Note technique et d'expertise " Indice Diatomique Antilles : Vers l'IDA-2 (29-03-2019)

François Delmas, A. Eulin Garrigue, E. Lefrançois

▶ **To cite this version:**

François Delmas, A. Eulin Garrigue, E. Lefrançois. Note technique et d'expertise " Indice Diatomique Antilles : Vers l'IDA-2 (29-03-2019). 2019, pp.35. hal-02609638

HAL Id: hal-02609638
https://hal.inrae.fr/hal-02609638

Submitted on 16 May 2020

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

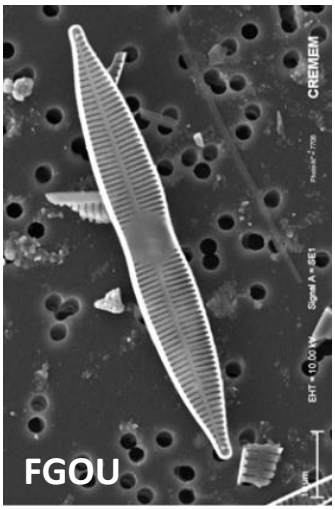
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

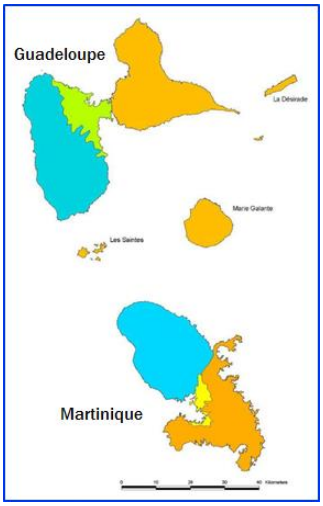
- Note technique et d'expertise :

Indice Diatomique Antilles :

Vers l'IDA-2

(29/03/2019)





Co-auteurs : François DELMAS (Irstea), Anne EULIN-GARRIGUE (Hydreco), Estelle LEFRANCOIS (Eco in'Eau)

INTRODUCTION, ETAT ACTUEL :

L'évaluation de l'état écologique (EEE) des cours d'eau des Antilles Françaises, comme celle des pays de l'Europe continentale et des autres DOM, doit être réalisée en conformité avec la Directive Communautaire sur l'Eau (DCE).

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

Une difficulté initiale pour la mise en œuvre de la Directive dans les DOM a tenu à des faunes et des flores très originales et encore grandement méconnues il y a quelques années, ce qui rendait impossible l'utilisation ou l'adaptation à la marge d'outils de bio-indication mis au point dans d'autres zones biogéographiques.

Dans ce contexte, deux programmes séparés de mise en place d'un **nouvel indice diatomique** dédié à l'évaluation des **cours d'eau de Martinique et Guadeloupe** ont démarré courant 2009 à quelques mois d'intervalle, à l'initiative des 2 Offices de l'Eau et des DEAL locales, avec un appui financier de l'ex-ONEMA (actuelle AFB) et une part d'autofinancement des 2 partenaires du consortium chargé de sa mise en œuvre (le Bureau d'Étude Asconit et l'Établissement Public de Recherche Cemagref, devenu depuis Irstea). Ces 2 programmes ont rapidement convergé vers une réalisation conjointe et synergique du fait que les flores locales, sélectionnées dans un environnement biogéographique proche, présentaient une proportion importante d'espèces structurantes en commun.

Ce programme regroupé **2009-2012** a donné naissance, en décembre 2012, à une toute première version d'Indice Diatomique des Antilles, **l'IDA-v1** (VF consolidée du rapport final : 14-10-2013). En **2013**, outre le suivi des réseaux classiques de surveillance DCE, des **programmes d'études complémentaires** ont été conduits en Martinique et en Guadeloupe afin de renforcer les référentiels de ces 2 îles sur certains aspects méritant des acquisitions complémentaires d'informations (essentiellement renforcement de la connaissance initiale sur des stations de référence, dont la Zone des Mornes du Sud, pour la Martinique ; augmentation du recul sur l'écologie de l'espèce *Nitzschia inconspicua* pour la Guadeloupe). En **2014**, en tirant bénéfice de ces compléments de données obtenues, une **version 2 d'IDA** a été formulée. D'autre part, une note d'expertise et d'appui à la décision publique "Evaluation de l'Etat Ecologique aux Antilles à partir de l'IDA-2 (Indice Diatomique Antilles)" a été éditée, permettant de proposer, de soumettre à discussion et à arbitrage collectif divers scénarios de grilles d'évaluation en EQR dérivées de l'IDA-v2, dans l'optique de préparer l'insertion de ce nouvel indice dans le futur Arrêté "Evaluation" à paraître.

2015 a été l'année de consolidation du rapport final définitif de l'IDA-v2 (*VF du 12/03/2015)*, c'est aussi l'année de publication du nouvel Arrêté Evaluation signé en date du 27 Juillet 2015 (parution au JORF du 28 Août 2015) en vue d'encadrer la mise en œuvre du PGMA 2016-2021. Cet Arrêté a officialisé, entre autres nouveaux indices hydrobiologiques, cette 2ème version de l'Indice Diatomique des Antilles. S'agissant de sa 1ère version officielle faisant l'objet d'une utilisation en surveillance et évaluation, ce nouvel indice a été **appelé simplement IDA** dans cet Arrêté et dans son guide méthodologique d'application.

L'IDA actuel a donc été construit sur un jeu de données total de **607 relevés diatomiques** couplés aux **données correspondantes de chimie** (intégrant les données du programme original de Recherche-Développement, les données acquises spécifiquement en 2013 et les données issues du programme de surveillance des années 2012 et 2013), contre 475 doublets complets dans le cadre du programme initial. L'assise de sites et de relevés finalement disponibles couvrait tout l'assortiment des différentes régions naturelles de Martinique et de la Basse-Terre de Guadeloupe présentant des cours d'eau permanents, aux 2 saisons climatiques rencontrées localement (saison sèche où carême, saison des pluies ou hivernage), et incluait de plus un assortiment de sites porteurs du panel le plus large possible de pollutions anthropiques.

Sur le plan taxonomique, en tout, **512 taxons différents** ont été recensés à l'époque, dont seulement **178** (soit 35% d'entre eux) ont été suffisamment rencontrés en occurrence et en abondances relatives pour passer des seuils de sélection et se voir calculer un profil indiciel dans l'IDA. Le statut indiciel des taxons de l'IDA a été déterminé par rapport à leur positionnement vis-à-vis d'un gradient composite d'altération s'appuyant sur 10 paramètres élémentaires nettement impactés par différentes catégories d'altérations anthropiques (% Sat. O_2, MES, DBO_5, C. Org, P.Tot, PO_4, NH_4, NO_2, NO_3, NKj). Ainsi **47 taxons d'alerte** ont été repérés, les 131 autres taxons n'étant pas porteurs de message particulier vis-à-vis de l'altération anthropique. Le calcul d'IDA tient compte de la proportion de taxons d'alerte dans un relevé diatomique donné et du coefficient d'intensité de dégradation anthropique assigné à chaque taxon d'alerte.

Les **607 résultats d'inventaires diatomiques complets** historiquement capitalisés en Martinique et en Guadeloupe ont pu être utilisés pour le calcul de la note d'IDA correspondante, ce qui a permis : **1)** d'archiver ces précieuses données historiques d'évaluation, toutes re-calculées à partir de la même version d'indice et selon un mode homogène ; **2)** de dresser une statistique d'état écologique basée sur les données détenues ; et **3)** de dresser un état écologique de départ des cours d'eau des Antilles pouvant servir d'état de référence "initial" vis-à-vis du Plan de Gestion des Masses d'Eau (PGME) en cours.

Depuis son officialisation par l'Arrêté Evaluation du 27 Juillet 2015, l'IDA est l'indice diatomique officiel utilisé pour le calcul de l'état diatomique des cours d'eau des Antilles. Il fait l'objet d'une application en routine dans le cadre des réseaux de surveillance de Guadeloupe et de Martinique, et a été reconduit dans l'état dans une révision de l'Arrêté Evaluation pour la 2ème moitié du PGMA en cours, signée en date du 27 Juillet 2018.

L'intervention des partenaires de ce programme s'est prolongée dans l'accompagnement du transfert opérationnel de la méthode vers les utilisateurs ultérieurs, *via* la production:

1) d'un guide méthodologique (qui sera tout prochainement édité dans la collection des Guides-Méthodes de l'AFB) ;
2) d'une flore des diatomées des Antilles Françaises, qui reprend les informations taxonomiques (en langue française, issues d'une bibliographie mondiale multilingue) des guides iconographiques produits au cours du programme de conception de l'indice, et y rajoute des taxons observés dans le cadre d'autres études conduites dans les 2 îles : étude de la biodiversité des sources hydrothermales, étude des réservoirs biologiques et suivi des STEPs en Martinique ;
3) d'un outil de calcul de l'IDA sous un applicatif simplifié sous R, accompagné de sa notice utilisateur.

Ils ont aussi prodigué l'appui nécessaire à la mise en place d'un module de calcul dans le S3E /module DOM auprès des personnels de l'AFB en charge du développement de cette application.

En fonction du recul et du bagage de données actuellement disponibles, les partenaires locaux ont à nouveau repéré plusieurs aspects perfectibles qui, à ce stade, **rendraient très utile la production d'une nouvelle version de l'IDA** ayant vocation à devenir officielle, qui puisse être rendue disponible en temps voulu pour aborder au mieux les Plans de Gestion futurs et en particulier, avec l'anticipation nécessaire, le début du Plan de Gestion à venir (début : 01-01-2022).

Travaux antérieurs, acquis scientifiques et méthodologiques

Au niveau national, Irstea (ex-Cemagref) a été l'organisme scientifique porteur du développement historique de la plupart des indices diatomiques dédiés à l'évaluation des hydrosystèmes d'eau douce de notre territoire national. Si l'usage de certains d'entre eux est en régression (ex : l'Indice Diatomique Générique ou IDG, **REF. 1 :** *Rumeau et Coste, 1988*), d'autres sont largement utilisés et font encore actuellement référence, comme :

1) l'Indice de Polluo-sensibilité Spécifique ou IPS (**REF. 2** : *Coste, 1882*). Cet indice à vocation internationale, diffusé et largement reconnu au niveau mondial via le logiciel OMNIDIA, a aussi été retenu au niveau européen afin de participer pour moitié au d-ICM (diatom Intercalibration Common Metric), indice diatomique-étalon européen actuellement utilisé comme référence pour l'inter-calibration européenne des méthodes diatomiques ;
2) l'IBD 2007 ou Indice Biologique Diatomées, version 2007 (**REF. 3** :*Coste et al, 2008*), actuellement utilisé en routine dans le cadre des divers réseaux de surveillance nationaux.

Depuis sa publication en Septembre 2000, la DCE (**REF. 4** : *JOCE, 2000*) a eu vocation à être appliquée rapidement sur notre territoire national métropolitain ainsi que, aussitôt que possible, dans les DOM français. Dans ces contextes utramarins, sa mise en œuvre en matière de surveillance et d'évaluation a été plus longue et plus complexe à mettre en place du fait des conditions biogéographiques bien spécifiques de ces territoires (géologie, climat, isolement, cortèges hydrobiologiques originaux et souvent méconnus), qui nécessitaient une prise de connaissance des espèces présentes sur place et de leur écologie avant de pouvoir mettre au point des méthodes indicielles susceptibles de donner de bons résultats localement.

De fait, la mise en œuvre de cette Directive a le plus souvent débuté par la mise en place progressive de **réseaux de surveillance abiotique de la qualité des eaux**, et la mise au point d'**outils hydrobiologiques spécifiques** s'est souvent mise en place dans un 2ème temps, une fois que des réseaux de surveillance de routine sur la qualité des eaux, à l'initiative des Offices de l'eau, s'étaient bien structurés et avaient commencé d'alimenter des référentiels historiques.

Dans ce contexte général de retard de connaissance sur les cortèges biologiques locaux, en partenariat avec les acteurs institutionnels et les Bureaux d'Etude locaux impliqués dans les réseaux locaux et/ou compétents sur le maillon diatomique des DOM (notamment Asconit, qui a récemment fait faillite, et Hydreco), Irstea a travaillé au développement de plusieurs nouveaux indicateurs diatomiques adaptés aux flores et aux contextes abiotiques locaux des **cours d'eau des DOM**. Ces travaux, initiés à partir de 2008 pour la Réunion et de 2009 aux Antilles, ont permis la production de 2 nouveaux indices DOM, l'IDR en 2013 pour la Réunion (**REF. 5** : *Boutry et al, 2013*) et l'IDA en 2014 pour les Antilles (**REF. 6** : *Guéguen et al, 2015*), ainsi que d'un dispositif d'évaluation perfectible, basé à titre provisoire sur l'IPS, pour les cours d'eau de Guyane (**REF. 7** : *Boutry et al, 2014*). Ces dispositifs ont depuis été rendus officiels pour l'application de la DCE dans ces DOM (**REF. 8** : *Arrêté Evaluation du 27 Juillet 2015*), et y sont utilisés en routine dans le cadre des réseaux de surveillance depuis cette date.

Bien que la DCE n'ait pas vocation à s'appliquer dans cette collectivité territoriale au statut spécifique, un programme partenarial comparable, initié avec ASCONIT fin 2012 et soutenu par l'OEIL, la direction des Affaires Vétérinaires, Alimentaires et Rurales (DAVAR) et le CNRT "Nickel et son environnement ", a permis la diffusion récente, à la jonction 2017-2018, d'un **nouvel indice diatomique** adapté au contexte local de la Nouvelle-Calédonie, **l'Indice Diatomique de Nouvelle-Calédonie ou IDNC** (**REF. 9** : *Marquié & Boutry et al, 2018*). En effet, les instances locales ont trouvé particulièrement intéressant le cadre d'évaluation proposé par cette Directive, associant suivi abiotique et suivi de maillons-clés biologiques, en vue de la protection des cours d'eau locaux et des lagons qui en constituent les milieux récepteurs.

Le contexte naturel de Nouvelle-Calédonie, par l'isolement mis en place de très longue date et la grande originalité de certains substrats géologiques qui affleurent ici (en particulier les péridotites, dont est extrait le nickel), est réputé au niveau mondial pour son niveau très élevé d'endémisme. Les cortèges diatomiques ne font pas exception à cette règle (nombreuses espèces très originales et endémiques, pouvant elles-mêmes se rattacher à des genres endémiques).

Après la faillite d'Asconit, ce programme a été poursuivi et mené à bonne fin en partenariat avec le Bureau d'Etude Eco in'Eau et avec Julien Marquié, étudiant doctorant qui avait notamment assuré la responsabilité des campagnes de terrain et les déterminations-comptages taxonomiques (opération particulièrement ardue dans ce contexte local), et qui est passé depuis au statut d'auto-entrepreneur.

La bonne description et la reconnaissance nouvelle des flores spécifiques locales, le plus souvent méconnues antérieurement (ce qui est forcément le cas pour des espèces endémiques, nombreuses en Nouvelle-Calédonie, qui n'ont donc pas pu être repérées et décrites ailleurs) et dans le contexte général d'une bibliographie taxonomique mondiale parcellisée (le plus souvent publiée dans la langue native des auteurs des ouvrages), est une **grosse difficulté initiale** inhérente à tout programme de ce genre mené sur de nouvelles zones biogéographiques. Cette reconnaissance des flores doit absolument être surmontée pour que le programme puisse arriver à bonne fin (à savoir la production d'un **nouvel indice biologique** adapté au contexte biogéographique local), ce qui n'a pas été la moindre des tâches dans ce contexte Néo-Calédonien fortement isolé et aux conditions naturelles très particulières.

Sur le plan méthodologique, il est important de signaler à ce niveau que, contrairement aux 2 indices précédents (IDR pour la Réunion, IDA pour les Antilles), qui ont été bâtis sur la base d'un **gradient composite d'anthropisation** associant et agrégeant l'information de plusieurs descripteurs abiotiques d'impact anthropique souvent rejetés en mélange composite dans des rejets agricoles, domestiques et de STEP, l'IDNC a été construit sur une base **d'emblée multimétrique**. Ce nouvel indice multimétrique permet d'une part, de façon assez classique pour des indices diatomiques, d'évaluer l'impact lié à l'**enrichissement anthropique trophique** des cours d'eau locaux. Mais, de façon plus innovante, il permet aussi d'évaluer l'altération de l'état écologique de cours d'eau sous influence d'**impacts miniers** (cf. industries locales d'extraction et de transformation du nickel).

