



**HAL**  
open science

## Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en Outre-Mer : L'indice invertébrés multimétrique I2M2-MAYOTTE

Nathalie J Mary, Albin Meyer, Houvriez Lucie, Gomez Livia, Usseglio-Polatera  
Philippe

### ► To cite this version:

Nathalie J Mary, Albin Meyer, Houvriez Lucie, Gomez Livia, Usseglio-Polatera Philippe. Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en Outre-Mer : L'indice invertébrés multimétrique I2M2-MAYOTTE. ETHYCO; LIEC Université de Lorraine; INRAE - EABX; OFB, Office Français de la Biodiversité. 2023. hal-04369661

**HAL Id: hal-04369661**

**<https://hal.science/hal-04369661>**

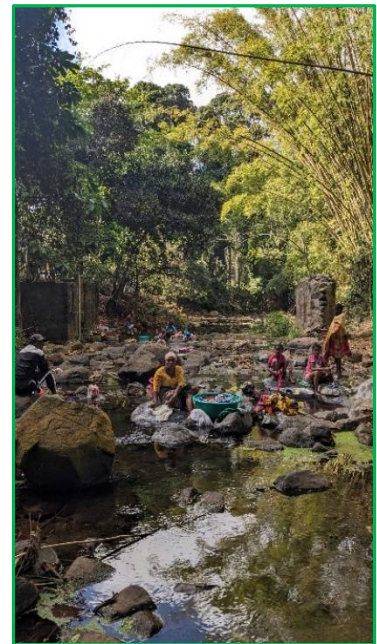
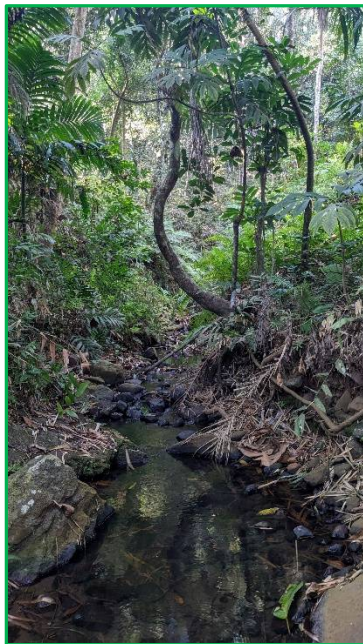
Submitted on 2 Jan 2024

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

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

# Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en Outre-Mer

## L'INDICE INVERTÉBRÉS MULTIMÉTRIQUE I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE



Ce document présente la méthode biologique réglementaire d'évaluation de l'état des cours d'eau de Mayotte fondée sur la macrofaune benthique, ou indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, ainsi que les modalités pratiques de sa mise en œuvre. Ce guide est téléchargeable sur le site HAL de l'Office français de la biodiversité (OFB), ainsi que sur le portail partenarial « les documents sur l'eau et la biodiversité » ([www.documentation.eauetbiodiversite.fr](http://www.documentation.eauetbiodiversite.fr)).

Le calcul des valeurs indicielles se fait via un module de calcul en libre accès dans le Système d'évaluation de l'état des eaux (<http://www.seee.eaufrance.fr/>).

# **Guide pour la mise en œuvre d'indices biologiques en Outre-Mer**

## **L'INDICE INVERTÉBRÉS MULTIMÉTRIQUE I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE**

Mary N., Meyer A., Houvriez L., Gomez L., Usseglio-Polatera P.

## Auteurs et contributeurs

---

### Coordinateur

**Olivier Monnier** (olivier.monnier@ofb.gouv.fr), Office français de la biodiversité

### Auteurs

**Nathalie Mary** (ethyco2005@gmail.com), ETHYC'O (Nouvelle-Calédonie),

**Albin Meyer** (albin.meyer@inrae.fr), LIEC CNRS UMR 7360 – Université de Lorraine (actuellement à l'INRAE Bordeaux)

**Lucie Houvriez**, Stagiaire Master 2 (LIEC CNRS UMR 7360 – étudiante de l'Université de Lille)

**Livia Gomez**, Stagiaire Licence 3 (LIEC CNRS UMR 7360 – étudiante de l'Université de Lorraine)

**Philippe Usseglio-Polatera** (philippe.usseglio-polatera@univ-lorraine.fr), LIEC CNRS UMR 7360 – Université de Lorraine

### Contributeurs

**Nicolas Hette-Tronquart** (nicolas.hette-tronquart@ofb.gouv.fr), Chargé de mission « fonctionnement des écosystèmes continentaux », Service Mobilisation de la Recherche et enjeux transversaux, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique

**Laetitia Faivre** (laetitia.faivre@oceana.re), Chargée de Recherche en écologie aquatique, OCEA Consult' (Ile de la Réunion)

## Avant-propos

---

L'indice invertébrés multimétrique de Mayotte ou I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, objet du présent document, a été développé conjointement par le Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux (LIEC) de l'Université de Lorraine et le bureau d'études Ethyc'O, dans le cadre d'un programme de Recherche-Développement initié par l'Office français de la biodiversité (OFB), en partenariat avec l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Thonon-Les-Bains (UMR Carrtel), ainsi que la Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement (Deal) et le Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) de Mayotte, afin de doter ce département d'un outil « DCE-compatible ». L'usage de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est recommandé pour le suivi du réseau de contrôle de surveillance (RCS).

## Résumé

---

L'indice invertébrés multimétrique de Mayotte (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE) est un outil de bioindication destiné à l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau peu profonds de l'île principale de Mayotte (appelée Grande Terre), à partir de l'étude de la structure des communautés des macroinvertébrés qui peuplent le fond des rivières.

Le présent guide a pour objectif de cadrer la mise en œuvre opérationnelle de la méthode indiciaire afin d'obtenir les résultats d'évaluation les plus fiables possibles, depuis la phase de prospection sur le terrain (échantillonnage) jusqu'au calcul de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (note ou EQR), en passant par la phase de traitement des échantillons récoltés, de l'identification et du comptage des taxons. En effet, des erreurs peuvent être générées à chaque phase de la mise en pratique de la méthode. Destiné plus particulièrement aux hydrobiologistes, ce guide vise à les orienter vers une utilisation optimisée et homogène de la méthode développée pour Mayotte, afin d'acquies des résultats représentatifs et comparables dans l'espace et dans le temps. Ce document devrait également être utile aux institutionnels et commanditaires d'études qui y trouveront des éléments de réponses à leurs attentes et matière à préciser leur cahier des charges. Le présent guide ne saurait se substituer à une formation adaptée d'opérateurs qualifiés.

## Mots clés

---

Bioindication, cours d'eau, Directive cadre sur l'eau (DCE), I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, macroinvertébrés benthiques, Mayotte, outil multimétrique, préférences écologiques, qualité biologique, Réseau de contrôle et de surveillance (RCS).

## Sigles et abréviations

---

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| CARTEL :                        | Centre alpin de recherche sur les réseaux trophiques et les écosystèmes limniques    |
| DCE :                           | Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/EC, 2000)                               |
| DE :                            | Efficacité de discrimination ( <i>discrimination efficiency</i> )                    |
| DEAL :                          | Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement                        |
| DOM :                           | Département d'Outre-Mer  |
| EOB :                           | Élément de qualité biologique  |
| EQR :                           | <i>Ecological quality ratio</i> (ratio de qualité écologique)                        |
| ETHYc'O :                       | Étude des hydrosystèmes insulaires tropicaux   |
| I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> : | Indice invertébrés multimétrique   |
| INRAE :                         | Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement |
| IRR :                           | <i>Impaired river reaches</i>  |
| LIEC :                          | Laboratoire interdisciplinaire des environnements continentaux                       |
| LIRR :                          | <i>Least impaired river reaches</i>  |
| LM :                            | Longueur mouillée  |
| LPB :                           | Largeur plein bord   |
| LT :                            | Longueur total du point de prélèvement   |
| MES :                           | Matières en suspension   |
| MO :                            | Matières organiques  |
| OFB :                           | Office français de la biodiversité   |
| OPC :                           | Opération de contrôle  |
| RCS :                           | Réseau de contrôle et de surveillance  |
| SANDRE :                        | Service d'administration nationale des données et référentiels sur l'eau             |
| SDAGE :                         | Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux                                |
| SEEE :                          | Système d'évaluation de l'état des eaux  |
| SEQ-eau :                       | Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau                          |
| SES :                           | <i>Standardized effect size</i>  |
| SM :                            | Surface mouillée   |
| SNDE :                          | Schéma national des données sur l'eau  |



## Sommaire

---

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Auteurs et contributeurs</i> .....   | 2         |
| <i>Avant-propos</i> .....   | 3         |
| <i>Résumé</i> .....   | 4         |
| <i>Mots clés</i> .....  | 4         |
| <i>Sigles et abréviations</i> .....   | 5         |
| <br>  |           |
| <b>1</b> <i>Le contexte et les objectifs du guide</i> .....   | <b>8</b>  |
| <br>  |           |
| <b>2</b> <i>Démarche de mise au point de l'indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE</i> .....  | <b>9</b>  |
| 2.1 Historique du suivi de la qualité biologique des cours d'eau de Mayotte.....  | 9         |
| 2.2 Les données considérées pour le développement de l'indice multimétrique.....  | 9         |
| 2.3 La construction de l'indice .....   | 11        |
| 2.3.1 <i>Sélection des métriques candidates à l'élaboration de l'indice multimétrique</i> .....                           | 11        |
| 2.3.2 <i>Combinaison des métriques et construction de l'indice multimétrique</i> .....                                    | 12        |
| 2.4 L'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> -MAYOTTE.....   | 13        |
| 2.5 Les classes d'état écologique .....   | 14        |
| <br>  |           |
| <b>3</b> <i>Conditions et limites de mise en œuvre de l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE</i> ..... | <b>16</b> |
| 3.1 Limites d'application de la méthode .....   | 16        |
| 3.2 Facteurs limitant l'échantillonnage.....  | 16        |
| 3.3 La période d'échantillonnage.....   | 17        |
| 3.4 Les conditions de prélèvement .....   | 18        |
| 3.4.1 <i>Délais à respecter après une crue ou un assec</i> .....  | 18        |
| 3.4.2 <i>Échantillonnage par temps pluvieux</i> .....   | 19        |
| <br>  |           |
| <b>4</b> <i>L'échantillonnage de la macrofaune benthique</i> .....  | <b>20</b> |
| 4.1 Matériel de terrain .....   | 20        |
| 4.2 Définition du point de prélèvement.....   | 20        |
| 4.2.1 <i>Cas des réseaux de suivi</i> .....   | 20        |
| 4.2.2 <i>Positionnement et délimitation du point de prélèvement</i> .....   | 21        |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.3   | Le protocole de prélèvement de la macrofaune benthique .....  | 23 |
| 4.3.1 | Nature des substrats prélevés dans les cours d'eau de Mayotte .....   | 23 |
| 4.3.2 | Estimation de la superficie mouillée du point de prélèvement .....  | 25 |
| 4.3.3 | Repérage des substrats et estimation de leur superficie relative .....  | 25 |
| 4.3.4 | Repérage des classes de vitesses de courant et de leur représentativité dans la station .....                 | 26 |
| 4.3.5 | Élaboration du plan d'échantillonnage .....   | 26 |
| 4.4   | La fiche de terrain .....   | 30 |
| 5     | Acquisition des données biologiques et calcul des notes indicielles .....                                     | 32 |
| 5.1   | Le traitement des échantillons au laboratoire .....   | 32 |
| 5.2   | Bancarisation des données .....   | 34 |
| 5.3   | Le calcul des notes indicielles via le SEEE .....   | 34 |
| 6     | Conclusions .....   | 38 |
|       | Glossaire .....   | 40 |
|       | Bibliographie .....   | 42 |
|       | Table des illustrations .....   | 43 |
|       | Tableaux .....  | 43 |
|       | Figures .....   | 44 |
|       | Annexes .....   | 45 |
|       | Annexe 1 : Matériel nécessaire pour l'échantillonnage de la macrofaune benthique (liste non exhaustive) ..... | 45 |
|       | Annexe 2 : Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (d'après Malavoi et Souchon, 2002) .....   | 46 |
|       | Annexe 3 : Fiche de terrain – Données mésologiques et faunistiques .....                                      | 47 |
|       | Annexe 4 : Exemples de plans d'échantillonnage .....  | 50 |
|       | Annexe 5 : Liste des ouvrages de référence de détermination de la macrofaune benthique .....                  | 52 |
|       | Annexe 6 : Taxons considérés dans le calcul de l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> -MAYOTTE. ....                 | 53 |

# 1 Le contexte et les objectifs du guide

Département d'outre-mer (DOM) de la République Française depuis mars 2011, Mayotte forme la partie orientale la plus ancienne de l'archipel des Comores. Composée de deux îles principales, Grande-Terre et Petite-Terre (374 km<sup>2</sup> de superficie totale), Mayotte présente un bassin hydrographique unique, composé d'un grand nombre de ravines au linéaire court et de 26 masses d'eau « cours d'eau » réparties exclusivement sur Grande-Terre. La partie amont des cours d'eau reste relativement préservée des activités humaines, ce qui permet le maintien d'une bonne qualité des eaux. En revanche, une dégradation significative de la qualité de l'eau est observée en aval et aux embouchures des rivières. Plusieurs facteurs contribuent à expliquer cette dégradation, notamment le dysfonctionnement des réseaux d'assainissement collectif et l'absence d'assainissement non collectif, ce qui génère d'importants rejets d'effluents domestiques non traités dans les cours d'eau (CEB & Deal 2022). De plus, la mauvaise gestion des eaux pluviales urbaines, l'érosion due à l'urbanisation et au défrichement, les activités domestiques, telles que le lavage du linge dans les cours d'eau, ainsi que les activités industrielles et les décharges sauvages, génèrent des pollutions sédimentaires et toxiques multiples (détergents, phosphates, tensio-actifs, hydrocarbures, micropolluants métalliques, etc.).

L'ensemble des masses d'eau de Mayotte a été identifié dans l'état des lieux du Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) validé en octobre 2007, puis mis à jour en 2013 (Pareto & Asconit 2013) et révisé en 2019 (Egis *et al.* 2020). Plusieurs arrêtés nationaux et locaux publiés depuis 2010, dont l'arrêté préfectoral n°2015-355-DEAL-SEPR du 30 décembre 2015, fixent le programme de surveillance de l'état des masses d'eau du bassin de Mayotte.

La Directive cadre européenne sur l'eau (DCE), mise en place en 2000, a pour principal objectif de protéger et de restaurer le bon état chimique et écologique des masses d'eau de surface et souterraines dans les États membres de l'Union européenne. En vertu de cette directive, les pays européens, y compris la France et ses départements d'outre-mer tels que Mayotte, sont tenus d'évaluer la qualité de leurs masses d'eau au moyen d'éléments de qualité biologique (EQB) tels que les poissons, les invertébrés benthiques, les diatomées et les plantes aquatiques. L'évaluation consiste à comparer les communautés biologiques observées dans un site donné avec celles de sites de référence qui correspondent aux sites les plus proches des conditions naturelles et présentent des niveaux de pression anthropique les plus faibles possibles. La typologie des masses d'eau, l'abondance, la diversité et la sensibilité des espèces à la pollution doivent être prises en compte dans cette évaluation.

Afin de répondre aux exigences de la DCE, un indice multimétrique, fondé sur les caractéristiques taxonomiques et les traits bio/écologiques des communautés d'invertébrés vivant sur le fond des cours d'eau, a récemment été conçu pour l'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau de Mayotte (Meyer *et al.* 2020). En effet, parmi les EQB, les macroinvertébrés benthiques sont largement utilisés, en raison notamment de leur diversité taxonomique, de leurs exigences écologiques variées, de leur faible mobilité relative et de la facilité avec laquelle ils peuvent être collectés.

Le présent guide méthodologique a pour objectif de décrire précisément chacune des étapes clés de la mise en œuvre opérationnelle de la méthode indiciaire I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, depuis la phase de prospection sur le terrain (échantillonnage) jusqu'au calcul de l'indice (EQR), en passant par la phase de traitement des échantillons, afin d'obtenir les résultats d'évaluation les plus fiables possibles. En effet, des incertitudes peuvent être générées à chaque niveau de mise en œuvre du protocole. Le document présente également la démarche de mise au point de l'indicateur développé pour Mayotte. Ce guide méthodologique n'a cependant pas pour vocation de se substituer à une formation adaptée des opérateurs en charge du contrôle de surveillance (commanditaires et prestataires).

## 2 Démarche de mise au point de l'indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

La démarche de mise au point de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est détaillée dans le rapport de Meyer *et al.* (2020), ainsi que dans la publication à venir Meyer *et al.* (soumis). A l'instar de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> développé pour la France métropolitaine (Mondy *et al.* 2012), l'indice invertébrés multimétrique de Mayotte est fondé sur les caractéristiques taxonomiques et les traits bio/écologiques des communautés de macroinvertébrés vivant sur le fond des cours d'eau.

### 2.1 Historique du suivi de la qualité biologique des cours d'eau de Mayotte

Le suivi de la qualité biologique des cours d'eau de Mayotte a débuté en 2008, lors d'un programme d'étude visant à définir le réseau de contrôle de surveillance (RCS), via l'étude des communautés de macrofaune benthique, diatomées, poissons et macro-crustacés (Arda *et al.* 2010). Un réseau de 15 stations a ensuite été suivi durant les étiages 2011 à 2015 sur la base des préconisations issues de ce programme. De plus, en prévision de la mise au point du présent indice multimétrique (programme Inrae/OFB initié en 2013), plusieurs campagnes d'échantillonnage ont eu lieu entre juillet 2013 et août 2015 sur des stations de rivières situées en zone de référence et en milieu significativement pollué. Enfin, pour le premier cycle DCE 2016-2021<sup>1</sup>, une refonte du réseau de surveillance a été réalisée, aboutissant au RCS actuel qui comprend 20 stations de suivi.

Le cycle 2022-2027 constitue donc le second cycle de gestion de la DCE pour Mayotte. Au total, 297 opérations de contrôle (OPC) ont été réalisées entre octobre 2008 et septembre 2022 pour le suivi de la qualité biologique des cours d'eau au moyen des communautés de macroinvertébrés benthiques. Jusqu'à 2018, l'évaluation de la qualité biologique des stations du RCS était réalisée « à dire d'expert », au moyen de diverses métriques taxonomiques.

### 2.2 Les données considérées pour le développement de l'indice multimétrique

L'indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE a été mis au point en considérant :

1/ l'ensemble des données faunistiques issues des campagnes d'échantillonnage réalisées entre octobre 2008 et août 2018 dans les cours d'eau de Mayotte : suivi du RCS et des stations dites de « référence » et de sites significativement pollués. Un total de 237 OPC était disponible ;

<sup>1</sup> Le bassin de Mayotte a mis en place une surveillance *a minima* pour les masses d'eau depuis 2008. Puis, suite à son rattachement au statut de région ultrapériphérique de l'Europe (RUP) en 2014, la mise en œuvre de la DCE y est devenue obligatoire. Compte tenu de ce retard par rapport aux autres districts hydrographiques français soumis à la DCE et des contraintes organisationnelles que cela implique, Mayotte bénéficie d'un décalage de six ans par rapport aux autres districts. Ainsi, bien qu'un premier Sdage ait été réalisé en 2011, le premier cycle de gestion de la DCE s'est échelonné entre 2016 et 2021. Le cycle 2022-2027 constitue le second cycle pour Mayotte (cf. directive 2013/64/UE du conseil du 17 décembre 2013, modifiant les directives 91/271/CEE et 1999/74/CE du Conseil et les directives 2000/60/CE, 2006/7/CE, 2006/25/CE et 2011/24/UE du Parlement européen et du Conseil, suite à la modification du statut de Mayotte à l'égard de l'Union européenne) (CEB & Deal 2022).

