





## Suivi de document

---

Version		Création/Modification	
		Rédacteur	Date
A.0	Document initial	TB / MB	8/11/2019
A.1	Intégration des remarques des Agences de l'Eau	TB / MB	11/12/2019
A.2	Intégration des remarques des Agences de l'Eau	TB / MB	06/01/2020

## Préambule

### ■ Contexte

Ce document s'inscrit dans le cadre de l'étude sur l'application de l'Indice Invertébrés Multi Métriques (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) sur les hydroécorégions 9A (*Tables Calcaires Côtiers*), 9 (*Tables Calcaires*) et 10 (*Côtes calcaires Est*) sur le périmètre des Agences de l'Eau Artois-Picardie et Seine Normandie.

L'objectif de cette étude vise à expliquer les causes probables des déclassements constatés sur ces hydroécorégions, et plus particulièrement sur l'HER 9A, dans le cadre de l'évaluation de l'état des masses d'eau avec ce nouvel indice.

Dans ce cadre, l'étude est structurée selon 4 axes principaux et complémentaires :

- Un premier axe qui consiste en l'analyse de la bibliographie de référence portant notamment sur la construction de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. ***L'objectif de cet axe est d'étudier la méthode de construction de l'indice afin de comprendre son fonctionnement et les résultats obtenus sur l'HER 9A.***
- Un deuxième axe qui vise à étudier en détail 20 stations sélectionnées sur l'HER 9A à partir d'une phase d'analyse des données recueillies (physico-chimie générale, chimie, listes faunistiques, hydro morphologie, ...) et une phase de terrain par l'application de protocoles spécifiques. ***L'objectif de ce second axe est d'identifier les caractéristiques des cours de cette HER susceptibles d'expliquer les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> obtenues ainsi que les principales pressions présentes pouvant altérer les peuplements de macro invertébrés.***
- Un troisième axe qui porte sur l'analyse des déclassements sur les cours d'eau des tables calcaires (HER 9A, 9 et 10) et la réalisation de traitements statistiques. ***L'objectif de cet axe est de rechercher des pistes d'explications possibles aux déclassements observés.***
- Un quatrième axe qui, sur la base des observations et conclusions déduites des axes précédents a pour objectif de proposer des pistes d'adaptation de la méthode sur les cours d'eau des hydroécorégions ciblées par l'étude.

### ■ Objectifs et structuration du document

Ainsi, l'objectif de ce présent document est d'expliquer de manière simplifiée et didactique les points clés de cette étude. Pour ce faire, cette synthèse pédagogique a été rédigée sous forme de questions regroupées en 4 chapitres principaux :

- Un premier chapitre intitulé « *Généralités sur la bioindication et les macroinvertébrés benthiques* », qui peut être considéré comme une introduction aux chapitres suivants puisqu'il rappelle les principes clés de la bioindication et les principales caractéristiques des macroinvertébrés benthiques justifiant leur utilisation dans l'évaluation de l'état des cours d'eau.
- Un second chapitre intitulé « *Principes de calcul et interprétation des deux méthodes de bioindication : l'IBGN-équivalent et l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>* », qui regroupe plusieurs questions dans lesquelles sont expliquées les principales différences méthodologiques entre les deux indices.
- Le troisième chapitre traite de l'application de « *I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les cours d'eau des Tables Calcaires* » et plus spécifiquement sur l'HER 9A en apportant des éléments de compréhension sur l'application ; point par point ; de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les hydroécorégions des Tables Calcaires ainsi que sur les déclassements observés.

- Sur la base des éléments de réponse apportés dans les 3 premières parties, le dernier chapitre « Conclusions et pistes d'adaptation envisageables de la méthode sur les Tables Calcaires » clôture cette synthèse en proposant des pistes qui pourraient permettre d'adapter la méthode aux spécificités des cours d'eau étudiés et, dans la mesure où cela s'avérerait impossible, de proposer des pistes alternatives pour permettre de consolider l'évaluation de la qualité des masses d'eau telle qu'elle est actuellement proposée par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

#### ■ *Guide de lecture de la synthèse*

Bien que les différents chapitres – et l'enchaînement des questions relatives – aient été organisés afin de permettre une lecture fluide et logique du document, cette synthèse ne doit pas être considérée comme un document linéaire.