Même si de tels types d'indices ont déjà pu être mis au point sur des compartiments biologiques animaux, par exemple l'I2M2, nouvel indice macroinvertébrés benthiques mis au point pour les cours d'eau de France métropolitaine (**REF. 10** : *Mondy et al, 2012*), cette prise en compte additionnelle d'impacts toxiques et physiques constitue à notre connaissance une première pour un indice diatomique destiné à l'évaluation d'état écologique de cours d'eau et calculé à partir de la composition taxonomique détaillée d'assemblages de diatomées benthiques exprimée en abondances relatives.

Outre l'évaluation intégrée d'Etat Ecologique dans un contexte de multi-altération d'origine anthropique, qui correspond à l'objectif premier assigné à l'indice, l'intérêt de cette structure multi-métrique est qu'il est aussi possible, dans le cadre du diagnostic d'altération anthropique, d'accéder à des informations plus détaillées sur le(s) paramètre(s) occasionnant le principal impact biologique dans le cours d'eau concerné au site considéré, offrant des possibilités intéressantes de repérage de l'impact principal (ou des impacts principaux) pour la mise en place de mesures correctives appropriées.

Enfin, dans la continuation de réalisations partenariales historiquement menées sur la Guyane avec Asconit et Hydreco, un consortium partenarial Hydreco-Irstea vient tout juste de créer, à la jonction 2018-2019, un **nouvel indice diatomique** construit strictement à partir des **référentiels locaux** (qu'il s'agisse des paramètres abiotiques ou des données de relevés diatomiques) et spécifiquement adapté à l'**évaluation diatomique des cours d'eau de la Guyane**. La vocation première de ce nouvel indice, nommé **Indice Diatomique de Guyane Française** ou IDGF (**REF. 11** : *Carayon et al, 2019*), est d'évaluer l'état écologique intégré des cours d'eau de Guyane dans le cadre d'application de la DCE.

De même que l'IDNC, **le nouvel IDGF a été construit sur une base résolument multimétrique**. Cependant, les différences de contexte local ont entraîné une construction d'indice selon une assise différente en matière de métriques biologiques d'altération.

Donc, contrairement au contexte de la Nouvelle-Calédonie où le substrat géologique ultramafique d'une part, l'exploitation industrielle du minerai de nickel d'autre part, entraînent un **risque de pollution minière à fort niveau d'impact** sur les peuplements diatomiques des cours d'eau situés à l'aval d'un site d'exploitation industrielle, avec un risque d'effet toxique aigu et même létal sur certaines espèces de diatomées sensibles, **l'indice Guyane n'inclut pas directement de métrique de pollution métallique**. En effet, le méthyl-mercure, par ailleurs non suivi de façon suffisamment documentée dans le cadre des réseaux de surveillance pour étayer la construction de relations "pression-impact ", n'est pas susceptible d'entraîner un effet létal ou sub-létal marqué sur le maillon des diatomées benthiques.

Par contre, l'IDGF aborde efficacement la bio-indication des **pollutions terrigènes** accompagnant l'exploitation de **sites d'orpaillage de Guyane**, ce qui permettra aussi, sur une assise d'altérations anthropiques différente de celle de Nouvelle-Calédonie, d'accéder à des informations plus détaillées sur les altérations dominantes au site et d'orienter des mesures éventuelles de remédiation si l'état du cours d'eau le justifie

Ce sera notamment le cas s'il est constaté une tendance établie à la dégradation de qualité écologique et/ou une non-atteinte du Bon Etat Ecologique.

Les précisions qui précèdent sur la portée des différents indices diatomiques récemment construits pour les DOM-COM visent simplement à rappeler qu'il n'est pas possible de tout faire dire à tout maillon bio-indicateur dans un contexte local ou régional donné, en fonction : **1)** de ses propres sensibilités-tolérances, **2)** du cortège particulier d'altérations anthropiques rencontrées sur place, et **3)** des spécificités du protocole d'échantillonnage et d'observation mis en œuvre au site de réseau faisant l'objet d'un suivi.

Les nouveaux outils indiciels produits dans le cadre des partenariats "Etablissement Public de Recherche – Bureaux d'Etude privés" pré-évoqués, publics et libres de droits, ont été diffusés (rapports finaux des actions concernées).

Sauf pour le dernier indice précité (IDGF), de mise au point très récente et pour lequel ces développements ultérieurs devraient être réalisés dans les 2 années qui viennent, les divers produits chargés d'accompagner le **transfert-utilisateur** pour une mise en œuvre facilitée de ces nouvelles méthodes (développements de logiciels spécifiques pour le calcul indiciel et de notices-utilisateur, guides méthodologiques sous charte éditoriale AFB, guides ou atlas taxinomiques synthétisant la connaissance locale des flores intégration de modules de calcul dans l'outil national S3E, etc…) sont aussi élaborés et diffusés, facilitant la bonne mise en œuvre des méthodes concernées, une meilleure reproductibilité de leurs résultats et la capitalisation locale de référentiels de données plus comparables.

Analyse de l'IDA actuel : formulation, problèmes, pistes de solutions

1) Aspects généraux :

Le programme initial et les études complémentaires menées aux Antilles et ayant donné accès à la formulation de l'actuel IDA ont permis de s'appuyer au final sur **607 relevés biologiques** couvrant les différentes situations naturelles de Guadeloupe et de Martinique, ainsi que les principaux gradients de pollution représentés dans ces contextes.

Dans l'absolu, ce nombre de relevés paraît important. Cependant, au-delà du nombre cumulé de relevés collectés, un jeu de données adéquat pour la réalisation d'un tel programme devrait idéalement fournir une **image représentative** de ces 2 grandes îles antillaises dans la **diversité des situations naturelles et climatiques rencontrées**, et aussi illustrer de façon **complète et progressive** les **gradients d'impacts anthropiques présents**, depuis les situations naturelles ou pseudo-naturelles jusqu'aux situations fortement impactées, avec toute la gradation utile sur la zone d'impact de modéré à fort, en passant par l'impact moyen.

Une bonne gradation de pression anthropique et de réponse des communautés diatomiques aurait donc été souhaitable pour mieux cerner et pour définir avec la justesse nécessaire les limites de classes de qualité les plus adéquates dans le contexte local.

Cependant, dans les faits (cf. à nouveau **REF. 6** : *Guéguen et al, 2015*), les jeux de données collectés en Martinique et Guadeloupe comportent une nette dominance de situations naturelles ou à début d'impact mesurable et, à l'autre bout du gradient, quelques sites à niveau de pollution fort, mais aussi très variable d'une date à l'autre (souvent à l'aval d'un rejet intensif de pollution ponctuelle de type STEP et/ou agglomération, rhumerie ou autre IAA, cimenterie, etc…).

Pour leur part, les **situations de pression anthropique modérée à moyenne** étaient très **sous-représentées**, conduisant à un important déficit relatif dans la représentation du milieu du gradient de pression anthropique ; ce creux relatif de représentation des gradients étant rencontré sur la plupart des 10 paramètres abiotiques censés représenter le niveau de pression anthropique exercé sur le cours d'eau (soit % Sat. O_2, C. Org, DBO_5, MES, NH_4, NKJ, NO_2, NO_3, PO_4, P. Tot.).

D'autre part, une seule donnée ponctuelle et instantanée de chimie pouvait à l'époque être associée à chaque relevé diatomique (qui, pour sa part, bio-intègre plutôt les effets de 2 à 3 mois de qualité d'eau intégrée). La **représentativité temporelle des conditions abiotiques** décrites lors de ce programme était donc toute relative, en particulier pour une représentation fidèle et robuste des situations polluées, à l'ambiance instantanée souvent très variable, par exemple à l'aval d'un rejet de STEP ou d'IAA (les conditions hydrochimiques naturelles étant plus stables, donc restituées plus fidèlement en principe).

Ces limitations du jeu de données initial ont donc pu conduire à un certain niveau d'imprécision de la relation pression-impact établie, certes assise et valide à l'échelle du jeu de données complet, mais plus facilement prise en défaut sur des couples particuliers "données abiotiques-données biologiques", correspondant à des contextes locaux [site X date] éventuellement représentés de façon non fidèle, sur le plan de certains paramètres abiotiques influencés par l'anthropisation, par un seul échantillon ponctuel instantané.

Cette limite de représentativité des données de physico-chimie et d'hydrochimie accessibles dans le cadre du programme initial Antilles nous avait conduits à l'époque à ne pas considérer chaque gradient abiotique séparément. C'est une raison importante pour laquelle nous avions opté à l'époque pour la construction de l'IDA sur la base d'un **gradient composite d'anthropisation** qui, outre l'intégration de tous les paramètres abiotiques d'anthropisation dans un même gradient composite, permettait une consolidation des informations issues de la matrice des données abiotiques en prenant aussi en compte la matrice-réponse des taxons dans une **analyse canonique des correspondances (ACC)**, plus bio-intégrative de la dimension temporelle (Gradient Composite Multimétrique d'Altération ou GCMA).

Concernant cette fois l'aspect de la **représentation des taxons**, l'assise totale des relevés biologiques, collectés pendant 2 campagnes saisonnières par an, était assez importante pour faire le **recensement d'une partie très dominante des flores présentes**.

Cet objectif d'acquisition de connaissance initiale et d'inventaire des espèces présentes, certainement pas encore exhaustif, a été relativement bien atteint, conduisant à l'identification à l'espèce de **512 taxons différents** sur l'ensemble biogéographique (Guadeloupe + Martinique).

Cependant, comme on pouvait s'y attendre, l'information écologique collectée sur une bonne partie des espèces trouvées, moins occurrentes et abondantes que d'autres, était encore trop pauvre pour pouvoir sérieusement l'utiliser dans l'application de bio-indication, du moins dans le cadre de cette première version d'indice.

C'est pourquoi seulement **178 taxons** (soit 35% du total) ont été jugés suffisamment rencontrés, en occurrence et/ou en abondances relatives, pour passer des seuils de sélection et se voir calculer un **profil indiciel dans l'IDA**. Les 334 taxons restants, rencontrés de façon trop anecdotique dans les relevés disponibles, ne font pas partie pour l'instant de l'assise indicielle de l'IDA.

Il est aussi utile de souligner ici que, même sur une bonne partie des 178 taxons indiciels sélectionnés pour faire partie de l'assise indicielle, l'information écologique collectée en fin de programme pouvait être encore relativement pauvre et ne pas encore donner de message absolument probant, ou donner un message encore un peu incertain vis-à-vis de la relation "présence ou absence du taxon - effet exercé par l'altération anthropique" (exemples de taxons trouvés avec seulement de de 3 à 6 occurrences dans tous les relevés de l'étude et/ou avec une répartition trop peu ciblée).

Dans les situations îliennes comportant des reliefs importants et des rivières relativement courtes et pentues à régime soutenu, il est classiquement observé la présence d'un **drift important d'espèces naturelles un peu euryèces**, très bien adaptées au contexte général et hydrochimique local, qui dérivent en permanence depuis l'amont. Ces taxons font preuve d'une certaine plasticité écologique vis-à-vis du changement des conditions locales de température et de qualité des eaux et semblent tolérer aussi, jusqu'à un certain point, un gradient d'augmentation des teneurs en nutriments de l'amont vers l'aval (exemple de *Cocconeis euglypta*, espèce souvent abondante en cours d'eau s'écoulant sur substrats de lave volcanique…). De telles espèces sont donc globalement peu porteuses d'un message exploitable pour l'évaluation du degré d'altération anthropique.

Outre le problème ci-dessus lié au contexte îlien tropical avec cours d'eau pentus, bien mis en évidence *via* les analyses biotypologiques réalisées sur les données biologiques de la Réunion comme des Antilles, la connaissance encore un peu trop sommaire de la répartition de beaucoup de taxons dans les conditions naturelles et dans les gradients anthropiques a été une 2ème raison importante pour laquelle, afin d'évaluer l'impact anthropique, il a été décidé **de ne pas s'appuyer sur la composition totale des taxons indiciels de la communauté** (comme cela est fait par exemple pour l'IPS et l'IBD en métropole), mais **sur une <u>liste restreinte de 47 taxons d'alerte</u>** dont la présence est synonyme d'altération anthropique certaine dans le contexte des Antilles.

En fonction de la clarté de répartition du profil de l'espèce dans le gradient composite de qualité d'eau des Antilles, 2 coefficients différenciés ont pu être affectés aux taxons d'alerte, exerçant un poids différent d'évaluation d'altération dans le calcul d'indice. Ainsi, il a été repéré **22 Taxons^{2-}**, dotés d'un coefficient d'alerte de [-3], et **25 Taxons^{-}**, dotés d'un coefficient d'alerte de [-1].

Le statut de taxon d'alerte $^{2-}$, doté du coefficient d'alerte maximum de [-3], n'a été affecté qu'à des taxons associés à coup sûr à l'effet marqué d'un impact anthropique à l'amont du site (règles de décision assez strictes montrant clairement l'affinité du taxon avec des situations dégradées par l'homme). Le statut d'alerte $^{-}$ a été donné à des taxons dont les règles de répartition dans le profil de qualité étaient un peu moins exclusives, ou dont le nombre d'occurrences et d'abondances relatives manquait encore de recul pour une bonne robustesse de l'affectation.

Enfin, certains taxons tolérant un certain niveau de nutriments ou de matière organique, mais que l'on pourra trouver dès l'amont de cours d'eau non-anthropisés, par exemple sous l'influence d'un niveau saprobique d'origine naturelle (chute saisonnière de feuilles, de fleurs, de fruits…), ont été considérés pour l'instant comme pouvant faire partie de la flore naturelle de cours d'eau non anthropisés et ne se sont pas vus affecter de statut d'alerte particulier (il en existe certains parmi les 131 Taxons $^{+}$).

Au bilan, malgré les limites des jeux de données initiaux, des solutions pragmatiques ont été trouvées pour formuler l'IDA d'une façon efficiente par rapport aux contextes naturels locaux et aux problèmes rencontrés, et cet indice déjà performant a plutôt donné assez bonne satisfaction aux utilisateurs, en particulier dans le contexte d'une première version d'outil construite avec un recul-données de quelques années seulement.

Cependant, au stade actuel, une nouvelle version de l'IDA bénéficiant du recul acquis, tant sur les jeux de données que sur ses résultats obtenus en diverses situations, permettrait :

- **1)** d'actualiser utilement la connaissance acquise sur chaque taxon (notamment par une révision-consolidation de leurs profils de répartition),
- **2)** de diagnostiquer quels taxons, au bagage augmenté par rapport à l'étude initiale, pourraient être rajoutés dans la liste des taxons indiciels.

Ces 2 ré-actualisations ne pourraient qu'améliorer la représentativité de l'assise-taxons et la robustesse des résultats de l'indice par rapport aux situations particulières rencontrées dans le contexte des Antilles. D'autre part, une révision de l'indice au stade actuel constituerait aussi la bonne occasion pour étudier et prendre plus spécifiquement en compte différents problèmes pratiques rencontrés ou remarqués dans les conditions locales (cf. sous-chapitre ci-dessous).

La sortie d'une nouvelle version d'IDA tirant parti de l'ensemble des données désormais disponibles permettrait donc d'améliorer l'adéquation générale de cet outil à son contexte biogéographique, et de pouvoir ainsi repartir sur un outil permettant une évaluation à la fois plus sensible et plus robuste d'état écologique, dans le cadre d'application de la DCE et au service des nouveaux PGME (*i.e.* Plans de Gestion des Masses d'Eau) à venir.

2) Problèmes plus spécifiques repérés :

Depuis le début de mise en œuvre en routine de l'IDA dans le cadre des réseaux, suite à l'édition de l'Arrêté Evaluation du 27-07-2015 (cf. à nouveau **REF 8 :** *Arrêté Evaluation, 2015*), et par rapport à la chronique initiale acquise pour sa mise au point, certains défauts de jeunesse ont été repérés qui tiennent en particulier à des limites de représentativité de cet outil vis-à-vis de certaines conditions biogéographiques ou bio-climatiques particulières rencontrées depuis cette époque.

a) Cas des espèces non-indicielles et phénomènes bioclimatiques :

Depuis la genèse de ce nouvel indice Antilles, il est régulièrement trouvé dans certains relevés des espèces, **soit considérées comme non-indicielles** lors de l'établissement des listes d'espèces participant au calcul de l'IDA (pour cause d'occurrence et d'abondance relative initialement insuffisantes, ne permettant pas de leur affecter une autoécologie suffisamment robuste), soit même **nouvellement observées en abondance** dans certains relevés alors qu'**elles n'avaient encore jamais été trouvées** dans les **relevés de l'étude initiale**.