2/ les données physico-chimiques et météorologiques collectées sur ces mêmes OPC. Celles-ci ont été caractérisées en sites impactés (IRR = *Impacted River Reaches*) et en sites peu impactés (LIRR = *Least Impacted River Reaches*) pour les cinq catégories de pression suivantes : « usages coutumiers/lessive », « élevages/zébus », « nutriments » (formes de l'azote et du phosphore), « matières organiques et oxydables » et « matières en suspension (MES) », sur la base des seuils du SEQ-eau V2<sup>2</sup> pour les paramètres physico-chimiques (parfois adaptés aux spécificités locales).

La caractérisation des sites comme impactés ou peu impactés a été réalisée pour 179 OPC parmi les 237, sur la base de la disponibilité des données physico-chimiques et météorologiques. De plus, 24 OPC ont été classées comme des LIRR, à dire d'expert. Ainsi, un jeu de données de 179 + 24, soit un total de **203 OPC**, a été constitué à partir des OPC dont la situation LIRR vs. IRR a pu être caractérisée.

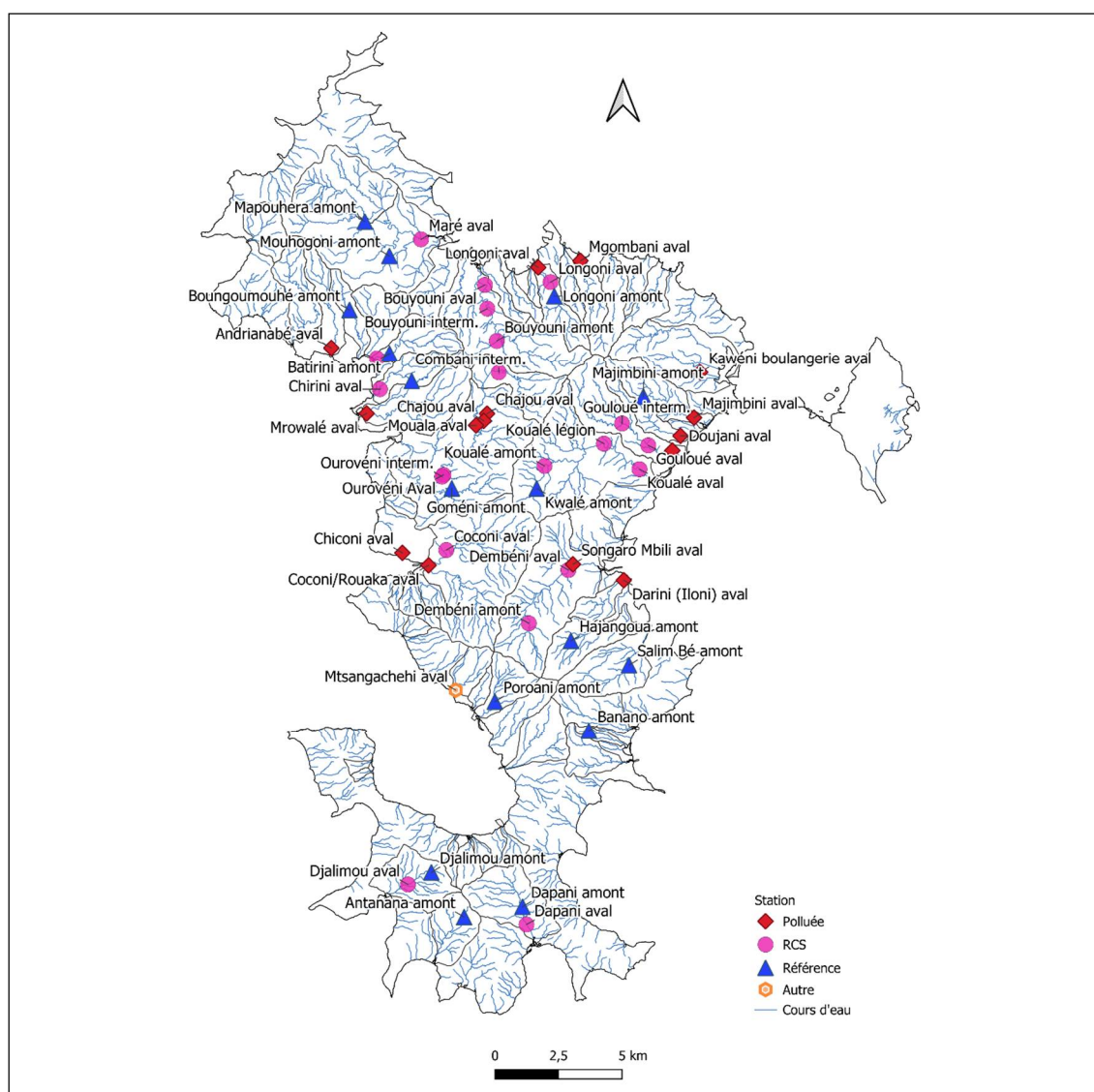


Figure 2.1. Localisation des stations du RCS, des stations dites de « référence » et des sites significativement pollués considérés pour le développement de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE (Ocea Consult')

<sup>2</sup> Ce système d'évaluation de la qualité des cours d'eau permet d'apprécier la qualité physico-chimique et chimique des cours d'eau à travers différentes grilles d'évaluation : I. classes d'aptitudes à la biologie ; II. classes d'aptitude aux usages ; III. classes et indices de qualité de l'eau par altération (MEDD & Agences de l'Eau, 2003).

3/ une base de données sur les traits bio/écologiques des taxons d'invertébrés benthiques recensés dans les cours d'eau mahorais, élaborée selon le même schéma que celle conçue pour la métropole (Tachet *et al.* 2010). Vingt-et-un traits ont été renseignés pour plus de 160 taxons, à partir d'informations issues d'une centaine d'articles scientifiques (p. ex. les traits biologiques liés à la « taille maximale potentielle » et aux « techniques de respiration » ou les traits écologiques liés aux « préférences en matière de substrat » et à la « distribution altitudinale ») (Gomez 2016 ; Houvriez 2017).

L'information bibliographique bancarisée a été traduite numériquement par codage flou, puis transformée en distribution de fréquences relatives. Cette information sert de support au calcul de **169 métriques** fondées sur les traits biologiques et les préférences écologiques des invertébrés benthiques (p. ex. la fréquence relative d'utilisation de la gamme de taille maximale potentielle [0,5 mm - 1 mm] ou la fréquence relative d'utilisation d'un mode de respiration tégumentaire par les invertébrés de la communauté échantillonnée).

Ces métriques ont été complétées par **66 métriques** taxonomiques, caractérisant la structure et la composition des assemblages d'invertébrés benthiques, telles que la richesse taxonomique totale S, l'équitabilité de Pielou J ou l'abondance relative en insectes Éphéméroptères.

Un total de **235 métriques** candidates a ainsi été considéré pour la construction de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE.

## 2.3 La construction de l'indice

La DCE recommande de comparer l'état des peuplements observés dans la station d'étude à des peuplements de référence, mais également d'exprimer les résultats en termes de ratios de qualité écologique (EQR) afin que les résultats puissent être comparés entre les différents états membres européens. Pour répondre à ce critère, ont été considérés le modèle et l'intensité de la réponse de chacune des 235 métriques présélectionnées vis-à-vis des cinq catégories de pression identifiées (matières organiques et oxydables, nutriments, MES, usages coutumiers/lessive, élevage/zébus). Au préalable, les valeurs des métriques ont été transformées en écarts normalisés (SES), puis en EQR (Fig. 2.2).

### 2.3.1 Sélection des métriques candidates à l'élaboration de l'indice multimétrique

La sélection des métriques candidates à l'élaboration de l'indice invertébré multimétrique a été effectuée sur la base de cinq critères complémentaires :

- un caractère généraliste (aptitude à répondre significativement aux cinq types de pressions, c'est-à-dire à distinguer significativement le bon état d'un état perturbé) ;
- une efficacité de discrimination (DE) élevée face aux pressions anthropiques (aptitude à distinguer significativement le plus fort pourcentage moyen de situations perturbées) ;
- un même type de réponse quelle que soit la catégorie de pression [réponse de type monotone dans des conditions d'altération (IRRs)] ;
- une stabilité en conditions de référence (valeurs faiblement variables dans les LIRRs) ;
- une robustesse vis-à-vis du jeu de données d'apprentissage (capacité à satisfaire aux quatre critères précédents sur un grand nombre de jeux d'apprentissage).



Ont été considérés les résultats fournis par 1 000 sous-jeux de données différents, comprenant à chaque itération environ 75 % des OPC sélectionnées aléatoirement parmi la totalité des OPC du jeu de données de construction (soit 155 OPC). Afin d'augmenter la robustesse de cette étape de sélection, il a été conservé, dans tous les jeux de données simulés, un ratio LIRRs/IRRs identique.

Pour être retenue, toute métrique candidate devait respecter l'ensemble des conditions associées aux quatre premiers critères présentés ci-dessus dans au moins 400 jeux de données sur les 1 000 considérés. De plus, un critère de « non-redondance » a été appliqué, afin de ne conserver, parmi les métriques apportant le même type d'information écologique, uniquement celles qui présentaient le pouvoir de discrimination moyen le plus élevé sur l'ensemble des cinq types de pression. **Dix-sept métriques** candidates ont ainsi été retenues.

### 2.3.2 Combinaison des métriques et construction de l'indice multimétrique

Pour chacune des 17 métriques retenues, un processus itératif a été appliqué en fixant cette métrique comme métrique initiale de l'indice, puis en agrégeant successivement d'autres métriques candidates pour former un indice multimétrique potentiel. À chaque itération, la métrique agrégée est celle qui assure la plus grande augmentation du pouvoir de discrimination moyen de l'indice formé sur les cinq types de pression. Le processus itératif d'agrégation s'arrête lorsque l'ajout d'aucune métrique supplémentaire ne permet d'améliorer le pouvoir de discrimination moyen de l'indice formé sur l'ensemble des cinq catégories de pressions. Cette approche a donc permis de générer 17 indices multimétriques candidats.

Afin de maximiser la robustesse de cette étape d'analyse, chaque construction d'indice multimétrique potentiel a été répétée 100 fois, au moyen de 100 sous-jeux de données d'apprentissage différents, comprenant chacun environ 75% des 203 OPC disponibles, soit 155 OPC. Un total de 1 700 indices potentiels composés de deux à 14 métriques différentes a ainsi été obtenu, dont 621 correspondaient à des combinaisons différentes de métriques. Parmi toutes ces combinaisons, neuf ont été obtenues au moins 15 fois (sur les 100 sous-jeux de données). Ce seuil minimal d'occurrence a été choisi pour considérer une combinaison de métriques comme suffisamment robuste (Fig. 2.2).

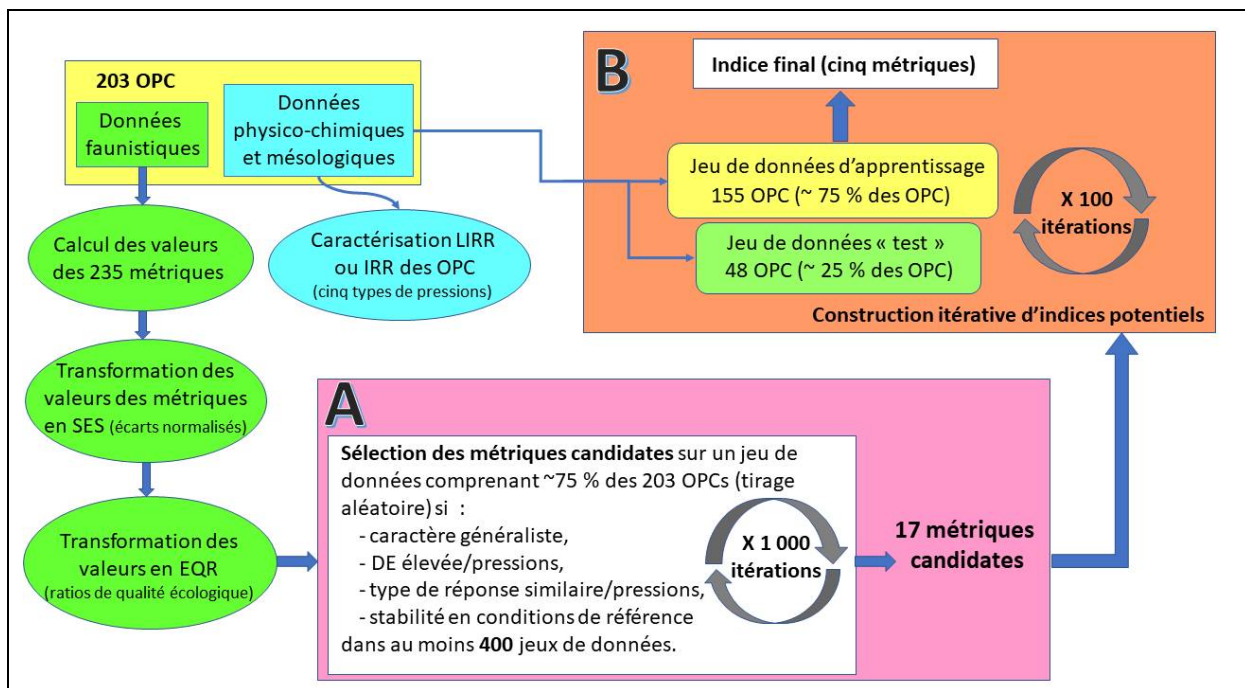


Figure 2.2. Design méthodologique établi pour (A) sélectionner les métriques candidates ; et (B) construire l'indice multimétrique.

Au final, la combinaison la plus fréquente, apparue 43 fois, s'avère être le meilleur choix d'indice multimétrique car : (i) présentant un bon pouvoir de discrimination moyen ( $DE_{moy} \approx 0,836$ ) des cinq types de pression testés sur tous les jeux de données (jeux de données d'« apprentissage » et « test ») ; (ii) stable et robuste en situation de référence (LIRRs) ; (iii) prenant en compte de manière relativement équilibrée la polluo-sensibilité, l'abondance et la diversité des peuplements d'invertébrés benthiques (conditions normatives de l'annexe V de la DCE).

## 2.4 L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

L'indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est composé de cinq métriques (Tab. 2.1) :

- la richesse taxonomique totale (S) qui correspond au nombre total de taxons collectés dans la station de suivi (identifiés au niveau systématique retenu dans cette étude).

Une richesse taxonomique élevée implique une diversité importante de niches écologiques disponibles au sein de la station échantillonnée. Une réduction progressive de cette métrique est attendue avec l'augmentation de l'impact anthropique.

- la richesse taxonomique relative des Gastéropodes (%S). Ce paramètre représente le rapport entre la richesse taxonomique en mollusques Gastéropodes et la richesse taxonomique totale S.

Les mollusques Gastéropodes sont souvent considérés comme polluo-tolérants car principalement retrouvés dans des milieux lenticules (à faible vitesse de courant, donc à risque de désoxygénation élevé) et riches en matières organiques. Une augmentation de leur proportion est donc attendue avec la détérioration du milieu.

- la richesse taxonomique relative des insectes de l'ordre des Trichoptères (%S). Ce paramètre correspond au rapport entre la richesse taxonomique en Trichoptères et la richesse taxonomique totale S.

Les insectes Trichoptères sont des taxons en majorité polluo-sensibles et « rhéophiles », caractérisant les milieux lotiques et exigeants quant à la qualité de l'eau (vis-à-vis de la teneur en oxygène dissous en particulier). Une diminution progressive de la proportion de ces organismes est donc attendue avec des pressions anthropiques d'intensité croissante.

- le coefficient de spécialisation du trait écologique « préférendum des taxons en matière de substrat benthique » (Mondy & Usseglio-Polatera 2014).

Une valeur de spécialisation élevée traduit d'une part, des exigences importantes de l'assemblage faunistique en matière d'habitat, et d'autre part, la présence d'une mosaïque d'habitats disponibles diversifiée dans la station d'étude, ce qui caractérise un cours d'eau en bon état écologique. Une réduction progressive des valeurs de cette métrique est attendue le long d'un gradient croissant de pression anthropique, qui sélectionne, en général, des organismes à faibles exigences en matière d'habitat.



- la fréquence relative d'utilisation de la modalité [2 cm – 4 cm[ par la communauté d'invertébrés benthiques, en matière de taille maximale potentielle.

À Mayotte, ce sont principalement les mollusques Gastéropodes, les Crustacés, les Achètes, les Turbellariés, les insectes Lépidoptères et Odonates qui présentent une taille maximale potentielle comprise entre 2 et 4 cm. Ces taxons, de grande taille, sont en majorité limnophiles et polluo-tolérants. Une augmentation de leur fréquence est ainsi attendue avec la dégradation de la qualité du milieu. Cette métrique, calculée à partir des effectifs respectifs des différents taxons qui la compose, rend également compte de la diversité taxonomique et bio/écologique des communautés d'invertébrés en un site donné.

Tableau 2.1. Métriques composites de l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE et type de réponse attendue avec l'augmentation des pressions anthropiques

| Métrique  | Réponse attendue avec l'augmentation de pressions anthropiques |
|---|--|
| Richesse taxonomique totale (S)   | Décroissante   |
| Richesse taxonomique relative des Gastéropodes (%S)   | Croissante   |
| Richesse taxonomique relative des insectes de l'ordre des Trichoptères (%S)   | Décroissante   |
| Coefficient de spécialisation du trait écologique « préférendum des taxons en matière de substrat benthique »                                       | Décroissante   |
| Fréquence relative d'utilisation de la modalité [2 cm – 4 cm[ par la communauté d'invertébrés benthiques, en matière de taille maximale potentielle | Croissante   |

## 2.5 Les classes d'état écologique

Les limites de classes d'état écologique, le long d'un gradient de pression, ont été définies en considérant comme limite entre le « très bon » et le « bon » état écologique, la médiane de la distribution des valeurs d'indices calculées dans les LIRRs. Les bornes des classes d'état suivantes ont été obtenues en subdivisant l'étendue de variation entre cette limite (médiane) et la valeur minimale possible pour l'indice (= 0), en quatre intervalles d'égale amplitude (Fig. 2.3).

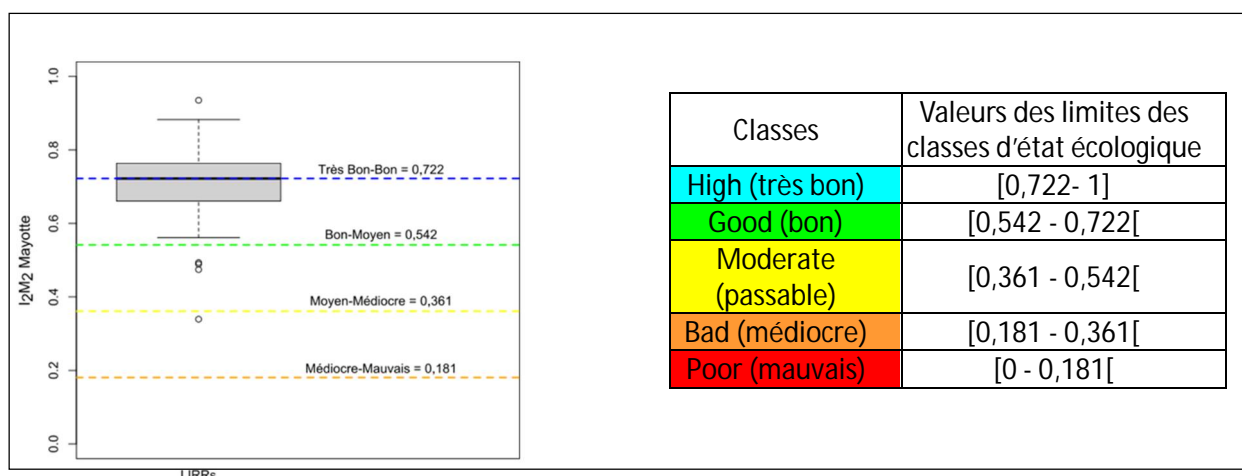


Figure 2.3. Illustration de la démarche qui a permis de définir les limites de classes d'état écologique pour l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, à partir de la distribution des valeurs observées dans les LIRRs.

