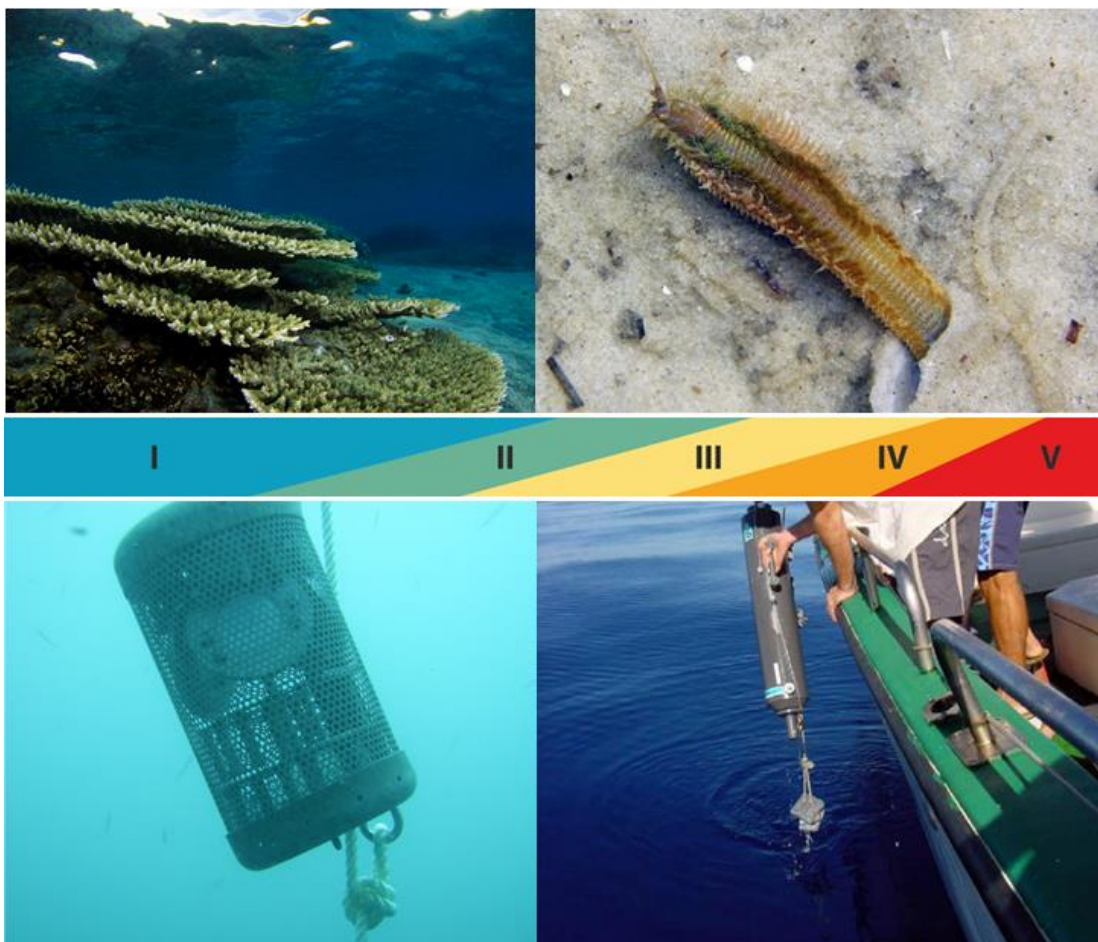


Calcul des indicateurs DCE

Fascicule technique pour le calcul des
indicateurs DCE dans l'océan Indien



Mars 2024

Version 2.0

Partenaires scientifiques et techniques :



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : R.RBE/DOI/2024-001 N° de Version : 2.0 Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : Mars 2024 nombre de pages : 37 bibliographie : oui, dans le texte illustration(s) : oui langue du rapport : français
Titre : Fascicule technique pour le calcul des indicateurs DCE dans l'océan Indien		
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/>		Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>
<u>Coordination :</u> Magali DUVAL, Michel ROPERT et Cathy TREGUIER <u>Expertise thématique et scientifique :</u> Jean TURQUET, Alina TUNIN LEY, Pascale CUET Lionel BIGOT, Patrick FROUIN Jean-Benoît NICET, Jean-Louis GONZALEZ Bruno ANDRAL <u>Mise à jour du document (v2) :</u> Cam-Ly RINTZ et Magali DUVAL <u>Contribution / autres membres GT DCE :</u> Membres des GT DCE La Réunion et Mayotte		Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer RBE/DOI NEXA (anciennement ARVAM puis Hydroréunion) UMR Entropie, Université de La Réunion UMR Entropie, Université de La Réunion NICET Consultant Ifremer RBE/BE - Toulon Ifremer ODE/LER – Toulon Ifremer RBE/DOI
Cadre de la recherche : 2010-2013 : Contrat Ifremer/DEAL de La Réunion n° 11/1219452/BF 2014-2015 : Convention Ifremer/Office de l'Eau Réunion n°14/1211501/F Conventions Ifremer/PNMM/AAMP n°14/1211747 et n°15/1212077/MF et Conventions Ifremer/ONEMA 2014 et 2015 (La Réunion et Mayotte) 2016-2017 : Convention Ifremer/Office de l'Eau Réunion n°16/1212627/F Convention Ifremer/PNMM/AAMP n°16/1212601 et Conventions Ifremer/ONEMA 2016 et 2017 (La Réunion et Mayotte) 2018-2019 : Convention Ifremer/Office de l'Eau Réunion n°18/2216642/F et Conventions Ifremer/AFB 2018 et 2019 (La Réunion et Mayotte) 2020-2021 : Conventions Ifremer /OFB 2020 (La Réunion et Mayotte) et avenants 2021 2021-2022 : Convention Ifremer/OFB 2021 (La Réunion et Mayotte) et avenants 2022 (Océan Indien) 2023-2024 : Convention Ifremer/MTE 2023 et 2024 (Océan Indien)		
Destinataires : DEAL Réunion et Mayotte, Office de l'Eau de La Réunion, Parc Naturel Marin de Mayotte, OFB		
Résumé Les travaux relatifs à la mise en œuvre de la DCE à La Réunion ont démarré au début des années 2000, avec la mise en place de 4 groupes de travail DCE experts dont les travaux ont été synthétisés au travers de 4 fascicules techniques définissant les conditions de mise en œuvre des différents suivis du réseau de contrôle de surveillance (RCS) DCE en milieu marin à La Réunion : paramètres physicochimiques et phytoplancton, contaminants chimiques, benthos de substrats meubles, benthos de substrats durs. Le Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM) est chargé de la mise en œuvre de la DCE sur ce territoire depuis 2013, et s'appuie sur un groupe de travail experts "eaux littorales" animé conjointement par le PNMM et l'Ifremer. Les fascicules décrivant les suivis à La Réunion ont été révisés en 2019 pour s'appliquer à l'océan Indien. Ce fascicule vient en complément des quatre fascicules techniques pour la mise en œuvre de la DCE et décrit les indicateurs et grilles de qualité permettant d'évaluer l'état environnemental des masses d'eau.		
Mots-clés : DCE ; La Réunion ; Mayotte ; Contrôle de surveillance ; Hydrologie ; Paramètres physico-chimiques ; Phytoplancton ; Benthos de substrats meubles ; Benthos de substrats durs ; Indicateur, Indice.		
Référence documentaire : GTs DCE La Réunion et Mayotte "Indicateurs DCE", 2024. Fascicule technique pour le calcul des indicateurs DCE dans l'océan Indien". R.RBE/DOI/2024-001, 37 p.		

Sommaire

1. CONTEXTE : LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU (DCE)	6
2. APPLICATION EN OCEAN INDIEN	8
2.1. <i>LA DCE A LA REUNION</i>	8
2.2. <i>LA DCE A MAYOTTE</i>	9
2.3. <i>PRESENTATION DU FASCICULE</i>	10
3. EVALUATION DE L'ETAT PHYSICO-CHIMIQUE	11
3.1. <i>GENERALITES</i>	11
3.2. <i>ELEMENTS DE QUALITE PHYSICO-CHIMIQUES</i>	11
3.2.1. Oxygène dissous.....	11
3.2.2. Transparence	12
3.2.3. Salinité.....	13
3.2.4. Température.....	13
3.2.5. Nutriments	14
4. EVALUATION DE L'ETAT BIOLOGIQUE	16
4.1. <i>GENERALITES</i>	16
4.2. <i>INDICATEUR "PHYTOPLANCTON"</i>	16
4.2.1. En métropole	16
4.2.1. En Océan Indien.....	17
4.3. <i>INDICATEUR BENTHOS DE SUBSTRATS MEUBLES</i>	17
4.3.1. AMBI (AZTI Marine Biotic Index)	17
4.3.2. M-AMBI	18
4.3.3. Application en océan Indien	19
4.4. <i>INDICATEUR BENTHOS DE SUBSTRATS DURS</i>	21
4.4.1. Généralités	21
4.4.2. Calcul des Indices	24
4.4.3. Indicateur.....	28
5. EVALUATION DE L'ETAT ECOLOGIQUE	32
6. EVALUATION DE L'ETAT CHIMIQUE	33
6.1. <i>GENERALITES</i>	33
6.2. <i>EVALUATION DE L'ETAT CHIMIQUE</i>	33
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	35
TABLES DES ILLUSTRATIONS	36

Résumé des modifications

Version	Modifications
2.0	Compléments au §3.2 pour Mayotte suite au GT DCE Eaux littorales de Mayotte de décembre 2022 Mise à jour du § 4.3 suite aux éléments du dernier GT DCE Eaux littorales de Mayotte Mise à jour du § 4.4 suite à la modification de l'indicateur Benthos de Substrats Durs + Précisions/corrections mineures

1. CONTEXTE : LA DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU (DCE)

La Directive Cadre sur l'Eau (DCE) n°2000/60/CE du 23 octobre 2000 est une Directive du parlement et du conseil européen transposée en droit français, loi N° 2004-338 du 21/04/2004. La DCE établit un cadre pour la préservation et la restauration des eaux des Etats Membres, qu'il s'agisse des eaux de surface, souterraines ou côtières. La DCE fixe des obligations de résultats (et pas simplement de moyens), et oblige donc les Etats Membres, après une phase de constat (état des lieux) à lancer des programmes de préservation/restauration de la qualité des eaux afin de garantir "le bon état, écologique et chimique" de toutes les masses d'eau.