En effet, la complexité de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de la problématique étudiée rendent la décomposition des différents éléments explicatifs délicate.

Ainsi, et dans une logique de non redondance, certaines explications données en réponse à une question précise sont parfois mentionnées - *via un système de renvois* - dans d'autres réponses.

## Glossaire

### ▪ **AQEM :**

Acronyme : « **A**ssessment System for the Ecological **Q**uality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic **M**acroinvertebrate » (ou Système d'Evaluation de la Qualité Ecologique des cours d'eau Européens par l'étude des macroinvertébrés benthiques) désignant un protocole mis en œuvre à l'échelle européenne (8 pays) et mettant à disposition un système d'évaluation harmonisé des cours d'eau par les macroinvertébrés.

### ▪ **Analyse synécologique :**

Analyse des relations entre des organismes d'espèces différentes.

### ▪ **Biocénose :**

Ensemble des organismes vivants qui occupent un écosystème donné.

### ▪ **Bioindicateur :**

Un bioindicateur peut se définir comme une espèce ou un groupe d'espèces végétales ou animales dont les caractéristiques observées (occurrence, abondance, biomasse ou traits écologiques) fournissent une indication sur le niveau de dégradation du milieu.

### ▪ **Biotope :**

Espace caractérisé par des facteurs climatiques, géographiques, physiques, morphologiques et géologiques en équilibre constant ou cyclique et occupé par des organismes qui vivent en association spécifique (biocénose). C'est la composante non vivante (abiotique) de l'écosystème.

### ▪ **Biotypologie :**

Portion de cours d'eau ou « Zone » définie par un ensemble de conditions mésologiques (température, physico-chimie) résultant de facteurs physiques (pente, largeur du cours d'eau, etc.) et qui induit la présence d'une biocénose caractéristique de ces conditions.

### ▪ **Concrétionnement calcaire :**

Processus biochimique observé en milieu karstique et aboutissant à la formation de concrétion ou accumulation de matière, souvent en couches successives autour d'un noyau (nodule) à partir d'un point d'écoulement d'eau.

En milieu karstique, l'eau chargée en dioxyde carbone (CO<sub>2</sub>) dissout le calcaire des roches qu'elle érode. Au contact de l'air plus chaud, la calcite est déposée et s'accumule pour former des concrétions.



Figure 1 : Exemple de concrétion calcaire (Source : planet-terre)

▪ **Crénon :**

Terme utilisé pour désigner les cours d'eau des zones de sources.

▪ **EQR :**

Acronyme : « Ecological Quality Ratio ».

Méthode de calcul développée dans le cadre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) afin d'harmoniser les résultats des différentes méthodes d'évaluation de la qualité biologique des eaux utilisées par les pays de l'U.E.

L'EQR s'exprime entre 0 et 1, et représente l'écart à une situation de référence, pour un type de cours d'eau donné.

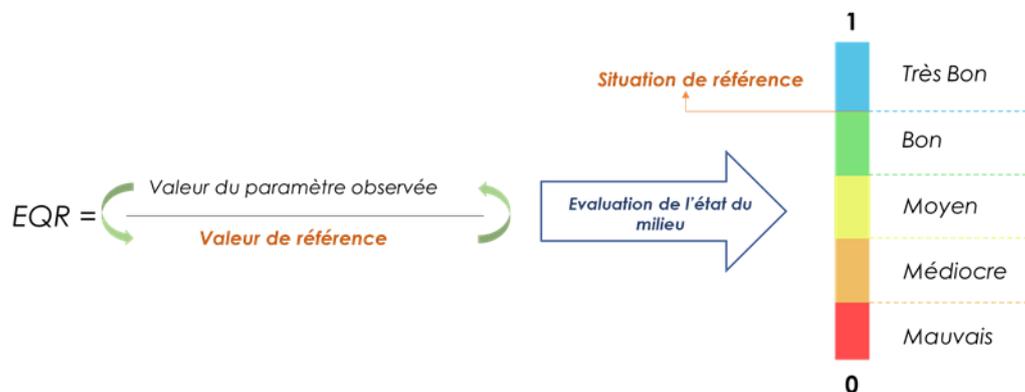


Figure 2 : Schématisation du calcul d'un EQR (ANTEA Group)

▪ **Euryécie / Euryptopie :**

Terme utilisé pour caractériser une espèce ayant une grande valence ou amplitude écologique : capable à coloniser de nombreux habitats (niche écologique importante) car supportant d'importantes variations de facteurs écologiques tels que la température, l'acidité...