Ces taxons pour l'instant non-indiciels viennent affaiblir la proportion de taxons servant effectivement au calcul de l'IDA par rapport à l'assise-taxons complète d'un relevé donné.

Tant qu'ils restent marginaux en effectifs, ce qui était le cas lors de l'étude initiale, cela ne concernera qu'une partie minime de l'assise du relevé et n'affectera pas beaucoup la fiabilité du calcul indiciel.

Par contre, si les taxons non-indiciels deviennent trop nombreux, ils vont venir **altérer la confiance** que l'on peut accorder au **résultat indiciel**, selon les règles édictées dans le guide méthodologique AFB destiné à encadrer la mise en œuvre de l'IDA (voir ci-dessous), actuellement en phase de retours - utilisateurs et de validation (**REF. 12** : *Lefrançois et al, 2018*).

Tableau 1 : Règles de fiabilité associées au calcul de l'I.D.A.

	Pas de message d'alerte particulier quant à la représentativité du calcul de l'I.D.A. lorsque le dénombrement de taxons indiciels est ≥ 90%
	Fiabilité réduite du calcul de l'I.D.A. lorsque le dénombrement de taxons indiciel est < 90% mais ≥ 75%
	Calcul de l'I.D.A. non valide lorsque le dénombrement de taxons indiciels est < 75%

Si l'intervention des taxons non-indiciels, considérés comme rares à l'époque, reste modérée et ne dépasse pas 10 % de l'effectif total du relevé (cas figuré en vert), la confiance dans le calcul indiciel reste bonne. Dans les cas où la liste locale de taxons trouvés diffère plus sensiblement de la liste des taxons indiciels, en fonction de l'effectif cumulé concerné, on peut atteindre une fiabilité réduite (couleur jaune), voire sortir du cadre de validité du calcul de l'IDA (couleur rouge) à partir du moment où l'assise de taxons indicielle devient < 75% de l'effectif total du relevé.

Une telle baisse d'assise indicielle peut parfois être causée par une **incidence haline littorale** provoquant des entrées excessives de taxons d'origine marine (problème de la limite de validité du calcul indiciel sous incidence littorale trop forte au moment du prélèvement, qui peut intervenir sur 2 ou 3 stations de Martinique déjà connues par avance du fait de leur implantation proche du littoral et à très faible altitude).

Dans les autres cas, beaucoup plus courants, il sera provoqué par l'intervention d'un **effectif trop abondant** de taxons d'eau douce déjà recensés aux Antilles mais encore **non-indiciels**, voire par l'apparition de **nouveaux taxons** qui n'avaient encore jamais été repérés dans l'inventaire des espèces établi au cours du programme initial et des études complémentaires 2013.

Ainsi, en Martinique, lors des inventaires 2015, Anne EULIN a dénombré en abondance une nouvelle *Nitzschia* et une *Fragilaria* jusqu'alors très rares, qui n'étaient pas décrites dans les guides. En 2016, elle a inventorié une nouvelle *Cymbella* avec une abondance relative de 5%, donc non négligeable, et observé 4 nouveaux taxons (taxons rares) n'ayant pas exercé d'influence particulière sur l'assise et la fiabilité des comptages.

En Guadeloupe, lors de la campagne RCS 2018, c'est une nouvelle espèce du genre *Achnanthidium* qui a été inventoriée. Ce taxon est abondant voire dominant (abondance > 10%) dans 3 stations et a été observé au total dans 11 des 20 stations étudiées.

En 2017, l'examen des communautés de diatomées collectées dans le cadre d'études menées en parallèle du développement de l'I.D.A, à savoir des études réalisées sur les réservoirs biologiques et sur les suivis de rejets de stations d'épuration, a aussi permis de dénombrer certains taxons non-indiciels (principalement des *Nitzschia*, des *Gomphonema* et des *Eolimna/Sellaphora*).

Ces constats illustrent bien que des cours d'eau non-suivis lors de l'étude initiale sont susceptibles de présenter des différences sensibles de flores par rapport aux cortèges indiciels des sites habituels de réseaux, confirmant ainsi que le contexte bio-géographique des cours d'eau des Antilles n'est pas encore complètement appréhendé au terme d'un programme de 5 ans.

L'année 2018 a révélé des spécificités floristiques d'un niveau sensiblement supérieur aux années précédentes, cet état de fait pouvant être lié en partie à des conditions climatiques inhabituelles intervenues environ un mois avant la campagne de prélèvements. En effet, les deux îles ont connu un épisode de tempête tropicale accompagné de très fortes pluies, qui ont vraisemblablement accentué les transferts de nutriments et d'éventuelles molécules toxiques (métaux, pesticides…) et provoqué des impacts de matières en suspension (recouvrement des substrats durs, colmatages…).

En Martinique (**REF. 13**, *Eulin et al, 2018*), le suivi de 31 stations rattachées aux différents réseaux de surveillance existants a notamment conduit à établir le diagnostic global de fiabilité des calculs d'IDA suivant (cf. Tableau 2) :

Tableau 2 : Effectif de taxons indiciels, non indiciels et halins pour chaque relevé 2018 de Martinique et fiabilité du calcul de l'I.D.A.

Masse d'eau	Cours d'eau	Station	Code Sandre	Code ME	Réseau	Taxons indiciels	Taxons non indiciels	Taxons halins	Pourcentage de taxons indiciels	Alerte I.D.A.
Grande Rivière	Grande Rivière	Trou Diablesse	08101101	FRJR101	REF	464	49		90%	
Lorrain amont	Lorrain	Trace des Jésuites	08201101	FRJR103	REF	492	36		93%	
Case Navire amont	Duclos	Tunnel Didier	08301101	FRJR117	REF	522	16		97%	
Carbet	Carbet	Source Pierrot	08320101	FRJR119	REF	490	24		95%	
Galion	Galion	Gommier	08221101	FRJR106	REF	512	31		94%	
Grande Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	Beauregard	08811101	FRJR108	REF	306	218		58%	
ACER	Anse Céron	Habitation Céron	08014101		REF/ACER	457	72	1	86%	
ACER	Vauclin	La Broue	08703101		REF/ACER	362	153		70%	
Lézarde amont	Lézarde	Palourde Lézarde	08501101	FRJR113	REF/RCS	508	6		99%	
Capot	Capot	AEP Vivé Capot	08115101	FRJR102	RCS	456	92		83%	
Grande Rivière	Grande Rivière	Stade	08102101	FRJR101	RCS	521	28		95%	
Lorrain amont	Lorrain	Amont Pirogue	08203101	FRJR103	RCS	503	42		92%	
Lorrain aval	Lorrain	Seguineau - amont pont RN1	08205101	FRJR104	RCS	521	51	1	91%	
Carbet	Carbet	Fond Baise	08322101	FRJR119	RCS	462	55		89%	
Case Navire aval	Case Navire	Bourg Schoelcher	08302101	FRJR101	RCS/RCO	455	66		87%	
Madame	Madame	Pont de Chaîne	08423101	FRJR116	RCS/RCO	344	172		67%	
Lézarde moyenne	Lézarde	Gué de la Désirade	08521101	FRJR112	RCS/RCO	423	118		78%	
Lézarde moyenne	Lézarde	Pont RN1	08521102	FRJR112	RCS/RCO	447	60		88%	
Oman	Oman	Dormante	08824101	FRJR109	RCS/RCO	479	51		90%	
Rivière Pilote	Grande Rivière Pilote	Amont bourg	08813103	FRJR108	RCS/RCO	496	17		97%	
Galion	Galion	Amont pont D3 (Grand Galion)	08225101	FRJR106	RCS/RCO/PEST	431	86		83%	
Roxelane	Roxelane	Ancien Pont	08329101	FRJR120	RCS/RCO/PEST	463	65		88%	
Rivière Salée	Rivière des Coulisses	Petit Bourg	08803101	FRJR110	RCS/RCO/PEST	492	48	3	91%	
Sainte Marie	Bezaudin	Pont RD24 - Ste Marie	08213101	FRJR105	RCS/RCO/PEST	382	140		73%	
Monsieur	Monsieur	Pont Mongérald	08412102	FRJR115	RCO	489	55		90%	
Grande Rivière Pilote	Petite Rivière Pilote	Pont Madeleine	08812101	FRJR108	RCO	498	19		96%	
Desroses	Deux Courants	Pont N6 (Seraphin 2)	08616105	FRJR107	RCO/PEST	412	125		77%	
Lézarde aval(ME artificielle)	Lézarde	Ressource	08541101	FRJR111	RCO/PEST	456	55		89%	
Lézarde amont	Lézarde	Pont Belle Île	08504101	FRJR113	PEST	421	83		84%	
ACER	Petite Rivière	Brasserie Lorraine	08533101		PEST	478	74		87%	
Blanche	Blanche	Pont de l'Alma	08511101	FRJR114	Enquête	507	8		98%	

Ainsi, sur les 31 stations de Martinique suivies en 2018, tous réseaux confondus, 16 calculs d'IDA (**soit 54%,** ce qui constitue un **pourcentage considérable**) sont affectés d'un affaiblissement de la confiance que l'on peut accorder au résultat de calcul d'IDA pour cette raison de taxons non-indiciels, dont 4 (soit 8,5%) conduisent même à un calcul d'IDA considéré comme non-valide.

Ce pourcentage d'altération du résultat des calculs indiciels atteint un niveau inédit auparavant. Il a certainement été lié, au moins en partie, au contexte bioclimatique exceptionnel généré par l'épisode de fortes crues, qui a permis la révélation d'espèces très certainement présentes auparavant dans les mêmes cours d'eau, mais dont la répartition et l'abondance se sont trouvées amplifiées cette année du fait de conditions de sélection qui leur sont devenues favorables. Ce constat établi, non de façon ponctuelle, mais dans au moins la moitié des cours d'eau suivis dans le cadre des réseaux de Martinique, illustre bien que des flores pré-existantes, mais restant habituellement discrètes et méconnues, peuvent à un moment donné trouver des conditions plus favorables qui leur permettront d'augmenter très sensiblement leurs effectifs. Si on ne les a pas repérées et dotées auparavant d'un profil indiciel, elles viendront altérer de façon très significative la qualité des évaluations faites.

En Guadeloupe (**REF. 14** : *Lefrançois et al, 2018*), après le même épisode de pluies tropicales 2018, il a aussi été observé des particularités floristiques dans certains relevés, dont l'effet sur la fiabilité de l'indice est récapitulé en colonne la plus à droite du Tableau 3 ci-dessous.

Tableau *3* : Effectif de taxons indiciels, non indiciels et halins pour chaque relevé 2018 de Guadeloupe et fiabilité du calcul de l'I.D.A

Code IDA	Code interne	Cours d'eau	Station	Code Sandre	Réseau	Taxons indiciels	Taxons non indiciels	Taxons halins	proportion de taxons indiciels	Fiabilité de l'IDA
CAAg18	2018-971-001	Grande Rivière de Capesterre	Pont RN	07008015	RCS	499	13	0	97,46%	🟢
GCPg18	2018-971-002	Rivière du Grand Carbet	Pont RN	07009010	RCS/RCO	490	24	1	95,53%	🟢
BDIg18	2018-971-003	Rivière Bras David	Site INRA	07012120	RCS/RCO	442	82	0	84,35%	😐
BDMg18	2018-971-004	Rivière Bras David	Maison de la forêt	07012220	RCS/RCO	480	28	0	94,49%	🟢
GAPg18	2018-971-005	Rivière Galion	Pont embouchure	07016001	RCS/RCO	474	76	0	86,18%	😐
GAMg18	2018-971-006	Rivière Grande Anse	Moscou	07017650	RCS/RCO	469	50	0	90,37%	🟢
GGAg18	2018-971-007	Grande Rivière à Goyave	Amont SIS	07021016	RCS/RCO	309	198	0	60,95%	🔴
GPAg18	2018-971-008	Rivière Grande Plaine	Pont RN	07022008	RCS/RCO	514	7	0	98,66%	🟢
HECg18	2018-971-009	Rivière aux Herbes	Choisy	07023495	RCS	497	6	0	98,81%	🟢
LEDg18	2018-971-010	Rivière La Lézarde	Diane	07026037	RCS/RCO	502	10	0	98,05%	🟢
MPPg18	2018-971-011	Rivière Moustique Petit-Bourg	Amont pont RN1	07028015	RCS/RCO/ complémentaire	488	38	0	92,78%	🟢
MPTg18	2018-971-012	Rivière Moustique Petit-Bourg	Trianon	07028110	RCS	510	9	0	98,27%	🟢
PEEg18	2018-971-013	Rivière des Pères	Amont embouchure	07032002	RCS/RCO/ complémentaire	500	3	0	99,40%	🟢
VHEg18	2018-971-014	Gde Rivière de Vieux Habitants	Amont embouchure	07044007	RCS/ complémentaire	503	10	0	98,05%	🟢
VHGg18	2018-971-015	Gde Rivière de Vieux Habitants	Prise d'eau	07044250	RCS	511	3	0	99,42%	🟢
PLVg18	2018-971-016	Rivière Plessis	Vanibel	07046295	RCS/RCO	517	5	0	99,04%	🟢
NOAg18	2018-971-017	Rivière Nogent	Pont RN	07047007	RCS/RCO	488	31	0	94,03%	🟢
PBSg18	2018-971-018	Rivière du Premier Bras	Amont Séverin	07048110	RCS	467	63	0	88,11%	😐
BSCg18	2018-971-019	Rivière Bras de Sable	Ravine Chaude	07049040	RCS	268	242	0	52,55%	🔴
ROJg18	2018-971-020	Rivière La Rose	Jardin d'Eau	07050012	RCS	460	48	0	90,55%	🟢

Même si le pourcentage de calculs d'IDA affectés par des taxons non-indiciels (5/20, soit 25%, dont 2/20, soit 10 % seraient considérés comme non-valides) a été moins important cette année en Basse-Terre de Guadeloupe qu'en Martinique (qui présente aussi plus de diversité en termes de régions naturelles et de substrats géologiques), il a aussi été constaté une augmentation de relevés affectés par ces problèmes. La nouvelle espèce d'*Achnanthidium* (encodée *Achnanthidium* sp28) n'étant évidemment pas encore indicielle, sa présence a entraîné un net défaut de fiabilité de l'IDA dans 2 stations (Rivière Bras David, Site INRA et Rivière du Premier Bras). De plus, pour la première fois, *Nitzschia* sp27, déjà trouvée en Martinique, a aussi été trouvée à l'occasion de la campagne DCE 2018 en Guadeloupe.

Concernant les 2 îles, ce bilan lié à l'assise-taxons de l'IDA, en nette augmentation en 2018, a probablement été marqué par l'influence de cet épisode climatique particulier ; cette influence ayant aussi conduit à une estimation différente et, en moyenne, plus dégradée de l'état écologique qu'à l'accoutumée. Par exemple, en Martinique, l'état écologique constaté en 2018 est ressorti sensiblement plus altéré que d'habitude pour 9 stations (perte d'une classe d'état pour 6 stations, perte de 2 classes d'état pour 3 stations) sur 31 stations de réseaux suivies cette année-là. Dans le même temps et paradoxalement, le contexte étant certainement resté un peu plus dilutif sur les parties amont des rivières après cette vague de pluies, 3 sites peu altérés, habituellement classés en Bon Etat, gagnent une classe de qualité et se retrouvent évalués en TBE.

Au bilan, sur les 2 îles comme dans tout autre contexte naturel, les communautés de diatomées sont en constante évolution et l'ajout de nouveaux inventaires permet de voir s'accroître, dans le temps ou à l'occasion de séquences climatiques particulières, des espèces qui n'avaient pas pu être suffisamment caractérisées sur le plan écologique lors de l'étude initiale (espèces non-indicielles), voire qui n'avaient pas encore été trouvées du tout dans les inventaires initiaux des Antilles, ni nommées.