En France, les rapports et les données résultant des réseaux de suivi de la DCE sont utilisés par les Comités de Bassin en charge de la coordination des Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE). Les SDAGE sont les documents définissant la politique de l'eau à l'échelle des grands bassins hydrographiques français ("districts hydrographiques"), bassins qui correspondent aux aires de compétence des Agences de l'Eau en métropole et à celles des Offices de l'Eau dans les DOM.

La DCE impose aux Etats Membres d'effectuer dans chacun de leurs grands bassins un découpage géographique en "masses d'eau" qui deviennent des unités de gestion.

La DCE précise que les **masses d'eau côtières dites aussi masses d'eau littorales** doivent s'étendre jusqu'à un mille au large du zéro des cartes bathymétriques et que leur découpage doit reposer sur :

- la capacité de renouvellement des eaux au sein de la masse d'eau, par mélange ou par transport, ce qui inclut les notions de temps de résidence, de renouvellement des eaux, d'intensité des houles (secteurs abrités ou battus) et de sensibilité de la zone aux apports (terrestres ou non, localisés ou diffus).
- des critères géomorphologiques, comme la profondeur et la nature des fonds, car ces critères conditionnent pour une bonne part la richesse faunistique, et plus généralement la biodiversité locale.

Ces critères permettent de définir la typologie des différentes masses d'eau. En outre, chacune des masses d'eau retenue doit être si possible délimitée par des points "naturels" (cap, pointe, limite de bassin versant ...), et doit être la plus homogène possible du point de vue de ses caractéristiques naturelles ou des pressions exercées par les activités humaines, et ce afin que l'état constaté y soit lui-même le plus homogène possible.

La DCE impose en outre quatre grands types de contrôles/suivis de la qualité des eaux et des biocénoses qui les peuplent ou en dépendent :

- **Le Contrôle de Surveillance**, qui doit permettre le suivi de la qualité (aspects qualitatif, et également quantitatif pour ce qui concerne les eaux de surface et souterraines) d'un ensemble de masses d'eau jugées représentatives du district hydrographique, et ce sur le long terme,
- **Le Contrôle Opérationnel**, devant être appliqué aux masses d'eau risquant de ne pas atteindre le "bon état" (ces masses d'eau, anciennement qualifiées de "RNABE" pour Risque de Non Atteinte du Bon Etat, sont aujourd'hui qualifiées de "RNAOE", pour Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux,
- **Le Contrôle d'Enquête**, à appliquer en cas de non atteinte (probable) des objectifs et en absence d'explication ou de connaissance sur les facteurs de dégradation,

- **Le Contrôle Additionnel**, concernant certaines zones protégées particulières telles que les eaux de baignade, les habitats naturels, ainsi que zones hébergeant des espèces ou des habitats protégés, notamment au niveau communautaire.

Quels que soient le ou les types de contrôle, la DCE précise qu'il faut définir un état écologique et un état chimique pour pouvoir statuer sur la qualité d'une masse d'eau.

L'évaluation de l'état s'appuie, pour chacun des paramètres, sur un indicateur associé à un référentiel (grille avec des valeurs seuils par classe) et représente l'état selon l'impact subi par la masse d'eau (Tableau 1).

Tableau 1 : Différentes classes pour l'appréciation de l'état d'une masse d'eau

Très bon	Conditions naturelles hors impact
Bon	Proche des conditions naturelles, impact très léger
Moyen	Impact modéré
Médiocre	Milieu très impacté
Mauvais	Milieu très fortement impacté, ou situation quasi-irréversible à moyen terme

L'état **écologique** s'exprime selon 5 classes de qualité (très bon, bon, moyen, médiocre et mauvais), et l'état **chimique** uniquement selon deux classes : "bon" ou "mauvais" (Figure 1).

L'état **écologique** est lui-même basé sur quatre diagnostics :

- Éléments de qualité **biologiques**,
- Éléments de qualité **physico-chimiques** soutenant la biologie,
- Éléments de qualité **hydromorphologiques**,
- **Polluants spécifiques** de l'état écologique (pour les Antilles uniquement).

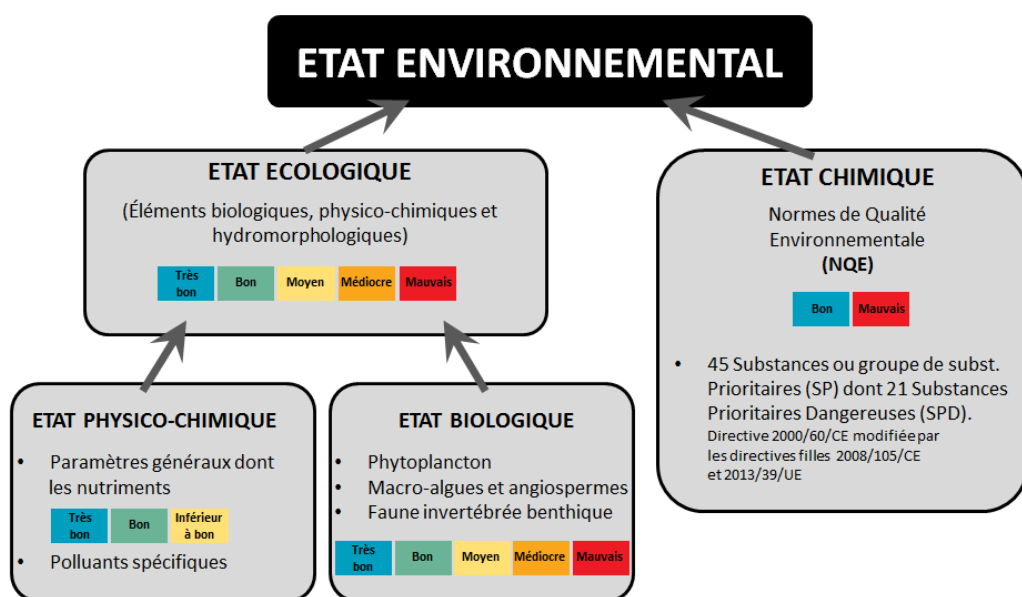


Figure 1 : Schéma de l'évaluation de l'état d'une masse d'eau selon les prescriptions DCE

2. APPLICATION EN OCEAN INDIEN

2.1. La DCE à La Réunion

A La Réunion, la DEAL, chargée de la mise en œuvre de la DCE, a initié dès le début des années 2000 différents projets visant à recenser les données existantes et en acquérir de nouvelles, en vue de mettre en place les suivis du Réseau de Contrôle et de Surveillance de la DCE.

Entre 2008 et 2013, la DEAL s'est appuyée sur la Délégation Ifremer océan Indien (DOI) qui a assumé la mission d'assistance à maîtrise d'ouvrage à travers différents projets, et en créant et coordonnant quatre Groupes de Travail thématiques (GT) associant l'ensemble des experts locaux et métropolitains concernés. En 2012, la maîtrise d'ouvrage de la mise en œuvre des suivis du Réseau de Contrôle de la Surveillance DCE a été confiée institutionnellement à l'Office de l'Eau Réunion. De 2013 à 2019, la Délégation Ifremer océan Indien a assuré un appui au Bassin de La Réunion dans le cadre de deux conventions (AFB-ONEMA/Ifremer et Office de l'Eau Réunion/Ifremer). Depuis 2020, le soutien est encadré par une seule convention avec OFB/Ifremer de 2020 à 2022 puis avec le Ministère à compter de 2023. Ce soutien comprend, entre autres, la mise à jour des différents fascicules techniques.

Les quatre grandes thématiques abordées, et donc les quatre futurs suivis du réseau de contrôle de surveillance (RCS), traitent des contaminants chimiques, du benthos de substrats durs, du benthos de substrats meubles et enfin des paramètres physico-chimiques et du phytoplancton.

Ces GT, chacun dans leur domaine, ont eu pour mission entre 2010 et 2012 :

- de **définir les paramètres et indicateurs** (valeurs seuils, grilles) pertinents pour évaluer l'état des masses d'eau,
- **de bancariser** (ou faire bancariser) dans Quadrige² (ou Q²), base nationale de référence pour l'ensemble des données environnementale marines, les données pertinentes déjà acquises localement dans le cadre de suivis ou d'études ponctuelles¹,
- **d'utiliser les grilles d'indicateurs** définies/retenues et les données pertinentes bancarisées afin de réactualiser **l'état des lieux** des masses d'eau réunionnaises et Mahoraises
- d'élaborer le réseau pérenne de suivi de la DCE dans le cadre du réseau de contrôle de surveillance.

A compter de 2015, le GT DCE "eau littorale" de La Réunion ne se réunit plus par thématique mais en fonction de l'actualité et à raison de deux voire trois réunions par an. Son mandat est le suivant :

- contribuer à l'optimisation et à l'adaptation des suivis du RCS, y compris les grilles/indicateurs, en fonction du retour d'expériences de la mise en œuvre des suivis, de l'amélioration des connaissances et de l'évolution de la réglementation, ...,
- valider la mise à jour des fascicules qui découlent des éléments pré-cités,

¹ Ce rapatriement sous Q² permet de sécuriser ces données au sein du serveur SISMER, et de bénéficier du couplage Q²-S3E (Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux) permettant le rapportage européen de la DCE.

- contribuer à la définition des autres réseaux de contrôles (RCE, RCO, ...) de la DCE,
- valider à dire d'expert l'évaluation de l'état des lieux issus des scripts S3E,
- contribuer à la valorisation des données en apportant un soutien à leur qualification, à leur diffusion, ...

2.2. La DCE à Mayotte

Le contexte particulier de Mayotte (absence d'Office de l'Eau, moyens opérationnels plus limités,...) a conduit l'Etat à désigner la Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL) comme opérateur de la mise en œuvre de la DCE à Mayotte. Pour le volet littoral, jusqu'en 2012, la mise en œuvre de la DCE a été assurée par la DEAL Mayotte avec l'appui du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Depuis 2013, le travail se poursuit sous maîtrise d'ouvrage déléguée au Parc Naturel Marin de Mayotte sous financement de l'ONEMA (puis de l'AFB de 2017 à 2019, et de l'OFB à partir de 2020). De 2013 à 2017, la Délégation Ifremer océan Indien a assuré un appui au Bassin Mayotte dans le cadre de deux conventions (ONEMA/Ifremer et PNMM). Depuis 2018, le soutien est encadré par une seule convention (AFB/ Ifremer de 2018 à 2019, OFB/Ifremer de 2020 à 2022 puis Ministère/Ifremer à compter de 2023). Ce soutien comprend, entre autres, la mise à jour des différents fascicules techniques.