L'application de cette démarche a abouti à une valeur de 0,722 comme limite de classe entre le « très bon » et le « bon » état écologique. Les limites de classe d'état suivantes sont respectivement : 0,542 entre le « bon » état et l'état « moyen » ; 0,361 entre l'état « moyen » et l'état « médiocre » et 0,181 entre l'état « médiocre » et le « mauvais » état.

La figure suivante présente les qualités biologiques obtenues sur les stations du RCS de Mayotte en 2021 et 2019.

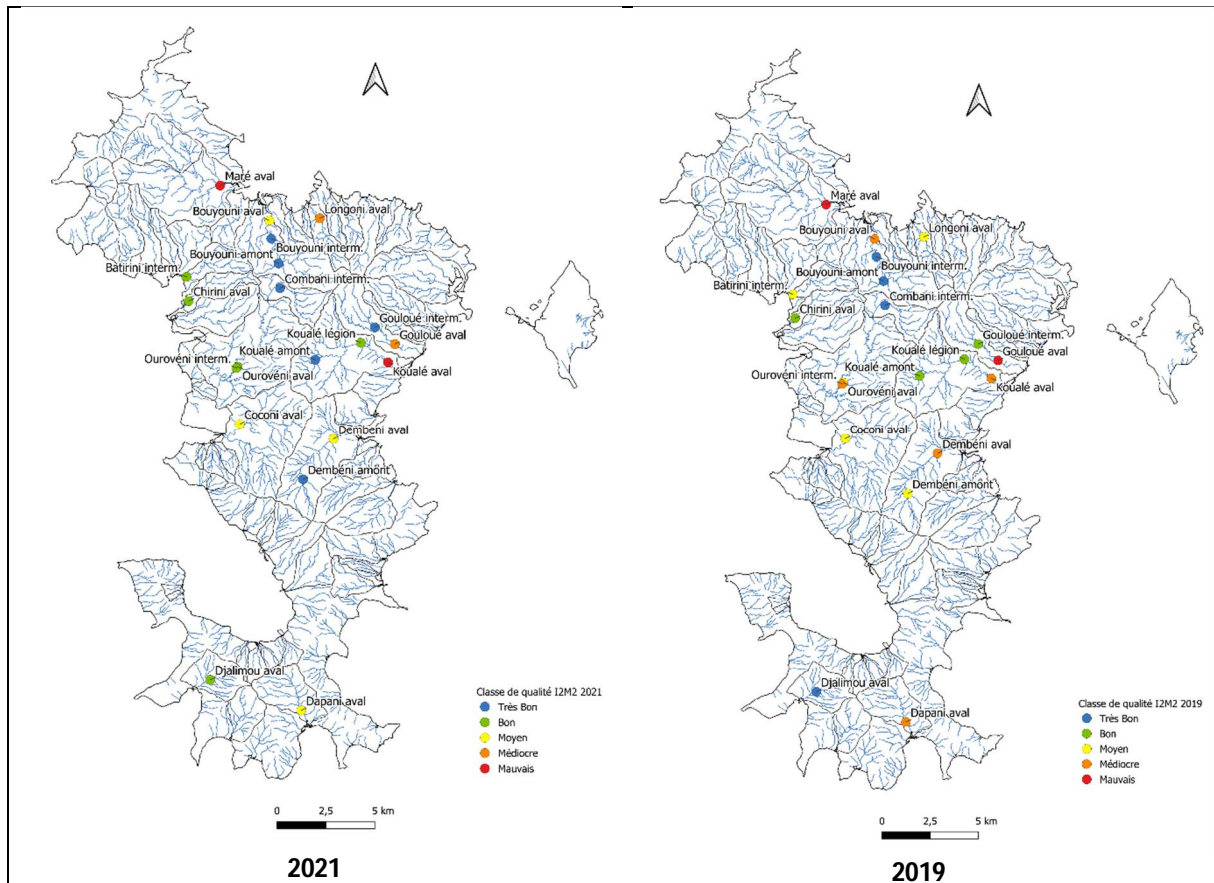


Figure 2.4. Qualité biologique calculée sur les stations de suivi de RCS au moyen de l' $I_2M_2$ -MAYOTTE pour les étages 2021 et 2019 (Océa Consult').

### 3 Conditions et limites de mise en œuvre de l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

#### 3.1 Limites d'application de la méthode

L'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE a été développé à partir d'un ensemble de données issues d'échantillons prélevés uniquement dans les cours d'eau de Grande Terre, l'île principale de Mayotte, dans le cadre du suivi du RCS, des stations dites de « référence » et de stations significativement polluées. En effet, la deuxième île principale de Mayotte en termes de superficie, Petite Terre, ne possède pas de cours d'eau pérennes.

L'application de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE concerne donc uniquement les cours d'eau peu profonds de Grande Terre. Son usage est strictement limité aux réseaux DCE de Mayotte, et en particulier au RCS « cours d'eau ».

Les milieux non concernés par la méthode indiciaire sont :

- les zones de tête de bassin versant (sources, ruisselets) qui sont en général faiblement diversifiées naturellement et/ou non adaptées à l'échantillonnage au filet Surber (trop faibles profondeurs et largeurs) ;
- les zones estuariennes qui, du fait du mélange de l'eau douce avec l'eau salée, abritent des communautés benthiques différentes constituées, entre autres, d'espèces d'eaux saumâtres ;
- les milieux lenticules (lacs, marais, étangs, plans d'eau, etc.).

#### 3.2 Facteurs limitant l'échantillonnage

La méthode est applicable aux cours d'eau dans la mesure où le protocole d'échantillonnage est strictement respecté. Plusieurs facteurs peuvent limiter la récolte des échantillons faunistiques :

- la profondeur si elle excède 60 à 70 cm. En effet, le filet d'échantillonnage Surber peut être utilisé jusqu'à une profondeur correspondant à la longueur du bras du préleveur. Au-delà de cette hauteur, il est difficile pour un individu de taille moyenne d'échantillonner correctement le substrat ;
- la vitesse du courant qui, si elle est excessive, ne permet pas d'échantillonner l'ensemble des habitats pour des raisons de difficulté d'accès et de sécurité ;
- la turbidité de l'eau qui, si elle est trop élevée, ne permet pas de décrire la mosaïque d'habitats correctement (Fig. 3.1).



Figure 3.1. Deux exemples de turbidité de l'eau élevée, empêchant la bonne visibilité des substrats.

### 3.3 La période d'échantillonnage

L'île de Mayotte est soumise à un climat tropical humide fortement influencé par l'environnement maritime et par la direction des vents. Deux saisons (séparées par deux intersaisons plus brèves) sont distinguées (Fig. 3.2) :

- une saison chaude et pluvieuse (mousson) durant l'été austral de décembre à mars avec des précipitations abondantes et violentes accompagnées de vents forts de secteur nord-ouest. La pluviométrie peut atteindre 1 000 à 2 000 mm d'eau par an selon les régions de l'île et les perturbations peuvent prendre la forme de dépressions tropicales ou de cyclones ;
- une saison sèche plus fraîche (sous l'influence des alizés) durant l'hiver austral de juin à septembre avec des vents de secteur sud-est/nord-ouest qui contribuent à accroître les effets de la sécheresse en accentuant la dessiccation des sols (<https://meteofrance.yt>).

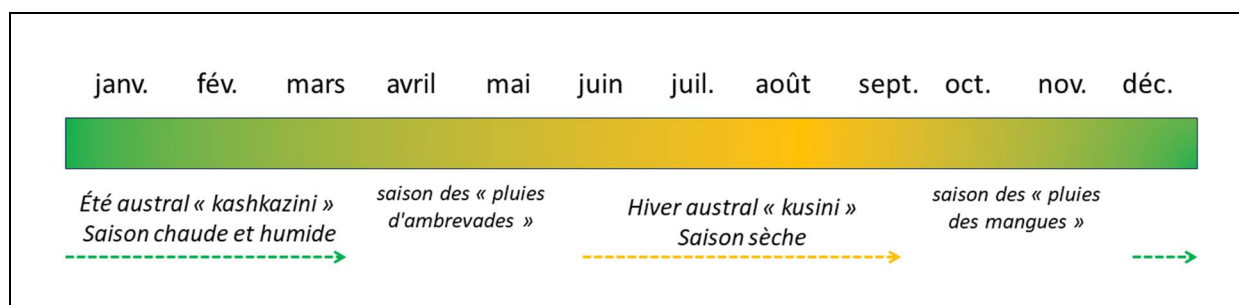


Figure 3.2. Saisons climatiques définies à Mayotte (d'après <https://meteofrance.yt>).



La période de prélèvement recommandée est celle des basses eaux (étiage), qui s'étend de juin à septembre, période durant laquelle la concentration en polluants est maximale, les températures élevées, les perturbations hydrauliques faibles, les conditions de prélèvement bonnes et les conditions d'accès aux points de prélèvement les plus favorables.

Il est déconseillé de prélever durant la période des hautes eaux compte tenu des difficultés d'échantillonnage (forts débits entraînant une instabilité des peuplements, turbidité et/ou profondeur pouvant être élevées). De même, il est risqué d'échantillonner pendant les 2 saisons des pluies intermédiaires (« ambrevades » et « mangues »), du fait de pluies intenses pouvant être à l'origine de crues subites (Jeanson 2009).

### 3.4 Les conditions de prélèvement

#### 3.4.1 Délais à respecter après une crue ou un assec

Les échantillons doivent être réalisés en période de débit stabilisé, afin de pouvoir prospecter l'ensemble des substrats d'un point de prélèvement. Aucune étude n'a spécifiquement été réalisée à Mayotte afin de déterminer le temps de recolonisation du milieu par les macroinvertébrés benthiques après un épisode d'assec ou de crue. D'après la littérature, cela peut prendre entre 1 et 6 mois. À la suite d'un tel évènement, il est préconisé d'attendre le retour à une situation plus habituelle, tant sur le plan hydrologique que biologique, avant de prélever.

Nous nous appuyons sur la norme NF T90-333 (Afnor 2016, 2017) qui préconise d'attendre avant d'échantillonner, une fois le retour à des conditions hydrologiques normales et stables, au moins six semaines après un assec et deux semaines après une crue, voire deux mois en cas d'évènement climatique extrême (crue ou assec remaniant profondément le substrat et/ou les biocénoses en place).

Pour un cours d'eau donné, si l'assec est connu et récurrent, il est recommandé d'échantillonner plusieurs semaines avant l'assec (Fig. 3.3).



Figure 3.3. Assèchement récurrent durant l'étiage de la station 11000006 du RCS « Dapani aval » (août 2017).

### 3.4.2 Échantillonnage par temps pluvieux

Une pluie intense mais occasionnelle peut également empêcher la réalisation des prélèvements en raison de la difficulté à visualiser les substrats sous l'effet des gouttes de pluie sur la surface de l'eau et/ou de l'augmentation de la turbidité des eaux (lessivage des sols rendant les eaux « troubles » en quelques heures) (Fig. 3.1). De plus, la montée des eaux peut rendre le cours d'eau non praticable à pied (mise en danger des opérateurs). Il sera alors préférable de reporter la campagne de terrain.

Remarque : il convient de noter sur la fiche « terrain » (Annexe 3 : Fiche de terrain – Données mésologiques et faunistiques) les conditions hydrologiques observées lors du prélèvement et durant les jours qui ont précédé l'échantillonnage. Ces informations peuvent être d'une aide précieuse pour l'interprétation de la note indicielle.

## 4 L'échantillonnage de la macrofaune benthique

Le même protocole de prélèvement est appliqué depuis octobre 2008 pour réaliser le suivi de la qualité des cours d'eau de Mayotte. Il s'est initialement appuyé sur la circulaire DCE 2007/22 du 11 avril 2007 relative au prélèvement et au traitement des échantillons d'invertébrés pour la mise en œuvre du programme de surveillance sur les cours d'eau (Directive Cadre sur l'Eau, Bulletin officiel du ministère de l'Écologie, du développement et de l'aménagement durables) et correspond en partie à la norme NF T90-333 (Afnor 2016) se rapportant au prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivières peu profondes.

### 4.1 Matériel de terrain

L'annexe 1 propose une liste (non exhaustive) du matériel de terrain nécessaire à l'acquisition du matériel biologique.

Les prélèvements se font à pied. Le filet à main utilisé est de type « Surber », équipé d'une toile en nylon présentant un vide de maille de 250 µm<sup>3</sup>. La surface de récolte ou quadrat représente 1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup> (20 cm x 25 cm). Pour la phase d'éluatriation sur le terrain, le tamis utilisé aura également un vide de maille de 250 µm.

L'usage de pantalons de pêche ou de cuissardes est indispensable, étant donné l'état de dégradation de la majorité des cours d'eau de Mayotte dans leur partie aval. Le port de gants imperméables et relativement épais s'avère souvent utile. Il est indispensable dans les sites les plus dégradés.

### 4.2 Définition du point de prélèvement

La station de mesure est, par définition, la partie du cours d'eau sur laquelle sont effectués des mesures ou des prélèvements en vue d'analyses physico-chimiques ou biologiques, afin de déterminer la qualité des milieux aquatiques en ce lieu. Il s'agit d'un tronçon dans lequel il est possible de faire des mesures en plusieurs points de prélèvement, réputés cohérents et représentatifs de la même station de mesure (<http://www.sandre.eaufrance.fr/>).

Le point de prélèvement (que l'on appelle communément « station d'étude ») correspond donc au sous-espace représentatif de la station de mesure, qui est clairement identifié et délimité géographiquement en cohérence avec les objectifs de suivi et d'évaluation, et sur lequel sont réalisés l'ensemble des prélèvements de macrofaune benthique et/ou des mesures *in situ*.

#### 4.2.1 Cas des réseaux de suivi

Dans le cas des réseaux de suivi tel que le RCS, les limites amont et aval du point de prélèvement sont connues et précisées dans le cahier des charges, avant la campagne de terrain. Un positionnement exact de l'opérateur au niveau du point de prélèvement est essentiel, en particulier pour la comparaison temporelle des résultats.

<sup>3</sup> A la différence de la norme NF T90-333 (Afnor 2016, 2017) qui préconise une maille de 500 µm pour l'échantillonnage de la macrofaune benthique dans les cours d'eau peu profonds de la Métropole.

À l'arrivée sur le site, avant tout prélèvement de macrofaune benthique, il reste indispensable de vérifier la localisation précise du point de prélèvement d'après les informations fournies par le commanditaire de l'étude et de relever les coordonnées GPS des points amont et aval délimitant le point de prélèvement. Pour le suivi du RCS, il est recommandé de se placer toujours sur le même point, à moins de la survenue d'un événement imprévu (remaniement du lit de la rivière, travaux en cours, présence de bétail dans le cours d'eau, présence de lavandières ou de baigneurs, difficultés d'accès, ...).

#### 4.2.2 Positionnement et délimitation du point de prélèvement

Dans le cas où l'opérateur lui-même serait amené à positionner le point de prélèvement ou à définir de nouvelles limites au point de prélèvement, la délimitation se fera impérativement avant tout prélèvement faunistique. Elle implique une reconnaissance du cours d'eau sur une longueur bien plus importante que celle du point de prélèvement, même si ces deux opérations se succèdent immédiatement dans le temps.

Le repérage et le positionnement du point de prélèvement sont à réaliser une seule fois, sauf événement hydrologique majeur bouleversant la morphologie du lit. En pratique, il est fortement recommandé de réaliser ce repérage avant la première campagne de prélèvement.

Le point de prélèvement doit être représentatif de la station de mesure, elle-même représentative du secteur de cours d'eau choisi. La longueur du point de prélèvement sera déterminée en fonction de deux paramètres afin d'avoir un maximum d'habitats différents disponibles (Tab. 4.1) :

- le nombre de séquences de faciès d'écoulement<sup>4</sup> « radier/mouille »<sup>5</sup> ;
- la largeur moyenne du lit à plein bord (Lpb).

Un point de prélèvement devra comporter, au minimum, trois séquences de faciès d'écoulement « radier/mouille » pour les cours d'eau dont la Lpb moyenne est inférieure à huit mètres et deux séquences pour les cours d'eau de taille supérieure (la Lpb des cours d'eau de Mayotte est en général inférieure à 15 mètres). De plus, la longueur du point de prélèvement sera égale, au minimum, à douze fois la largeur moyenne du lit à plein bord. Enfin, les limites amont et aval du point de prélèvement coïncideront avec des limites de faciès (tête de radier ou de mouille par exemple).

*Par exemple, pour un cours d'eau présentant une Lpb moyenne de cinq mètres, le point de prélèvement devra comporter trois séquences de faciès « radier/mouille » qui se succèdent et mesurer 12\*Lpb, soit 60 mètres de longueur environ.*

Pour les cours d'eau présentant un seul type de faciès (un plat lentique par exemple), la longueur du point de prélèvement devra être, dans la mesure du possible, égale au minimum à 12\*Lpb.

L'annexe 2 présente les principaux faciès d'écoulement définis par Malavoi & Souchon (2002).

<sup>4</sup> Les faciès d'écoulement sont définis comme étant « des portions de cours d'eau avec une certaine uniformité structurelle et fonctionnelle sur le plan des vitesses, des hauteurs d'eau, de la granulométrie du substrat, de la pente du lit et de la ligne d'eau et des profils en travers. La diversité longitudinale des formes et de leur structure physique est mise à profit par la flore et la faune aquatique qui y rencontrent les différents habitats nécessaires à l'accomplissement de leurs cycles vitaux » (Malavoi & Souchon 2002).

<sup>5</sup> Un radier est une portion de cours d'eau se caractérisant par des vitesses de courant relativement fortes, une faible profondeur et des fonds caillouteux. Il s'oppose à la mouille, faciès de type lentique caractérisé par une profondeur importante et de faibles vitesses d'écoulement.



Tableau 4.1. Critères de définition de la longueur totale des points de prélèvement (Lt) en fonction de la largeur moyenne du lit à plein bord (Lpb) et du nombre de séquences de faciès « radier/mouille »

| Classe de taille du cours d'eau  | Très petit | Petit à moyen |
|--|------------|---------------|
| <b>Lpb</b> Largeur moyenne du lit à plein bord (mètres)                                | < 8        | > 8           |
| Nombre de séquences successives de faciès d'écoulement « radier/mouille » à considérer | 3          | 2             |
| <b>Lt</b> Longueur totale du point de prélèvement (mètres)                             | 12 * Lpb   |               |

Lors du positionnement du point de prélèvement dans la station de mesure, l'opérateur choisira, en fonction de la largeur moyenne du lit à plein bord, des séquences de faciès d'écoulement successives et qui ne contiennent pas, si possible, de singularités morphologiques, telles que pont, enrochements localisés, embâcles isolés, affluents, faciès ou substrats aux caractéristiques particulières.