Au vu de ce constat, les inventaires originaux trouvés dans le cadre d'études particulières mises en place, en Martinique comme en Guadeloupe, constituent un enjeu à ne pas négliger dans la perspective d'une actualisation de l'IDA car, ayant lieu dans des contextes nouveaux ou bénéficiant de moins de recul que les sites classiques des réseaux, ils ont plus de chances de tomber sur de nouvelles espèces et peuvent contribuer à combler assez rapidement des lacunes encore existantes sur la description des cortèges naturels (études "réservoirs biologiques", situation amont du rejet de STEP), ainsi qu'à augmenter l'assise de **nouvelles espèces d'alerte** particulièrement intéressantes dans le cadre de la bio-indication d'altération anthropique (flore spécifiquement apparue à l'aval du rejet).

D'autre part, afin que l'outil indiciel puisse maintenir son opérationnalité dans un contexte d'accroissement du recul vis-à-vis des flores Antillaises et d'épisodes bioclimatiques particuliers (ex : épisodes pluvieux, éventuellement hors saison habituelle, épisodes plus chauds et secs qu'à l'accoutumée…), il devrait périodiquement être actualisé et éventuellement adapté, du moins sur le plan des listes indicielles, afin de réduire le plus possible l'intervention, dans des effectifs significatifs, de taxons non-indiciels ou nouveaux affaiblissant la fiabilité du calcul d'IDA.

Nota : Avec le recul des années, même si l'arrivée éventuelle de certains taxons exogènes restera toujours envisageable, l'assise de flore diatomique utile à la bio-indication **devrait assez rapidement se stabiliser**. A court - moyen-terme, il sera plutôt procédé à une complétion ménagée (introduction au coup par coup, à des échéances données, de quelques nouvelles espèces indicielles, avec statut d'alerte expertisé et stabilisé sur décision collégiale), en évitant d'avoir à recalculer les profils spécifiques déjà bien stabilisés et à re-versionner à chaque fois toute la formulation de l'IDA.

b) Défaut de sensibilité de l'IDA :

Si l'IDA actuel est capable d'évaluer l'état diatomique des hydrosystèmes sur une très large gamme de qualités (du niveau de référence au mauvais état), une impression manifestée par les personnes impliquées et connaissant bien les contextes locaux est que cet indice manquerait de sensibilité pour rendre compte correctement du début de gradient d'altération anthropique. Au moins dans certains contextes, cet indice noterait de façon trop optimiste (ou, autrement dit, pas assez sévère) les contextes d'altération faible à modérée.

Il peut y avoir plusieurs raisons à l'origine de ce problème :

1) Situations locales pas assez décrites, ou **pas décrites de façon assez intégrative** sur le plan des conditions abiotiques (chimie de l'eau). En effet, le programme initial a dû se baser sur un seul prélèvement chimique ponctuel à mettre en correspondance avec un relevé diatomique qui, pour sa part et selon les conditions hydrodynamiques de l'épisode, peut être bio-intégrateur de 1 à 3 mois de qualité d'eau écoulée. L'information physico-chimique et hydrochimique apportée a donc des chances d'être trop faiblement représentative de la qualité d'eau intégrée sur tout l'épisode temporel de croissance du biofilm en place au moment du prélèvement biologique. Cette imprécision par relevé peut créer un flou général sur le profil de qualité du taxon tel qu'il a été calculé.

2) **Utilisation de taxons d'alerte :** Pour la construction d'une méthode indicielle, en fonction des caractéristiques des conditions locales et des jeux de données, il doit être fait un choix dès le départ sur l'option de construction choisie : soit ***a)*** on utilise la **formule de type Zélinka et Marvan**, comme pour l'IPS ou l'IBD en métropole, qui s'appuie sur le profil écologique calculé de **chaque taxon indiciel du relevé** ; soit ***b)*** on base la bio-indication sur la sélection d'un **nombre limité de taxons d'alerte et/ou de taxons sensibles** (e.g. **REF. 15 :** *Hendrickx & Denys, 2005*) dont l'apparition ou la disparition caractérise l'existence certaine et plus ou moins intense d'altération anthropique influant sur la qualité abiotique du site et provoquant des réponses biotiques.

   C'est cette **2ème option de construction d'indice,** jugée la plus efficiente dans un tel contexte, qui a souvent été adoptée par notre consortium dans le cas des DOM-COM îliens, **dont les Antilles,** à cours d'eau courts, à pente moyenne assez importante et à niveau de saprobie naturelle plutôt élevé (taxons qui prospèrent sur des chutes de feuilles, de fleurs, de fruits, sans hiver ni arrêt végétatif très marqué).

   Un autre élément étant aussi intervenu en faveur de ce choix est lié à l'existence, dans ce contexte de cours d'eau à forte hydrodynamique, d'un phénomène important de drift de taxons venant de l'amont dans un relevé donné, qui peuvent ne pas signifier grand-chose en matière d'évaluation précise de qualité d'eau (taxons euryèces bien adaptés et dominants dans le contexte hydrochimique et climatique général du bassin versant).

   Dans le cadre de cette option, l'affectation d'un message d'alerte sur l'état écologique doit être donné avec prudence en ayant acquis la certitude que la présence du taxon est bien le reflet de l'impact d'une altération d'origine anthropique, et non d'une perturbation biologique d'origine naturelle (auquel cas ce ne serait plus la déviation d'état écologique dû à une altération anthropique, mesurée par rapport au niveau de référence adéquat, qui serait évaluée, comme la DCE le demande, mais un degré de perturbation générale des communautés dont on serait incapables de dissocier la part d'origine anthropique (pollution des eaux, altération du régime) de la part naturelle (ex : influence des crues, d'étiages très sévères pour simple raison climatique, etc…).

En fonction de cet objectif DCE, l'affectation de taxons d'alerte dans la classe la plus forte (**Taxons d'alerte** $^{2-}$) a été traitée avec prudence et à coup sûr, pour des taxons présentant à la fois une distribution suffisante et une répartition inter-classes de qualité bien claire. D'autres taxons au statut un peu plus douteux, ou avec une affinité pour l'altération moins forte, ont été affectés à la catégorie (**Taxons d'alerte** $^{-}$). Enfin, une bonne partie des taxons indiciels, non dotée d'une signification claire et précise en matière de pollutions anthropiques dans le contexte local, sont qualifiés de **Taxons** $^{+}$.

Bien sûr, il peut exister des nuances et une gradation assez importante de positionnement écologique de ces taxons, certains étant sténoèces et sensibles, et d'autres étant plus tolérants et adaptables (voir Figure 1 ci-dessous).

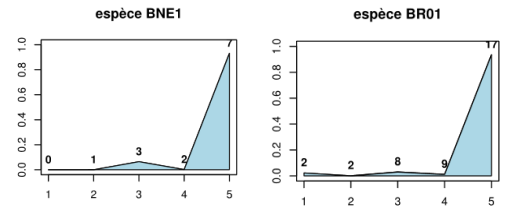
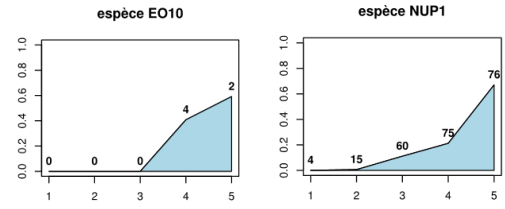
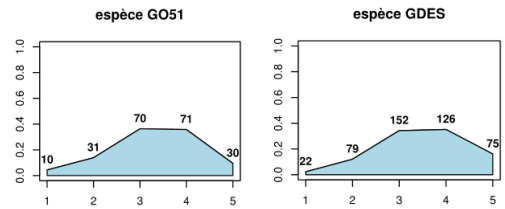
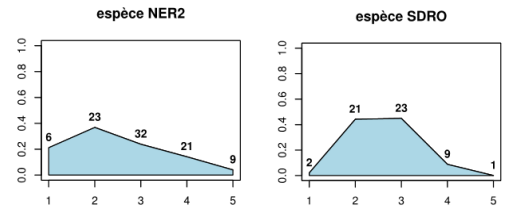
Avis d'expert	Profils indiciels des taxons « + »
Taxons très polluosensibles (+++) Présents presque exclusivement en classe 5 (présence en classe inférieure probablement liée à la dérive) Très bon état écologique	
Taxons polluosensibles (++) Présents en classes 5 et 4, puis forte régression ou disparition à partir de la classe 3 Très bon à bon état écologique	
Taxons sensibles à tolérants (+) Présents dans toute la gamme de classe de qualité mais avec une forte affinité pour les classes 4 et 3 Bon état écologique (à état moyen)	
Taxons tolérants, voire ubiquistes (+/-) Plus ou moins présents dans toute la gamme de classe qualité mais principalement en classes 3 et 2 Etat écologique moyen (à bon état)	

Figure 1 : Différents types de positionnement écologique des taxons $^{+}$ de l'IDA

Sous réserve que la chimie récente puisse être plus représentative de la présence des taxons dans les relevés, rendant ainsi leur répartition moins floutée sur le gradient d'anthropisation, une voie d'amélioration envisageable pourrait être d'**élargir l'assise de distribution des taxons d'alerte**, via une diversification de leurs règles de sélection et des classes d'alerte (par exemple, 3 au lieu de 2 actuellement). Il serait ainsi possible de basculer en taxons d'alerte de la classe la plus modérée certains taxons actuellement répertoriés Taxons^{+}, mais qui présentent déjà une certaine tolérance au gradient d'altération mais ne sont pas trop ubiquistes (cf. taxons de la ligne du bas de la Figure 1, à profil décalé vers les classes de qualité altérée, et en même temps très peu occurrents et peu présents dans la classe 5 de qualité, représentative des sites de référence et d'autres sites en TBE).

Cette option reviendrait donc au final à adopter une classification différente et plus raffinée des taxons d'alerte (dans ce cas, 3 statuts d'alerte différenciés au lieu de 2 comme pour la version actuelle d'IDA).

3) Enfin, le ré-échelonnement éventuellement plus approprié des **limites de classes de qualité** utilisées pour l'évaluation, actuellement établies par ensemble naturel homogène, en s'appuyant sur l'augmentation du recul-données disponible, sur l'expertise capitalisée dans le contexte local et/ou sur un ajustement de l'objectif de Bon Etat visé, peut aussi être un **moyen d'améliorer la pertinence de l'IDA**. Ce type de décision ne porte pas sur l'indice lui-même et sur le niveau de sa réponse, mais sur le **calage différent des grilles de qualité** en fonction de l'objectif de qualité souhaitable faisant consensus entre monde scientifique, experts du contexte local et services gestionnaires. Ce n'est pas au moyen de l'application d'une procédure scientifique rigoureuse et automatique qu'il sera possible de fixer objectivement ce niveau, même si une analyse de données peut bien sûr aider à situer des ordres de grandeur possibles, car la fixation d'un objectif-cible de qualité comporte toujours une part de relatif et d'arbitraire. Cette décision résulte forcément d'un compromis associant critères scientifiques et techniques, objectifs de gestion et coûts de maintien des hydrosystèmes à un niveau écologique-cible. Elle pourrait utilement se baser sur le jugement-expert capitalisé sur des sites-repères dont le statut et les variabilités annuelles d'état sont maintenant mieux connues qu'à la fin du programme initial.

Au bilan, l'IDA dans sa version actuelle a permis et permettra, jusqu'à la fin du PGME actuel, d'évaluer de façon relativement satisfaisante l'état écologique des cours d'eau des Antilles. Il sera aussi possible, sur la base de la même version d'indice, de repérer l'évolution de l'état des sites par rapport aux jeux de données antérieurs capitalisés pendant le programme initial (à savoir en calculant la même version d'IDA sur tous les inventaires diatomiques disponibles, historiques comme actuels).

Cependant, les référentiels de données se sont significativement accrus dans le cadre du fonctionnement régulier des réseaux de surveillance, ainsi que d'études particulières (réservoirs biologiques, surveillance de STEPs…). Des espèces à l'époque non-indicielles ou même nouvellement trouvées sont observées en nombre sans cesse croissant dans les relevés, provoquant des manques de fiabilité d'un nombre de plus en plus significatif de calculs indiciels.

Enfin, certains autres problèmes de jeunesse de l'indice ont pu être remarqués à l'usage (par exemple : sensibilité perfectible sur la partie modérée du gradient d'altération ; niveau d'évaluation de certaines grilles possiblement à re-discuter et à optimiser, en bon accord avec les experts locaux et les services gestionnaires…). Ce constat est surtout vrai en Martinique où, notamment, la surveillance des STEPs basée sur un doublet "site amont-site aval" a généré de nouvelles données qui peuvent aider à améliorer significativement la pertinence et la fiabilité de l'IDA. En Guadeloupe, la surveillance des STEPs est beaucoup plus récente et les données générées ne seront pas directement valorisables en l'état pour l'amélioration de l'indice. Il conviendra de prendre ce problème en considération afin que l'IDA puisse évoluer et rester tout autant adapté au contexte guadeloupéen que martiniquais.

Le travail sur une **nouvelle version de cet indice** (IDA-2), à réaliser au plus tard dans les 2 années à venir, arriverait à point nommé pour aborder, sur la base d'un outil indiciel amélioré, le ou les prochain(s) plans de gestion à venir (début du prochain PGME : 1er Janvier 2022).

Dans cette optique, il est donc souhaitable de mettre en place cette action dès que possible, afin qu'elle puisse être réalisée avec le délai d'anticipation nécessaire. En effet, le contenu du nouvel Arrêté Evaluation sera à stabiliser au plus tard vers Janvier - Février 2021, pour qu'une publication au JORF dans le courant de l'été 2021 permette de cadrer, sur le plan réglementaire, le début de réalisation du prochain PGME (2022-2027).

Il serait préférable qu'à cette échéance importante rythmant la gestion et l'évaluation des hydrosystèmes, ce nouvel Arrêté puisse intégrer un dispositif d'évaluation des cours d'eau des Antilles amélioré, s'appuyant sur une version rénovée et plus performante de l'Indice Diatomique des Antilles (IDA-2).

DEMARCHE ENVISAGEE, ASPECTS ET OPTIONS METHODOLOGIQUES, JALONS

Il s'agit ici de décrire les options utilisables pour faire évoluer et améliorer dès que possible l'Indice Diatomique des Antilles vers une version IDA-2, sur la base élargie des données actuellement accessibles qui, outre leur augmentation quantitative, couvrent aussi une plus large diversité de situations géographiques, de particularités de contexte climatique interannuel, de listes de taxons rencontrés…

1) Option "gradient composite" :

Une option envisageable pour réviser cet indice peut passer par une reproduction, quasiment à l'identique, du processus d'analyse de données réalisé quelques années plus tôt pour stabiliser l'IDA actuel.

Pour rappel, cet indice a été construit sur la base d'une réponse des relevés biologiques, sur la base de leur composition en taxons d'alerte par rapport à leur assise indicielle complète, à un **gradient composite multimétrique d'altération** (ou **GCMA**).

Le gradient d'altération est dit "**composite**" dans le sens ou le **degré d'altération abiotique d'un site** est restitué de façon **composite**, *via* l'agrégation de l'influence de 10 paramètres abiotiques d'altération sur les axes d'une ACP restreinte à ces 10 paramètres considérés. Il est dit "**multimétrique**" (en fait, bi-métrique dans ce cas) puisque, outre la prise en compte du **gradient abiotique** pré-cité, le GCMA prend aussi en compte, de façon équipondérée avec le gradient abiotique, le **gradient de réponse des flores diatomiques** dans la matrice-réponse biologique d'une ACC restreinte aux 10 paramètres abiotiques considérés.

A partir des assemblages floristiques présents dans les relevés et de la chimie associée, la distribution de chaque taxon dans le jeu complet de données, en fonction de son abondance relative dans chaque relevé donné, peut faire l'objet d'un calcul de profil de distribution en abondance relative pondérée par classe de qualité d'eau (5 classes).

3 profils-types de distribution d'espèces dans le gradient de classes de qualité sont présentés à titre d'exemple en Figure 2 page suivante.

Une fois ces profils calculés, le statut de qualité qui sera assigné au taxon dans le calcul indiciel est défini en fonction des caractéristiques de distribution du taxon et d'un assortiment de règles de décision précises mentionnées dans le rapport final IDA (cf. **REF 6**).