En 2013, le Parc Naturel Marin de Mayotte (PNMM) a engagé la mise en œuvre de réflexions sur le système d'évaluation de la qualité des eaux côtières et du programme de surveillance, en s'appuyant sur un GT experts eaux littorales (GT experts ELIT), auquel l'Ifremer contribue dans le cadre de son appui au PNMM.

Le mandat de ce Groupe de Travail est le suivant :

- Proposer des indicateurs biologiques et chimiques pertinents à mettre en place,
- Poursuivre et consolider les travaux sur le calage de certains seuils et grilles des indicateurs DCE,
- Finaliser la définition des programmes de surveillance dans le cadre de la DCE (périodes et fréquences, nombre/localisation des sites, protocole d'échantillonnages, méthodes d'analyse...),
- Adapter et optimiser les protocoles d'échantillonnage et d'analyse adaptés au contexte de Mayotte.

Par ailleurs, le GT a également pour mandat d'accompagner le PNMM dans les réflexions concernant les indicateurs du tableau de bord de son Plan de Gestion visant la qualité de l'eau.

Le secrétariat du GT experts ELIT est assuré par le PNMM, l'Ifremer apportant son soutien technique pour l'animation.

2.3. Présentation du fascicule

Le présent fascicule vient en complément des quatre fascicules techniques pour la mise en œuvre de la DCE (photo 1). Il est consacré au calcul des indicateurs DCE en océan Indien pour chacun des suivis du RCS.

Il n'a pas un caractère réglementaire mais synthétise les informations contenues dans le "Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales dans le cadre de la DCE" (février 2018) qui vise à fournir les éléments nécessaires pour l'application harmonisée des règles pour évaluer l'état des masses d'eau dans le cadre de l'État des Lieux DCE définies par l'arrêté du 7 août 2015 **et les éléments les plus récents issus de l'expertise des GT DCE Eaux littorales de La Réunion et Mayotte.**

A noter que les règles d'évaluation peuvent être amenées à évoluer d'un cycle de gestion à l'autre pour tenir compte des travaux menés aux niveaux européen et national.



Photo 1 : Couvertures des 4 fascicules techniques de définition des suivis du réseau de contrôle de surveillance à La Réunion et à Mayotte.

3. EVALUATION DE L'ETAT PHYSICO-CHIMIQUE

3.1. Généralités

Dans ce chapitre sont présentés les indicateurs qui permettent l'évaluation des éléments de qualité physico-chimiques de l'état écologique.

Le travail de définition des indicateurs a été mené par les groupes de travail DCE (cf. §2) et a fait l'objet, pour La Réunion, du rapport "Bon Etat II" (Ropert et al., 2012).

Les données nécessaires à l'évaluation sont issues des suivis "Physico-chimie et Phytoplancton" dont les paramètres mesurés sont :

- la transparence,
- la température de l'eau,
- l'oxygène dissous,
- la salinité,
- la concentration en nutriments : nitrate, nitrite, silicate, phosphate et ammonium.

A la date de parution de ce fascicule, un indicateur est défini uniquement pour les paramètres transparence, température et oxygène dissous. Les grilles d'évaluation des nutriments sont toujours en cours de définition. La salinité étant un paramètre d'accompagnement, aucun indicateur n'est défini pour ce paramètre.

Les indicateurs physico-chimiques étant considérés comme des paramètres de soutien, ils ne peuvent pas déclasser une masse d'eau au-delà de la classe "moyen" et les grilles d'indicateurs sont à trois classes maximum.

3.2. Eléments de qualité physico-chimiques

3.2.1. Oxygène dissous

L'élément de qualité oxygène dissous est caractérisé par le paramètre "**concentration en oxygène dissous dans l'eau mesurée à 1 m au-dessus du fond**". Il s'agit d'observer les éventuels phénomènes de désoxygénation.

La métrique est définie par le **percentile 10** des concentrations mesurées sur les 6 ans d'un cycle de gestion.

Le résultat obtenu est comparé à la **grille de qualité** (Tableau 2) basée sur les concentrations d'oxygène nécessaires pour la vie aquatique. Il n'y a pas de typologie de masses d'eau pour l'indicateur oxygène dissous, la grille s'applique à toutes les masses d'eau côtières, y compris en milieu tropical.

A La Réunion, les données historiques ne montrent aucun phénomène d'anoxie ou d'hypoxie dans les masses d'eau côtières de type non récifal. De plus, le déploiement de sondes à oxygène classiques est difficile en raison des conditions hydrodynamiques fortes, notamment sur des profondeurs supérieures à 30 m. Le suivi peut n'être réalisé que sur les stations de profondeur inférieure à 30 m.

Pour les masses d'eau côtières de type récifal, le GT "Physico-chimie et phytoplancton" a jugé non pertinentes les mesures ponctuelles d'oxygène dissous réalisées de jour, en raison de la grande variabilité de ce paramètre au cours de la journée. En outre, ce sont essentiellement les périodes nocturnes qui sont propices à voir apparaître des valeurs au-dessous du seuil néfaste à la vie aquatique.

A Mayotte, les règles d'évaluation s'appliquent à toutes les masses d'eau.

Tableau 2 : Grille de qualité pour le paramètre Oxygène dissous

	Très bon	Bon	Inférieur à Bon
Grille de l'indice (mg/L)	> 5	]5 – 3]	< 3

3.2.2. Transparence

Des facteurs géographiques (situation par rapport au débouché des fleuves) édaphiques (nature du fond), météorologiques (vents, précipitations, débit des fleuves), hydrodynamiques (courants, clapot, houle) et biologiques (concentration en phyto- et en zooplancton) modifient la **transparence de l'eau**. Celle-ci est évaluée au travers du paramètre "turbidité".

Les valeurs élevées de turbidité sont préjudiciables à la survie et au développement des organismes vivants. La variabilité des conditions auxquelles sont soumises les masses d'eau rend nécessaire de distinguer **plusieurs écotypes** dans lesquels sont définis des niveaux différents de turbidité acceptable.

Les masses d'eau côtières sont ainsi séparées en trois écotypes :

- Ecotype 1 : les zones rocheuses de la Manche et de l'Atlantique, les côtes méditerranéennes (sauf celles du Languedoc),
- Ecotype 3 : les zones vaseuses/sableuses et les masses d'eau situées à l'embouchure des principaux fleuves.
- Ecotype 4 : eaux de Corse

Le choix de la métrique s'est porté sur le **percentile 90** des mesures de turbidité sur les 6 ans d'un cycle de gestion. Le résultat obtenu par ce calcul permet de prendre en compte à la fois les valeurs absolues des turbidités et la fréquence relative des épisodes turbides.

Le résultat est comparé à la grille présentée en Tableau 3 pour obtenir l'évaluation de la qualité de la masse d'eau pour cet élément.

Au niveau national, une grille de qualité par écotype a été fixée.

A La Réunion, la grille correspondant à l'Ecotype 4 a été proposée aux référents DCE nationaux pour validation.

Tableau 3 : Grilles de qualité pour le paramètre Transparence/Turbidité

	Très bon	Bon	Inférieur à Bon
Grille de l'indice (NTU) Ecotype 1	[0 – 5[	[5 – 10[	> 10
Grille de l'indice (NTU) Ecotype 3	[0 – 30[	[30 – 45[	> 45
Grille de l'indice (NTU) Ecotype 4	[0 – 0,6[	[0,6 – 3[	> 3

A **Mayotte**, la grille de qualité adoptée est celle de La Réunion (source : GT DCE Eaux littorales Mayotte - décembre 2022) hormis pour la masse d'eau « MC09 – Vasière de Badamiers » dont le statut en tant que ME DCE a été à nouveau remis en question lors du GT DCE Eaux littorales Mayotte de décembre 2022.

3.2.3. Salinité

Les prélèvements instantanés tels que prescrits par la DCE ne permettent pas de suivre la durée et la fréquence d'éventuelles dessalures. De plus, l'utilisation d'un seuil tenant compte uniquement de l'intensité de la dessalure n'a pas été retenue étant donné que celle-ci, pour les masses d'eau sous l'influence d'apports d'eau douce, dépend directement de la localisation du point de prélèvement dans le panache fluvial.

L'**indicateur de qualité salinité** a donc été déclaré **non pertinent** par les experts dans les masses d'eau côtières et de transition dans le cadre du programme de surveillance DCE.

Il est cependant indispensable de continuer à mesurer ce paramètre afin **d'appuyer l'interprétation des autres paramètres hydrologiques** (nutriments et oxygène dissous) et **biologiques**.

3.2.4. Température

L'indicateur développé repose sur la définition d'une "enveloppe" sinusoïdale de température, "l'enveloppe de référence", correspondant à 3 fois l'intervalle interquartile.

L'indicateur est défini comme le **pourcentage de valeurs de température de l'eau considérées comme exceptionnelles**, c'est-à-dire qui sortent de l'**enveloppe de référence** définie comme représentant le bon fonctionnement écologique d'un écosystème.

Etant donné la variabilité des masses d'eau côtières sur l'ensemble du littoral français métropolitain, cinq enveloppes de référence ont été définies à partir des données enregistrées sur la période 1988-2007.

La sinusoïde de **La Réunion** a été élaborée en 2015 à partir des données acquises entre 2000 et 2014 (Figure 2).

La plage annuelle de variation des températures dans les eaux **mahoraises** n'a pas encore été définie.

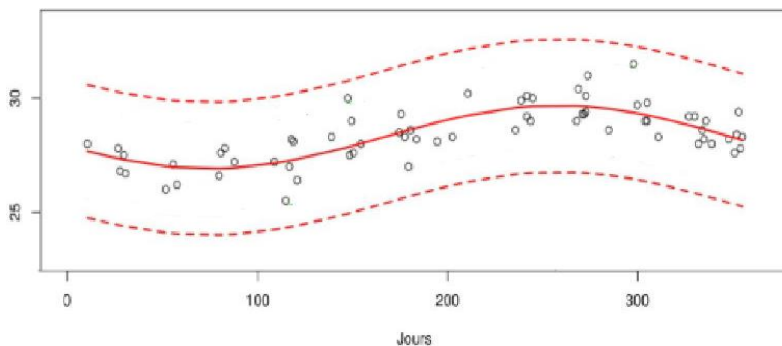


Figure 2 : Enveloppe sinusoïdale de référence définie pour l'indicateur température à La Réunion dans les masses d'eau côtières. Données du RHLR ;
Températures en ordonnée ; Trait plein rouge = sinusoïde de référence ; pointillés rouges = enveloppe de référence

L'indicateur est calculé à l'aide des mesures effectuées sur les 6 ans d'un plan de gestion.

Le bon état est atteint lorsqu'au moins 95 % des valeurs mesurées sont comprises dans l'enveloppe de référence.