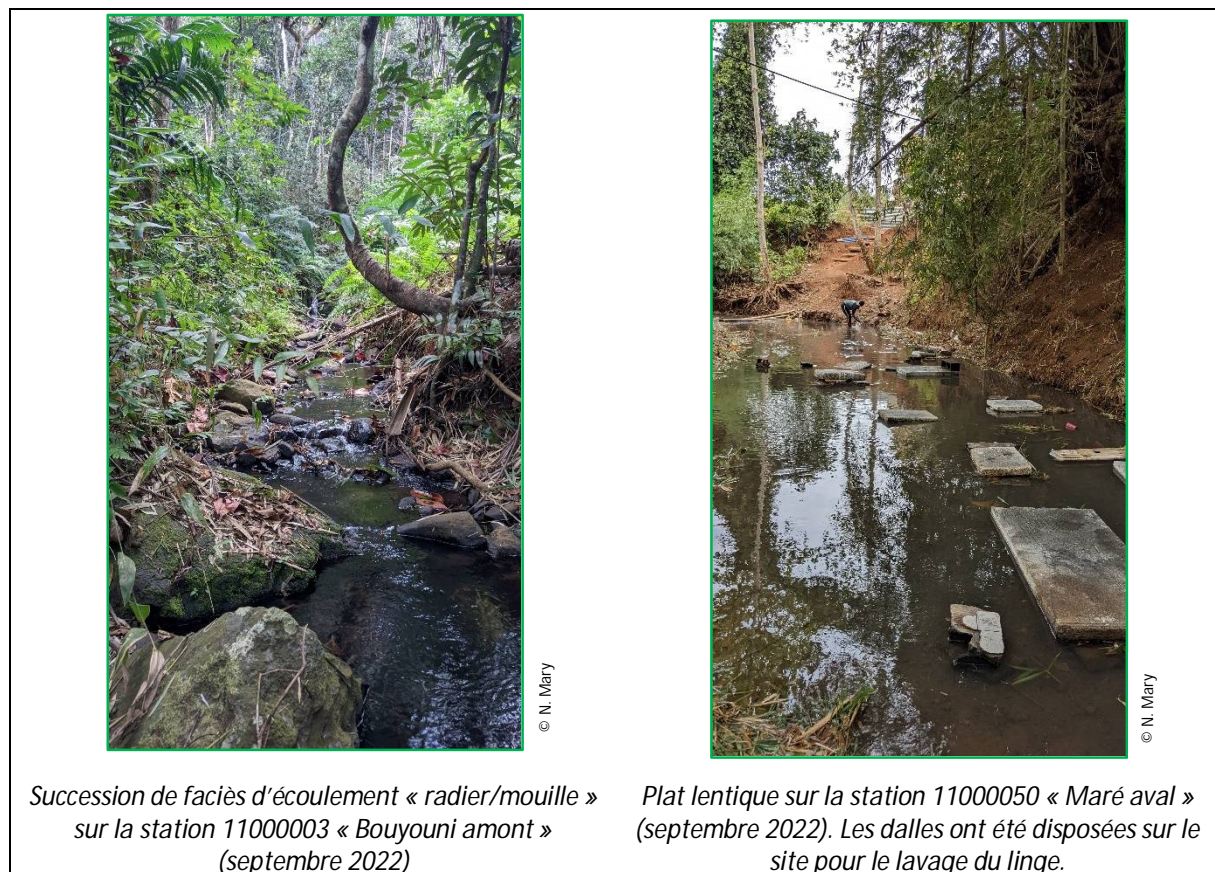


Figure 4.1. Exemples de séquences de faciès d'écoulement dans les stations du RCS de Mayotte.

### 4.3 Le protocole de prélèvement de la macrofaune benthique

Dans chaque station d'étude, le protocole d'échantillonnage consiste à :

- 1) identifier sur le terrain les substrats « dominants » et « marginaux » et estimer leurs superficies relatives de recouvrement ;
- 2) déterminer les classes de vitesse de courant dans lesquelles chaque substrat est représenté ;
- 3) élaborer un plan d'échantillonnage ;
- 4) réaliser 12 prélèvements unitaires, en trois phases, au moyen du filet Surber dans les principaux habitats identifiés (couples « substrat/vitesse du courant ») ;
- 5) compléter la fiche de terrain.

Les différentes étapes du protocole sont précisées dans les paragraphes suivants.

#### 4.3.1 Nature des substrats prélevés dans les cours d'eau de Mayotte

Les différents types de substrats recensés dans les cours d'eau de Mayotte figurent au tableau 4.2.

Tableau 4.2. Types de substrats rencontrés dans les cours d'eau de Mayotte. Le code Sandre est indiqué pour chacun d'entre eux.

| Code Sandre | Type de substrat   | Remarques  | Habitabilité |
|-------------|--|--|--------------|
| S1          | Bryophytes   | Hépatiques et mousses.   | 10           |
| S2          | Spermaphytes immergés (hydrophytes)  | Plantes aquatiques entièrement immergées telles que potamots, etc.   | 9            |
| S3          | Débris organiques grossiers (litières)   | Feuilles et brindilles provenant en général de la ripisylve et s'accumulant sur le fond du lit dans les zones calmes, souvent sur plusieurs centimètres d'épaisseur. | 8            |
| S28         | Chevelus racinaires, supports ligneux (racines, branchages, troncs)                                | Racines des arbres de la ripisylve et de la végétation herbacée rivulaire ; troncs, branches et branchages fins.   | 7            |
| S24         | Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)                                | -  | 6            |
| S30         | Blocs (> 250 mm) inclus dans une matrice d'éléments minéraux de grande taille (25 à 250 mm)        | Soulevables à la main par une personne seule.  | 5            |
| S9          | Granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm)   | -  | 4            |
| S11         | Vases (sédiments fins < 0,1 mm avec débris organiques fins)  | Dépôts de couleur foncée, constitués de débris organiques plus ou moins fins en décomposition, mélangés à du limon (milieu anoxique).                                | 3            |
| S25         | Sables, limons (< 2 mm)  | -  | 2            |
| S18         | Algues   | Algues vertes principalement, dont algues filamenteuses.   | 1            |
| S29         | Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes) | De dimension supérieure à 250 mm, non facilement soulevables par une personne seule.   | 0            |

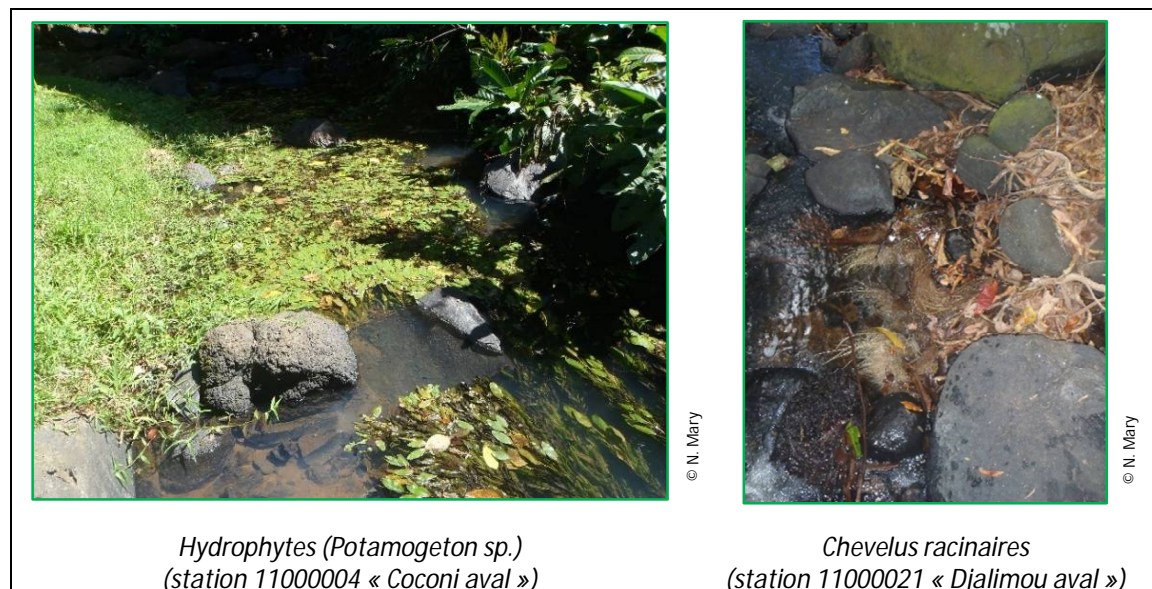
On appelle **substrat** un ensemble d'éléments minéraux, végétaux et/ou organiques, présentant des caractères physiques homogènes sur une certaine surface. Pour qu'un substrat puisse être considéré comme significativement présent dans la station d'étude et pris en compte dans le plan d'échantillonnage, la surface minimale qu'il doit occuper est la taille du cadre du filet Surber, soit 1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup>, sauf pour les bryophytes où cette surface minimale peut ne pas être d'un seul tenant, compte tenu de la distribution naturelle de ce substrat en patches de taille limitée.

L'élément majoritaire dans la matrice d'éléments occupant le cadre du Surber détermine la nature du substrat prélevé : on parle de substrat principal. Pour pouvoir être pris en compte, celui-ci occupera plus de 50 % de la surface du cadre. Dans le cas contraire (s'il couvre moins de 50 % de cette surface), il est considéré comme substrat secondaire et ne peut pas être considéré dans le plan d'échantillonnage.

Un substrat est dit « marginal » quand il occupe moins de 5 % (< 5 %) de la surface mouillée totale du point de prélèvement et « dominant » quand il occupe 5 % ou plus de 5 % (≥ 5 %) de la surface mouillée du point de prélèvement.

Les substrats du tableau 4.2 sont classés par ordre d'habitabilité décroissante. L'habitabilité correspond à l'aptitude d'un substrat à accueillir une faune diversifiée. Ainsi, plus un substrat est habitable ou biogène, plus il est attractif pour la faune. *Les bryophytes constituent ainsi un des substrats les plus biogènes et les roches et dalles sont parmi les moins biogènes.*

Aucune étude spécifique n'a été réalisée à Mayotte afin de déterminer l'ordre d'habitabilité des types de substrats. Nous nous basons sur celui proposé par la norme Afnor (2016) pour la France métropolitaine. Seule la catégorie « héliophytes » n'a pas été prise en compte, étant donné que ce substrat est rarement échantillonné dans les cours d'eau de Mayotte.





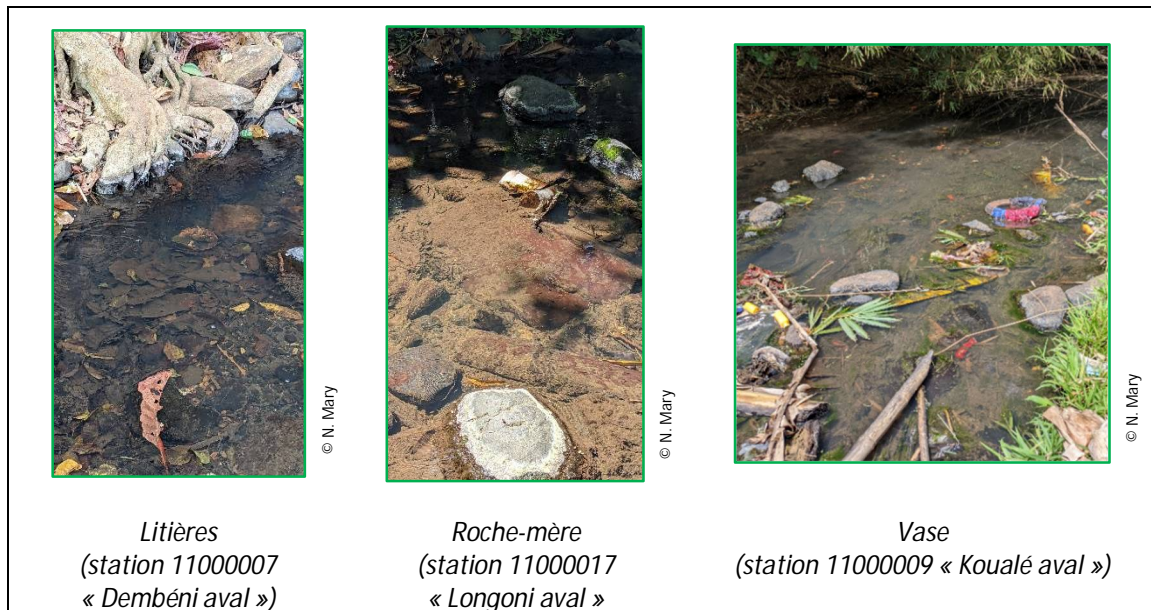


Figure 4.2. Vues de quelques substrats échantillonnés dans les stations du RCS de Mayotte.

#### 4.3.2 Estimation de la superficie mouillée du point de prélèvement

La première étape consiste à estimer la superficie mouillée du point de prélèvement. Pour se faire, la largeur mouillée moyenne ( $L_m$ ) est calculée à partir de la mesure d'une dizaine de transects régulièrement espacés sur le point de prélèvement. La longueur de la station ( $L_t$ ) est, en général, déjà connue. La superficie mouillée ( $S_m$ ) est égale au produit [ $L_t \times L_m$ ]. Elle est exprimée en  $m^2$ .

#### 4.3.3 Repérage des substrats et estimation de leur superficie relative

En second lieu, l'ensemble du point de prélèvement est parcouru et la superficie de chaque substrat présent est estimée à vue et notée en pourcentage de la superficie totale mouillée ( $S_m$ ). Cette phase de reconnaissance, étape préalable à l'échantillonnage de la faune benthique, se fera préférentiellement à partir des rives, afin d'éviter de perturber les substrats benthiques.

Pour chaque substrat, il convient ensuite d'indiquer s'il est « marginal » (M) ou « dominant » (D). Les substrats dominants sont identifiés en trois catégories (D1, D2 et D3) selon la superficie relative qu'ils occupent sur le point de prélèvement (Tab. 4.3).

Tableau 4.3. Codage des substrats dominants en fonction de la superficie relative occupée sur le point de prélèvement

| Catégorie | Superficie relative (%) occupée dans la station d'étude |
|-----------|---|
| D3        | > 50 %  |
| D2        | [25 % à 50 %]   |
| D1        | [5 %-25 %]  |

La somme des superficies relatives des substrats marginaux et dominants est égale à 100 %.

Remarques :

Seul le substrat visible est pris en compte. Les substrats recouverts par d'autres éléments ne sont pas considérés : par exemple, dans le cas de sable recouvert par une litière, c'est bien la litière qui est considérée. En revanche, un colmatage fin par du limon ou de la vase (< 1 cm d'épaisseur) ne pourra pas être considéré comme substrat principal.

Les pourcentages seront notés à l'unité près (par exemple, 18 % et non pas 17,5 %). Les pourcentages de moins de 1 % seront arbitrairement notés 1 %.

Cette étape d'estimation des superficies de recouvrement reste délicate. L'opérateur pourra, pour s'aider, considérer, dans la station d'étude, chaque faciès d'écoulement séparément et calculer, pour chaque faciès homogène, les pourcentages de recouvrement des substrats pré-identifiés. Pour déterminer le recouvrement d'un substrat sur l'ensemble du point de prélèvement, il conviendra ensuite de sommer les pourcentages estimés de ce substrat dans chaque faciès, en les pondérant par la part que représente chaque faciès en superficie par rapport à celle du point de prélèvement. Ces pourcentages de recouvrement pourront être ajustés au fur et à mesure de l'avancement dans la prospection du point de prélèvement.

4.3.4 Repérage des classes de vitesses de courant et de leur représentativité dans la station

Les différentes classes de vitesse de courant à considérer sont estimées à vue (tableau 4.4). Pour chaque substrat identifié, une fois le pourcentage de recouvrement calculé sur le point de prélèvement, il est nécessaire d'identifier les classes de vitesse de courant dans lesquelles il est présent et de les hiérarchiser (sous forme de chiffres par exemple). Pour ce faire, on attribue à la classe de vitesse la plus représentée pour ce substrat le chiffre 1. Pour les classes de vitesse suivantes, le chiffre est incrémenté en fonction du nombre de classes de vitesse représentées pour ce substrat dans le point de prélèvement.

Tableau 4.4. Classes de vitesses de courant considérées dans le plan d'échantillonnage. Le code Sandre est indiqué pour chaque classe.

| Code Sandre | Classe de vitesse (cm/s) | Vitesse |
|-------------|--------------------------|---------|
| N1          | $v < 5$                  | Nulle   |
| N3          | $25 > v \geq 5$          | Lente   |
| N5          | $75 > v \geq 25$         | Moyenne |
| N4          | $v \geq 75$              | Rapide  |

Par exemple, si le substrat « pierres/galets » est présent dans les trois classes de vitesse N1 (nulle), N3 (lente) et N5 (moyenne), il sera noté, dans le tableau d'échantillonnage de la fiche de terrain, « 1 » pour la classe de vitesse la plus représentée, « 2 » pour la suivante et « 3 » pour la classe la moins représentée (colonne « présence », annexe 3).

4.3.5 Élaboration du plan d'échantillonnage

Suite au repérage des substrats, à l'estimation de leur superficie relative de recouvrement dans le point de prélèvement et des classes de vitesse dans lesquelles ils sont représentés, avant tout prélèvement, l'opérateur élabore un plan d'échantillonnage prévisionnel pour les 12 prélèvements unitaires qu'il va réaliser, en fonction des règles d'échantillonnage décrites au paragraphe suivant.

Ce plan d'échantillonnage figure dans la fiche de terrain proposée (annexe 3). Il pourra être ajusté au fur et à mesure de la réalisation des prélèvements, si les pourcentages de recouvrement de certains substrats ont été mal évalués au premier abord.

Lorsque l'opérateur a le choix entre plusieurs supports dans un même type de substrat (chevelus racinaires et supports ligneux par exemple), il privilégiera le support dominant en superficie. Si ce même substrat doit être échantillonné à nouveau, l'opérateur sélectionnera le ou les autres supports dans l'ordre décroissant de représentativité (en variant si possible les vitesses de courant).

Le cas échéant, les difficultés rencontrées pour établir le plan d'échantillonnage et estimer les pourcentages de recouvrement devront être indiquées sur la fiche de terrain.

#### 4.3.6 Règles d'échantillonnage

Les 12 prélèvements unitaires se répartissent en trois groupes de quatre échantillons (ou « phases ») :

- \* phase A : quatre prélèvements unitaires sont réalisés dans les substrats « marginaux », suivant l'ordre d'habitabilité du tableau 4.2 ;
- \* phase B : quatre prélèvements unitaires sont réalisés dans les substrats « dominants », suivant l'ordre d'habitabilité du tableau 4.2 ;
- \* phase C : quatre prélèvements unitaires sont réalisés dans les substrats « dominants », en privilégiant la représentativité des substrats.

#### Phase A : échantillonnage des quatre prélèvements unitaires dans les substrats marginaux, suivant l'ordre de priorité (habitabilité) du tableau 4.2

- Si plus de quatre substrats marginaux ont été identifiés, seuls les quatre premiers dans l'ordre de priorité du tableau 4.2 sont échantillonnés.
- Si trois substrats marginaux seulement ont été identifiés, le quatrième prélèvement est effectué sur le substrat marginal présentant la plus grande superficie.
- Si deux substrats marginaux ont été identifiés, les deux prélèvements restants sont effectués sur ces deux substrats.
- Si un seul substrat marginal a été recensé, les quatre prélèvements sont effectués sur ce même substrat, dans des placettes différentes.
- Si aucun substrat n'a été identifié comme marginal (cas rare), les quatre prélèvements sont réalisés dans les zones de bordure du cours d'eau, en vitesse lente ou nulle.