Ainsi, l'appartenance de chaque taxon à l'un des 3 types indiciels de taxons (*i.e.* rôle qu'il joue vis-à-vis du calcul de l'IDA) est établie. Il existe 2 types gradés de taxons d'alerte (en marron et beige), et un type de taxon plutôt déconnecté de l'altération anthropique, appelé Taxon + (en bleu clair)

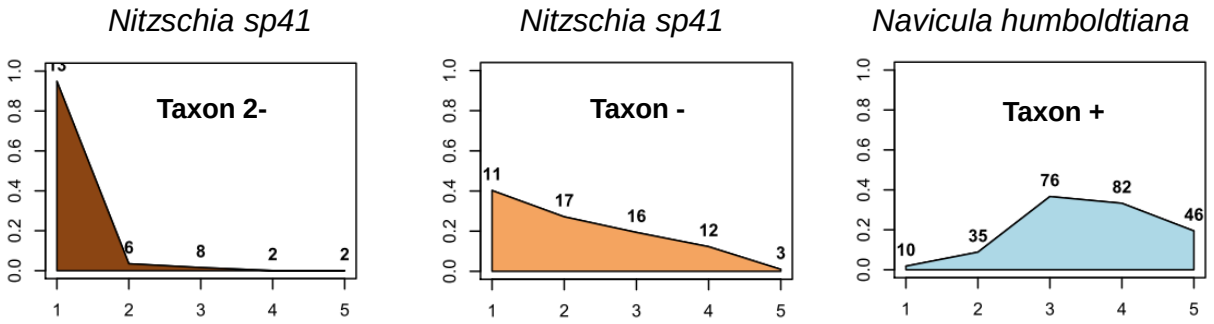


Figure 2 : Différentes catégories de taxons indiciels de l'IDA

Sur la base de cette structure d'indice, la qualité de la relation pression-impact de l'IDA avec le gradient composite multimétrique d'altération a été vérifiée (cf. Figure 3).

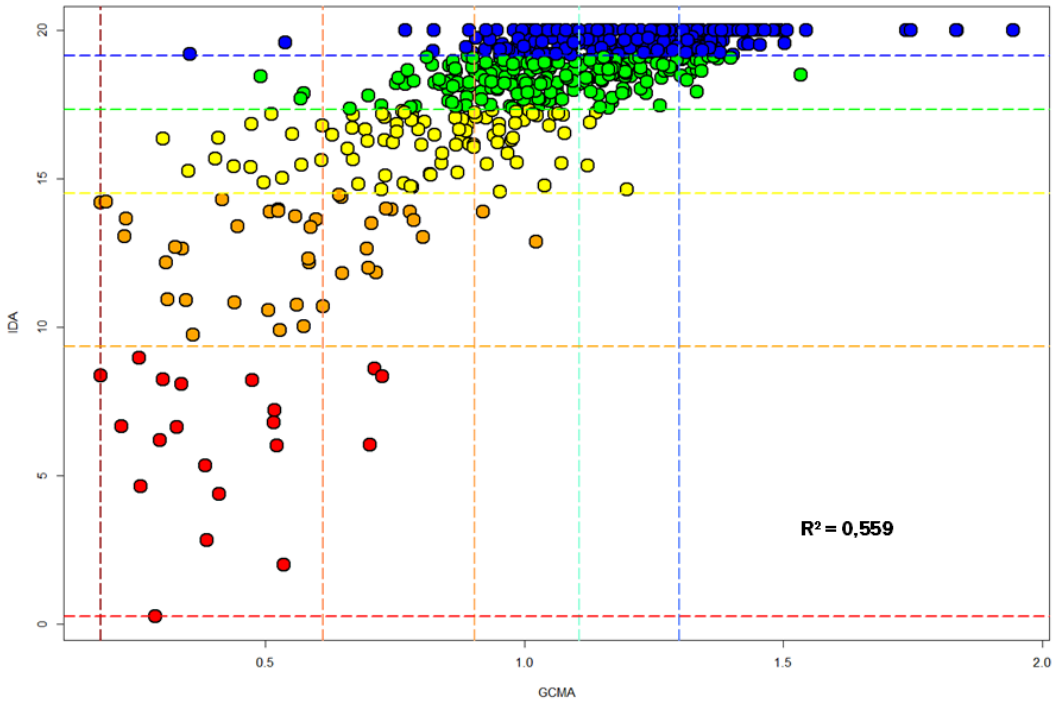


Figure 3 : Relation pression-impact entre le positionnement des relevés dans le GCMA et la note d'IDA obtenue

Malgré l'agrégation composite du gradient de qualité GCMA, qui intègre à la fois les 10 paramètres d'altération anthropique pris en compte, et malgré la faible représentativité temporelle des échantillonnages ponctuels d'eau ayant conduit aux analyses chimiques (un seul prélèvement à une seule date pour l'analyse chimique par relevé diatomique donné, beaucoup plus intégrateur de la dimension temporelle), la qualité de la relation pression-impact obtenue est plutôt bonne par rapport à la réponse d'autres indices biologiques à un gradient de nutriments (R^2 proche de 0,56). Cela confirme donc l'opérationnalité, dans le contexte local, d'un principe de bio-indication basé sur l'utilisation de taxons d'alerte.

Si l'option de réactualisation de l'IDA qui sera mise en place *in fine* est la reconduction de la même démarche que précédemment, par rapport à la situation 2014, l'augmentation quantitative des données acquises doit déjà permettre, de façon assez mécanique, d'améliorer la représentativité générale des données par rapport au contexte régional Antillais (plus de diversité des situations écologiques et bio-climatiques rencontrées, plus de recul-données sur les taxons…).

Cette augmentation d'assise (plus de 1000 relevés couplés accessibles, par rapport à 607 au bilan 2014) permettra déjà une complétion de la description abiotique des **conditions physico-chimiques et chimiques rencontrées** (sur plus de sites, avec l'inclusion de zones de réservoirs biologiques, des nouvelles STEPs suivies… ; à plus de dates, incluant des épisodes climatiques un peu particuliers et atypiques qui ont pu survenir pendant les suivis).

Comme on l'a vu sur la base des exemples présentés un peu plus haut dans cette note, elle permettra aussi d'actualiser et de rendre plus pertinente, pour la bio-indication de routine, l'**assise-taxons** prise en compte et exploitée au bénéfice de l'assise indicielle. En effet, sur la base du jeu de données complet et par rapport à la version d'IDA actuellement utilisée (qui comporte 178 taxons contributifs, dont 47 taxons d'alerte), il sera possible de rajouter d'autres taxons qui depuis, ont été suffisamment rencontrés aux Antilles, et de contribuer ainsi à résoudre ainsi les principaux problèmes de représentativité biogéographique rencontrés dans des situations particulières.

L'augmentation du recul acquis sur les taxons doit aussi permettre, en fonction des caractéristiques et de l'analyse des données couplées "abiotiques-diatomiques", de raffiner les profils spécifiques des taxons indiciels et peut-être même (à voir),de diversifier leurs modalités d'utilisation dans le cadre de la méthode (par exemple par le rajout d'une classe supplémentaire de taxons d'alerte, si on arrive à en mesurer le gain apporté en termes de relation pression-impact…).

2) Option "Indice multimétrique" :

L'élaboration de ce type de bio-indicateurs a actuellement le vent en poupe et correspond bien à la tendance dominante actuelle, qui résulte à la fois : 1) de l'influence générale de la DCE, qui promeut une évaluation plus sériée lorsque possible et la prise en compte d'une dimension plus fonctionnelle dans l'évaluation, et 2) d'une tendance scientifique de fond dans ce domaine.

Cette tendance a pour l'instant surtout été développée en bio-indication relative à des compartiments biologiques animaux des hydrosystèmes, qui présentent des traits biologiques, morphologiques et des traits de vie pouvant rendre fortement compte de contraintes imposées au milieu par des influences anthropiques, qu'elles contribuent à son enrichissement en nutriments et à son eutrophisation, ou à la manifestation de perturbations de type physique (ex : ouvrages hydrauliques et/ou de production d'énergie…), de type toxique (infrastructures industrielles…). Ainsi, en France, l'IPR et l'IPR + sur poissons et l'I2M2 sur macro-invertébrés benthiques (cf. à nouveau **REF 10**) ont été construits sur une base multimétrique incluant souvent une modélisation pression-impact par type élémentaire ou plus globalisant d'altération anthropique surveillée ; certaines métriques pouvant être basées sur différents types d'attributs fonctionnels des espèces ou communautés.

Une contrainte qui peut différer très sensiblement selon les maillons biologiques, leur protocole de suivi et les types de bio-indication dont ils sont potentiellement porteurs, est d'arriver à bien décrire, de façon séparée, si possible dé-corrélée et avec des paramètres de suivi adéquats, différents gradient abiotiques de pression anthropique suffisamment indépendants s'exerçant sur les hydrosystèmes, et à décoder correctement le signal des réponses biologiques devant permettre de bien situer la place de l'assemblage dans le gradient de pression, ainsi que l'intensité des effets biotiques générés. Pour que l'indice puisse ambitionner de traiter une gamme donnée d'altérations et d'effets biologiques, il faut donc que soient collectés correctement, dans le cadre des réseaux de routine, les **différentes catégories de descripteurs** permettant de bien décrire les pressions anthropiques sur le cours d'eau considéré, ainsi que le niveau d'impact exercé sur le compartiment biologique considéré.

Dans le cadre du type de protocole normatif de prélèvement actuellement appliqué dans le cadre des réseaux Français (**REF 15** : *Norme NF-T 90-354, 2016*), les diatomées sont surtout utilisées pour bien refléter, sur le plan de leurs communautés biologiques, la qualité générale et le degré d'enrichissement en nutriments de la colonne d'eau. Avec ce cadre de pratique d'échantillonnage, qui est très comparable à ce qui se fait sur ce même maillon dans la plupart des autres pays européens et aussi, le plus souvent, au niveau mondial, il ne peut pas être envisagé sérieusement de faire porter au prélèvement diatomique d'autres types de messages (par exemple, sur l'altération physique, sur l'altération toxique…) que celui pour lequel il a été pensé et pour lequel les descripteurs adéquats ont été renseignés.

La focalisation précise de la bio-indication portée par ce maillon (essentiellement les aspects de qualité de l'eau), indiquée dès le début de la Norme AFNOR correspondante (cf. **REF 15**), est probablement la raison principale pour laquelle cette tendance relativement nouvelle de bio-indication multimétrique qui, sur les autres maillons, ambitionne souvent d'aborder une large gamme d'altérations de tous types, a jusqu'à présent fait l'objet de peu de mises en place concrètes d'outils indiciels multimétriques sur les diatomées benthiques des cours d'eau, au niveau européen comme mondial (même si de plus en plus d'articles sont écrits à ce sujet). Sous condition de limiter l'ambition de l'interprétation indicielle aux **catégories d'altérations correctement renseignées** dans le cadre de la **pratique habituelle des réseaux** et à la **bonne échelle de temps** (pour les biofilms diatomiques, de l'ordre d'1,5 à 3 mois) **et d'espace** (la station, intégrant la variabilité micro-locale stationnelle), ce concept de bio-indication "rénovée" est aussi amené à se développer sur diatomées benthiques des cours d'eau dans les années à venir, en liaison avec le re-versioning de certains indices nationaux existants.

Le réseau partenarial "Recherche Publique - Bureaux d'Etude" tel qu'actuellement mobilisable aux Antilles (Irstea – Hydreco – Eco in'Eau), qui connaît bien le contexte local et ses flores et a déjà fait la preuve de son opérationnalité pour construire des indices diatomiques des cours d'eau opérationnels dans le contexte biogéographique et climatique des DOM-COM et notamment des Antilles, est le premier à avoir mis en place ce type de bio-indicateur "nouvelle vague" (i.e. **indice diatomique multimétrique**) sur diatomées des cours d'eau.

Comme déjà mentionné précédemment, ces réalisations récentes ont concerné dans un premier temps la **Nouvelle-Calédonie** (Indice Diatomique de Nouvelle-Calédonie ou IDNC, concrétisé à la jonction 2017-2018) et, tout récemment, la **Guyane** (Indice Diatomique de Guyane Française, IDGF, concrétisé à la jonction 2018-2019).

L'IDNC, qui bénéficie d'un peu plus d'antériorité (livraison en 2017, rapport final consolidé en 2018), est déjà passé à une utilisation en routine dans le cadre des réseaux de surveillance de Nouvelle-Calédonie et certaines actions d'appui au transfert opérationnel sont déjà réalisées (proposition d'un guide méthodologique et d'un guide taxonomique) ou prévues dans un futur proche (genèse d'un outil de calcul libre de diffusion à mettre en place dès que possible, probablement en 2019).

Comme déjà indiqué, ce nouvel indice est particulièrement adapté au contexte local de Nlle-Calédonie puisqu'il aborde à la fois et avec succès le champ des altérations anthropiques provoquant un **enrichissement des cours d'eau en nutriments** (bio-indication classiquement bien maîtrisée sur ce maillon des biofilms diatomiques) et, de façon beaucoup plus novatrice (première mondiale en matière de bio-indication diatomique phytocénotique), le champ des **altérations anthropiques d'origine minière**, de première importance dans le contexte de la Nouvelle-Calédonie (cf. exploitation locale du nickel).

Suite à une analyse biotypologique initiale confirmant la grande résilience des assemblages naturels locaux qui retarde la structuration des communautés par l'altération anthropique (effet probablement important du drift amont-aval), ce nouvel indice utilise des listes de taxons d'alerte par catégorie élémentaire d'altération.

Les taxons d'alerte ont été sélectionnés à partir de l'utilisation du logiciel TITAN (**REF. 17** : *Baker & King, 2010*) dans un nouvel objectif, à savoir repérer et conforter le choix de taxons indicateurs d'un impact anthropique donné (pureté et spécificité de positionnement d'un taxon dans un gradient d'anthropisation donné).

La Figure 4 présente 2 exemples de sélection de taxons d'alerte dans le cadre de l'application de l'IDNC en Nouvelle-Calédonie, ici vis-à-vis du PO4 et du NO3 (il en a été défini vis-à-vis de 7 gradients d'anthropisation différents, certains relatifs à des pollutions par des nutriments, d'autres concernant des impacts miniers).

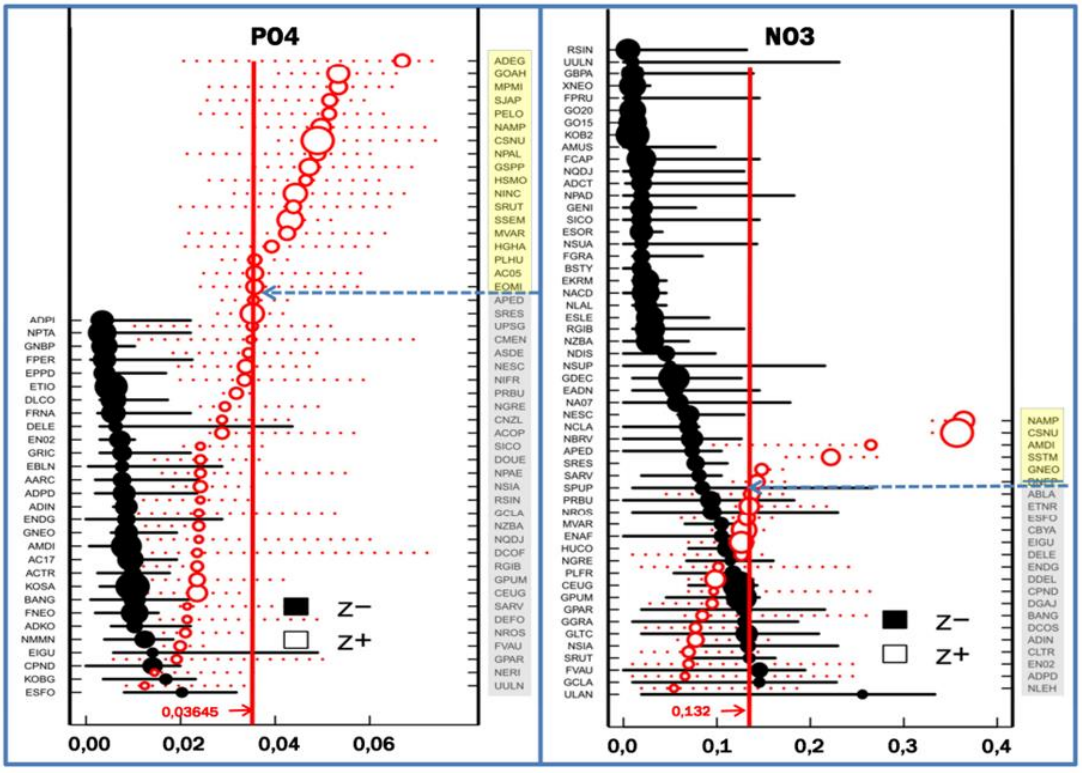


Figure 4 : Exemples de seuillage des taxons d'alerte de Nlle-Calédonie sous TITAN : gradients de PO4 et de NO3

La Figure 5 ci-dessous présente, dans sa partie a), à gauche, un exemple de rendu, sur un site donné de réseau à une date, de l'état écologique récapitulé par l'IDNC, et dans sa partie b) à droite, le résultat intégré d'état écologique des 4 campagnes de terrain réalisées au cours du programme de mise au point de l'IDNC en Nouvelle-Calédonie.