Si moins de 95 % des valeurs sont comprises dans l'enveloppe, la masse d'eau est considérée en état inférieur à bon pour cet élément.

Tableau 4 : Grille de qualité pour le paramètre Température dans les masses d'eau côtières

	Bon	Inférieur à bon
Grille de l'indice	< 5% en dehors de l'enveloppe de référence	> 5% en dehors de l'enveloppe de référence

3.2.5. Nutriments

Le terme "nutriments" désigne les composés inorganiques nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton, macroalgues, angiospermes). Ils sont présents naturellement dans le milieu et ne sont pas directement toxiques pour ce dernier. Toutefois, lors d'une augmentation de flux de nutriments en zone côtière (en raison d'apports anthropiques tel que les rejets dus au lessivage des terres agricoles, les rejets urbains et industriels), les nutriments peuvent être parfois considérés comme une pression à l'origine de nuisances indirectes pour le fonctionnement du milieu.

3.2.5.1. En Métropole

Dans les masses d'eau côtières et les estuaires des côtes de la Manche et de l'Atlantique, l'azote est considéré comme facteur limitant et a donc fait l'objet du développement d'indicateur en priorité. Il intègre les concentrations d'azote inorganique dissous (NID), c'est à dire la somme ammonium + nitrate + nitrite.

La concentration en NID étant directement liée à la salinité (notamment en période hivernale), les masses d'eau côtières et de transition ont été regroupées au sein d'écotypes représentatifs

de la dilution des eaux des bassins versants. L'indicateur est basé sur les concentrations de NID en $\mu\text{mol/L}$ mesurées en surface, normalisées à 33 de salinité.

Les lagunes méditerranéennes sont regroupées en quatre écotypes selon leur salinité : oligohaline, mésohaline, polyhaline, euhaline. L'indicateur est basé sur quatre métriques : le percentile 90 des concentrations mensuelles de NID, de phosphate (PO_4), d'azote total (NT) et de phosphore total (PT).

3.2.5.2. En océan Indien

L'oligotrophie des eaux fait que les seuils proposés pour la métropole ne sont pas adaptés localement.

A La Réunion et à Mayotte, le nombre de données fiables disponibles n'était jusqu'à présent pas suffisant pour envisager de travailler sur un indicateur.

Le projet **OLITROP** visant l'évaluation de la pertinence d'un indicateur nutriments DCE dans les DOMs (La Réunion, Mayotte, Martinique et Guadeloupe) est en cours **à date de la révision du présent fascicule (résultats attendus pour fin 2024)**.

4. EVALUATION DE L'ETAT BIOLOGIQUE

4.1. Généralités

Dans ce chapitre sont présentés les indicateurs qui permettent l'évaluation des éléments de qualité biologiques de l'état écologique.

Le travail de définition de ces éléments a été mené par des groupes de travail (cf. §2) et a fait l'objet pour La Réunion du rapport "Bon Etat II" (Ropert *et al.*, 2012).

Les données nécessaires au calcul de l'indicateur sont issues des différents suivis du RCS listés en Tableau 5.

Tableau 5 : Paramètres biologiques de l'état écologique

Suivis	Paramètre	
Physico-chimie et phytoplancton	<i>Biomasse</i>	Concentration en Chlorophylle <i>a</i>
Benthos de Substrats Meubles	<i>Macrofaune</i>	Abondance des groupes fonctionnels
Benthos de Substrats Durs (La Réunion uniquement)	<i>Corail</i>	Couverture Groupes fonctionnels Taxons

Comme indiqué Figure 1, les grilles d'indicateur de l'état biologique des masses d'eau sont à 5 classes.

4.2. Indicateur "Phytoplancton"

4.2.1. En métropole

L'indicateur retenu au titre de la DCE en métropole repose sur la combinaison de deux indices (biomasse et abondance). Un troisième indice (basé sur la composition taxinomique) est en cours d'étude.

L'indice abondance est évalué par les développements importants de phytoplancton (blooms) en termes de quantité de cellules.

Le paramètre de l'indice **biomasse** est la concentration en **chlorophylle *a***. Ce pigment, présent dans la grande majorité des cellules phytoplanctoniques, simple à mesurer, offre une estimation pertinente de la biomasse du phytoplancton, tout en étant complémentaire de l'information apportée par le dénombrement des espèces.

La métrique retenue est le **percentile 90** de la concentration en Chlorophylle *a* (**P90**), qui permet la prise en compte d'une grande majorité de données, y compris des pics d'abondance, à l'exception des données extrêmes de ces pics.

L'indicateur est calculé à l'aide des mesures effectuées sur les 6 ans d'un plan de gestion. Il est transformé en un **Ratio de Qualité Ecologique (RQE)** qui est le rapport entre le percentile 90 et la valeur de référence qui correspond au bon état.

Selon les zones géographiques et les typologies de masses d'eau, les **grilles de qualité** diffèrent.

4.2.1. En Océan Indien

A La Réunion, l'évaluation repose à ce jour uniquement sur l'indice biomasse faute de données suffisantes pour les autres indices. La grille de qualité a été adaptée (Tableau 6).

Tableau 6 : Grille de qualité pour le paramètre Chlorophylle *a* en océan Indien

	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
	Océan Indien				
Grille de l'indice (µg/L)	≤ 0.6	]0.6 - 0.9]	]0.9 - 1.8]	]1.8 - 3.7]	> 3.7
RQE	≥ 0.67	]0.67 - 0.44]	]0.44 - 0.22]	]0.22 - 0.11]	< 0.11

L'indicateur a été défini pour les masses d'eau côtières de type non récifal. Ce paramètre a été jugé non pertinent dans les masses d'eau côtières de type récifal.

La grille de qualité de La Réunion est utilisée pour Mayotte afin d'éclairer le dire d'expert (GT DCE Eaux littorales Mayotte - décembre 2022).

4.3. Indicateur Benthos de substrats meubles

4.3.1. AMBI (AZTI Marine Biotic Index)

Parmi les nombreux indicateurs développés/testés en Europe et dans le monde, le M-AMBI a été retenu par la France pour l'évaluation de la qualité des masses d'eau métropolitaines à l'issue de sa participation au GIG NEA¹. Il est basé sur l'indicateur de qualité écologique " AMBI " (Borja *et al.*, 2000), découlant lui-même des travaux de Glémarec et Hily (1981) et Hily (1984). Le GT "benthos de substrats meubles" réunionnais a testé cet indicateur à partir du jeu de données existantes (données Cartomar, données de la thèse de L. Bigot, données acquises dans le cadre d'études d'impact ainsi que dans les zones portuaires), puis a réalisé les adaptations nécessaires avant de valider cette méthode pour La Réunion (Bigot L. *et al.*, 2008).

Cet indicateur est calculé à l'aide des mesures effectuées sur les 6 ans d'un plan de gestion.

Glémarec et Hily ont développé un indicateur dont le principe repose sur le dénombrement d'espèces du macrozoobenthos vivant dans les sédiments. Ils ont classé les espèces en cinq groupes écologiques distincts selon leur affinité ou leur capacité à supporter des enrichissements en matière organique qui représente un des traceurs de la pression anthropique. Glémarec et Hily distinguent ainsi (Tableau 7) des espèces sensibles à cet enrichissement (qui disparaissent les premières en cas d'augmentation des apports ; ces espèces sont classées dans le Groupe I noté GI), des espèces indifférentes (GII), des espèces tolérantes (GIII), et des espèces opportunistes de second ordre (GIV ; qui se développent en cas d'enrichissement), ou opportunistes de premier ordre (GV ; espèces indicatrices par excellence proliférant dans les sédiments surchargés en en matière organique).

¹Groupe d'Intercalibration Géographique Nord Est Atlantique : groupe rassemblant les pays d'Europe pour s'accorder sur les métriques et seuils.

A partir de ces premiers travaux de Glémarec et Hily, Borja et ses collaborateurs ont affiné cet indicateur en proposant une formule mathématique qui permet d'obtenir une "note" en fonction des pourcentages respectifs des abondances des différents groupes écologiques. La note s'étage de 0 à 7 du très bon état au très mauvais. La note de 6 correspond à un milieu très enrichi en matière organique (très impacté), la note de 7 étant attribuée aux milieux azoïques.

La formule de Borja, Franco et Pérez est la suivante :

$$AMBI = \frac{(0 \times \%GI) + (1,5 \times \%GII) + (3 \times \%GIII) + (4,5 \times \%GIV) + (6 \times \%GV)}{100}$$

Tableau 7 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984)

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	Sensibles à une hypertrophisation	- Largement dominantes en condition normales - Disparaissent les premières lors de l'enrichissement du milieu - Dernières à se réinstaller	Suspensivores, carnivores sélectifs, quelques dépositivores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	Espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de MO	Carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	Tolérantes à une hypertrophisation	Naturellement présentes dans les vases, mais, leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu elles sont le signe d'un déséquilibre du système	Dépositivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé de MO
IV	Opportunistes de second ordre	Cycle de vie court (souvent <1an) prolifèrent dans les sédiments réduits	Dépositivores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	Prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	Dépositivores

4.3.2. M-AMBI

Suite à cette première proposition, Borja et son équipe ont fait évoluer l'indicateur et développé le M-AMBI ("Modified-Ambi") qui repose sur l'AMBI (Borja A. et al., 2004; Muxika I. et al., 2007), mais également sur la richesse spécifique, (i.e. le nombre d'espèces présentant au moins un individu par station) et sur l'indice de diversité de Shannon-Weaver donné par la formule :

$$H' = \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

Où : p_i = abondance proportionnelle ou pourcentage d'importance de l'espèce ($p_i = n_i/N$) ;
 S = nombre total d'espèces ;
 n_i = nombre d'individus d'une espèce dans l'échantillon ;
 N = nombre total d'individus de toutes les espèces dans l'échantillon.

Ces paramètres sont calculés pour toutes les stations. Avec le jeu de données résultant, une Analyse Factorielle des Correspondances est réalisée, déterminant trois axes perpendiculaires minimisant le critère des moindres carrés. La projection dans ce nouveau repère des deux points de référence correspondant à l'état le plus dégradé et l'état le meilleur, permet de définir un nouvel axe sur lequel sont projetés l'ensemble des points relatifs aux différentes stations (Figure 3). Pour chacun d'eux est calculée la distance qui le sépare du point le plus dégradé, en considérant que le segment de droite du point le plus dégradé à celui du meilleur état, a une longueur de 1. Cette distance bornée par 0 et 1 est le M-AMBI.