- **Habitabilité (ou capacité biogène) :**

Aptitude d'un substrat à accueillir une faune diversifiée. Dans le cadre du protocole d'échantillonnage appliqué pour les indices IBGN et I2M2, les substrats sont classés par habitabilité théorique décroissante.

- **Hydroécorégion :**

Zone homogène du point de vue de la géologie, du relief et du climat. L'hydroécorégion (HER) est l'un des principaux critères utilisés dans la typologie et la délimitation des masses d'eau de surface. La France métropolitaine peut être décomposée en 21 hydroécorégions principales (HER de rang 1) et 50 hydroécorégions de rang 2 utilisées dans certains bassins pour préciser la typologie.

- **Imago :**

Pour l'insecte, c'est la forme adulte et complète de l'adulte à métamorphoses (ex : libellule)

- **Opération de contrôle :**

Ensemble de mesures in situ, prélèvements et/ou analyses, qui sont effectués sur un point de contrôle pendant une période indéterminée, conformément à un protocole de contrôle, destiné à l'évaluation d'un élément de qualité et produisant une donnée d'observation (ONEMA)

- **Point de prélèvements :**

Portion de cours d'eau délimitée sur laquelle a lieu l'opération de prélèvement ; sous-espace caractéristique de la station de mesure (SANDRE, 2008).

- **Potamon :**

Terme utilisé pour désigner les cours d'eau à écoulement lent des zones inférieures et médianes (ex : cours d'eau de plaine).

- **Représentativité :**

Dans le cadre de l'évaluation de la qualité des masses d'eau fixé par la DCE, le choix du point de prélèvement sur la station de mesure doit permettre, à travers les résultats des différents protocoles d'évaluation, de renvoyer une image représentative de la qualité de la station.

- **Réseau de Contrôle et de Surveillance (RCS) :**

Le réseau de contrôle de surveillance (RCS) des eaux douces de surface concerne les cours d'eau, les canaux et les plans d'eau. Il est destiné à évaluer l'état général des eaux et à suivre les changements à long terme de l'état des eaux suite à des changements d'origines naturelle ou anthropique. Il est constitué de sites pérennes répartis sur l'ensemble du territoire.

- **Rhitron :**

Terme utilisé pour désigner les cours d'eau à écoulement rapide des zones supérieures

▪ **Station de mesure :**

Lieu situé sur un cours d'eau, sur lequel sont effectués des mesures ou prélèvements en vue d'analyses biologiques. Ces mesures peuvent être réalisées en différents points de prélèvements, devant tous être cohérents et représentatifs de la même station de mesure (SANDRE, 2008),

▪ **Station de référence / LIRRs :**

Dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, les stations de références ou « Least Impaired Rivers Reaches » (LIRRs) sont des stations caractérisées, à partir des classes d'aptitudes fixées dans le SEQ-Eau (Système d'Evaluation de la Qualité des Eaux) et selon les critères suivants (conditions limites, les plus déclassantes) :

- Pour les 10 catégories de pression relatives à la qualité de l'eau : 3 catégories maximales avec une classe d'aptitude « Moyen », les autres en classe d'aptitude « Bon » ou « Très Bon ».
- Pour les 7 catégories de pression relatives à l'hydromorphologie, seulement une catégorie avec une classe d'aptitude « Médiocre », les 6 autres en classes d'aptitude « Moyen », « Bon » ou « Très Bon ».

▪ **Station soumises à des pressions / IRRs :**

Dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, les stations soumises à des pressions ou « Impaired Rivers Reaches » (IRRs) sont toutes les stations qui ne remplissent pas les critères fixés pour l'identification des stations de références ou LIRRs (voir **Station de référence / LIRRs**). Ces stations sont donc caractérisées par :

- Plus de 3 catégories de pression relatives à la qualité de l'eau en classe « Moyen » ou « Médiocre » ou « Mauvais » ;
- Plusieurs catégories de pression relatives à l'hydromorphologie en classe « Médiocre » ou « Mauvaise ».