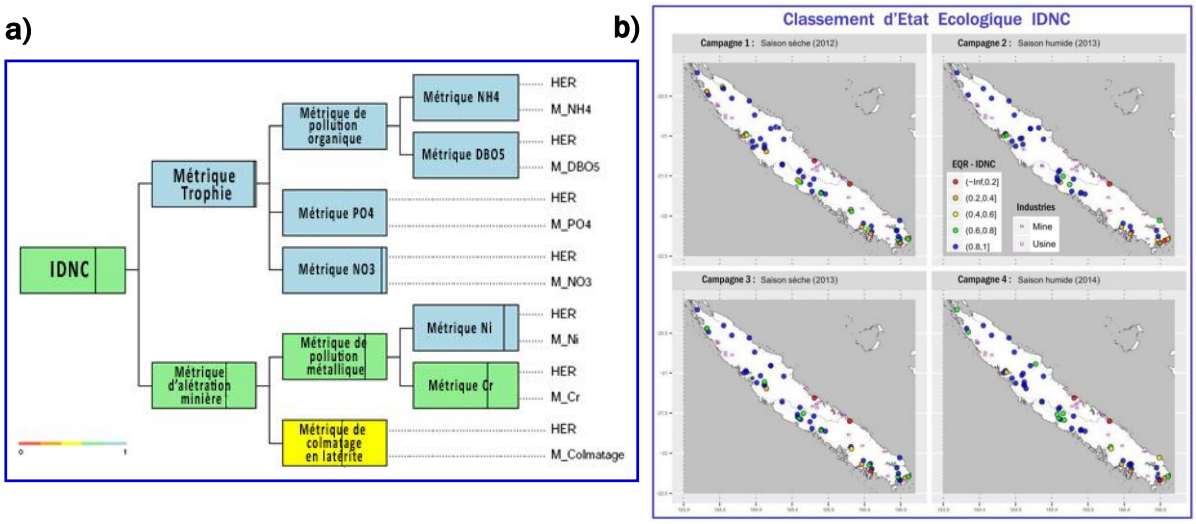


Figure 5 : Exemple de rendus des résultats du calcul de l'IDNC (à gauche) et résultats des campagnes d'évaluation (à droite)

Il faut se reporter à la **REF 9** ou à la **REF 12** pour trouver la description du cadre interprétatif conduisant au résultat d'Etat Ecologique donné par l'IDNC. Sur ce site plutôt sous influence minière, le colmatage latéritique provoque la principale altération d'origine anthropique (Etat Moyen), ce résultat étant moyenné avec les 2 autres paramètres d'altération minière et aboutissant dans la classe de Bon Etat sur la métrique intégrée d'altération minière. Comme un principe de One Out-All Out s'applique sur la comparaison des résultats de la métrique intégrative de trophie et la métrique intégrative d'altération minière (la métrique la plus altérée conduisant au résultat final de l'IDNC), le site est donc finalement considéré dans la classe de Bon Etat, résultat obtenu d'après cette dernière.

La partie b) de la Figure 5 permet de constater la performance variée d'évaluation de l'IDNC entre des sites en TBE et des sites à l'état dégradé (certains arrivant même dans la classe de Mauvais Etat, signe d'une bonne dynamique d'évaluation selon les sites et les dates de prélèvement).

Dans le cas de la Guyane, le principe méthodologique d'élaboration indicielle utilisé pour la production de l'IDGF (Indice Diatomique de la Guyane Française) a été grosso-modo le même qu'en Nouvelle-Calédonie *(i.e.* basé sur des taxons d'alerte vis-à-vis d'altérations anthropiques élémentaires), mais il a dû être spécifiquement adapté en fonction du contexte local (c.a.d. catégories d'altérations anthropiques rencontrées sur place, suffisamment décrites dans les référentiels acquis dans le cadre des réseaux de surveillance, et auxquelles les diatomées benthiques des cours d'eau sont susceptibles de répondre de façon satisfaisante).

Ainsi, comme présenté en partie a) de la **Figure 6**, il a été généré 11 métriques élémentaires de réponse des diatomées benthiques à des paramètres abiotiques susceptibles de rendre compte de dégradations d'origine anthropique dans le contexte Guyanais. Pour leur calcul, ces métriques utilisent 11 listes de taxons d'alerte sélectionnées grâce à l'applicatif TITAN. Une agrégation des informations portées par ces 11 paramètres élémentaires, après l'application d'un principe de One Out-All Out sur certains doublets de paramètres, conduit à la production de 7 métriques plus intégratives de grandes catégories d'altérations anthropiques rencontrées en Guyane Française (ligne du dessous).

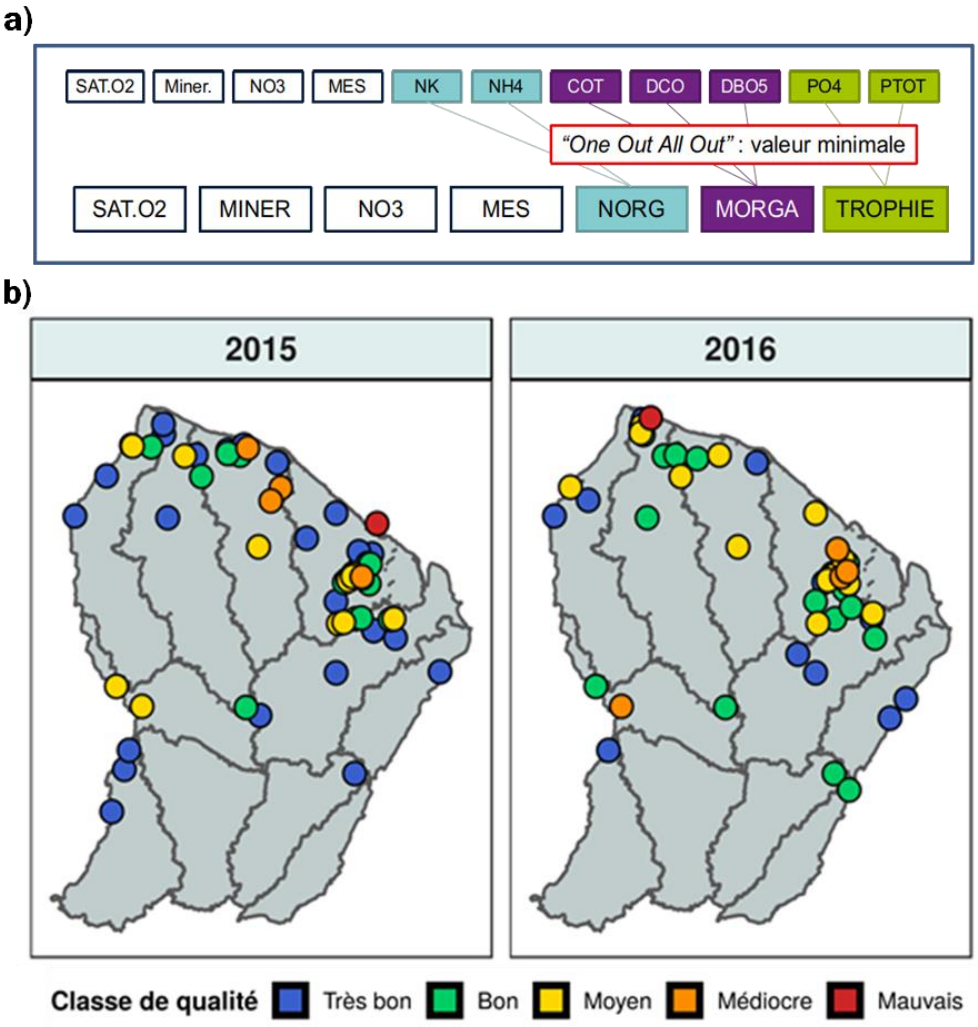


Figure 6: a) Principe d'agrégation des métriques élémentaires de l'IDGF en Guyane (en haut), et b) exemples de résultats d'Etat Ecologique acquis lors de 2 campagnes annuelles 2015 et 2016 (en bas)

Le contexte de Guyane subit des pressions anthropiques plutôt faibles, à l'exception de la bande littorale Nord qui comporte les plus grosses agglomérations, les STEP, les infrastructures industrielles… Sauf exception, les sites classiques de réseaux de surveillance, plus répartis sur le territoire, sont donc en général peu altérés et oscillent le plus souvent entre le TBE et le BE.

Les 2 exemples de campagnes annuelles présentés en partie b) de la Figure 6 incluent une recherche spécifique de sites illustratifs de pollutions locales plus importantes et la réalisation de campagnes complémentaires, qui ont permis de repérer plus de taxons d'alerte et de tester les résultats de l'indicateur proposé dans un gradient plus important d'altérations anthropiques. En, fonction des caractéristiques des sites, des pressions qui y sont repérées et selon le point de vue des experts locaux, les résultats ont été jugés plutôt réalistes par rapport aux contextes de terrain.

Cet indice donne d'ores et déjà une meilleure satisfaction que le dispositif provisoire d'évaluation mis en place en Guyane à partir de l'IPS (Arrêté du 27 Juillet 2015), et devrait être officialisé lors d'un prochain modificatif de cet Arrêté, sous réserve de validation par l'ONB et la Direction de l'Eau. Naturellement, il sera possible de l'améliorer dans quelques années avec l'acquisition d'un recul-données complémentaires, comme actuellement envisagé pour l'IDA.

Un aspect important est à souligner dans la perspective d'une re-formulation prochaine de l'IDA. Du fait de leur structuration sur une base réellement multimétrique, l'information agrégée que l'IDNC et l'IDGF délivrent pour l'**évaluation générale d'Etat Ecologique**, qui correspond à leur vocation première en vue de l'application de la DCE ainsi qu'au premier niveau d'information recherché dans le cadre de leur mise au point, n'empêche pas de ré-accéder ensuite à l'**intensité d'impact biologique exercé par chacun des descripteurs abiotiques élémentaires** pris en compte au moment de la genèse de ces bio-indicateurs.

Une telle structure d'**indice multimétrique** présente l'avantage d'autoriser aussi des sorties portant sur chaque métrique individuelle ou agrégée prise en compte dans ces indices, qui seraient intéressantes et directement valorisables dans le cadre du **diagnostic d'impact**.

Ainsi, dans le contexte d'utilisation de l'IDNC, sans même envisager la création d'autres métriques pouvant aussi présenter un intérêt pour le diagnostic, il est d'ores et déjà possible de tirer parti de 7 métriques individuelles visant des descripteurs abiotiques précis, et de 5 métriques un peu plus agrégées visant des catégories un peu plus larges et génériques d'altérations anthropiques ; les relations pression-impact entre les conditions environnementales et la réponse des flores étant d'ores et déjà établies et intelligibles.

Selon le même principe, en Guyane Française, il est déjà possible d'utiliser des résultats plus détaillés des métriques constitutives de l'IDGF au service du diagnostic de sites présentant un problème particulier, comme cela est présenté en **Figure 7** ci-dessous :

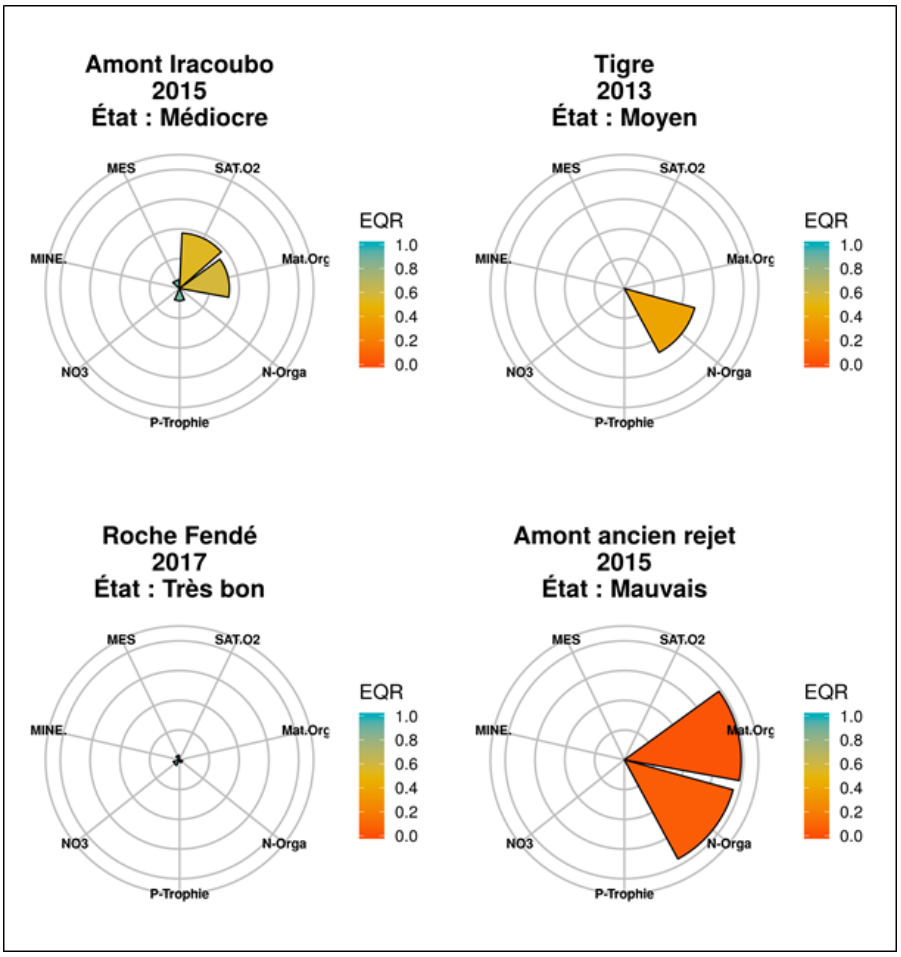


Figure 7: Exemples de diagrammes-radars exploitant les résultats de 7 métriques utilisées par l'IDGF au service du diagnostic de 4 sites de Guyane présentant des perturbations biologiques

Les 4 diagrammes présentés ici à titre d'exemple correspondent à des sites présentant une perturbation biologique vis-à-vis d'un ou de plusieurs des 7 paramètres pris en compte.

De tels diagrammes-radars, qui permettent d'emblée de cibler quelles métriques biologiques sont impactées (7 métriques différentes dans ce cas), peuvent constituer un appui très utile au diagnostic d'altération et aider à cibler des mesures de gestion corrective ayant la meilleure pertinence en fonction de l'impact (ou des impacts) dominant(s) repéré(s) au site.

Il est aussi envisageable, sur la base des relevés déterminés une fois pour toutes, de mettre au point et de tester des variantes de ces métriques autoécologiques, par exemple en gradant les taxons d'alerte et en leur affectant des coefficients de pondération différents pour le calcul d'autres métriques de diagnostic à tester ; ou alors, en tirant aussi parti d'autres attributs permettant de décrire les flores de ces relevés selon un éclairage fonctionnel, selon les caractéristiques de biodiversité et d'équilibre relatif des taxons de la communauté, etc…

Au-delà des premières ébauches d'outil de diagnostic présentées (cf. Figure 7 pour la Guyane), en fonction des problèmes spécifiques rencontrés sur un territoire ou un autre et des besoins particuliers des gestionnaires locaux, il est tout-à-fait envisageable de réaliser une ingénierie de projet plus spécifique visant à produire un outil à la fois performant, d'utilisation facile et qui présente les résultats sous la forme la plus appropriée vis-à-vis des besoins et usages locaux de gestion. L'illustration présentée n'est donc à considérer que comme un simple exemple de présentation, entre autres designs d'outils possibles.