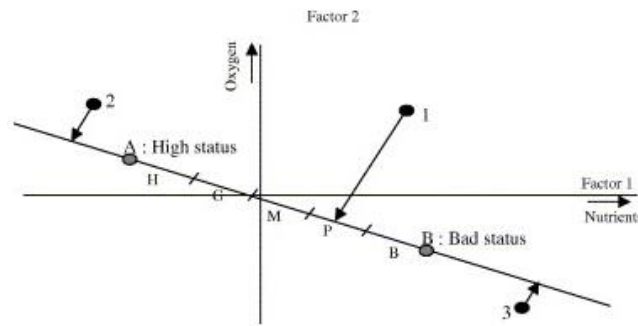


Figure 3 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald *et al.*, 2005)

En métropole, les stations échantillonnées se réfèrent à trois types d'environnement hydro-sédimentaires : sables fins plus ou moins envasés subtidaux, sables fins plus ou moins envasés intertidaux et enfin sables fins à moyens exposés. Ceci a amené le GT national à fixer trois conditions de référence distinctes (Tableau 8).

Tableau 8 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières des masses d'eau métropolitaines. La ligne orangée correspond aux conditions de La Réunion (d'après Bigot *et al.*, 2008)

Environnement hydro-sédimentaire	Etat	Richesse spécifique	Diversité de Shannon-Weaver	AMBI	M-AMBI
Sables fins plus ou moins envasés subtidaux	Très bon	53 à 55	4 à 4,5	0,15 à 0,22	0,90 à 0,95
	Très mauvais	1 ou 0	0	>5,5	>0,2
Sables fins plus ou moins envasés intertidaux	Très bon	35	4	1	1
	Très mauvais	1	0	6	0
Sables (fins à moyens) exposés	Très bon	15	3,5	1	1
	Très mauvais	1	0	6	0

La grille de correspondance retenue pour le M-AMBI en zone métropolitaine est présentée Tableau 9.

Tableau 9 : Limites des 5 classes "DCE" retenues pour l'indicateur M-AMBI

Etat	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
Classe M-AMBI	[0 - 0,20[	[0,20 - 0,39[	[0,39 - 0,53[	[0,53 - 0,77[	[0,77 - 1,00]

4.3.3. Application en océan Indien

A La Réunion, du fait de l'importance des houles cycloniques ou australes et des remaniements qu'elles exercent dans les zones sablo-vaseuses par petits fonds, moins de 20 mètres, le suivi interannuel en contrôle de surveillance de la macrofaune endogée ne pourra être réalisé (et n'aura de sens) que sur des stations situées à une profondeur comprise entre 25 et 70m. Par conséquent, seule la première ligne du Tableau 8 doit être prise en considération.

Néanmoins le suivi de pollutions locales liées à des rejets à la côte ou en zones peu profondes (rejets de nature organique), pourra être appréhendé au cas par cas dans le cadre de contrôles opérationnels de la DCE. L'utilisation des indicateurs AMBI et M-AMBI reste pertinente dans ces cas d'enrichissements ponctuels **mais caractérisés par de très fortes charges organiques et minérales**, comme cela a été démontré sur les secteurs de Bois Rouge (Saint-André) et de Beaufonds (Saint-Benoit) **à propos des rejets liés à l'industrie sucrière** (Bigot *et al.*, 2006, 2008).

L'adaptation du M-AMBI aux peuplements endogés de La Réunion a été réalisée par L. Bigot, et a porté sur :

- l'attribution **de nouvelles classes** de polluo-sensibilité aux espèces tropicales ne figurant pas dans les listes européennes, **à l'issue d'études portant sur la connaissance des espèces et leur autécologie dans leur contexte local**,
- un changement de classe pour certaines espèces, rendues plus ou moins sensibles, selon les cas, à l'enrichissement en matière organique, vraisemblablement du fait des conditions hydroclimatiques **spécifiques** en zone intertropicale (liste **en annexe 1**). Ces changements de classe de polluo-sensibilité ont donc été réalisés principalement à dire d'expert, à partir des jeux de données disponibles. Cette classification est susceptible d'évoluer très légèrement au fur et à mesure des connaissances acquises au cours des différents suivis.
- la modification des limites des intervalles de classes de qualité par rapport à celles adoptées en métropole (Tableau 10).

Tableau 10 : Limites des 5 classes " DCE " retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot *et al.*, 2008)

Etat	Mauvais	Médiocre	Moyen	Bon	Très bon
Classe M-AMBI	[0 – 0,20[	[0,20 - 0,40[	[0,40 - 0,61[	[0,61 - 0,82[	[0,82 – 1]

A noter pour conclure que lorsqu'une masse d'eau comprend plusieurs stations de suivi, la valeur du M-AMBI globale retenue pour cette masse d'eau correspond à la moyenne des valeurs déterminées sur chacune des stations : on moyenne les résultats du M-AMBI de chaque station, on ne "poole" pas l'ensemble des données des stations pour déterminer le M-AMBI.

Pour Mayotte, le travail d'adaptation du M-AMBI aux peuplements endogés de Mayotte **se poursuit et devrait être consolidé avec les résultats des prochaines campagnes – une campagne était prévue en 2023 mais n'a pas été programmée/réalisée.**

- Le classement des espèces dans les groupes de polluo-sensibilité **se base en première approche sur celui établi pour les masses d'eau côtières de La Réunion.**

Cette démarche est considérée comme acceptable compte tenu du fait que l'attribution d'un groupe à une espèce est généralement homogène à l'échelle de la zone tropicale, dans l'état actuel de la connaissance. L'ajustement de manière fine par rapport à la liste réunionnaise (ré-attribution de groupe) et l'ajout des espèces des eaux récifales de Mayotte (a minima 3 campagnes) avec attribution de groupe seront faits de manière progressive au cours de la phase de développement.

- Suite au GT de décembre 2022, il a été acté qu'il sera nécessaire de définir 2 grilles distinctes :

- une grille pour les masses d'eau dites « côtières » avec des seuils tenant compte du fonctionnement lié aux apports des bassins versants et de la présence d'espèces appartenant souvent à des groupes de polluo-sensibilité élevés (= grille « moins sévère »).
- une grille pour les masses d'eau dites « lagunaires » avec des seuils tenant compte de la présence d'écosystèmes coralliens plus « fragiles » et de nombreuses espèces appartenant le plus souvent à des groupes de polluo-sensibilité faibles (= grille « plus sévère »).

4.4. Indicateur Benthos de substrats durs

4.4.1. Généralités

A **Mayotte**, les protocoles de suivi **ont été** consolidés, l'état des masses d'eau pour le Benthos de Substrats Durs est défini à dire d'expert **sur la base des rapports de campagne en attendant la publication de prochain arrêté d'évaluation**.

A **La Réunion**, le travail de définition de l'indicateur a été mené par les experts des GT eaux littorales sur la base des données acquises depuis 1998 par la Réserve Naturelle Marine de La Réunion. Il prend en compte un certain nombre de métriques mesurées ou calculées à partir du LIT¹ Benthos (dont la liste est donnée dans le Tableau 11).

L'indicateur est calculé à l'aide des mesures effectuées sur les 6 ans d'un plan de gestion.

A partir de 2021, des modifications ont été apportées au calcul de l'indicateur, avec une modification de l'indice **ACB+ACT+ABRO (ex-ACB+ACT)** et l'ajout de l'indice **AST+POC**, suite au suivi MSA de 2019 et aux conclusions du rapport de Nicet et al. (2019).

L'indicateur est amené à évoluer dans les années à venir et prendre en considération des paramètres supplémentaires (mesurés par le Belt-invertébrés et/ou Belt-poissons).

Tableau 11 : Paramètres et métriques retenus par le GT BSD de La Réunion pour élaborer l'indicateur Pentes Externes

Paramètre	Métrique	Intitulé de l'Indice normalisé
Couverture en Corail dur	Vitalité (%) sur substrat dur (colonisable) Noté : Vitalité corallienne	VITALITE
Couverture des Acropores (CAC)	Part d'Acropores au sein des coraux durs vivants (%) Noté : %CAC	ACROPORES
Couverture des Acropores Branchus et Tabulaires et <i>Acropora abrotanoides</i>	Part d' ACT+ACB+ABRO au sein des Acropores (%) Noté : % ACB+ACT+ABRO	ACB+ACT+ABRO
Couverture des <i>Astreopora</i> et <i>Pocillopora</i>	Part d' AST+POC au sein des coraux durs vivants (%) Noté : % AST+POC	AST+POC

¹ Line Intersept Transect

Paramètre	Métrique	Intitulé de l'Indice normalisé
Couverture des Algues dressées	Part des Algues dressées sur le substrat disponible (%) Noté : % Algues dressées	ALGUES DRESSEES
Couverture des Algues Calcaires	Part des Algues calcaires sur le substrat disponible (%) Noté : % Algues calcaires	ALGUES CALCAIRES
Couverture en Corail mou (Alcyonaire)	Vitalité de Corail Mou (%) sur le substrat disponible (%) Noté : % Corail Mou	CORAIL MOU

La démarche a consisté, pour chacun de ces paramètres et métriques, à définir un référentiel pertinent, afin de constituer des indices. Certains paramètres, en regard de leur signification écologique, peuvent être qualifiés "d'améliorants", alors que d'autres sont "déclassants".

Les paramètres "améliorants" sont ceux dont l'augmentation est signe d'une amélioration de la qualité de la masse d'eau. Il s'agit de :

- **Vitalité** corallienne : couverture corallienne vivante (coraux durs) ramenée au substrat potentiellement colonisable, c'est-à-dire au substrat dur (en pourcentage),
- **CAC** : part d'**Acropores** au sein des coraux durs (en pourcentage),
- **ACB+ACT+ABRO** : part des Acropores branchus (ACB) et tabulaires (ACT) *et Acropora abrotanoides (Acropores sub-massifs)* au sein de la population des Acropores (en pourcentage),
- **Algues Calcaires** : couverture est ramenée au substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage) comme support potentiel pour le recrutement de coraux durs.

Les paramètres "déclassants" sont ceux dont une augmentation témoigne d'une altération de la qualité de la masse d'eau :

- **AST+POC** : part des coraux du genre *Astreopora* (AST, coraux encroûtants généralement) et *Pocillopora* (POC, coraux submassifs) au sein des coraux durs (en pourcentage),
- **Algues Dressées** : couverture d'algues dressées ramenée au substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage),
- **Corail Mou** : couverture absolue en coraux mous ramenée au substrat disponible (substrat dur non colonisé par du corail ; en pourcentage), comme facteur limitant le substrat potentiellement colonisable par les coraux durs.