▪ **Sténoécie / Sténopathie :**

Terme utilisé pour caractériser une espèce ayant une faible capacité d'adaptation (contraire d'euryécie) et qui est donc cantonnée à un petit nombre de milieu (niche écologique étroite)

▪ **Traits de vie :**

Egalement appelés traits biologiques, ils rassemblent l'ensemble des informations qualitatives et quantitatives associées à la biologie des organismes (morphologie, physiologie, comportement) et à leurs relations avec l'environnement (cycle de vie, potentialités de résistance, etc...).

Les traits écologiques sont décrits par des variables caractérisant les affinités d'un taxon pour certaines caractéristiques de l'habitat ou principales conditions physico-chimiques.

Par exemple, l'affinité de chaque taxon au **degré de trophie** (richesse en nutriments) du milieu s'exprime en trois modalités : oligotrophe, mésotrophe et eutrophe que l'on retrouve dans le guide Tachet.

Au final, 9 traits biologiques, 6 traits physiologiques et 6 traits écologiques sont déclinés en modalités et codés pour chaque taxon pris en compte dans l'ouvrage.

▪ **Type de cours d'eau :**

Cours d'eau appartenant à un ensemble homogène défini par des composantes liées au climat, au relief, à la nature du sol, à la géologie et à la taille du cours d'eau.

Ainsi, la typologie des cours d'eau prend en compte 2 facteurs :

- Les hydroécorégions
- Le rang de Stralher qui rend compte de la taille du cours d'eau.

Pour la définition des types de masses d'eau « cours d'eau », 5 types de tailles ont été retenus :

- Les **Très Petits** cours d'eau (**TP**)
- Les **Petits** cours d'eau (**P**)
- Les cours d'eau **Moyens** (**M**)
- Les **Grands** cours d'eau (**G**)
- Les **Très Grands** cours d'eau (**TG**)

Au final, un type de cours d'eau est identifié par la combinaison de sa classe de taille et du code de son hydroécorégion.

Par exemple, un petit cours d'eau des Tables Calcaires Côtiers (HER 9A) est identifié par le code suivant : « P9-A ».