Quelle que soit l'option retenue au final pour re-versionner l'IDA, l'ouverture de ce chantier sera l'occasion de retravailler l'ensemble des données biotiques et abiotiques et d'élaborer de nouveaux profils ou des profils ré-actualisés pour chaque taxon. Ce sera aussi l'occasion d'intégrer les changements liés à l'évolution de la taxonomie et qui n'ont pu être intégrés à l'IDA actuellement utilisé, car cela aurait impliqué au fur et à mesure des changements lourds du script et des bases de données qui ne peuvent pas être envisagés au fil de l'eau (du fait de toutes les répercussions logicielles et documentaires à prendre en compte), mais seulement à des échéances périodiques importantes. Ainsi, une table de transcodage a été créée et intégrée à la version 2019 de la flore afin de prendre en compte les changements taxonomiques qui concernent les taxons présents aux Antilles, sans changer pour l'instant les codes-métiers des taxons dont dépend le calcul de l'indice. Néanmoins, cette solution ne peut être que transitoire, et il serait préférable, à l'occasion de cette réactualisation ou refonte de l'IDA, de mettre en cohérence la dénomination des taxons avec leur code.

La révision d'informations-taxons étant d'emblée prévisible, la conception de la flore a été faite sous forme de fiches indépendantes permettant sa révision au cas par cas, tant pour son actualisation taxonomique, que pour l'intégration de nouveaux taxons. Les diverses modifications liées à une évolution du référentiel-taxons pourrait intervenir avec une planification régulière, par exemple en amont du début de chaque PGME.

En résumé, Il est envisageable de réviser l'IDA en gardant la même méthodologie qu'employé pour sa version précédente. Cependant, du fait des possibilités très intéressantes de diagnostic qui seraient ainsi ouvertes et de leur intérêt pour les phases futures d'application de la DCE (diagnostic, puis remédiation des cours d'eau altérés…), il semblerait plus opportun à ce stade d'essayer de mettre au point et d'adopter aussi aux Antilles une **structure d'indice multimétrique** pour la nouvelle version envisagée d'IDA. Un principe de base de construction de l'indice resterait le même (à savoir l'utilisation de taxons d'alerte), mais cette nouvelle configuration présenterait de nombreuses plus-values pour les gestionnaires et décideurs.

3) Concertation –adaptation collégiale et officialisation du dispositif d'évaluation

Quelle que soit, parmi les 2 options envisagées, celle qui sera mise en œuvre pour la mise en place de la future version d'IDA, les problèmes qui ont été soulevés suite à cette première période de mise en œuvre de l'évaluation diatomique à partir de l'IDA (notamment sensibilité perfectible de l'évaluation sur le début d'apparition du gradient d'altération anthropique) vont nécessiter un ré-examen collectif du calage des grilles d'évaluation.

Ainsi, il sera important de ré-examiner, collectivement et avec l'attention nécessaire, diverses caractéristiques influentes sur le calage et les résultats du dispositif d'évaluation (niveau de référence, évaluation des situations à impact faible à modéré, limite de la classe BE-EM, échelonnement des profondeurs de classes), afin de procurer un dispositif d'évaluation donnant la meilleure satisfaction dans le contexte local.

Pour cela, il faudra : 1) identifier et utiliser des sites-repères de limite de classe qui fassent consensus et 2) tirer bénéfice de l'augmentation du recul désormais acquis sur de tels sites, notamment en matière de variation de leur niveau d'état écologique lors des différents épisodes bio-climatiques contenus dans la chronique.

Comme cela a été le cas lors du calage du dispositif d'évaluation décliné à partir de l'actuelle version d'IDA, cette fixation de niveau ne peut pas s'établir de façon absolument objective, en suivant une procédure scientifique donnant un résultat automatique, mais doit se mettre en place dans le sens de la bonne harmonisation et adéquation inter-îles, après discussion et, autant que possible, sur le mode du consensus entre experts, gestionnaires locaux et organisme scientifique.

Suite à la proposition d'un nouveau prototype d'IDA destiné à l'officialisation, qu'on appellera IDA-2 par référence à l'IDA actuel, il faudra prévoir une phase un peu plus intensive de testage de scénarios, d'échanges et de réunion(s) décisionnelle(s) pour stabiliser le nouveau dispositif de façon la plus adéquate sur les ensembles naturels de Guadeloupe et de Martinique.

Il faudrait qu'un contenu concernant les Antilles puisse être incorporé utilement au draft de nouvel Arrêté Evaluation fin 2020 ou au plus tard tout début 2021, délai d'anticipation nécessaire pour une officialisation du nouveau dispositif d'évaluation basé sur l'IDA-2 avant l'entrée en vigueur du nouveau PGME 2022-2027. Le reste de l'année 2021 sera utilement mise à profit pour actualiser les divers produits (guides, base de données Antilles, outil de calcul, inclusion dans le S3E) nécessaires pour accompagner le transfert opérationnel.

4) Aspects divers et éléments prospectifs

Ces dernières années, certains marchés publics des Antilles ont été confiés à de nouveaux intervenants économiques. Dans l'absolu et dans la stricte réalisation de ces marchés, cela correspond à l'évolution normale et montre que l'accompagnement au transfert mis en place (logiciels de calcul, guide méthodologique et guide floristique etc…) a permis la bonne mise en place de cette transition. Mais, d'un autre côté, cette méthode indicielle est encore très jeune, dans un contexte général encore sensiblement évolutif de la connaissance initiale des flores diatomiques des Antilles, et il a été observé certains symptômes nets de manque de recul temporel (détection et comptage en accroissement de taxons non-indiciels et même de nouveaux taxons), en particulier en cas d'épisode bioclimatique un peu atypique (cf. exemple particulièrement net de l'année 2018).

Le suivi de ces situations particulières (réservoirs biologiques, encadrement de STEPs…) et la détermination des inventaires correspondants a pu être confiée à des intervenants moins qualifiés. Au-delà de l'obtention du résultat indiciel chiffré dans le cadre d'un réseau, les inventaires diatomiques obtenus constitueraient une matière particulièrement intéressante en vue d'augmenter l'assise de la nouvelle version d'IDA.

A cet effet, s'agissant de l'évolution d'un indice destiné à être utilisé dans un cadre officiel, il apparaît cependant un peu risqué d'incorporer des données non déterminées selon un mode homogène et n'ayant pas été validées par un référent taxonomiste. Pour une bonne capitalisation et valorisation de ces nouvelles données au service de l'évolution de version d'IDA, il serait donc utile de prévoir une reprise de comptage ou, pour le moins, une vérification - validation des espèces déterminées à réaliser par l'intervenant taxonomique le plus qualifié sur ces flores locales.

Une perspective de moyen terme qui va constituer une évolution incontournable à terme est en train de se profiler, à savoir l'arrivée assez prochaine de la **biologie moléculaire taxonomique** pour la détermination des assemblages diatomiques des biofilms.

Si cette technique présente l'intérêt de la modernité, il règne actuellement une certaine confusion dans l'utilisation d'une terminologie et de ses conséquences exactes en matière d'application de méthodes hydrobiologiques au service de l'évaluation de qualité des milieux aquatiques (par exemple : métagénomique, ADN environnemental, codes-barres et exploitation à un niveau spécifique donné, ou exploitation informatique automatique et globale, sans repérage de la correspondance avec les espèces connues etc…).

Dans le cadre de la bio-indication diatomique des cours d'eau, il n'y aurait probablement aucun intérêt à analyser l'ADN diatomique présent dans un échantillonnage instantané d'eau prélevé dans des cours d'eau pentus et éventuellement torrentiels, comme on en trouve beaucoup adossés aux reliefs des Antilles (en référence aux évocations de l'ADN environnemental). En effet, une telle stratégie d'échantillonnage rendrait principalement compte de la dérive d'ADN porté par des espèces diatomiques vivantes (en cours de drift) ou issu de diatomées mortes, et ne présenterait aucun intérêt opérationnel réel pour l'évaluation écologique, ou même dans le cadre du diagnostic d'impact anthropique subi à un site donné de réseau. En effet, s'agissant d'espèces le plus souvent fixées, ou du moins adhérentes aux substrats durs, l'intérêt des biofilms de diatomées benthiques est bien d'utiliser les espèces installées à une station pour rendre compte de la qualité du milieu aquatique à cette station.

A priori, dans l'optique d'une bio-indication diatomique exercée en vue d'objectifs de surveillance et d'évaluation de type DCE, la biologie moléculaire s'appliquerait plus ou moins sur le même type d'échantillonnage qu'actuellement pratiqué, à savoir un **échantillonnage représentatif d'assemblages diatomiques ayant colonisé les substrats durs d'un faciès lotique du site** (radier). Ce type de prélèvement resterait donc cadré de façon comparable à celui qui a cours actuellement (cf. **REF 16**).

Le gros apport de ce type de technique, une fois la banque des séquences génomiques suffisamment compétée et validée pour un territoire biogéographique donné, est d'arriver à accéder à une composition semi-quantitative des assemblages diatomiques présents sans avoir recours à de longues séances d'observation microscopique et en faisant beaucoup moins recours à des spécialistes taxonomistes, peu nombreux et insuffisamment disponibles.

Pour résumer, il y aurait donc une source d'économie, un gain de temps et une résolution des problèmes de compétence taxonomique individuelle des intervenants, pas toujours suffisante dans l'état actuel pour arriver à des déterminations non-bruitées dans le cadre des réseaux.

Sous réserve d'un échantillonnage réalisé avec soin par des opérateurs formés auxquels il a été inculqué le recul-maillon nécessaire, la plus-value à terme de la biologie moléculaire taxonomique sur cette étape de détermination des relevés sera indéniable, d'autant qu'elle matérialise selon toute vraisemblance (*e.g.* **REF 18** : *Tapolczai et al, 2018*) une pression d'observation sensiblement plus importante, sur un échantillon donné, que les 400 valves observées via la méthode standardisée actuelle (qui correspondent souvent à guère plus de 200 individus diatomiques, notamment quand les valves se sont peu séparées à l'étape de préparation).

Cependant, pour pouvoir être performante dans un contexte biogéographique donné, elle ne peut pas se contenter de correspondances approximatives et incomplètes avec les séquences actuellement contenues dans des banques mondiales et obtenues à partir de taxons à répartition parfois très locale, parfois cosmopolite ; ces derniers taxons étant d'ailleurs encore plus susceptibles de présenter une grande variabilité génétique et écologique, même à l'intérieur d'une espèce donnée, en liaison avec la distribution géographique (exemple, entre beaucoup d'autres, du complexe *Gomphonema parvulum*, **REF 19** : Kermarrec et al, 2013).

Pour déboucher sur une bio-indication performante, le passage à la biologie moléculaire taxonomique et à la métagénomique exige donc au préalable une phase sérieuse d'acquisition et de validation de séquences en intéraction la plus étroite possible entre taxonomie traditionnelle et analyse génomique, dont la convergence a été vérifiée et validée **sur la même zone biogéographique**.

Même si des publications récentes (*e.g.* à nouveau **REF 18)** sembleraient prôner l'intérêt d'adopter des niveaux de détermination moins précis que l'espèce, l'argument présenté pour arriver à cette conclusion présente une certaine circularité puisque c'est sur la base de l'augmentation des séquences non encore actuellement décrites et reconnues dans les bases de séquences de référence (donc, en partie, d'espèces ou de lignées géographiques non-encore décrites dans ces bases) que se fonde en grande partie l'argument de reconnaître les assemblages à un niveau intermédiaire entre le genre et l'espèce.

En France, historiquement, la bio-indication au genre a été mise en place il y a bien longtemps (en 1982, cf. **REF 2,** et consolidation en 1988, cf. **REF 1**). via la création de l'IDG (Indice Diatomique Générique, reposant sur des déterminations au genre), mis au point dans la même équipe historique que l'actuelle l'équipe Irstea de Bordeaux. Or un indice à ce grain de résolution taxonomique a depuis longtemps fait la preuve de sa nette infériorité, par rapport à des méthodes dont la résolution est à l'espèce, pour assurer une bio-indication performante, si on s'adresse bien à une zone biogéographique conjointe de mise au point des 2 types de méthodes (par exemple, le territoire Français métropolitain ; un DOM donné).

Ce constat s'est aussi vérifié très vite dans le contexte des nouveaux chantiers de bio-indication diatomique dans les DOM-COM, à la taxonomie initialement méconnue. L'option visant à utiliser le genre pour aplanir la difficulté initiale importante de détermination des nombreuses espèces nouvelles a été vite écartée par son niveau de performance extrêmement médiocre (par exemple, en Guyane : **REF 20** : Coste et al, 2010).

D’expérience, donc, sur un espace où la connaissance préalable des espèces est acquise, une bio-indication diatomique performante doit reposer sur des messages écologiques assignés à l’**espèce**, qui constitue bien l’**entité biologique de base** décrite depuis longtemps dans une littérature scientifique, sur laquelle pré-existe souvent une capitalisation historique en même temps qu’un bagage reconnu de connaissance, et qui constitue une entité biologique elle-même porteuse de **préférences autoécologiques que l’on peut vérifier ou établir localement** (notamment en cas de milieu nouveau, isolé, présentant de grandes spécificités bioclimatiques et biogéographiques).

S’il est éventuellement logique d’entreprendre des mises au point de méthodes au genre lorsque la connaissance démarre de rien, il ne peut par contre pas être sérieusement envisagé de plus-value au retour en arrière qui consisterait à adopter une approche une résolution taxonomique du niveau du genre, dans les contextes ou les listes floristiques et la connaissance de l’écologie des flores sont pré-existantes et ont été le plus souvent bien cernées à l’espèce.

Pour en terminer sur cet aspect de résolution taxonomique à cibler, les référentiels de données des DOM (dont celles des Antilles) sont acquis au niveau de l’espèce et l’indice diatomique local s’appuie sur des listes d’espèces indicielles. La bonne mise en correspondance des inventaires déjà déterminés sur une base morphologique, sur une base nouvelle de biologie moléculaire taxonomique et de l’articulation de cette dernière avec la méthode diatomique en place (IDA actuel ou IDA-2) ne peut passer que par la recherche d’une harmonisation à ce grain taxonomique de base.

Un autre point qu’il est important de rappeler est que la biologie moléculaire dans l’état **n’est pas une méthode de bio-indication**, mais seulement une technique plus moderne, plus rapide et à terme plus fiable de **caractérisation** (voire d’identification, selon le schéma d’application visé) **des assemblages biologiques**.

Aussi, ce n’est pas parce que des assemblages, déterminés par une technique classique ou par une autre plus nouvelle, deviennent disponibles que cela équivaut à disposer d’une nouvelle méthode de bio-indication performante dans un contexte donné. Pour pouvoir la mettre en place, il faut avoir déjà acquis une assise de données suffisantes et satisfaisantes pour l’objectif, qui permette de décrypter des relations pression-impact et de mettre à profit de façon optimisée les réponses biologiques pour la formulation d’un outil indiciel sensible et robuste. Cela demande du recul temporel, des moyens et un savoir-faire particulier doublé d’une bonne connaissance du contexte de terrain.

La première étape pour le passage dans la pratique de ce nouveau type d’identification, **qu’il serait une erreur d’envisager au rabais**, est la **capitalisation de toutes les séquences spécifiques utiles localement**, qu’il faut au préalable acquérir et détenir pour pouvoir leur donner un sens dans le cadre de l’évaluation ou du diagnostic. Il faut aussi, en face, détenir une **bonne description des conditions mésologiques et chimiques** dans un assortiment suffisamment varié de conditions locales naturelles et altérées par l’anthropisation, et avec un **recul temporel suffisant** pour avoir vu et savoir interpréter des variabilités liées à des contextes particuliers. La genèse de l’indice nécessite (et s’appuie sur) ce croisement de données.

Pour rappel, la rédaction de la présente note de révision de l’IDA intervient justement dans le contexte où il a été constaté que 5 années de recul-données ne constituaient pas encore l’assise suffisante pour stabiliser définitivement ce nouvel indice.

Deux autres difficultés sont à considérer dans le cas où il serait envisagé le démarrage d'une **approche *de novo*** couplant **biologie moléculaire** et **genèse d'une nouvelle méthode de bio-indication indicielle**.