#### Phase B : échantillonnage des quatre prélèvements unitaires dans les habitats dominants, suivant l'ordre de priorité (habitabilité) du tableau 4.2

- Si plus de quatre substrats dominants ont été identifiés, seuls les quatre premiers dans l'ordre de priorité du tableau 4.2 sont échantillonnés.
- Si trois substrats dominants ont été identifiés, le quatrième prélèvement est effectué sur le substrat présentant la plus grande superficie.
- Si deux substrats dominants seulement ont été identifiés :
  - si ces deux substrats présentent une superficie relative  $\geq 25$  % (classes D2 et D3), deux prélèvements sont effectués sur chaque substrat ;
  - si un des deux substrats à une superficie relative  $< 25$  % (classe D1), un seul prélèvement est effectué sur ce substrat, et les trois autres sur le substrat présentant la plus grande superficie.

- Si un seul substrat dominant a été identifié, les quatre prélèvements sont effectués sur ce même substrat.

#### Phase C : échantillonnage des quatre prélèvements unitaires dans les habitats dominants, en privilégiant la représentativité des substrats

- Si plus de quatre substrats dominants ont été identifiés, les substrats non échantillonnés au cours de la phase B sont échantillonnés dans l'ordre décroissant de leur superficie relative.
- Lorsque tous les substrats dominants ont été échantillonnés au moins une fois, les prélèvements restant à effectuer sont positionnés sur les substrats dominants déjà échantillonnés, en respectant la règle suivante :
  - si quatre prélèvements restent à effectuer, deux prélèvements sont effectués sur le substrat présentant la plus grande superficie, les prélèvements complémentaires étant réalisés sur le ou les autres substrats dominants dans l'ordre décroissant de leur superficie relative ;
  - si trois prélèvements restent à effectuer, deux prélèvements sont effectués sur le substrat présentant la plus grande superficie, le prélèvement complémentaire étant réalisé sur le substrat dominant suivant les plus représentés ;
  - si deux prélèvements restent à effectuer, ils sont effectués sur les deux substrats dominants les plus représentés ;
  - si un seul prélèvement reste à effectuer, il est effectué sur le substrat présentant la plus grande superficie.

#### Règles s'appliquant aux trois phases pour la classe de vitesse

- Pour un substrat donné, le premier prélèvement est réalisé dans sa classe de vitesse la plus représentée.
- Les prélèvements suivants, pour un même substrat, sont à réaliser en faisant varier la classe de vitesse dans l'ordre décroissant de représentativité des classes de vitesse pour ce substrat.

Remarque : les 12 prélèvements unitaires seront toujours effectués de l'aval vers l'amont du point de prélèvement. L'opérateur s'efforcera de répartir les prélèvements sur l'ensemble de la station, de manière à assurer une représentation adéquate des différents faciès. Lorsqu'un même substrat doit être prélevé plusieurs fois, les prélèvements seront dispersés sur l'ensemble des faciès où ce substrat est présent.

L'annexe 4 présente deux exemples de plans d'échantillonnage.

Le tableau 4.5 précise le mode opératoire des différents substrats, ainsi que pour certains d'entre eux, le volume final de l'échantillon à récolter.

Tableau 4.5. Mode de prélèvement préconisé pour les différents types de substrat

| Habitabilité | Type de substrat   | Mode opératoire préconisé   | Remarques   |
|--------------|--|---|---|
| 10           | Bryophytes   | Frotter et remuer énergiquement pendant 20 à 30 secondes sans arracher le végétal. Ne pas récupérer la couche de sédiments sous-jacente.  | Si nécessaire, réaliser le prélèvement en plusieurs points jusqu'à obtenir la surface d'échantillonnage requise (1/20 <sup>e</sup> de m <sup>2</sup> ).                                     |
| 9            | Spermaphytes immergées (hydrophytes)   | Seul le végétal est récupéré, sans la couche d'éléments minéraux sous-jacente.  | Volume final de l'échantillon à prélever : 0,5 à 1 litre au maximum. Si le volume récolté est supérieur à 1 litre, éliminer l'excédent sur le terrain après homogénéisation du prélèvement. |
| 8            | Débris organiques grossiers (litières)   | Prélever la litière, sans la couche de sédiments sous-jacente.  |   |
| 7            | Chevelus racinaires, supports ligneux (racines, branchages, troncs)                                | Branchages : prélever les débris organiques sans la couche de sédiments sous-jacente. Troncs et branches : frotter minutieusement la surface. Racines : frotter et remuer énergiquement pendant 20 à 30 secondes. |   |
| 6            | Sédiments minéraux de grande taille (pierres, galets) (25 à 250 mm)                                | Frotter méticuleusement chaque pierre ou galet. Agiter la couche sous-jacente jusqu'à un maximum de 5 cm.   |   |
| 5            | Blocs (> 250 mm) inclus dans une matrice d'éléments minéraux de grande taille (25 à 250 mm)        | Frotter toutes les faces du bloc (faces supérieure, latérales et inférieure au contact du sédiment). Agiter la couche sous-jacente jusqu'à un maximum de 5 cm.  |   |
| 4            | Granulats grossiers (graviers) (2 à 25 mm)   | Récupérer les graviers et les frotter méticuleusement. Agiter la couche sous-jacente jusqu'à un maximum de 5 cm.  |   |
| 3            | Vases (sédiments fins < 0,1 mm) avec débris organiques fins)                                       | Récupérer les 3 premiers centimètres de vase.   | Volume final de l'échantillon à prélever : 0,5 à 1 litre au maximum.  |
| 2            | Sables, limons (< 2 mm)  | Récupérer les 3 premiers centimètres de sable.  |   |
| 1            | Algues   | Récupérer les algues et les organismes qui y sont accrochés, sans le substrat sous-jacent.  |   |
| 0            | Surfaces uniformes dures naturelles et artificielles (roches, dalles, marnes et argiles compactes) | Frotter méticuleusement la surface.   |   |



#### 4.3.7 L'identification des échantillons

L'étiquetage des échantillons est essentiel dès le prélèvement. Sur chaque flacon, seront mentionnées les informations suivantes :

- le nom du cours d'eau et le nom du point de prélèvement avec son code Sandre ;
- la date de l'échantillonnage ;
- le numéro du prélèvement unitaire (P1 à P12) ;
- le nom de l'opérateur.

#### 4.3.8 Conditionnement et conservation des échantillons

Sur le terrain, pour les substrats minéraux en particulier, un prétraitement (ou élutriation) permet d'éliminer les éléments les plus grossiers (pierres, galets, graviers, sable) après la réalisation du prélèvement, de façon à en réduire le volume et limiter les risques de détérioration de la faune lors du transport. Cette élutriation sera réalisée au moyen d'un tamis ayant un vide de maille de 250 µm.

Chaque prélèvement réalisé est conditionné séparément, rapidement après l'échantillonnage, au moyen d'éthanol à 90 %. La concentration finale dans l'échantillon sera comprise entre 70 % et 80 %.

#### Remarques

Le choix du type de contenants est à la libre appréciation de l'opérateur.

Jusqu'à présent, l'éthanol est le seul réactif qui ait été utilisé pour conserver les échantillons faunistiques collectés dans les cours d'eau de Mayotte. Il est vivement recommandé de continuer à fixer les prélèvements de macrofaune benthique au moyen de ce conservateur, compte tenu de la forte toxicité d'autres réactifs tels que le formol.

#### 4.4 La fiche de terrain

Pour chaque point de prélèvement, une fiche de terrain est complétée telle que celle figurant en annexe 3. Les données collectées sont essentielles pour l'interprétation des données faunistiques.

La fiche de terrain proposée comporte plusieurs parties :

- l'identification du point de prélèvement précisant notamment les noms du cours d'eau et du point de prélèvement (avec le code Sandre), la date et l'heure de l'échantillonnage, le nom de l'organisme préleveur et de l'opérateur, les coordonnées géographiques exactes relevées au GPS pour les limites amont et aval de la station de suivi ;
- l'environnement général du point de prélèvement : description sommaire des rives droite et gauche, pente moyenne du cours d'eau et granulométrie dominante à la station de suivi, sources d'interférence et phénomène anormal observé, le cas échéant ;
- les conditions d'observation : conditions hydrologiques et climatiques au moment du prélèvement, couleur de l'eau, prises de vue réalisées ;
- les mesures physico-chimiques *in situ* : valeurs de la température de l'eau, du pH, de la conductivité et de l'oxygène dissous (en pourcentage de saturation et mg/l) ;

- la description du point de prélèvement : en particulier, la longueur totale du bief échantillonné, la largeur moyenne du lit à plein bord et la largeur moyenne du lit mouillé, les types de faciès d'écoulement présents et le nombre de séquences sur le point de prélèvement, le degré d'ombrage du lit mouillé, les caractéristiques des rives droite et gauche (granulométrie, type de végétation et pourcentage de couverture), la présence et l'importance des matières organiques d'origine végétale sur le fond ;
- le repérage des substrats et des classes de vitesses de courant tel qu'indiqué aux paragraphes 4.3.3. et 4.3.4 ;
- le tableau d'échantillonnage décrivant les quatre prélèvements unitaires réalisés dans chaque phase A, B et C. À ce niveau, plusieurs informations sont notées telles que la hauteur d'eau, l'intensité du colmatage de surface, ainsi que la nature et l'abondance de la végétation au sein de la placette de prélèvement ;
- les observations complémentaires, qui seront utiles lors de la phase d'interprétation des résultats, et peuvent être de diverses natures : difficultés rencontrées lors de l'échantillonnage, écarts au protocole, etc.

### Remarques

En complément de ces informations, un croquis peut être utile pour représenter les types de substrats présents et les principales caractéristiques du point de prélèvement. Ce schéma comportera les informations suivantes : date d'échantillonnage, échelle, sens du courant, type et longueur des faciès d'écoulement, localisation des placettes de prélèvement, singularités morphologiques le cas échéant.

De même, des prises de vue peuvent permettre de capturer l'environnement général du cours d'eau, le type de ripisylve, les faciès d'écoulement, l'endroit exact où a été réalisé chaque prélèvement unitaire.

Le colmatage de surface est causé par les particules fines, minérales (sable, limon) ou organiques (vase, bactéries filamenteuses, etc.), qui recouvrent le substrat sous-jacent et diminuent son habitabilité en comblant les espaces interstitiels et en réduisant leur oxygénation. Il constitue donc un facteur limitant le développement de la faune benthique. On considère qu'il y a colmatage uniquement si l'épaisseur moyenne du substrat colmatant est inférieure à environ 1 cm. A contrario, lorsque cette épaisseur est supérieure à 1 cm en moyenne, l'élément colmatant sera considéré comme un substrat en tant que tel. L'intensité du colmatage au sein de la placette de prélèvement peut être évaluée selon les critères du tableau 4.6 (d'après Afnor 2017).

Tableau 4.6. Estimation de l'intensité du colmatage de surface au sein de chaque placette de prélèvement

| Intensité du colmatage | Définition  |
|------------------------|---|
| Nul                    | Aucun colmatage visible.  |
| Faible                 | Substrat principal recouvert d'une fine pellicule de l'élément colmatant. La perturbation est estimée faible.   |
| Moyen                  | Substrat principal, restant visible, recouvert d'une pellicule soutenue et régulière de l'élément colmatant. La perturbation est estimée significative. |
| Fort                   | Substrat principal, non ou peu visible, recouvert d'une couche épaisse de l'élément colmatant. La perturbation est estimée importante.                  |

## 5 Acquisition des données biologiques et calcul des notes indicielles

### 5.1 Le traitement des échantillons au laboratoire

Le traitement des échantillons au laboratoire consiste, après une phase de préparation, en trier et déterminer les taxons de macroinvertébrés prélevés afin d'établir une liste faunistique et une distribution d'effectifs pour chaque point de prélèvement.

#### 5.1.1 Le matériel nécessaire

Le matériel utile au traitement biologique des échantillons collectés figure au tableau 5.1.

Tableau 5.1. Matériel permettant le traitement biologique des échantillons faunistiques

| Préparation de l'échantillon (lavage et élutriation)   | Matériel de tri   |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>tamis de vide de maille de 250 µm,</li> <li>tamis de vide de maille de taille supérieure à 250 µm (si nécessaire),</li> <li>bacs ou bassines de différentes tailles.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>pincettes très fines et diverses (fines, souples, etc.),</li> <li>réipients de différentes tailles à fond clair et boîtes de Pétri pour le tri,</li> <li>tubes (2 et 5 ml) et portoirs de tubes,</li> <li>éthanol à 70 % pour la conservation des spécimens,</li> <li>loupe binoculaire permettant d'atteindre au minimum un grossissement total de x80,</li> <li>éclairage suffisamment puissant,</li> <li>guides et documents permettant l'identification taxonomique au niveau requis (cf. liste en annexe 4).</li> </ul> |

#### 5.1.2 La phase de préparation de l'échantillon

Le lavage permet d'éliminer l'éthanol utilisé lors du conditionnement sur le terrain, ainsi que la majeure partie des sédiments fins (limons, argiles) qui peuvent gêner la visibilité pour le tri ultérieur. Il est réalisé sur un tamis de 250 µm de vide de maille (ou sur une colonne de tamis incluant celui de 250 µm). Dans le cas où le colmatage est important, il est recommandé de rincer l'échantillon plusieurs fois. Cette manipulation doit être effectuée avec précaution de façon à ne pas abîmer les invertébrés collectés.

Durant cette étape, il est conseillé de retirer les éléments grossiers (pierres, feuilles, brindilles) non éliminés sur le terrain, après vérification qu'aucune faune n'y soit accrochée.

Chaque prélèvement unitaire sera traité séparément.

#### 5.1.3 Le tri des échantillons

La totalité du prélèvement est observée et triée, fraction après fraction, en cherchant à obtenir la meilleure visibilité sous la loupe afin de bien différencier les spécimens de macroinvertébrés des particules minérales et débris organiques.

Dans le cas de l'utilisation d'une colonne de tamis, les fractions les plus grossières ( $\geq 5$  mm) peuvent être triées à l'œil nu ou au moyen d'une loupe à faible grossissement (x2 ou x4). Les fractions inférieures sont triées à la loupe binoculaire (grossissement conseillé : x10 à x20).

Après le tri, les individus extraits à la pince sont regroupés par unité taxonomique ou par type morphologique dans des boîtes de Pétri contenant de l'éthanol à 70 %. Ils sont ensuite déterminés à la loupe binoculaire et comptés.

#### 5.1.4 Le dénombrement et l'identification des spécimens

Après la phase de tri, pour chaque prélèvement unitaire, les organismes extraits sont comptés et identifiés au moyen d'une loupe binoculaire (grossissement minimal requis : x80), à un niveau systématique au moins égal à celui requis pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, comme indiqué au tableau 5.2.

Les organismes considérés sont les formes larvaires, nymphales ou adultes lorsque ces derniers sont aquatiques. Les fourreaux et coquilles vides ne sont pas pris en compte.

Ainsi, une liste faunistique est établie par prélèvement unitaire, présentant les taxons identifiés et leurs effectifs respectifs.

Tableau 5.2. Niveau d'identification taxonomique requis pour la macrofaune benthique, dans le cadre de la mise en œuvre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-Mayotte

| Taxon                                | Niveau de détermination requis | Taxon                               | Niveau de détermination requis |
|--------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| Hydrozoa (Hydriaires)                | famille                        | Insecta Ephemeroptera               | genre                          |
| Turbellaria                          | genre                          | sauf Baetidae                       | famille                        |
| Nematoda                             | phylum                         | Insecta Lepidoptera                 | ordre                          |
| Nemertea                             | genre                          | Insecta Odonata                     | genre                          |
| Oligochaeta                          | classe                         | sauf Coenagrionidae                 | famille                        |
| Hirudinea                            | famille                        | sauf Gomphidae                      | espèce                         |
| Polychaeta                           | famille                        | Insecta Heteroptera                 | espèce                         |
| Mollusca Gastropoda                  | espèce                         | sauf stades jeunes et Hydrometridae | genre                          |
| sauf <i>Ferrissia</i> (Planorbiidae) | genre                          | sauf Notonectidae                   | famille                        |
| Mollusca Bivalvia                    | genre                          | Insecta Diptera                     | famille ou genre               |
| Crustacea Amphipoda                  | ordre                          | sauf Ceratopogonidae                | sous-famille                   |
| Crustacea Isopoda                    | ordre                          | sauf Chironomidae                   | sous-famille, tribu ou genre   |
| Crustacea Decapoda                   | espèce                         | Insecta Trichoptera                 | genre                          |
| Hydracarina                          | phylum                         | sauf Polycentropodidae              | famille                        |
| Insecta Collembola                   | classe                         | Insecta Coleoptera                  | famille                        |
| Insecta Planipennia                  | ordre                          | sauf adultes                        | genre                          |

#### 5.1.5 Les documents de référence pour l'identification de la macrofaune benthique

L'ouvrage de référence permettant l'identification de la macrofaune benthique des cours d'eau de Mayotte est en cours de rédaction. Les ouvrages suivants peuvent être consultés :

- Mary N. (à paraître). Guide d'identification de la macrofaune benthique des cours d'eau de Mayotte. Ethyc'O & OFB.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P., 2010. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. Nouvelle édition revue et augmentée. C.N.R.S. Éditions. 607 p.

- Keith P., Marquet G., Valade P., Bosc P., Vigneux E., 2006. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles. Patrimoines Naturels 65. Publication scientifique du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris. 250 p.

L'annexe 5 présente une liste plus complète de documents de référence.

## 5.2 Bancarisation des données

Pour chaque station d'étude, les données faunistiques et mésologiques collectées sont bancarisées sous format Excel sur le formulaire de saisie de l'OFB se rapportant à la faune benthique invertébrée des « cours d'eau peu profonds » (fichier disponible au lien suivant : <https://professionnels.ofb.fr/en/node/393>). Tous les taxons identifiés sont considérés, même ceux non pris en compte dans le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE. Les codes Sandre correspondant sont en général disponibles au lien suivant : <https://www.sandre.eaufrance.fr/>.

Ces fichiers sont ensuite intégrés par la Deal de Mayotte dans l'outil « Aquatic » qui regroupe toutes les données de surveillance physico-chimiques et biologiques des cours d'eau mahorais. Ces données ont également vocation à intégrer la base Naïades (<https://naïades.eaufrance.fr/>).

## 5.3 Le calcul des notes indicielles via le SEEE

Le calcul des notes indicielles de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est réalisé en ligne via le Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE) à l'adresse suivante : <https://seee.eaufrance.fr/> (sélectionner « outil d'évaluation » comme type d'indicateur et I2M2\_MAYOTTE comme classe d'indicateur).

### 5.3.1 Le principe de calcul des notes indicielles

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est un indice qui intègre cinq métriques. Les notes indicielles sont calculées à partir de la liste faunistique globale obtenue en combinant les résultats des trois phases A, B et C.

Le principe de calcul de l'indice invertébrés multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est identique à celui de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> métropolitain (Mondy *et al.* 2012). Pour une station d'étude donnée, un sous-indice est calculé pour chaque catégorie de pression, p. ex.  $i_2m_2^{(Nutriments)}$  ou  $i_2m_2^{(MO)}$ . Ce sous-indice est la moyenne pondérée (par les valeurs de DE) des valeurs exprimées en EQR des cinq métriques élémentaires composant l'indice. Chacune des cinq métriques qui composent l'indice a donc un poids d'autant plus important dans le calcul d'un sous-indice que son pouvoir de discrimination (DE) pour cette catégorie de pression est plus élevé.