Pour permettre de combiner et d'associer ces indices de métriques différentes, il a été nécessaire de les normaliser afin de pouvoir les regrouper et ainsi constituer l'indicateur final.

L'indicateur utilisé ici repose sur le protocole L.I.T. et les calculs sont réalisés sur des sommes totales de sections identiques (section = mesure en cm d'un élément).

L'ensemble des codes utilisés dans le calcul de l'indicateur final est présenté dans le Tableau 12.

Tableau 12 : Niveaux de regroupements utilisés dans le calcul de l'indicateur en fonction des groupes de taxons (A), des types de substrats (B) et des genres (C), les éléments indispensables pour les calculs sont colorés.

A		Regroupement		Groupes de taxons	
AL	Algues	Algues dressées	HMA	Algues dressées Dures	
			FMA	Algues dressées Molles	
		CA		Algues calcaires récifs	
		TA		Algues gazonnantes	
HC	Corail Dur	CAC Acropores	ACB	Acropore branchu	
			ACD	Acropore digité	
			ACE	Acropore encroûté	
			ACS ⁽¹⁾	Acropore submassif	
			ACT	Acropore tabulaire	
		NAC Non acropores	CB	Non-Acropore branchu	
			CE	Non-Acropore encroûtant	
			CF	Non-Acropore foliacé	
			CM	Non-Acropore massif	
			CME	Millépores	
			CMR	Non-Acropore champignons	
			CS	Non-Acropore submassif	
		CTU	Tubipores		
OT	Autre	OT	Autre		
		SP	Eponge		
		ZO	Zoanthaires		
SC			Corail Mou		

(1) Dans le groupe « ACS », seule l'espèce *Acropora abrotanoides* est prise en compte dans le calcul de l'indice.

B		Types de substrats	
Substrat colonisable par les algues	Substrat colonisable par le corail et les algues	RCK	Substrat dur colonisé
			Substrat dur nu / Roche nue
			Dalle Corallienne
		DC	Corail mort en place
R		Débris	
S		Sable	
V		Substrat meuble	

C		Genre	
HC	Corail Dur	AST	Astreopora
		POC	Pocillopora

4.4.2. Calcul des Indices

4.4.2.1. Indice VITALITE

Définition

La vitalité correspond à la couverture en corail dur (HC) ramenée au substrat potentiellement colonisable (en pourcentage)

Condition de calcul

La vitalité ne se calculera que si et seulement si la longueur absolue du substrat dur est supérieure à 10% du total du transect

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture en Corail Vivant (dur), "HC", toutes formes et tous genres confondus
- Substrat potentiellement colonisable

Calcul de la métrique

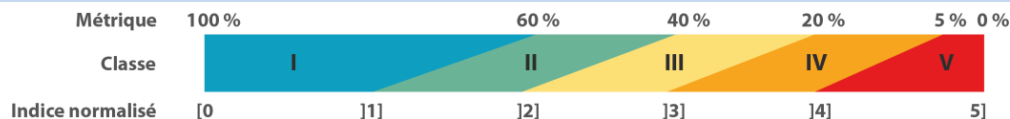
Formule Générale :

$$\text{Vitalité corallienne} = \frac{\text{Couverture en Corail Dur}}{\text{Substrats durs}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\text{Vitalité corallienne} = \frac{\sum \text{Section (HC)}}{\sum \text{Section (RCK + DC)}} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.2.2. Indice ACROPORES (CAC)

Définition

Il s'agit de calculer la part d'Acropores au sein des coraux durs (en pourcentage)

Condition de calcul

La part d'Acropores au sein du corail vivant n'a de sens que si le recouvrement en corail dur vivant absolu représente au moins 10% de la longueur du transect

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture en Acropores (somme des ACB, ACT, ACS, ACE et ACD)
- Couverture des coraux durs (HC)

Calcul de la métrique

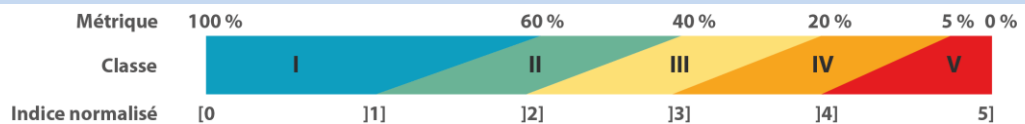
Formule Générale :

$$\%CAC = \frac{\text{Couverture en Acropores}}{\text{Couverture en Corail Dur}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\%CAC = \frac{\sum \text{Section (CAC)}}{\sum \text{Section (HC)}} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.2.3. Indice ACT + ACB + ABRO

Définition

Il s'agit de calculer la part des **acropores** branchus (ACB), tabulaires (ACT) et *Acropora abrotanoides* (ABRO, acropores submassifs) au sein de la population des Acropores (en pourcentage)

Condition de calcul

La part d'Acropores branchus et tabulaires et *A. abrotanoides* n'est calculée que si le total des Coraux Acropores absolu représente au moins 10% des coraux durs vivants ou 5% de la longueur du transect

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture d'ACB
- Couverture d'ACT
- Couverture d'ABRO
- Couverture de CAC

Calcul de la métrique

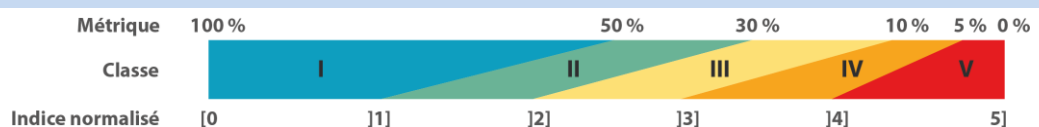
Formule Générale :

$$\%ACB + ACT + ABRO = \frac{\text{Couverture en Acropores branchus et tabulaires et } A. abrotanoides}{\text{Couverture en Acropores}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\%ACB + ACT + ABRO = \frac{\sum \text{Section (ACB + ACT + ABRO)}}{\sum \text{Section (CAC)}} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.2.1. Indice AST + POC

Définition

Il s'agit de calculer la part des coraux du genre *Astreopora* (AST) et *Pocillopora* (POC) au sein des coraux durs (en pourcentage)

Condition de calcul

La part d'*Astreopora* et *Pocillopora* n'est calculée que si le recouvrement en corail dur vivant absolu représente au moins 10% de la longueur du transect

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture d'AST
- Couverture de POC
- Couverture des coraux durs (HC)

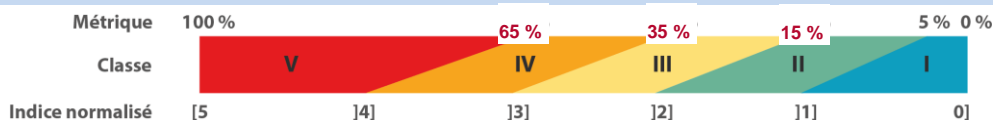
Calcul de la métrique

Formule Générale :

$$\%AST + POC = \frac{\text{Couverture en } Astreopora \text{ et } Pocillopora}{\text{Couverture en Corail Dur}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\%AST + POC = \frac{\sum \text{Section } (Astreopora + Pocillopora)}{\sum \text{Section } (HC)} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :

4.4.2.2. Indice ALGUES DRESSEES

Définition

Il s'agit de calculer la part des algues dressées sur le substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage)

Condition de calcul

La part d'Algues dressées par rapport au substrat disponible (dur et débris, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat est suffisamment important : minimum 10%

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture HMA
- Couverture FMA
- Substrat disponible

Calcul de la métrique

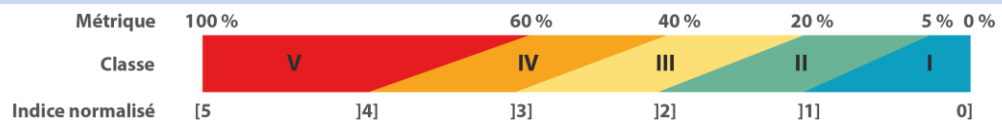
Formule Générale :

$$\% \text{ Algues Dressées} = \frac{\text{Couverture des Algues Dressées}}{\text{Substrat disponible}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\% \text{ Algues Dressées} = \frac{\sum \text{Section (HMA + FMA)}}{\sum \text{Section (RCK + DC + R)} - \sum \text{Section (HC)}} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.2.3. Indice ALGUES CALCAIRES

Définition

Il s'agit de calculer la part des algues calcaires sur le substrat disponible (dur et débris, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage)

Condition de calcul

La part d'Algues calcaires par rapport au substrat disponible (dur et débris, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat est suffisamment important : minimum 10%

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture CA
- Substrat disponible

Calcul de la métrique

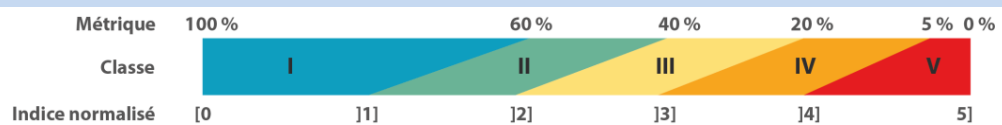
Formule Générale :

$$\% \text{ Algues Calcaires} = \frac{\text{Couverture des Algues Calcaires}}{\text{Substrat disponible}} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\% \text{ Algues Calcaires} = \frac{\sum \text{Section (CA)}}{\sum \text{Section (RCK + DC + R)} - \sum \text{Section (HC)}} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.2.4. Indice CORAIL MOU

Définition

Il s'agit de calculer la part du corail mou sur le substrat disponible (dur, sans le corail dur) pour la colonisation (en pourcentage).

Condition de calcul

On considère, ici, que la part de corail mou par rapport au substrat disponible (substrat dur, sans corail dur) ne peut être calculée que si ce même substrat représente au moins 2 mètres

Paramètres

Se référer au Tableau 12 pour les abréviations

- Couverture SC
- Substrat disponible

Calcul de la métrique

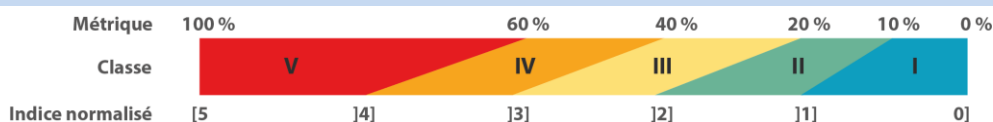
Formule Générale :

$$\%Corail\ Mou = \frac{Recouvrement\ Corail\ Mou}{Substrat\ disponible} \times 100$$

Mode de calcul en fonction du LIT :

$$\%Corail\ Mou = \frac{\sum Section\ (SC)}{\sum Section\ (RCK + DC) - \sum Section\ (HC)} \times 100$$

Référentiel - correspondance Métrique / Indice normalisé :



4.4.3. Indicateur

4.4.3.1. Synthèse des calculs – combinaison des indices calculés

La signification écologique des différents indices n'est pas homogène : certains indices retranscrivent mieux que d'autres la qualité de la biocénose benthique corallienne des pentes externes des platiers récifaux réunionnais, et représenteront de meilleures sentinelles pour déceler des évolutions, positives ou négatives, de cet état de santé. C'est en particulier le cas de la vitalité corallienne, de la proportion d'Acropores au sein du peuplement corallien qui représentent les paramètres caractéristiques de l'état de référence (*i.e.* très bon état "pristine"). A l'opposé, les zones dégradées ou en cours de dégradation sont caractérisées par une augmentation du recouvrement algal que retranscrit l'indice Algues Dressées.