La première est qu'à nouveau, les données du réseau d'Evaluation de type RCS **ne peuvent pas être suffisantes à elles seules** pour générer rapidement une telle méthode, qui nécessite l'acquisition de données depuis des sites de référence représentatifs des ensembles naturels homogènes, jusqu'à des situations très altérées par les différents types d'impacts anthropiques que l'on ambitionnera de bio-indiquer dans le cadre de la nouvelle méthode, mais qui n'existent probablement pas avec l'intensité recherchée dans le cadre du RCS.

Il faudrait donc aussi, dans ce nouveau cadre de mise au point, faire un **effort volontariste de représentation de toutes les situations écologiques et d'altération possibles** (il faut compter de 5 à 8 ans) au moyen de doublets adéquats "descripteurs abiotiques-assemblages diatomiques" avant de pouvoir produire *de novo* et avec le minimum de recul nécessaire un outil de bio-indication performant. Cela ne pourra pas se faire uniquement dans le cadre de l'enveloppe budgétaire annuellement représentée par les suivis de réseaux de type DCE.

Le 2ème aspect qui, une fois le **décryptage taxonomique initial** réalisé (qui constituait assurément le verrou initial le plus difficile à lever pour le succès de ces programmes DOM), a déjà constitué la principale limitation aux programmes de nouvelle mise au point d'indices de bio-indication diatomique "classique" dans les DOM-COM, est bien la **représentation peu robuste de la chimie des eaux** à partir d'**échantillonnages ponctuels instantanés.** En effet, cette très faible intégration temporelle de la chimie des eaux constitue à l'heure actuelle la principale imprécision pénalisante pour appréhender une autoécologie correcte des taxons indiciels et, par contrecoup, le principal obstacle à l'obtention de relations pression-impact moins bruitées.

C'est d'ailleurs en partie pour cette raison que la stratégie de construction d'indices DOM s'est orientée vers l'utilisation de **taxons d'alerte** (seuls porteurs d'un message vraiment clair d'incidence anthropique par rapport à des données de chimie très variables et bruitées), et que les indices Réunion (IDR) et Antilles (IDA) ont été construits sur un **gradient composite de pression anthropique**, (GCA à la Réunion, GCMA aux Antilles) regroupant de 7 à 10 descripteurs individuels d'altération anthropique, atténuant ainsi les trop grandes particularités (site x date) rencontrées dans l'établissement des relations pression-impact.

Compte-tenu de tout ce qui précède, il est à notre avis souhaitable d'**intégrer dès que possible** la biologie moléculaire pour la détermination de terrain en parallèle à l'approche classique, afin d'acquérir et d'**enrichir dès que possible la base de séquences génomiques des taxons localement utiles à la bio-indication** (au moins les taxons indiciels, ainsi que des taxons pour l'instant non-indiciels, mais qui pourraient détectés assez souvent par cette méthode pour leur assigner une écologie). Plus vite les séquençages démarreront, plus tôt le relais pourra être pris en matière de technique de détermination des inventaires diatomiques.

Par contre, même si ce schéma initialement évoqué dans des articles ne semble plus envisagé à l'heure actuelle, il ne semblerait **pas raisonnable**, pour plusieurs types de raisons, d'envisager la **création *de novo* d'une méthode de bio-indication complètement nouvelle** uniquement construite à partir de **nouveaux référentiels associés à de la biologie moléculaire**.

En effet, une telle approche nécessiterait de s'appuyer à la fois sur l'acquisition de toute la diversité des données abiotiques et biologiques devant être représentées dans le contexte des Antilles et de bénéficier du recul temporel nécessaire (de l'ordre de 5 à 8 ans), avec la contrainte d'échantillonner, en plus des réseaux de surveillance classiques, le maximum de situations spéciales en matière de milieux naturels et d'altérations anthropiques spécifiques).

La solution qui paraît donc **la plus raisonnable, la plus économe en moyens et en temps** et **la plus rapidement opérationnelle**, au vu des difficultés pré-évoquées, serait de plutôt viser à **faire converger les 2 méthodes de détermination des assemblages** vers la **méthode diatomique indicielle** mise au point à partir de la **détermination taxonomique morphologique** (IDA actuel ou plutôt, IDA-2, sachant que les données abiotiques et biologiques actuellement capitalisées autorisent d'ores et déjà une reformulation de cet indice d'une façon plus adéquate).

En rapport avec cette perspective, depuis 2018, les prélèvements de diatomées réalisés aux Antilles dans la cadre des réseaux sont désormais fixés à l'éthanol (concentration finale 70%), à la fois pour des raisons de sécurité mais aussi pour que ces échantillons puissent offrir la possibilité d'extraire l'ADN et d'amplifier des séquences du génome des diatomées.

Ce matériel biologique pré-existant et pour l'instant sauvegardé pourrait donc d'ores et déjà être utilisé dans 3 objectifs :

1) améliorer la connaissance taxonomique d'une espèce en réalisant une analyse phylogénique et ainsi confirmer/ infirmer son identification ou mesurer l'écart phylogénique entre 2 taxons ;

2) enrichir la base de séquence de référence R-Syst::Diatom[1] de l'INRA ;

3) amplifier et séquencer les barcodes des diatomées dans le but de leur assigner un nom d'espèce par comparaison à la base de séquence de référence.

Les flores très spécifiques des Antilles vont déjà nécessiter plusieurs années d'études croisées d'inventaires et de séquençages avant d'être correctement reconnues, dans la mesure où beaucoup de taxons trouvés sur place n'ont pas été reliés à un taxon déjà décrit. Ces espèces sont décrites et reconnues en tant que telles, elles sont affectées à un genre mais **encore sous numéro pour le niveau spécifique**. Elles ne sont probablement pas encore séquencées dans les bases de données internationales ou, pour le moins, selon une correspondance qui reste à établir et à confirmer. Il s'agit donc là d'une tâche de fond qui permettra à terme d'assurer la bonne performance de la méthode, la condition étant que les inventaires Antillais soient bien reconnus au niveau spécifique (ce qui est aussi nécessaire pour permettre la bonne articulation des résultats de la métagénomique avec l'IDA).

Outre cette tâche de fond, la biologie moléculaire pourrait aussi venir plus rapidement et plus spécifiquement en appui à l'éclairage de cas particuliers qui se posent pour l'élaboration ou la mise en application de la méthode. Par exemple, dans le cadre de la refonte de l'IDA, un travail phylogénétique ciblé sur certains groupes taxonomiques permettrait de comprendre s'il s'agit de morphotypes ou d'espèces distinctes qu'il est important (ou non) de distinguer (taxons morphologiquement proches de *Nitzschia inconspicua*, entre autres). Ces informations permettraient d'améliorer la diagnose des espèces, ce qui, lorsque des taxons d'alerte sont concernés, risque d'impacter directement la fiabilité de l'IDA.

[1] R-Syst::Diatom est une base de donnée publique, créée par l'UMR CARRTEL de l'INRA de Thonon. Cette base renferme des barcodes (codes de séquences génétiques) de diatomées provenant des cultures de diatomées de l'INRA de Thonon, du *barcoding project of diatoms* (UK) et de la base publique du NCBI (National Center for Biotechnology Information). Elle est régulièrement curée par un réseau de laboratoires européens.

Sur le plan général, ces prochaines années devraient permettre d'évaluer et d'adapter l'exploitation des résultats de biologie moléculaire afin de tenir compte des contraintes de la bio-indication locale. En effet, comme déjà indiqué auparavant, dans les DOM tropicaux et souvent insulaires, le principal message de bio-indication n'est pas distillé en fonction de la proportion relative de tout l'assemblage (comme pour l'IBD en France métropolitaine), mais de l'apparition de taxons d'alerte qui, en situation d'altération modérée, sont encore en faibles effectifs. Autrement dit, il convient arriver à une identification au niveau spécifique, mais aussi à une méthode d'exploitation des résultats efficiente dans le contexte ou une majorité de l'assemblage peut n'avoir aucune signification particulière au sens de l'évaluation d'impact anthropique, représenté par l'apparition de quelques individus de taxons d'alerte qui ne doivent pas être ignorés ou sous-repérés par la méthode. Il faudra donc examiner les limites de cette technique et de ses modalités d'application (notamment, nombre de cycles d'amplification, correction du signal d'ADN par un biovolume etc…), puis éventuellement procéder à quelques adaptations afin de permettre la bonne déclinaison de la méthode indicielle dans ce contexte local des Antilles.

Conclusion

La présente note visait à faire état des problèmes observées et des remarques faites vis-à-vis des quelques premières années d'utilisation de l'IDA (Indice Diatomique Antilles) dans le cadre des réseaux de Martinique et de Guadeloupe.

Il est principalement noté un manque d'assise-taxon en accroissement au fur et à mesure des années et de situations bioclimatiques particulières rencontrées, et aussi un manque de sensibilité de l'indice dans les situations d'installation des altérations anthropiques (gradient de faible à modéré).

Cependant, le recul-données s'est nettement accru depuis la genèse de la version actuelle de l'IDA, ce qui permettrait à ce stade d'en formuler une nouvelle version améliorée qui serait de nature à résoudre les problèmes de jeunesse rencontrés.

Il est envisageable de re-versionner l'IDA selon une formulation grosso-modo identique à la précédente (taxons d'alerte, gradient composite d'altération), la plus-value étant apportée par la révision-augmentation des listes d'espèces et par le re-calcul de leurs profils en fonction de l'accroissement du background de données aujourd'hui disponibles.

Cependant, en fonction des expériences précédentes acquises par le réseau partenarial concerné et pour à peu près la même quantité de travail, il est aussi possible, en utilisant une méthodologie déjà maîtrisée dans les équipes, de reversionner l'IDA selon un principe différent et plus moderne (création d'un **IDA multimétrique**).

Cette 2ème possibilité, plus porteuse à l'heure actuelle et à notre sens plus intéressante, ouvrirait accès à une utilisation plus détaillée des résultats de calcul indiciel par métrique individuelle d'altération. Il en découlerait, directement ou au prix d'un peu plus de travail d'ingénierie de projet, des applications permettant d'appuyer le diagnostic de site altéré et d'obtenir des informations de hiérarchisation des impacts constatés, aidant le décideur ou le gestionnaire à mieux cibler des mesures de gestion corrective et de remédiation à mettre en place.

La fin de cette note permet aussi d'aborder l'arrivée prochaine de la biologie moléculaire comme méthode de détermination à terme des échantillonnages diatomiques, qui semble tout à la fois porteuse d'une marge de progrès et incontournable.

Elle étudie et propose des voies concrètes d'articulation de ce chantier avec la bio-indication diatomique en place ou à venir (IDA actuel, IDA-2), afin que cette nouvelle technique puisse progressivement prendre le relais et venir alimenter, par ses résultats d'échantillonnages, un calcul d'indice diatomique adéquat prenant bien en compte le contexte biogéographique local.

Contacts

- Au titre d'Irstea : François Delmas francois.delmas@irstea.fr
- Au titre d'Hydreco : Anne Eulin-Garrigue anne.eulin-garrigue@hydrecolab.com
- Au titre d'Eco in'Eau : Estelle Lefrançois estellelefrancois82@gmail.com

Références bibliographiques :

REF. 1 : Rumeau, A., Coste, M., 1988. Initiation à la systématique des diatomées d'eau douce. Pour l'utilisation pratique d'un indice diatomique générique. Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture 1–69.

REF. 2 : Coste, M. in CEMAGREF (1982). Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux (dont IPS). Rapport QE Lyon-Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

REF. 3 : Coste, M., Boutry, S., Tison Rosebery, J., Delmas, F. (2009). Improvements of the Biological Index (BDI): description and efficiency of the new version (BDI-2006). Ecological Indicators, vol. 9, n° 4, p. 621-650. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2008.06.003

REF. 4 : DCE (2000) - Directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 32000L0060. Adoptée le 23 octobre 2000. JOCE L 327 du 22 décembre 2000, p. 1-73

REF. 5 : Boutry, S., Gassiole, G., Rosebery, J., Giraudel, J.L., Peres, F., Coste, M., Delmas, F. - 2013. Mise au point d'un indice diatomique pour les cours d'eau de la Réunion (IDR) : Rapport final sur la démarche d'élaboration de l'indice (Version finale, 05-02-2013). 130 p.

REF. 6 : Guéguen, J., Eulin, A., Lefrançois, E., Boutry, S., Tison Rosebery, J., Coste, M., Delmas, F. - 2015. Production d'une version améliorée de l'Indice Diatomique Antilles (IDA-2), utilisation pour l'évaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau des Antilles : Rapport Final (Version Finale du 12/03/2015). 185 p.

REF. 7 : Boutry, S., Ramos, M., Coste, M., Rosebery, J., Eulin, A., Delmas, F. - 2014. Rapport d'Expertise : Evaluation de l'Etat Ecologique des cours d'eau de Guyane par le compartiment diatomique sur la base de l'IPS (Indice de Polluo-sensibilité Spécifique) : version 1 du 15-04-2014. 29 p.

REF. 8 : Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Journal Officiel de la République Française n°0198 du 28 août 2015.

REF. 9 : Marquié, J. & Boutry, S., Lefrançois, E., Coste, M., Delmas, F. (2018). Programme d'Étude et de Recherche 2012-2016 : « Diatomées des rivières de Nouvelle-Calédonie : Conception d'un nouvel indice de bio-évaluation de la qualité écologique des cours d'eau à partir des diatomées benthiques ». Rapport final d'élaboration de l'IDNC (V 2-2 du 16-10-2018). Irstea – ASCONIT – DAVAR – OEIL Eds. Tome 1 : 268 pages. Tome 2 (Annexes) : 122 pages.

REF. 10 : Mondy, C. P., Villeneuve, B., Archaimbault, V., Usseglio-Polatera, P. (2012). A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. Ecological Indicators 18, 452–467. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.013

REF. 11 : Carayon, D., Delmas, F., Eulin-Garrigue, A., Vigouroux, R. (2019). Evaluation de l'état écologique des cours d'eau de Guyane française : L'Indice Diatomique pour la Guyane Française (IDGF). Rapport final - V0 – Février 2019. Irstea Eds., 60 p + annexes.

REF. 12 : Lefrançois, E., Eulin. A., Guéguen, J., Coste, M., Delmas, F., Monnier, O. (2018). Guide méthodologique pour la mise en œuvre d'indices biologiques en outre-mer : L'indice diatomique antillais IDA. Version –test de Juillet 2018. *Collection "Guides et Protocoles", AFB Eds.* 65 p.

REF. 13 : Eulin. A., Lefrançois, E. (2018). Réalisation du suivi biologique DCE des diatomées dans les cours d'eau de Martinique. Année 2018. Rapport Final (Octobre 2018). HYDRECO Eds., 41p.

REF. 14 : Lefrançois, E., Eulin. A. (2018). Réalisation du suivi biologique DCE des diatomées dans les cours d'eau de Martinique. Année 2018. Rapport Final (Novembre 2018). Eco In'Eau Eds., 46 p.

REF. 15 : Hendrickx, A. & Denys, L. (2005). Toepassing van verschillende biologische beoordelingssystemen op Vlaamse potentele interkalibratielocaties overeenkomstig de Europese Kad-errichtlijn Water: partim 'fytobenthos'. Rapport van hetInstituut voor Natuurbehoud, IN.R.2005.06. Instituut voorNatuurbehoud, Brussel, Belgium: 107 pp

REF. 16 : AFNOR, 2016. Norme NF-T 90-354 - Echantillonnage, traitement et analyse de Diatomées benthiques en cours d'eau et canaux. AFNOR Eds. 112 p.

REF. 17 : Baker, M. E., & King, R. S. (2010) - « A new method for detecting and interpreting biodiversity and ecological community thresholds ». Methods in Ecology and Evolution 1 (1): 25–37

REF. 18 : Tapolczai, K., Vasselon , V., Bouchez, A., Stenger-Kovács, C., Padisák, J., Rimet, F. (2018). The impact of OTU sequence similarity threshold on diatom-based bioassessment: A case study of the rivers of Mayotte (France, Indian Ocean). Ecology and Evolution. 2018; 1–14.

REF. 19 : Kermarrec L., Bouchez A., Rimet F. & Humbert J.F. (2013). First evidence of the existence of semi-cryptic species and of a phylogeographic structure in the Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing complex (Bacillariophyta). Protist 164: 686-705.

REF. 20 : Coste, M., Boutry, S., Delmas, F., De Mérona, B., Cerdan, P. (2010). Diatomées des eaux courantes de Guyane : essai de biotypologie et application au diagnostic du bon état écologique. Rapport final Programme QUES – Volet diatomique. Irstea Eds., 81 p.