Ainsi, les sous-indices  $i_2m_2^{(Nutriments)}$  et  $i_2m_2^{(MO)}$  sont calculés au moyen des formules suivantes :

$$i_2m_2^{Nut.} = \frac{[DE_{m1}^{Nut.} \times EQR_{m1}] + [DE_{m2}^{Nut.} \times EQR_{m2}] + \dots + [DE_{m5}^{Nut.} \times EQR_{m5}]}{[DE_{m1}^{Nut.}] + [DE_{m2}^{Nut.}] + \dots + [DE_{m5}^{Nut.}]}$$

$$i_2m_2^{MO} = \frac{[DE_{m1}^{MO} \times EQR_{m1}] + [DE_{m2}^{MO} \times EQR_{m2}] + \dots + [DE_{m5}^{MO} \times EQR_{m5}]}{[DE_{m1}^{MO}] + [DE_{m2}^{MO}] + \dots + [DE_{m5}^{MO}]}$$

Avec :

DE<sub>mi</sub> : efficacité de discrimination de la métrique « i » ;

EQR<sub>mi</sub> : valeur d'EQR de la métrique « i » ;

Nut : nutriments, MO : matières organiques et oxydables ;

mi : métrique « i ».

Dans le calcul des sous-indices, les valeurs des métriques élémentaires exprimées en EQR sont identiques pour tous les sous-indices. En revanche, les valeurs des DE associées aux différentes métriques sont spécifiques du type de pression, puisque ces métriques discriminent les catégories de pressions avec une efficacité (donc une valeur de DE) variable.

L'indice final est la moyenne arithmétique des valeurs des cinq sous-indices calculés au cours de l'étape précédente. Le calcul de l'indice final (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE) correspond à la formule :

$$I_2M_2\text{-MAYOTTE} = \sum_{\text{type de pression}} (i m_{22}) / 5$$

La note finale de l'indice est comprise entre 0 et 1 et donnée à la quatrième décimale près, pour pouvoir être comparée aux limites de classes de qualité définies au paragraphe 2.4. Une note proche de 1 reflète un très bon état écologique (c.-à-d. proche de l'état de référence) et une valeur proche de 0, un mauvais état écologique.

### 5.3.2 Format du fichier d'entrée pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

Le fichier d'entrée nécessaire au calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE doit être au format texte séparé par des tabulations et construit comme indiqué au tableau 5.3. Il comporte *a minima* quatre champs obligatoires.

Tableau 5.3. Format du fichier d'entrée nécessaire au calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE

| CODE_OPERATION | DATE       | CODE_TAXON | VALEUR |
|----------------|------------|------------|--------|
| 1100001_21     | 16/09/2021 | 1077       | 117    |
| 1100001_21     | 16/09/2021 | 1056       | 3      |
| 1100001_21     | 16/09/2021 | 32517      | 108    |
| 1100001_21     | 16/09/2021 | 32527      | 33     |
| 1100001_21     | 16/09/2021 | 32514      | 178    |

Le descriptif des quatre champs obligatoires figure au tableau 5.4.

Tableau 5.4. Définition des quatre champs obligatoires du fichier d'entrée pour le calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE

| Nom de l'entête | Descriptif du champ  |
|-----------------|--|
| CODE_OPERATION  | Code de l'opération de contrôle désignée. Le champ est obligatoire et de type alphanumérique.  |
| DATE            | Date à laquelle l'opération a été effectuée. Le champ est obligatoire.                         |
| CODE_TAXON      | Code Sandre du taxon identifié. Le champ est obligatoire.                                      |
| VALEUR          | Valeur du prélèvement par taxon. Le champ est obligatoire et de type entier numérique positif. |

Remarques : L'ordre des colonnes n'a pas d'importance, mais le nom des quatre entêtes doit être respecté (ne pas introduire d'espace dans les cellules des champs obligatoires, hors code opération).

L'annexe 6 présente l'ensemble des 96 taxons pris en compte dans le calcul de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE et leur code Sandre.

### 5.3.3 Fichiers de sortie des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

#### 5.3.3.1 Sortie par défaut

Le fichier de sortie par défaut du calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE comporte six champs tels que présentés dans le tableau 5.5.

Tableau 5.5. Fichier de sortie par défaut des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

| I2M2_MAYOTTE   | v1.0.1     | 2023-06-30 | Temps d'exécution : | 0,25secs |  |
|----------------|------------|------------|---------------------|----------|--|
| CODE_OPERATION | DATE       | CODE_PAR   | LIB_PAR             | RESULTAT | COMMENTAIRES   |
| 1100001_11     | 15/08/2011 | 8993       | I2M2<br>MAYOTTE     | 0.58     | Classe d'état écologique : Bon.  |
| 1100001_17     | 18/09/2017 | 8993       | I2M2<br>MAYOTTE     | 0.286    | Classe d'état écologique : Médiocre.   |
| 11000010_19    | 23/08/2019 | 8993       | I2M2<br>MAYOTTE     | 0.568    | Classe d'état écologique : Bon.  |
| 1100001_11     | 17/09/2011 | 8993       | I2M2<br>MAYOTTE     | 0.325    | Classe d'état écologique : Médiocre. Ces codes taxon : 2791,53, n'existent pas dans la base de données, ils ne sont pas pris en compte dans le calcul. |

Le tableau 5.6 présente le descriptif des champs de sortie par défaut.

Tableau 5.6. Définition des champs de sortie par défaut des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

| Nom de l'entête | Descriptif du champ   |
|-----------------|---|
| CODE_OPERATION  | Code de l'opération de contrôle renseigné. Ce champ est repris du fichier d'entrée.           |
| DATE            | Date à laquelle l'opération a été effectuée. Ce champ est repris du fichier d'entrée.         |
| CODE_PAR        | Code Sandre du paramètre de sortie.   |
| LIB_PAR         | Libellé du paramètre de sortie.   |
| RESULTAT        | Valeur du paramètre de sortie en EQR.   |
| COMMENTAIRES    | Information sur les taxons non contributifs (liste taxonomique et proportion du prélèvement). |

### 5.3.3.2 Sortie optionnelle

Le fichier de sortie optionnelle du calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE présente les résultats obtenus pour chaque sous-indice (Tab. 5.7).

Tableau 5.7. Fichier de sortie optionnelle des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

| I2M2_MAYOTTE   | v1.0.1     | 2023-06-30 | Temps d'execution : | 0.25secs |              |
|----------------|------------|------------|---------------------|----------|--------------|
| CODE_OPERATION | DATE       | CODE_PAR   | LIB_PAR             | RESULTAT | COMMENTAIRES |
| 1100001_21     | 15/08/2021 | 8994       | MES                 | 0.581    | OK           |
| 1100001_21     | 15/08/2021 | 8995       | Matieres.organiques | 0.58     | OK           |
| 1100001_21     | 15/08/2021 | 8996       | Lessive             | 0.579    | OK           |
| 1100001_21     | 15/08/2021 | 8997       | Zebus               | 0.578    | OK           |
| 1100001_21     | 15/08/2021 | 8998       | Nutriments          | 0.583    | OK           |

Le tableau 5.8 présente le descriptif des champs de sortie optionnelle.

Tableau 5.8. Définition des champs de sortie optionnelle des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE

| Nom de l'entête | Descriptif du champ   |
|-----------------|---|
| CODE_OPERATION  | Code de l'opération de contrôle renseigné. Ce champ est repris du fichier d'entrée.           |
| DATE            | Date à laquelle l'opération a été effectuée. Ce champ est repris du fichier d'entrée.         |
| CODE_PAR        | Code sandre du paramètre de sortie.   |
| LIB_PAR         | Libellé du paramètre de sortie.   |
| RESULTAT        | Valeur du paramètre de sortie en EQR.   |
| COMMENTAIRES    | Information sur les taxons non contributifs (liste taxonomique et proportion du prélèvement). |

Pour chacune des sorties (par défaut et optionnelle), la première ligne du tableau de sortie comporte les informations suivantes : indicateur, version, date d'exécution du calcul, temps d'exécution du calcul.



## 6 Conclusions

L'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE a été conçu selon la même méthodologie que la méthode développée pour la France métropolitaine (Mondy *et al.* 2012). C'est un indice multimétrique, fondé sur les caractéristiques taxonomiques et les traits bio/écologiques des communautés de macroinvertébrés benthiques, répondant aux conditions exigées par la DCE en termes d'évaluation de la qualité biologique des cours d'eau. En effet, l'évaluation s'effectue par rapport à une situation de référence ; l'abondance, la diversité et la sensibilité des peuplements d'invertébrés benthiques à la pollution sont prises en compte (Commission Européenne 2000). Ainsi, malgré les connaissances encore parcellaires sur l'écologie de la faune invertébrée de Mayotte, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE est capable de discriminer les variations dans la structure et la composition des communautés en lien avec les pressions anthropiques de celles en lien avec la variabilité naturelle des communautés. En tant qu'indice intégrateur, l'indice est sensible à une détérioration globale de la qualité du milieu aquatique, comme l'altération physico-chimique de l'eau ou la dégradation des habitats. Il n'a pas été conçu pour identifier un type de pression particulier.

L'indice proposé est composé de cinq métriques : (i) le coefficient de spécialisation du trait écologique « préférendum des taxons en matière de substrat benthique », (ii) la « richesse taxonomique relative des Gastéropodes », (iii) la « richesse taxonomique globale » aux niveaux d'identification retenus dans cette étude et calculée sur l'ensemble de l'assemblage faunistique obtenu lors de l'échantillonnage, (iv) la « richesse taxonomique relative de l'ordre des Trichoptères » et (v) la « fréquence relative d'utilisation de la modalité [2 cm – 4 cm] par la communauté d'invertébrés benthiques, en matière de taille maximale potentielle ».

Plusieurs niveaux d'incertitude peuvent cependant être soulignés en ce qui concerne la conception de cet indice :

- Caractéristiques bioécologiques des taxons

La base de données sur les traits bioécologiques des taxons de macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de Mayotte a été renseignée en partie seulement sur la base d'informations provenant de cette zone biogéographique, en raison d'un manque de connaissances ou d'informations publiées sur ces organismes dans les zones tropicales (Gomez 2016 ; Houviez 2017). Pour certains taxons, des informations provenant des zones tempérées ont donc dû être utilisées, qui ne sont pas forcément totalement adaptées à des espèces tropicales de ces mêmes taxons. Ceci a pu introduire une forme de biais lors de la construction de l'indice. En effet, les caractéristiques biologiques des organismes des zones tempérées peuvent différer de celles des zones tropicales, par exemple pour des traits tels que la taille maximale des organismes, la durée du cycle de vie ou le nombre de générations par an.

- Définition des IRR et des LIRR

La définition des sites impactés (IRR) et peu impactés (LIRR) s'est principalement appuyée sur les seuils proposés par le SEQ-eau 2 pour caractériser le niveau de qualité physico-chimique des eaux des OPC (Meyer *et al.* 2020). Cependant, ces seuils ne sont pas tous adaptés aux cours d'eau des zones insulaires tropicales. Bien que le BRGM de Mayotte ait localement adapté certains de ces seuils (adaptations prises en compte dans la caractérisation des pressions), il paraîtrait judicieux de mener une plus large étude pour évaluer la pertinence de l'utilisation des seuils SEQ-eau 2 dans le contexte spécifique de l'île de Mayotte, et le cas échéant, d'en proposer d'autres.

- Méthode de construction de l'indice

L'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE a été construit et testé à partir du même jeu de données (203 OPC au total). Même si une méthode de rééchantillonnage de ce jeu de données a été utilisée afin d'augmenter la robustesse de la construction de l'indice, il n'a pas été possible de tester les combinaisons de métriques candidates sur un jeu de données-test indépendant de celui utilisé pour construire l'indice (Meyer *et al.* 2020). L'acquisition de données complémentaires pourrait permettre de valider *a posteriori* l'indice existant ou, éventuellement, de préconiser la révision de l'indice.

Nous pouvons cependant souligner que l'application de l'indice multimétrique proposé aux données du RCS issues des campagnes de suivi réalisées depuis 2018 (campagnes de 2019, 2021 et 2022) fournit des résultats globalement cohérents avec notre connaissance des pressions anthropiques sur les sites correspondants.

- Catégories de pression décrites

Des campagnes de suivi supplémentaires sur des sites peu impactés (LIRR) et des sites impactés (IRR) permettraient également de renforcer la construction de l'indice proposé et d'élargir les catégories de pression testées. En effet, certaines catégories de pressions, telles que les micropolluants minéraux et organiques, n'ont pas pu être prises en compte, faute de données environnementales en quantité suffisante sur les niveaux de contamination.

- Un niveau de connaissance taxonomique insuffisant

Le niveau des connaissances taxonomiques a progressé depuis la construction de la première version de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE. Ainsi certains taxons peuvent, à l'heure actuelle, être identifiés plus précisément de manière robuste, par exemple au genre pour les insectes Éphéméroptères de la famille des Baetidae (identifiés jusqu'ici à la famille), alors que ce n'était pas le cas durant la période de construction de l'indice. La prise en compte d'un niveau d'identification plus précis de certains taxons pourrait permettre d'augmenter la pertinence de certaines métriques dans l'identification d'un état perturbé lors d'une éventuelle révision de cette première version de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE.

## Glossaire

---

Assec : état d'un cours d'eau qui se retrouve sans eau en surface. L'assec peut résulter soit d'une situation naturelle due au fonctionnement cyclique normal du système hydrographique (climat sec soumis à des pluies peu fréquentes par exemple), ou d'une action anthropique sur le milieu (pression de prélèvement d'eau trop importante par rapport à la capacité du milieu). Pour les cours d'eau, le terme est synonyme de lit asséché (<https://fr.wikipedia.org>).

Benthique : qualifie les organismes vivant sur le fond des cours d'eau, directement sur le substrat ou les êtres vivants mobiles, avec nage libre, habitant au plus près du substrat.

Benthos : ensemble des organismes vivants qui vivent au contact du substrat dans un milieu aquatique.

Biogène : qui favorise le développement des êtres vivants.

Bioindicateur : se rapporte à tout organisme vivant ou groupe d'organismes qui permet de mettre en évidence, aussi précocement que possible, une modification de la qualité d'un milieu. Un bioindicateur doit remplir certaines conditions, notamment être relativement abondant, facile à échantillonner et à identifier et intégrer les conditions du milieu et ses variations (pollutions, améliorations).

Bioindication : évaluation de la qualité d'un milieu au moyen d'organismes vivants reconnus pour intégrer les paramètres de leur biotope et son évolution.

Diatomées : algues brunes microscopiques et unicellulaires, caractérisées par une membrane à deux valves emboîtées (ou frustule) contenant de l'acide silicique. Elles se développent dans les eaux douces, saumâtres ou salées, sur des supports variés (végétaux, pierres, galets, troncs, branchages, ...) et constituent de bons bioindicateurs de la qualité des eaux.

Dulçaquicole : relatif à l'eau douce.

Élutriation : manipulation qui consiste à séparer la fraction organique de la fraction minérale (lourde et restant au fond du récipient utilisé) selon leur densité par agitation dans l'eau. Deux phases sont alors séparées : la fraction surnageante organique qui sera conditionnée et le refus d'élutriation de nature minérale dont une partie est en général prélevée également.

EQR (*Ecological Quality Ratio*, ratio de qualité écologique) : il correspond au rapport entre l'état observé et l'état que devrait avoir le cours d'eau en l'absence de pressions anthropiques significatives. La valeur de l'EQR est comprise entre 0 (éloignée de l'état de référence) et 1 (proche de l'état de référence).

Étiage : période du cycle annuel où un cours d'eau atteint ses plus bas débits.

Habitabilité : aptitude d'un substrat à accueillir une faune diversifiée.

Habitat : combinaison d'un substrat et d'une classe de vitesse de courant.

Hélophyte : plante des bords des cours d'eau et plans d'eau, enracinée dans le milieu aquatique, mais qui développe l'essentiel de son appareil végétatif au-dessus du niveau d'eau.

Hydrophyte : plante qui développe la totalité de son appareil végétatif dans l'eau.

Lentique (ou lénitique) : désigne les biotopes et les êtres vivants propres aux écosystèmes d'eaux calmes à renouvellement lent (lacs, marécages, étangs, etc.) par opposition aux milieux d'eaux courantes qui correspondent aux écosystèmes lotiques (Ramade, 1998).

Lotique : qui est propre aux eaux courantes.

Macroinvertébrés : organismes aquatiques dont la taille est supérieure au millimètre en fin de développement larvaire. Ceux qui colonisent le fond des cours d'eau ou plans d'eau sur des supports minéraux ou végétaux sont qualifiés de benthiques. Ce sont majoritairement des vers (p. ex. oligochètes), des acariens, des crustacés, des mollusques et des larves (ou adultes) d'insectes.

Macrophyte : plante aquatique visible à l'œil nu (plantes vasculaires, bryophytes, characées et macroalgues).

Mouille : faciès de type lentique caractérisé par une épaisseur d'eau importante et de faibles vitesses d'écoulement.

Oligochètes : vers composés de segments semblables portant des faisceaux de soies, vivant dans les milieux aquatiques et terrestres, au contact du substrat.

Phylum : embranchement.

Point de prélèvement : portion de cours d'eau délimitée sur laquelle a lieu l'opération de prélèvement. Sous-espace caractéristique et représentatif d'une station de mesure (Afnor, 2016).

Polluo-résistant : caractérise un organisme tolérant des milieux fortement perturbés (pollués).

Polluo-sensible : caractérise un organisme exigeant une bonne qualité de l'eau et/ou de l'habitat ; on le trouvera dans les milieux exempts de perturbation majeure.

Radier : faciès d'écoulement caractérisé par des vitesses de courant assez fortes, une faible profondeur et des fonds minéraux de granulométrie grossière. S'oppose à la « mouille ».

Substrat : élément ou association d'éléments organiques et/ou minéraux présentant des caractères physiques homogènes sur une certaine surface.

Surber (appareil de prélèvement) : cadre équipé d'un filet de vide de maille fin (250 µm dans le cas de cette étude) et d'une base de 1/20<sup>ème</sup> de m<sup>2</sup> environ.

Systématique (≠ taxonomie) : science dont l'objectif est de chercher, par l'analyse des données biologiques disponibles, à établir une classification synthétique des êtres vivants, représentative de leurs liens de parenté et de leur histoire évolutive.

Taxon : désigne une espèce ou un groupe d'espèces ayant des caractéristiques morphologiques et anatomiques proches. Un taxon peut concerner n'importe quel niveau systématique (embranchement, ordre, famille, genre, espèce). Désigne donc l'unité systématique de détermination.

Taxonomie (taxinomie) : science qui s'attache à décrire et à regrouper les êtres vivants en entités appelées taxons afin de pouvoir les nommer et les classer.