Ces trois indices, Vitalité corallienne, part d'Acropores au sein du peuplement corallien et part d'Algues Dressées sont de meilleurs traceurs de la qualité des pentes externes que les 3 autres indices calculés. Il est donc nécessaire de leur donner plus de "poids". Des coefficients de pondération ont donc été appliqués aux différents indices en fonction de leur contribution au "bon" ou au "mauvais" état évalué par le groupe d'experts locaux. Le référentiel (grille et seuil) et les coefficients de pondération retenus sont présentés dans le Tableau 13.

Tableau 13 : Paramètres, référentiels et pondérations (ligne grisée) retenus pour le calcul de l'indicateur DCE Benthos de substrats durs des pentes externes des récifs frangeants de La Réunion.

VITALITE	CAC	ACB + ACT + ABRO	AST + POC	ALGUES DRESSEES	ALGUE-S CALCAIRES	CORAIL MOU	
Pondération							
10	5	1	2	2	1	1	
[0 ; 5[	[0 ; 5[	[0 ; 5[	[65 ; 100]	[60 ; 100]	[0 ; 5[	[60 ; 100]	Mauvais
[5 ; 20[	[5 ; 20[	[5 ; 10[	[35 ; 65[	[40 ; 60[	[5 ; 20[	[40 ; 60[	Médiocre
[20 ; 40[	[20 ; 40[	[10 ; 30[	[15 ; 35[	[20 ; 40[	[20 ; 40[	[20 ; 40[	Moyen
[40 ; 60[	[40 ; 60[	[30 ; 50[	[5 ; 15[	[5 ; 20[	[40 ; 60[	[10 ; 20[	Bon
[60 ; 100]	[60 ; 100]	[50 ; 100]	[0 ; 5[	[0 ; 5[	[60 ; 100]	[0 ; 10[	Très bon

Le processus de calcul de l'indicateur global associant les différents paramètres "améliorants" et "déclassants" en passant par le processus de normalisation des indices est détaillé dans la

Figure 4.

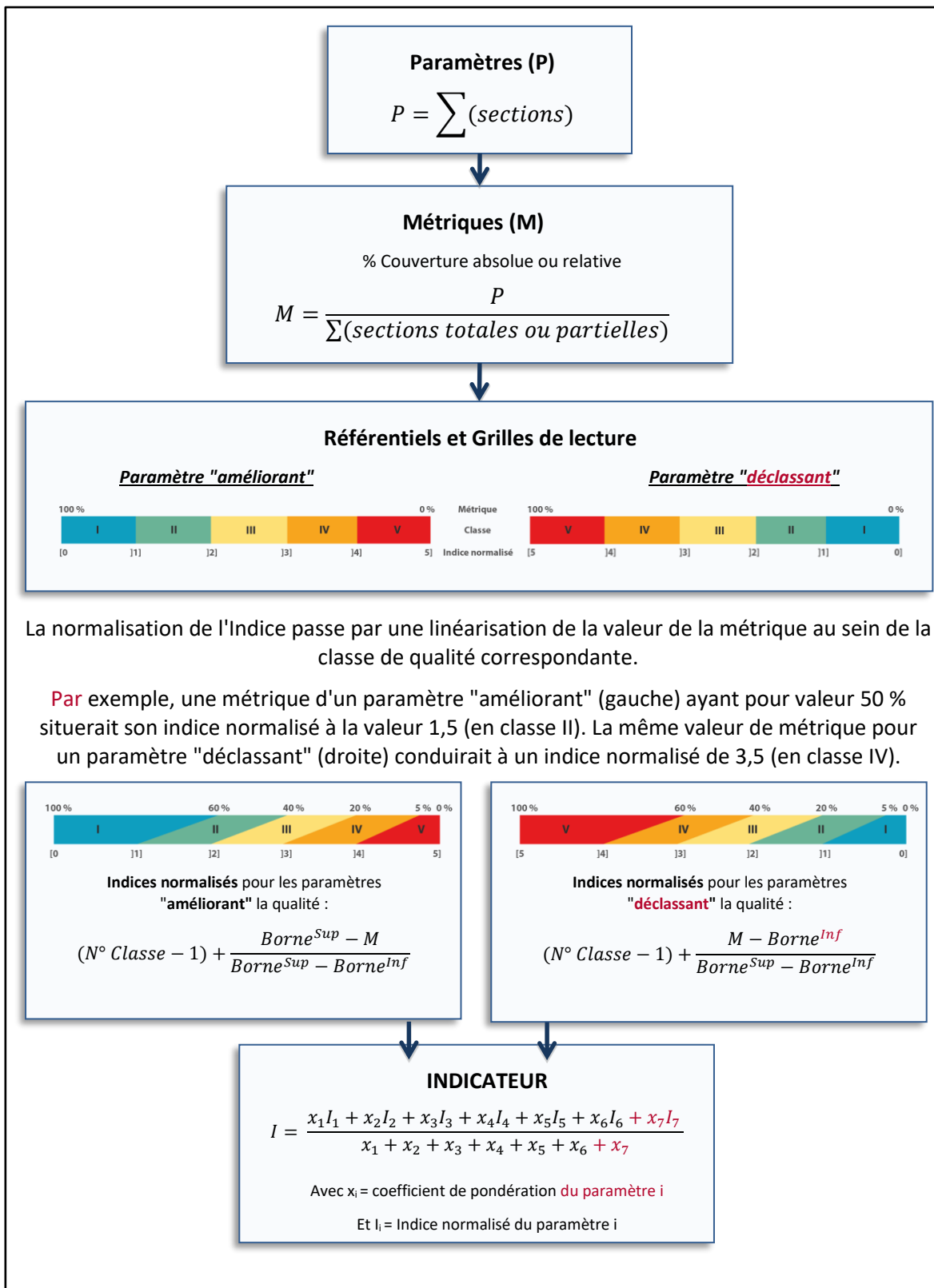


Figure 4 : Processus de calcul des indices normalisés permettant de calibrer les valeurs des métriques sur une seule et même grille de lecture pour permettre le calcul de l'indicateur par moyenne pondérée

4.4.3.2. Grille

L'indicateur global est calculé par une moyenne pondérée de tous les indices normalisés :

$$I = \frac{x_1 I_1 + x_2 I_2 + x_3 I_3 + x_4 I_4 + x_5 I_5 + x_6 I_6 + x_7 I_7}{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7}$$

Avec x_i = Coefficient de pondération appliqué à l'indice du paramètre i

I_i = Indice normalisé du paramètre i

L'indicateur varie ainsi de 0, "très bon" état à 5, "mauvais" état :

Tableau 14 : Référentiel de l'indicateur "Pente externe"

Etat	Très bon	Bon	Moyen	Médiocre	Mauvais
Indicateur	[0 ; 1]	]1 ; 2]	]2 ; 3]	]3 ; 4]	]4 ; 5]

Chaque masse d'eau peut compter plusieurs lieux de surveillance (stations), chacun étant caractérisée par un indicateur qui lui est propre. L'évaluation globale doit rendre compte de l'intégralité des stations et de l'hétérogénéité du milieu. Ainsi qualifier l'état d'une masse d'eau par le "benthos de substrats durs" doit reposer sur une moyenne des indicateurs calculés sur chaque station de la même masse d'eau.

5. EVALUATION DE L'ETAT ECOLOGIQUE

L'évaluation de l'état écologique (très bon, bon, moyen, médiocre, mauvais) est basée sur la qualité physico-chimique et biologique. La classe d'état de la masse d'eau est déterminée par la classe d'état la plus basse.

D'autres éléments de qualité (hydromorphologie et polluants spécifiques de l'état écologique-uniquement aux Antilles) peuvent être pris en compte dans la classification de l'état selon les règles précisées Figure 5.

