Metzeltin) C.E.Wetzel & Ector 2015	Wetzel <i>et al.</i> 2015
EORU	<i>Eolimna ruttneri</i> (Hustedt) Lange-Bertalot & Monnier 2003	<i>Sellaphora ruttneri</i> (Hustedt) C.E.Wetzel 2015	Wetzel <i>et al.</i> 2015
NFIC	<i>Nitzschia conferta</i> (Richter) Peragallo 1903	<i>Nitzschia filiformis</i> var. <i>conferta</i> (Richter) Lange-Bertalot 1987	Lange-Bertalot & Krammer 1987
TGRA	<i>Nitzschia granulata</i> Grunow 1880	<i>Tryblionella granulata</i> (Grunow) D.G.Mann 1990	Round <i>et al.</i> 1990
PTD6	<i>Planothidium</i> aff. <i>frequentissimum-aueri</i>	<i>Planothidium</i> aff. <i>aueri</i> (Krasske) Lange-Bertalot 1999	Lange-Bertalot 1999

Ce guide est téléchargeable :  
<http://www.onema.fr/node/3391>

Citation : Eulin A., Gassiole G., Lefrançois E., Delmas F., Coste M., Boutry S., Monnier O., 2018. Guide méthodologique pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer. L'indice diatomique Réunion – IDR. Agence française pour la biodiversité, collection *Guides et protocoles*, 70 pages





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



ISBN web-pdf : 978-2-37785-023-5

ISBN print : 978-37785-024-2

Impression : IME by Estimprim

© AFB, juin 2018



L'indice diatomique Réunion (IDR) est un outil de bioindication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de La Réunion à partir de la structure de la communauté des diatomées benthiques.

Cet outil a été développé conjointement par Asconit et Irstea, dans le cadre d'un programme de Recherche-Développement sous la maîtrise d'ouvrage de l'Office de l'eau Réunion, avec la participation de la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DEAL) de La Réunion et avec le soutien technique et financier de l'Office national de l'eau et des milieux aquatiques (Onema), afin de doter La Réunion d'un outil « DCE-compatible » disponible pour le 2<sup>e</sup> plan de gestion DCE (2016-2021 ; *European commission 2000*, MEDDE 2015a&b). Réglementairement, l'usage de l'IDR est limité au suivi du réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

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

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