## Bibliographie

---

- Afnor, 2016. Qualité de l'eau – Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes. NF T90-333. 39 p.
- Afnor, 2017. Qualité de l'eau – Guide d'application de la norme NF T90-333: 2016 (Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes). FD T90-733. 64 p.
- Arda, Asconit, Ethyc'O, 2010. Étude de définition des réseaux de surveillance de la qualité des masses d'eau de Mayotte, Volet eaux de surface. Poissons & macrocrustacés, macrofaune benthique, diatomées. Rapport final. 76 p.
- CEB, Deal, 2022. Schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux de Mayotte 2022-2027. Comité de l'eau et de la biodiversité, Direction de l'environnement, de l'aménagement et du logement de Mayotte. 192 p.
- Egis, Ireedd, BRGM, Ocea Consult', 2019. Révision de l'état des lieux du bassin hydrographique de Mayotte. État des lieux 2019. 34 p.
- Egis, Ireedd, BRGM, Ocea Consult', 2020. État des lieux 2019 du bassin hydrographique de Mayotte. Tome 1, rapport final, Juin 2020. 176 p.
- Gomez L., 2016. Définition des profils biologiques et des préférences écologiques des invertébrés aquatiques tropicaux pour la mise au point d'une méthode de bioévaluation des cours d'eau pour l'île de Mayotte. Rapport de stage de Licence 3, Université de Lorraine (Metz). 34 p. + annexes.
- Jeanson M., 2009. Morphodynamique du littoral De Mayotte : des processus au réseau de surveillance. Thèse de doctorat en géographie physique. Université du Littoral Côte d'Opale, 353 p.
- Houviez L., 2017. Contribution à la mise au point d'une méthode de bioévaluation des cours d'eau basée sur les invertébrés, pour l'île de Mayotte (Océan Indien). Rapport de Master 2, Université de Lille. 34 p. + annexes.
- Malavoi J.-R., Souchon Y., 2002. Description standardisée des principaux faciès d'écoulement observables en rivière : clé de détermination qualitative et mesures physiques. Note Technique. Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture, 365/366, 357-372.
- MEDD, Agences de l'eau, 2003. Système d'évaluation de la qualité de l'eau des cours d'eau. Grilles d'évaluation SEQ-Eau (version 2). 40 p.
- Meyer A., Mary N., Houviez L., Gomez L., Usseglio-Polatéra P., 2020. Développement d'un indice biologique pour les cours d'eau de Mayotte fondé sur la macrofaune benthique. Rapport final. LIEC, Université de Lorraine, ETHYC'O, OFB. 60 p. + annexes.
- Mondy C.P., Usseglio-Polatéra P., 2014. Using fuzzy-coded traits to elucidate the non-random role of anthropogenic habitat alteration in functional homogenization. *Freshwater Biology*, 59, 584-600.
- Mondy C.P., Villeneuve B., Archaimbault V. & Usseglio-Polatéra P., 2012. A new macroinvertebrate-based multimetric index (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach. *Ecological Indicators* 18, 452-467.
- Pareto, Asconit, 2013. Évaluation de l'état et du Risque de Non Atteinte des Objectifs Environnementaux (RNAOE) à l'horizon 2021 pour les masses d'eau du bassin de Mayotte au titre de la Directive Cadre sur l'Eau, rapport final, Décembre 2013. 217 p. + annexes.
- Seguin S., Granjon M., Thibault P., 2023. A Mayotte, un recensement adapté à une population aux évolutions hors normes. Blog Insee – janvier 2023. 9 p.
- Usseglio-Polatéra P., Bournaud M., Richoux P., Tachet H., 2000. Biomonitoring through biological traits of benthic macroinvertebrates: how to use species trait databases? *Hydrobiologia*, 422-423, 153-162.

## Table des illustrations

---

### Tableaux

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Tableau 2.1. Métriques composites de l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE et type de réponse attendue avec l'augmentation des pressions anthropiques.....</i>                              | <i>14</i> |
| <i>Tableau 4.1. Critères de définition de la longueur totale des points de prélèvement (Lt) en fonction de la largeur moyenne du lit à plein bord (Lpb) et du nombre de séquences de faciès « radier/mouille »</i> | <i>22</i> |
| <i>Tableau 4.2. Types de substrats rencontrés dans les cours d'eau de Mayotte. Le code Sandre est indiqué pour chacun d'entre eux.....</i>   | <i>23</i> |
| <i>Tableau 4.3. Codage des substrats dominants en fonction de la superficie relative occupée sur le point de prélèvement.....</i>  | <i>25</i> |
| <i>Tableau 4.4. Classes de vitesses de courant considérées dans le plan d'échantillonnage. Le code Sandre est indiqué pour chaque classe.....</i>  | <i>26</i> |
| <i>Tableau 4.5. Mode de prélèvement préconisé pour les différents types de substrat .....</i>  | <i>29</i> |
| <i>Tableau 4.6. Estimation de l'intensité du colmatage de surface au sein de chaque placette de prélèvement.....</i>   | <i>31</i> |
| <i>Tableau 5.1. Matériel permettant le traitement biologique des échantillons faunistiques.....</i>  | <i>32</i> |
| <i>Tableau 5.2. Niveau d'identification taxonomique requis pour la macrofaune benthique, dans le cadre de la mise en œuvre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-Mayotte .....</i>                                       | <i>33</i> |
| <i>Tableau 5.3. Format du fichier d'entrée nécessaire au calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE .....</i>   | <i>35</i> |
| <i>Tableau 5.4. Définition des quatre champs obligatoires du fichier d'entrée pour le calcul de l'indicateur I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE par le SEEE.....</i>   | <i>36</i> |
| <i>Tableau 5.5. Fichier de sortie par défaut des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE .....</i>   | <i>36</i> |
| <i>Tableau 5.6. Définition des champs de sortie par défaut des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE .....</i>   | <i>37</i> |
| <i>Tableau 5.7. Fichier de sortie optionnelle des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE .....</i>  | <i>37</i> |
| <i>Tableau 5.8. Définition des champs de sortie optionnelle des résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE .....</i>  | <i>37</i> |



## Figures

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Figure 2.1. Localisation des stations du RCS, des stations dites de « référence » et des sites significativement pollués considérés pour le développement de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE (Ocea Consult').....</i>                         | <i>10</i> |
| <i>Figure 2.2. Design méthodologique établi pour (A) sélectionner les métriques candidates ; et (B) construire l'indice multimétrique.....</i>  | <i>12</i> |
| <i>Figure 2.3. Illustration de la démarche qui a permis de définir les limites de classes d'état écologique pour l'indice multimétrique I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE, à partir de la distribution des valeurs observées dans les LIRRs.....</i> | <i>14</i> |
| <i>Figure 2.4. Qualité biologique calculée sur les stations de suivi de RCS au moyen de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE pour les étiages 2021 et 2019 (Océa Consult'). .....</i>   | <i>15</i> |
| <i>Figure 3.1. Deux exemples de turbidité de l'eau élevée, empêchant la bonne visibilité des substrats..</i>  | <i>17</i> |
| <i>Figure 3.2. Saisons climatiques définies à Mayotte (d'après <a href="https://meteofrance.yt">https://meteofrance.yt</a>).....</i>  | <i>17</i> |
| <i>Figure 3.3. Assèchement récurrent durant l'étiage de la station 11000006 du RCS « Dapani aval » (août 2017). .....</i>   | <i>18</i> |
| <i>Figure 4.1. Exemples de séquences de faciès d'écoulement dans les stations du RCS de Mayotte.....</i>  | <i>22</i> |
| <i>Figure 4.2. Vues de quelques substrats échantillonnés dans les stations du RCS de Mayotte.....</i>   | <i>25</i> |

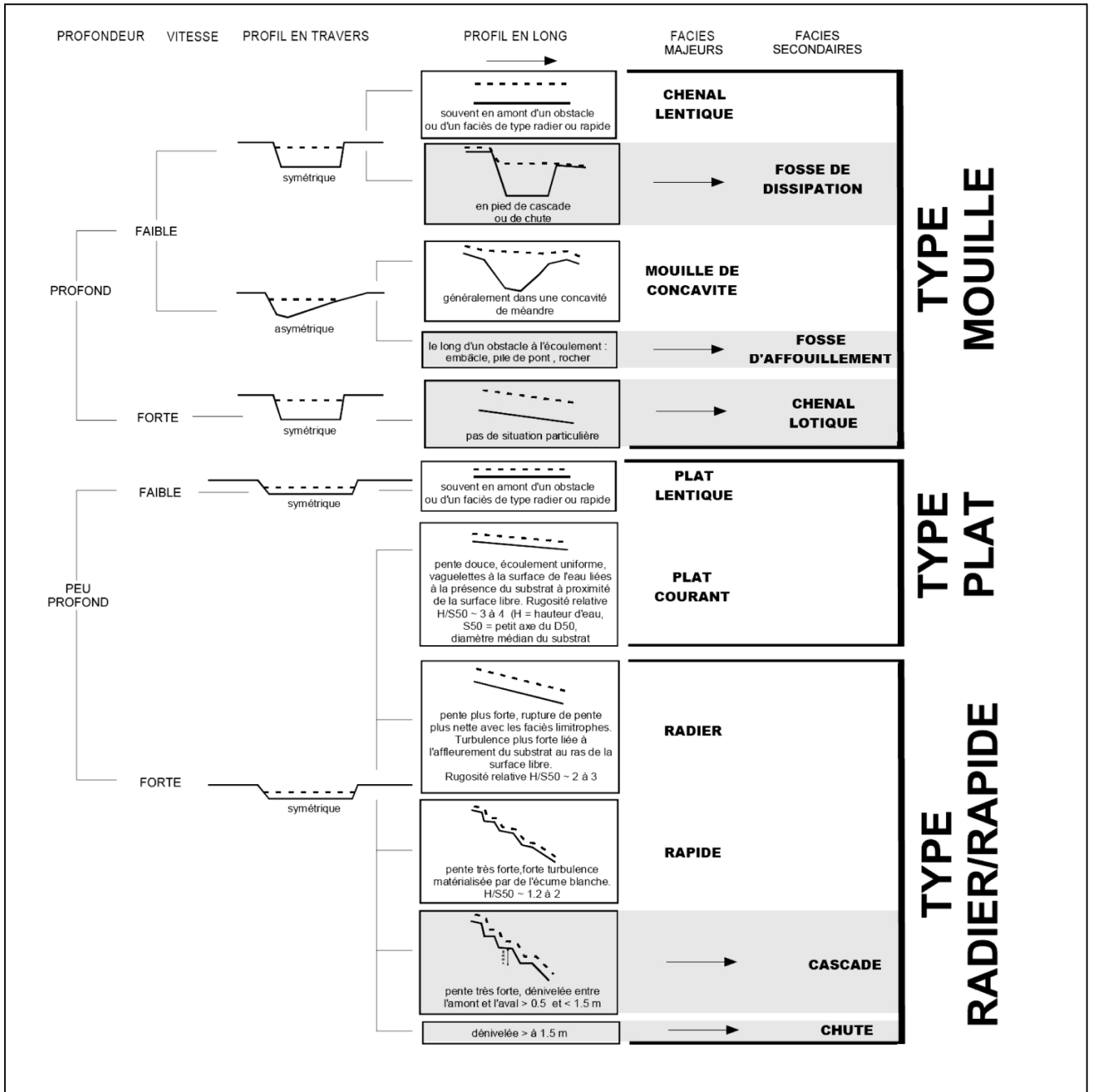
## Annexes

---

### Annexe 1 : Matériel nécessaire pour l'échantillonnage de la macrofaune benthique (liste non exhaustive)

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Documents                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ guide méthodologique ;</li> <li>▪ plan d'échantillonnage avec les coordonnées précises des points de prélèvement) ;</li> <li>▪ fiches de terrain.</li> </ul>   |
| Instruments de mesure <i>in situ</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ oxymètre, conductimètre et pH-mètre ;</li> <li>▪ solutions d'étalonnage ;</li> <li>▪ flacon d'eau déminéralisée.</li> </ul>  |
| Dispositif d'échantillonnage         | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ échantillonneur de type « Surber » (maille de diamètre 250 µm) ;</li> <li>▪ tamis de vide de maille de 250 µm et de taille supérieure ;</li> <li>▪ bassines et cuvettes à fond plat ;</li> <li>▪ flacons et/ou bocaux pour le conditionnement des échantillons faunistiques ;</li> <li>▪ éthanol à 90 % (éventuellement alcool dénaturé).</li> </ul> |
| Matériel divers                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ GPS ;</li> <li>▪ penta/décamètre ou lasermètre ;</li> <li>▪ appareil photo ;</li> <li>▪ paire de cuissardes ;</li> <li>▪ gants ;</li> <li>▪ trousse de secours complète ;</li> <li>▪ téléphone portable.</li> </ul>  |

Annexe 2 : Clé de détermination simplifiée des faciès d'écoulement (d'après Malavoi et Souchon, 2002)



## Annexe 3 : Fiche de terrain – Données mésologiques et faunistiques

Remarques : CU : choix unique ; CM : choix multiple; NR : non renseigné

| 1 - IDENTIFICATION DU POINT DE PRÉLÈVEMENT |  |                                 |                                       |
|--|--|---------------------------------|---------------------------------------|
| Commune                                    |  | Bassin versant                  |                                       |
| Nom du cours d'eau                         |  | Date                            |                                       |
| Nom du point de prélèvement (Code SANDRE)  |  | Heure                           | h                                     |
| Organisme préleveur                        |  | Prélèvement fait par :          |                                       |
| Coordonnées du point de prélèvement (GPS)  | X Aval (m) :                               | Y Aval (m) :                    |                                       |
|  | X Amont (m) :                              | Y Amont (m) :                   |                                       |
| Système de réf./ projection X Y :          | <input type="checkbox"/> UTM Sud fuseau 38 | <input type="checkbox"/> RGM 04 | <input type="checkbox"/> IAG GRS 1980 |
| Altitude (m)                               | m  |                                 |                                       |

| 2 - ENVIRONNEMENT GÉNÉRAL             |   |
|---------------------------------------|---|
| Environnement global rive droite (CU) | <input type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> végétation arbustive <input type="checkbox"/> savane <input type="checkbox"/> végétation éparse <input type="checkbox"/> sol nu<br><input type="checkbox"/> cultures vivrières <input type="checkbox"/> zone urbanisée <input type="checkbox"/> zone agricole |
| Environnement global rive gauche (CU) | <input type="checkbox"/> forêt <input type="checkbox"/> végétation arbustive <input type="checkbox"/> savane <input type="checkbox"/> végétation éparse <input type="checkbox"/> sol nu<br><input type="checkbox"/> cultures vivrières <input type="checkbox"/> zone urbanisée <input type="checkbox"/> zone agricole |
| Pente au point de prélèvement         | <input type="checkbox"/> faible <input type="checkbox"/> moyenne <input type="checkbox"/> forte   |
| Granulométrie dominante (CU)          | <input type="checkbox"/> roches/dalles <input type="checkbox"/> blocs <input type="checkbox"/> pierres/galets <input type="checkbox"/> graviers<br><input type="checkbox"/> sables/limons <input type="checkbox"/> vase   |
| Sources d'interférence (CM)           | <input type="checkbox"/> traces d'hydrocarbures <input type="checkbox"/> présence de bétail <input type="checkbox"/> rejet d'eaux usées <input type="checkbox"/> macrodéchets<br><input type="checkbox"/> lessives <input type="checkbox"/> autre (à préciser) :  |
| Phénomène anormal observé (CM)        | <input type="checkbox"/> odeur et/ou couleur inhabituelle de l'eau <input type="checkbox"/> poissons morts<br><input type="checkbox"/> croissance d'algues excessives <input type="checkbox"/> feux<br><input type="checkbox"/> autre (à préciser) :  |

| 3 - CONDITIONS D'OBSERVATION  |  |
|---|--|
| Hydrologie (CU) :   | <input type="checkbox"/> étiage sévère <input type="checkbox"/> basses eaux, étiage normal <input type="checkbox"/> moyennes eaux <input type="checkbox"/> hautes eaux |
| Traces de laisses de crues récentes ou pluie importante ayant précédé l'échantillonnage (à préciser) ? :<br><input type="checkbox"/> non <input type="checkbox"/> oui   quand ? (nb jours): |  |
| Conditions climatiques (CU) :   | <input type="checkbox"/> soleil <input type="checkbox"/> nuageux <input type="checkbox"/> pluie fine   |
| Couleur eau (CU) :  | <input type="checkbox"/> claire <input type="checkbox"/> légèrement trouble <input type="checkbox"/> trouble <input type="checkbox"/> blanchâtre (lessives)            |
| Fond visible (CU) :   | <input type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non  |
| Photos (noter les particularités) :   |  |
| Remarques complémentaires :   |  |

| 4 - PHYSICO-CHIMIE IN SITU           |                                 |                  |                         |  |
|--------------------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------|--|
|                                      | Valeurs mesurées <i>in situ</i> | Appareil terrain | Date dernier étalonnage | Qualité de la mesure (CU)  |
| Conductivité                         | μS/cm<br>Temp. de réf. : °C     |                  |                         | <input type="checkbox"/> +++ <input type="checkbox"/> ++<br><input type="checkbox"/> + |
| Oxygène dissous / température        | mg/l °C %                       |                  |                         | <input type="checkbox"/> +++ <input type="checkbox"/> ++<br><input type="checkbox"/> + |
| pH                                   |                                 |                  |                         | <input type="checkbox"/> +++ <input type="checkbox"/> ++<br><input type="checkbox"/> + |
| Remarques analyses PC <i>in situ</i> |                                 |                  |                         |  |

| 5 - DESCRIPTION DU POINT DE PRELEVEMENT   |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
|---|------|------|--|------|---|------|------------------------|---|--------------------------------|---|
| <b>Lt</b> Longueur totale du point de prélèvement (12 Lpb)  | m    |      | <b>Facès d'écoulement (CM) :</b><br><input type="checkbox"/> mouille <input type="checkbox"/> radier <input type="checkbox"/> plat<br><input type="checkbox"/> rapide <input type="checkbox"/> autre, à préciser : |      |   |      | Nombre de séquences :  |   |                                |   |
| <b>Lpb</b> Largeur moyenne du lit à plein bord  | m    |      | <b>Sm</b> Superficie mouillée  |      |   |      | m <sup>2</sup>         |   |                                |   |
| Largeur minimale du lit mouillé   | m    |      | Profondeur minimale  |      |   |      | cm                     |   |                                |   |
| Largeur maximale du lit mouillé   | m    |      | Profondeur maximale  |      |   |      | cm                     |   |                                |   |
| Largeur moyenne du lit mouillé  | m    |      | Ombrage (%)  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| Granulométrie des sédiments de la partie non mouillée du lit (CM) : <input type="checkbox"/> R/D <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> P/G <input type="checkbox"/> Gr <input type="checkbox"/> S/L <input type="checkbox"/> Tr |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| Berges / Rives  |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| <b>Structure (CU) :</b> <input type="checkbox"/> naturelle <input type="checkbox"/> artificielle  |      |      |  |      | <b>Structure (CU) :</b> <input type="checkbox"/> naturelle <input type="checkbox"/> artificielle  |      |                        |   |                                |   |
| <b>Pente (CU) :</b> <input type="checkbox"/> plate (< 20°) <input type="checkbox"/> inclinée (20° à 45°) <input type="checkbox"/> verticale (≥ 45°)   |      |      |  |      | <b>Pente (CU) :</b> <input type="checkbox"/> plate (< 20°) <input type="checkbox"/> inclinée (20° à 45°) <input type="checkbox"/> verticale (≥ 45°) |      |                        |   |                                |   |
|   | %Art | %R/D | %B   | %P/G | %Gr   | %S/L | %Tr                    | <b>Végétation (CU)</b>  | % couverture par la végétation |   |
| Rive droite   |      |      |  |      |   |      |                        | <input type="checkbox"/> absente <input type="checkbox"/> éparse<br><input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> herbacée<br><input type="checkbox"/> arbustive <input type="checkbox"/> arborée |                                |   |
| Rive gauche   |      |      |  |      |   |      |                        | <input type="checkbox"/> absente <input type="checkbox"/> éparse<br><input type="checkbox"/> dense <input type="checkbox"/> herbacée<br><input type="checkbox"/> arbustive <input type="checkbox"/> arborée |                                |   |
| Art : Substrats artificiels ; R/D : Roches/Dalles ; B : Blocs (> 250 mm) ; P/G : Pierres et galets (25 à 250 mm) ; Gr : Graviers (2 à 25 mm) ; S/L : Sables et limons (< 2 mm) ; Tr : terre (< 2 mm) ; La : latérites (< 2 mm).               |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| Lit mouillé   |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| <b>Matière organique végétale (CM)</b>  |      |      | <input type="checkbox"/> feuilles <input type="checkbox"/> branches <input type="checkbox"/> troncs  |      |   |      | <b>Importance (CU)</b> |   |                                | <input type="checkbox"/> forte<br><input type="checkbox"/> moyenne<br><input type="checkbox"/> faible |
| Fréquentation animale ou humaine  |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| <b>État du substrat (CM) :</b> <input type="checkbox"/> propre <input type="checkbox"/> débris végétaux <input type="checkbox"/> périphyton <input type="checkbox"/> autre, à préciser :  |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |
| Remarques description du point de prélèvement :   |      |      |  |      |   |      |                        |   |                                |   |