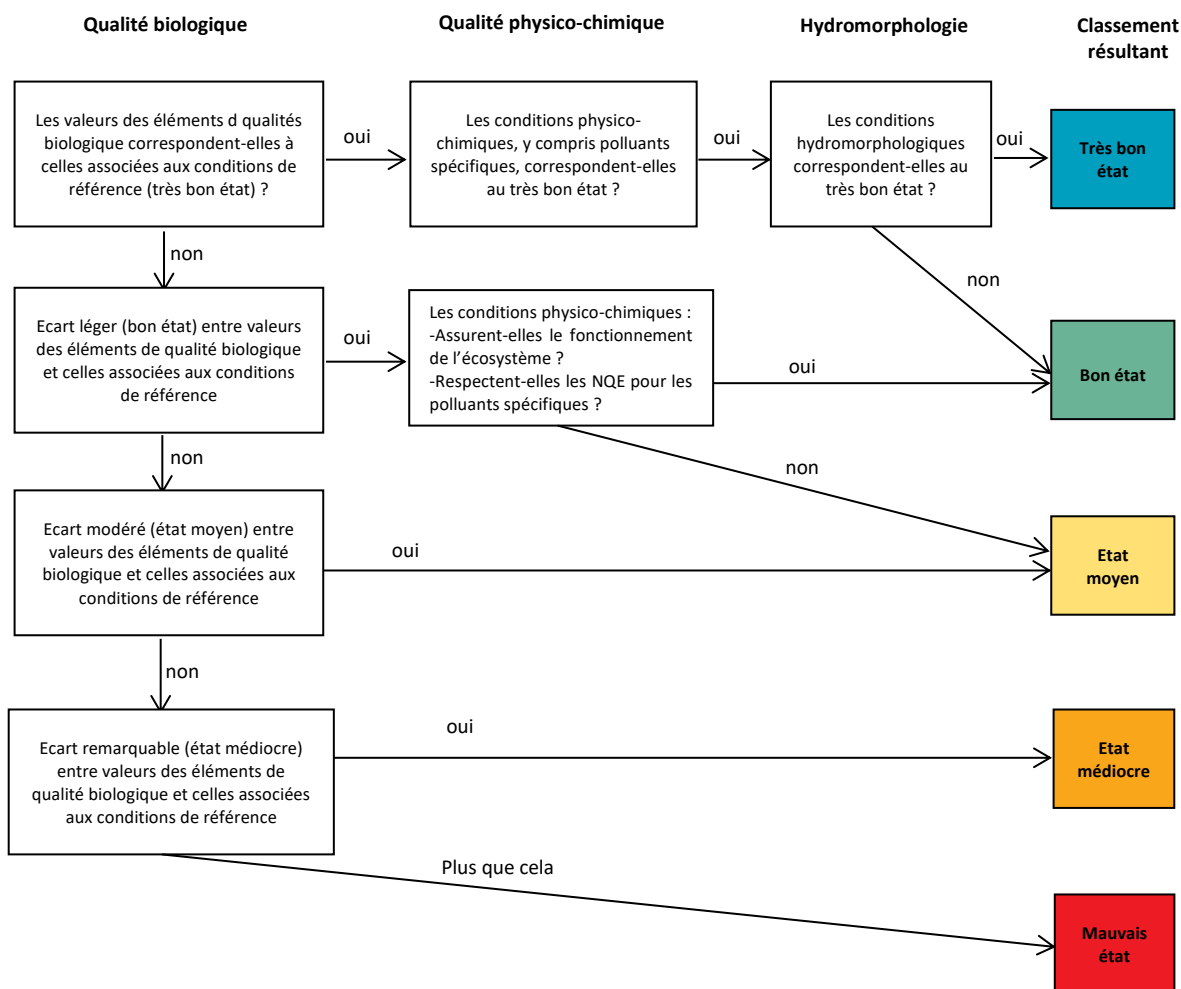


Figure 5 : Rôles respectifs des éléments de qualité dans la classification de l'état écologique (extrait du "Guide relatif aux Règles d'Evaluation de l'Etat des Eaux Littorales dans le cadre de la DCE", février 2018).

6. EVALUATION DE L'ETAT CHIMIQUE

6.1. Généralités

Le suivi "Contaminants Chimiques" du RCS contribue à l'évaluation de l'état chimique des masses d'eau ainsi qu'à l'évaluation de l'état écologique (polluants spécifiques-uniquement aux Antilles). Les paramètres permettant d'évaluer l'état des masses d'eau sont listés en Tableau 15.

Tableau 15 : Paramètres du contrôle de surveillance

RCS	Etat	Paramètre
Contaminants chimiques	Chimique	45 substances ou groupes de substances de l'annexe I de la directive 2008/105/CE dont 21 substances prioritaires dangereuses (SPD)
	Ecologique	<p><i>Polluants spécifiques * :</i></p> <p>Polluants synthétiques spécifiques, autres que les substances prioritaires, recensés comme étant déversés en quantités significatives dans le milieu : /</p> <p>Polluants non synthétiques spécifiques, autres que les substances prioritaires, recensés comme étant déversés en quantités significatives dans le milieu : /</p> <p>L'unique polluant spécifique de l'état écologique à surveiller en eaux littorales est le chlordécone en Guadeloupe et Martinique. A La Réunion et à Mayotte, il n'y a pas de liste de polluants spécifiques définie dans l'arrêté préfectoral établissant le programme de surveillance.</p>

* Les polluants spécifiques de l'état écologique sont les substances dangereuses pour les milieux aquatiques déversées en quantité significative dans les masses d'eau de chaque bassin ou sous bassin hydrographique. Elles sont arrêtées par les préfets coordonnateurs du bassin dans les schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE).

Au niveau français, les substances à suivre pour l'évaluation de l'état chimique dans toutes les masses d'eau côtières sont listées dans l'arrêté du 25 janvier 2010, modifié par l'arrêté du 7 août 2015 puis par les arrêtés des 27 juillet et 17 octobre 2018.

6.2. Evaluation de l'état chimique

L'évaluation de l'état chimique de la masse d'eau repose sur deux **Normes de Qualité Environnementale** (NQE) établies pour chaque substance ou groupe de substances dans la directive 2008/105/CE. Ces normes représentent des seuils à ne pas dépasser afin de protéger l'environnement et la santé humaine :

- la **NQE-CMA** : qui représente la Concentration Maximale Admissible ($\mu\text{g/L}$),
- la **NQE-MA** : qui présente la Concentration Moyenne Annuelle à ne pas dépasser ($\mu\text{g/L}$).

Il n'y a donc pas de grille d'indicateurs à proprement parler pour la surveillance des contaminants chimiques. Les paramètres à prendre en compte sont l'ensemble des substances listées dans les différentes directives. Les seuils à respecter sont, substance par substance, les NQE définis dans les directives. En cas de respect de l'ensemble des NQE, l'état chimique est qualifié de "bon". En cas de dépassement d'une NQE, l'état chimique est qualifié de "mauvais".

Tableau 16 : Classes d'évaluation de l'état chimique

	Bon état	Mauvais état
Critère	Respect des NQE	Non-respect des NQE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

GT DCE Réunion "Benthos Substrats Durs" (2023). Fascicule technique pour la mise en œuvre du suivi "Benthos de substrats durs" du réseau de contrôle de surveillance DCE à La Réunion. Projet Bon Etat II, réactualisation de l'état des lieux du SDAGE Réunion et Assistance technique au Bassin La Réunion. R.RBE/DOI/2023-005, 43p.

GT DCE Réunion et Mayotte "Benthos Substrats Meubles" (2021). Fascicule technique pour la mise en oeuvre du réseau de contrôle de surveillance DCE "Benthos de Substrats Meubles" à La Réunion. R.RBE/DOI/2021-004, 46p.

GTs DCE La Réunion et Mayotte "Contaminants Chimiques" (2019). Fascicule technique pour la mise en oeuvre des suivis "Contaminants chimiques" des réseaux de contrôle de surveillance DCE dans l'océan Indien. R.RBE/DOI/2019-006, 63p.

GTs DCE La Réunion et Mayotte "Physico-Chimie et Phytoplancton" (2020). Fascicule technique pour la mise en oeuvre des suivis "Paramètres Physico-Chimiques & Phytoplancton" des réseaux de contrôle de surveillance DCE dans l'océan Indien. R.RBE/DOI/2020-10, 61p.

Ministère de la Transition écologique et solidaire, 2018, Guide relatif aux règles d'évaluation de l'état des eaux littorales (eaux côtières et eaux de transition) dans le cadre de la DCE. 275p. GT DCE Réunion "Benthos de substrats durs". 2017.

Nicet Jean Benoit, Dufay Valère, Mouquet Pascal, Obura David, Pennober Gwenaëlle, Pinault Mathieu, Wickel Julien, Bigot Lionel, Chabanet Pascale (2019). Intensité et impact environnemental du blanchissement corallien massif de 2019 sur les récifs coralliens de La Réunion. Projet BECOMING 2019. Rapport MAREX, ESPACEDEV, ENTROPIE, UR, IRD, SEAS-OI, CORDIO pour la DEAL Réunion, la RNMR et l'IFRECOR, 70 pages + annexes

ONEMA, 2012. Compte-rendu Atelier indicateurs benthiques DCE (récifs coralliens et phanérogames) dans les DOM. 18 p + annexes.

Roport Michel, Duval Magali, Maurel Laurence, Vermenot Coralie, Mouquet Pascal, Nicet Jean Benoit, Talec Pascal, Le Goff Ronan (2012). PROJET BON ETAT II : Actualisation de l'état des lieux du SDAGE, Volet "eaux côtières réunionnaises". RST-DOI/2012-04.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1 : Schéma de l'évaluation de l'état d'une masse d'eau selon les prescriptions DCE	7
Figure 2 : Enveloppe sinusoïdale de référence définie pour l'indicateur température à La Réunion dans les masses d'eau côtières. Données du RHLR ;	14
Figure 3 : Définition du statut des stations échantillonnées par projection sur l'axe factoriel défini par les conditions de référence (d'après Bald <i>et al.</i> , 2005).....	19
Figure 4 : Processus de calcul des indices normalisés permettant de calibrer les valeurs des métriques sur une seule et même grille de lecture pour permettre le calcul de l'indicateur par moyenne pondérée	30
Figure 5 : Rôles respectifs des éléments de qualité dans la classification de l'état écologique (extrait du "Guide relatif aux Règles d'Evaluation de l'Etat des Eaux Littorales dans le cadre de la DCE", février 2018).....	32

Photos

Photo 1 : Couvertures des 4 fascicules techniques de définition des suivis du réseau de contrôle de surveillance à La Réunion et à Mayotte.	10
--	----

Tableaux

Tableau 1 : Différentes classes pour l'appréciation de l'état d'une masse d'eau	7
Tableau 2 : Grille de qualité pour le paramètre Oxygène dissous	12
Tableau 3 : Grilles de qualité pour le paramètre Transparence/Turbidité	13
Tableau 4 : Grille de qualité pour le paramètre Température dans les masses d'eau côtières..	14
Tableau 5 : Paramètres biologiques de l'état écologique	16
Tableau 6 : Grille de qualité pour le paramètre Chlorophylle a en océan Indien	17
Tableau 7 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984)	18
Tableau 8 : Conditions de référence retenues pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les eaux côtières des masses d'eau métropolitaines. La ligne orangée correspond aux conditions de La Réunion.....	19
Tableau 9 : Limites des 5 classes "DCE" retenues pour l'indicateur M-AMBI	19
Tableau 10 : Limites des 5 classes " DCE " retenues pour l'indicateur M-AMBI à La Réunion (Bigot <i>et al.</i> , 2008).....	20
Tableau 11 : Paramètres et métriques retenus par le GT BSD de La Réunion pour élaborer l'indicateur Pentes Externes.....	21
Tableau 12 : Niveaux de regroupements utilisés dans le calcul de l'indicateur en fonction des groupes de taxons (A), des types de substrats (B) et des genres (C), les éléments indispensables pour les calculs sont colorés.....	23

Tableau 13 : Paramètres, référentiels et pondérations (ligne grisée) retenus pour le calcul de l'indicateur DCE Benthos de substrats durs des pentes externes des récifs frangeants de La Réunion.....	29
Tableau 14 : Référentiel de l'indicateur "Pente externe".....	31
Tableau 15 : Paramètres du contrôle de surveillance	33
Tableau 16 : Classes d'évaluation de l'état chimique	34