**6 - REPÉRAGE DES SUBSTRATS ET DES CLASSES DE VITESSE DE COURANT**

Les classes de vitesse caractérisant chaque substrat sont identifiées selon leur ordre d'importance (1, 2, 3 ou 4), la valeur la plus faible correspondant à la classe la plus représentée. M : Marginal : substrat occupant moins de 5% de la superficie totale mouillée du point de prélèvement (< 5%) ; D : Dominant : substrat occupant 5% et plus de 5% de la superficie totale mouillée du point de prélèvement (≥ 5%).  
Habit. : habitabilité, prél. : prélèvement, prés. : présence.

| Habit. | Substrat   | Superficie relative estimée (%) | Dominant (D1, D2, D3) ou Marginal (M) | Vitesse (V) en cm/s |       |                     |       |                  |       |             |       |
|--------|--|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|-------|---------------------|-------|------------------|-------|-------------|-------|
|        |  |                                 |                                       | Rapide v > 75       |       | Moyenne 25 ≤ v < 75 |       | Lente 5 ≤ v < 25 |       | Nulle V < 5 |       |
|        |  |                                 |                                       | prés.               | prél. | prés.               | prél. | prés.            | prél. | prés.       | prél. |
| 10     | Bryophytes   |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 9      | Hydrophytes  |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 8      | Débris organiques grossiers (litières)               |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 7      | Chevelus racinaires, supports ligneux                |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 6      | Pierres/galets (25 à 250 mm)                         |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 5      | Blocs soulevables à la main (> 250 mm)               |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 4      | Graviers (2 à 25 mm)                                 |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 3      | Vases (sédiments organiques fins)                    |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 2      | Sables, limons (< 2 mm)                              |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 1      | Algues   |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |
| 0      | Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles |                                 |                                       |                     |       |                     |       |                  |       |             |       |

**7 - TABLEAU D'ÉCHANTILLONNAGE**

|         | Prél. | Substrat | Vitesse du courant (rapide, moyenne, lente, nulle) | Hauteur d'eau (cm) | Colmatage (nul, faible, moyen, fort) | Végétation                            |               |
|---------|-------|----------|--|--------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------|
|         |       |          |  |                    |                                      | Nature (hydrophytes, mousses, algues) | Abondance (%) |
| Phase A | A1    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | A2    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | A3    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | A4    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
| Phase B | B1    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | B2    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | B3    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | B4    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
| Phase C | C1    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | C2    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | C3    |          |  |                    |                                      |                                       |               |
|         | C4    |          |  |                    |                                      |                                       |               |

Colmatage : nul : aucun colmatage visible ; faible : fine couche de l'élément recouvrant ; moyen : couche soutenue de l'élément recouvrant qui perturbe mais n'entrave pas la vie aquatique ; fort : couche épaisse de l'élément recouvrant (substrat principal en partie non visible).

|  |  |
|--|--|
| Nombre de flacons prélevés :   | Échantillons fixés dans : <input type="checkbox"/> éthanol <input type="checkbox"/> formol |
| Remarques relatives à l'échantillonnage et aux conditions de prélèvement : |  |



## Annexe 4 : Exemples de plans d'échantillonnage

## Exemple 1 : 4 substrats marginaux et 4 substrats dominants

| Habit. | Substrat   | Superficie relative estimée (%) | Dominant (D1, D2, D3) ou Marginal (M) | Vitesse (V) en cm/s |      |                     |      |                  |      |             |        | Nb de prélév. réalisés |   |
|--------|--|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|------------------|------|-------------|--------|------------------------|---|
|        |  |                                 |                                       | Rapide v > 75       |      | Moyenne 25 ≤ v < 75 |      | Lente 5 ≤ v < 25 |      | Nulle V < 5 |        |                        |   |
|        |  |                                 |                                       | prés                | prél | prés.               | prél | prés             | prél | prés        | prél   |                        |   |
| 10     | Bryophytes   | 1                               | M                                     |                     |      | 1                   | A1   |                  |      |             |        |                        | 1 |
| 9      | Hydrophytes  | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |      |             |        |                        |   |
| 8      | Débris organiques grossiers (litières)               | 7                               | D1                                    |                     |      |                     |      |                  |      | 1           | B1     |                        | 1 |
| 7      | Chevelus racinaires, supports ligneux                | 4                               | M                                     |                     |      |                     |      | 2                |      | 1           | A2     |                        | 1 |
| 6      | Pierres/galets (25 à 250 mm)                         | 2                               | M                                     |                     |      |                     |      | 1                | A3   | 2           |        |                        | 1 |
| 5      | Blocs soulevables à la main (> 250 mm)               | 10                              | D1                                    |                     |      |                     |      | 2                | C3   | 1           | B2     |                        | 2 |
| 4      | Graviers (2 à 25 mm)                                 | 4                               | M                                     |                     |      |                     |      |                  |      | 1           | A4     |                        | 1 |
| 3      | Vases (sédiments organiques fins)                    | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |      |             |        |                        |   |
| 2      | Sables, limons (< 2 mm)                              | 9                               | D1                                    |                     |      |                     |      |                  |      | 1           | B3, C4 |                        | 2 |
| 1      | Algues   | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |      |             |        |                        |   |
| 0      | Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles | 63                              | D3                                    |                     |      | 3                   | C2   | 2                | C1   | 1           | B4     |                        | 3 |

## Explications sur le plan d'échantillonnage :

## Phase A :

- A1 : bryophytes.
- A2 : sous-type le plus représenté entre « chevelus racinaires » et « substrat ligneux » dans leur classe de vitesse dominante (nulle).
- A3 : pierres/galets dans leur classe de vitesse dominante (lente).
- A4 : graviers.

## Phase B :

- B1 : litières.
- B2 : blocs soulevables à la main dans leur classe de vitesse dominante (nulle).
- B3 : sables.
- B4 : surfaces uniformes dures naturelles (roche-mère) dans leur classe de vitesse dominante (nulle).

## Phase C :

- C1 et C2 : surfaces dures naturelles dans leurs 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> classes de vitesse (lente et moyenne).
- C3 : blocs soulevables à la main dans leur 2<sup>ème</sup> classe de vitesse (lente).
- C4 : sables.

**Exemple 2 : 3 substrats marginaux et 2 substrats dominants**

| Habit. | Substrat   | Superficie relative estimée (%) | Dominant (D1, D2, D3) ou Marginal (M) | Vitesse (V) en cm/s |      |                     |      |                  |        |             |        | Nb de prélev. réalisés |  |
|--------|--|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------|------|---------------------|------|------------------|--------|-------------|--------|------------------------|--|
|        |  |                                 |                                       | Rapide v > 75       |      | Moyenne 25 ≤ v < 75 |      | Lente 5 ≤ v < 25 |        | Nulle V < 5 |        |                        |  |
|        |  |                                 |                                       | prés                | prél | prés.               | prél | prés             | prél   | prés        | prél   |                        |  |
| 10     | Bryophytes   | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 9      | Hydrophytes  | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 8      | Débris organiques grossiers (litières)               | 4                               | M                                     |                     |      |                     |      | 2                | A4     | 1           | A1     | 2                      |  |
| 7      | Chevelus racinaires, supports ligneux                | 4                               | M                                     |                     |      |                     |      | 2                |        | 1           | A2     | 1                      |  |
| 6      | Pierres/galets (25 à 250 mm)                         | 2                               | M                                     |                     |      |                     |      | 1                | A3     | 2           |        | 1                      |  |
| 5      | Blocs soulevables à la main (> 250 mm)               | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 4      | Graviers (2 à 25 mm)                                 | 15                              | D1                                    |                     |      |                     |      | 2                | C3     | 1           | B1, C4 | 3                      |  |
| 3      | Vases (sédiments organiques fins)                    | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 2      | Sables, limons (< 2 mm)                              | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 1      | Algues   | 0                               | /                                     |                     |      |                     |      |                  |        |             |        |                        |  |
| 0      | Surfaces uniformes dures naturelles ou artificielles | 75                              | D3                                    |                     |      | 3                   | B4   | 2                | B3, C2 | 1           | B2, C1 | 5                      |  |

**Explications sur le plan d'échantillonnage :**Phase A :

- A1 : litières dans leur classe de vitesse dominante (nulle).
- A2 : sous-type le plus représenté entre « chevelus racinaires » et « substrat ligneux » dans la classe de vitesse dominante (nulle).
- A3 : pierres/galets dans leur classe de vitesse dominante (lente).
- A4 : aucun autre substrat marginal, la priorité est donnée aux litières (ordre de priorité du tableau), dans leur 2ème classe de vitesse (lente).

Phase B :

- B1 : graviers dans leur classe de vitesse dominante (nulle).
- B2, B3 et B4 : surfaces uniformes dures naturelles (roche-mère) dans les 3 classes de vitesse présentes. En effet, les graviers ayant une superficie relative < 25% (classe D1), un seul prélèvement est effectué sur ce substrat.

Phase C :

- C1 et C2 : surfaces uniformes dures naturelles (roche-mère) dans les 2 classes de vitesse les plus représentées (nulle et lente).
- C3 et C4 : graviers dans les 2 classes de vitesse représentées (nulle et lente).

## Annexe 5 : Liste des ouvrages de référence de détermination de la macrofaune benthique

- Andersen N. M., Weir T. A., 2004. Australian Water Bugs. Their Biology and Identification (Hemiptera-Heteroptera, Gerromorpha, Nepomorpha). Entomograph Vol. 14. Apollo Books, CSIRO Publishing. 344 p.
- Chinery M., 1988. Insectes de France et d'Europe occidentale (1<sup>ère</sup> édition française). Arthaud, Paris. 320 p.
- Day J.A., Harrison A.D., De Moor I.J., 2002. Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 9: Diptera. Water Research Commission Report No. TT 201/02. 200 p.
- De Moor I.J., Day J.A., De Moor F.C., 2003. Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 7: Insecta I. Ephemeroptera, Odonata & Plecoptera. Water Research Commission Report No. TT 207/03. 288 p.
- De Moor I.J., Day J.A., De Moor F.C., 2003. Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 8: Insecta II. Hemiptera, Megaloptera, Neuroptera, Trichoptera & Lepidoptera. Water Research Commission Report No. TT 214/03. 208 p.
- Jäch M. A., Balke M., 2010. Monographs on Coleoptera, Vol.3: Water beetles of New Caledonia (part 1). Zoologisch-Botanische Gesellschaft (Section of Entomology). 449 p.
- Keith P., Marquet G., Valade P., Bosc P., Vigneux E., 2006. Atlas des poissons et des crustacés d'eau douce des Comores, Mascareignes et Seychelles. Patrimoines Naturels 65. Publication scientifique du Museum National d'Histoire Naturelle, Paris. 250 p.
- Mary N., 2017. Les macroinvertébrés benthiques des cours d'eau de la Nouvelle-Calédonie. Guide d'identification. Version révisée 2017. DAVAR NC, OEIL NC, CNRT. 182 p.
- Merritt R.W., Cummins K.W., Berg M.B., 2008. An introduction to the Aquatic Insects of North America, 4th Edition, 1158 p.
- Stals R. & De Moor I.J. (Eds). 2007 (2008). Guides to the Freshwater Invertebrates of Southern Africa. Volume 10: Coleoptera. Water Research Commission, Gezina, Pretoria, South Africa. 263 p.
- Tachet H., Richoux P., Bournaud M. & Usseglio-Polatera P., 2010. Invertébrés d'eau douce : systématique, biologie, écologie. Nouvelle édition revue et augmentée. C.N.R.S. Éditions. 607 p.
- Winterbourn M. J., Gregson K. L. D., Dolphin C.H., 2006. Guide to the aquatic insects of New Zealand (4<sup>th</sup> edition), Bulletin of the Entomological Society of New Zealand 14. 108 p.
- Yule C.M., Yong Hoi Sen, 2004. Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region. Academy of Sciences Malaysia. 861 p.

Annexe 6 : Taxons considérés dans le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-MAYOTTE.

| Taxon  | Code SANDRE |
|--|-------------|
| F/ Hydridae <i>Hydra sp.</i>   | 1077        |
| F/ Dugesidae <i>Dugesia sp.</i>  | 1056        |
| Nematoda_ND  | 1089        |
| Nemertea <i>Prostoma graecense</i>   | 4224        |
| sCI/ Oligochaeta_ND  | 933         |
| F/ Glossiphoniidae <i>Helobdella europaea</i>                                    | 32517       |
| F/ Nereididae  | 4246        |
| Hydracarina_ND   | 906         |
| F/ Assimineidae <i>Assimineia parvula</i> (syn. <i>Omphalotropis parvula</i> )   | 44350       |
| F/ Lymnaeidae <i>Pseudosuccinea columella</i>                                    | 32507       |
| F/ Neritidae <i>Clithon chlorostoma</i> (syn. <i>C. comorensis</i> )             | 43301       |
| F/ Neritidae <i>Clithon madecassinum</i> (syn. <i>C. spiniperda</i> )            | 43300       |
| F/ Neritidae <i>Neritilia consimilis</i>   | 10224       |
| F/ Neritidae <i>Neritina gagates</i>   | 10222       |
| F/ Neritidae <i>Septaria borbonica</i>   | 10225       |
| F/ Neritidae <i>Neritina pulligera</i> ( <i>N. knorri</i> + <i>N. stumpffi</i> ) | 43334       |
| F/ Physidae <i>Physella acuta</i>  | 19291       |
| F/ Planorbidae <i>Africanogyrus crassilabrum</i>                                 | 43337       |
| F/ Sphaeriidae <i>Pisidium sp.</i>   | 1043        |
| F/ Thiaridae <i>Melanoides tuberculata</i>                                       | 10252       |
| F/ Thiaridae <i>Thiara amarula</i>   | 32527       |
| F/ Thiaridae <i>Thiara scabra</i>  | 32514       |
| O/ Amphipoda_ND  | 3114        |
| O/ Isopoda_ND  | 3165        |
| F/ Atyidae <i>Atyoida serrata</i>  | 3284        |
| F/ Atyidae <i>Caridina longirostris</i>  | 43338       |
| F/ Atyidae <i>Caridina typus</i>   | 3286        |
| F/ Grapsidae <i>Varuna litterata</i>   | 3295        |
| F/ Palaemonidae <i>Macrobrachium lar</i>   | 3293        |
| CI/ Collembola_ND  | 1088        |
| F/ Crambidae_ND  | 2947        |
| F/ Baetidae_ND   | 363         |
| F/ Caenidae <i>Caenis sp.</i>  | 457         |
| F/ Leptophlebiidae <i>Euthraulus sp.</i>   | 44354       |
| F/ Leptophlebiidae <i>Thraulus turbinatus</i>                                    | 44355       |
| F/ Coenagrionidae_ND   | 658         |
| F/ Gomphidae <i>Paragomphus genei ndzuaniensis</i>                               | 43350       |
| F/ Libellulidae <i>Diplacodes sp.</i>  | 5164        |
| F/ Libellulidae <i>Orthetrum sp.</i>   | 698         |
| F/ Libellulidae <i>Rhyothemis sp.</i>  | 43349       |
| F/ Libellulidae <i>Trithemis sp.</i>   | 2685        |
| F/ Libellulidae <i>Zygonyx sp.</i>   | 43348       |
| F/ Libellulidae_ND   | 696         |
| F/ Corixidae <i>Micronecta sp.</i>   | 719         |
| F/ Gerridae <i>Tenagogonus madagascariensis</i>                                  | 43352       |
| F/ Gerridae_ND   | 734         |
| F/ Hebridae <i>Hebrus sp.</i>  | 738         |
| F/ Hydrometridae <i>Hydrometra sp.</i>   | 740         |
| F/ Mesoveliidae <i>Mesovelia vittigera</i>                                       | 32522       |
| F/ Naucoridae <i>Heleocoris humeralis</i>  | 44358       |

|                         |                             |       |
|-------------------------|-----------------------------|-------|
| F/ Notonectidae_ND      |                             | 728   |
| F/ Veliidae             | <i>Microvelia sp.</i>       | 744   |
| F/ Veliidae             | <i>Rhagovelia mohelii</i>   | 44356 |
| F/ Veliidae             | <i>Rhagovelia sp.</i>       | 10254 |
| F/ Cecidomyiidae_ND     |                             | 20454 |
| F/ Ceratopogonidae      | sF/ Ceratopogoninae_ND      | 822   |
| F/ Ceratopogonidae      | sF/ Forcipomyiinae_ND       | 20455 |
| F/ Chironomidae         | Tr. Chironomini             | 816   |
| F/ Chironomidae         | sF Orthocladiinae           | 813   |
| F/ Chironomidae         | sF Tanypodinae              | 809   |
| F/ Chironomidae         | Tr. Tanytarsini             | 818   |
| F/ Culicidae            | <i>Culex sp.</i>            | 800   |
| F/ Dixidae              | <i>Dixa sp.</i>             | 794   |
| F/ Empididae            | <i>Hemerodromia sp.</i>     | 832   |
| F/ Ephydriidae_ND       |                             | 844   |
| F/ Limoniidae           | Tr. Hexatomini              | 20358 |
| F/ Limoniidae           | <i>Limonia sp.</i>          | 32538 |
| F/ Muscidae_ND          |                             | 32534 |
| F/ Psychodidae_ND       |                             | 783   |
| F/ Scathophagidae_ND    |                             | 846   |
| F/ Simuliidae           | <i>Simulium adersi</i>      | 43354 |
| F/ Syrphidae_ND         |                             | 843   |
| F/ Tipulidae            | <i>Tipula sp.</i>           | 754   |
| F/ Stratiomyidae        | <i>Oplodontha sp.</i>       | 2881  |
| F/ Calamoceratidae      | <i>Anisocentropus sp.</i>   | 43326 |
| F/ Ecnomidae            | <i>Ecnomus sp.</i>          | 249   |
| F/ Hydropsychidae       | <i>Cheumatopsyche sp.</i>   | 221   |
| F/ Hydropsychidae       | <i>Leptonema sp.</i>        | 20416 |
| F/ Hydroptilidae        | <i>Catoxyethira sp.</i>     | 43357 |
| F/ Hydroptilidae        | <i>Hydroptila sp.</i>       | 200   |
| F/ Hydroptilidae        | <i>Oxyethira sp.</i>        | 199   |
| F/ Leptoceridae         | <i>Athripsodes sp.</i>      | 311   |
| F/ Leptoceridae         | <i>Oecetis sp.</i>          | 317   |
| F/ Philopotamidae       | <i>Chimarra spp.</i>        | 207   |
| F/ Pisuliidae           | <i>Pisulia sp.</i>          | 43329 |
| F/ Polycentropodidae_ND |                             | 223   |
| F/ Psychomyiidae        | <i>Tinodes sp.</i>          | 245   |
| F/ Curculionidae_ND     |                             | 647   |
| F/ Dytiscidae           | <i>Laccophilus alluaudi</i> | 43361 |
| F/ Dytiscidae_ND        |                             | 527   |
| F/ Elmidae_ND           |                             | 614   |
| F/ Gyrinidae            | <i>Dineutus sp.</i>         | 44345 |
| F/ Hydraenidae          | <i>Hydraena sp.</i>         | 608   |
| F/ Hydrophilidae_ND     |                             | 571   |
| F/ Scirtidae_ND         |                             | 634   |
| F/ Staphylinidae_ND     |                             | 20453 |