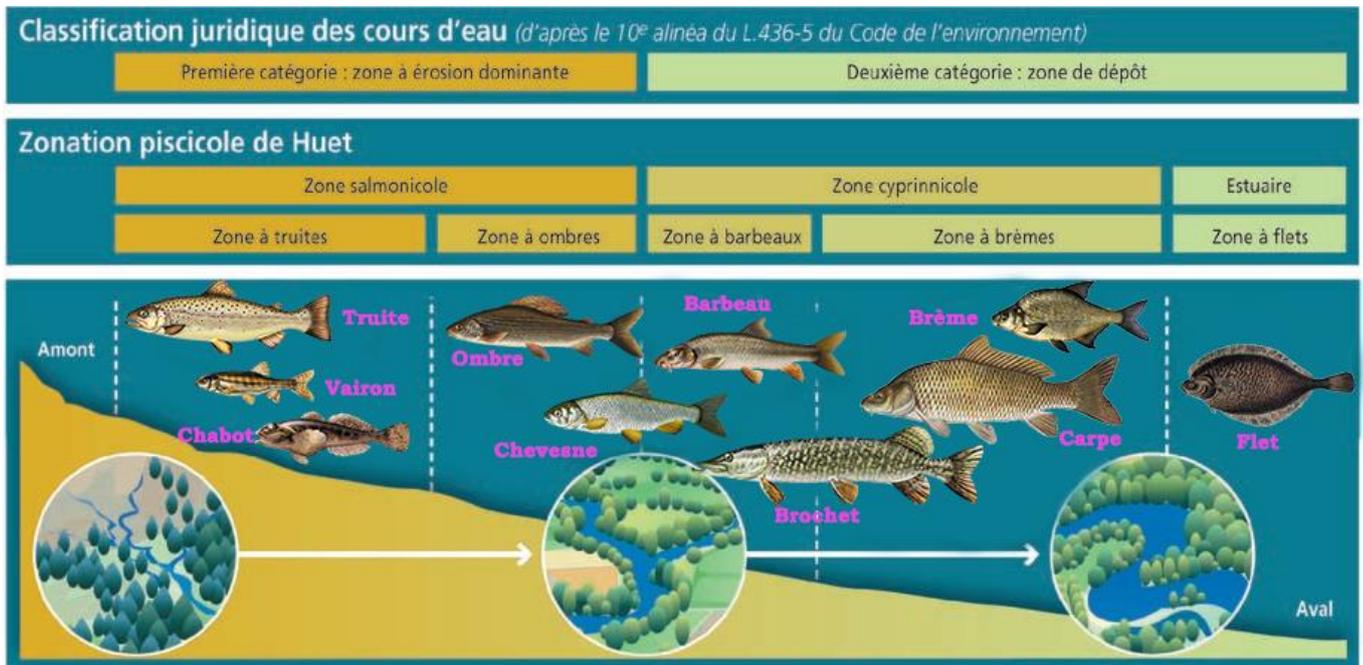


Figure 3 : Mise en correspondances des zonations écologiques et typologiques de cours d'eau (Source : ONEMA)



## Table des matières

### Préambule

### Glossaire

### Chapitre 1 : Généralités sur la bioindication et les macroinvertébrés benthiques

Question 1 : Quels sont les principes généraux de la bioindication ?	16
Question 2 : Pourquoi les invertébrés sont-ils utilisés comme bioindicateurs ?	17
Question 3 : Quelles sont les modalités d'échantillonnage des macro-invertébrés benthiques	20

### Chapitre 2 : Principes de calcul et interprétation des deux indices : l'IBGN-équivalent et l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ?

Question 4 : Quels sont les principes généraux de construction des deux indices ? Comment se calculent ces deux indices ?	22
Question 5 : Quelle est la signification des métriques biologiques retenues dans l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ?	27
Question 6 : Comment est intégré le principe de comparaison à une situation de référence dans la construction de l'IBGN-équivalent et l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ?	31
Question 7 : Quelles sont les principales différences méthodologiques dans la construction des deux indices ?	32
Question 8 : Quelle est la signification des deux indices macro invertébrés benthiques : l'IBGN-équivalent et l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ?	33
Question 9 : Comment interpréter une note I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ?	35
Question 10 : Comment interpréter les résultats de l'Outil Diagnostic ?	36

### Chapitre 3 : L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les cours d'eau des Tables calcaires

#### Présentation du jeu de données illustratif

#### Application de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A

Question 11 : La reconstitution par bocal dans le cadre du protocole d'échantillonnage est-elle représentative du peuplement réellement présent sur la station ?	40
Question 12 : Le mode de reconstitution du peuplement par bocal peut-il influencer le calcul de la note I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> sur les hydroécorégions ciblées par l'étude ?	42
Question 13 : Le choix des bocaux à partir desquels sont calculées les métriques biologiques permettent-ils de rendre compte de la structure du peuplement ?	44

Question 14 : Quelle est l'importance de chaque métrique dans le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A ? Ces métriques ont-elles la même importance dans toutes les hydroécorégions et tous les types de cours d'eau ? 48

Question 15 : Est-ce que la méthodologie globale de calcul des métriques biologiques peut expliquer les déclassements observés sur les hydroécorégions étudiées ? 51

### **Les opérations de référence sur l'HER 9A et les cours d'eau des Tables calcaires**

Question 16 : Quelles sont les caractéristiques des stations de référence sur l'HER 9A ? 53

Question 17 : Les opérations de référence utilisées pour caractériser des stations analysées des HER 9A, 9 et 10 permettent-elles de rendre compte de son état ? 55

### **Les résultats de l'Outil Diagnostique sur l'HER 9A**

Question 18 : L'outil diagnostique (OD) permet-il d'identifier les pressions à l'origine du déclassement ? 58

Question 19 : Les résultats de l'outil diagnostique sont-ils influencés par la méthode de reconstitution du peuplement ? 60

### **Les déclassements liés au changement de méthode : phénomènes et causes probables**

Question 20 : Quel a été l'impact du changement de méthode entre IBGN-équivalent et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A concernées par l'étude ? 62

Question 21 : L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est-il particulièrement pénalisant sur l'HER 9A par rapport aux HER 9 et 10 ? 65

Question 22 : Les valeurs de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont-elles plus conformes que celles de l'IBGN-équivalent sur les stations de ces HER ? 66

Question 23 : Quelles sont les spécificités de l'HER 9A ? Quelles sont les principales pressions s'exerçant sur les cours d'eau ? Ces caractéristiques particulières peuvent-elles expliquer les déclassements ? 69

Question 24 : Les déclassements observés s'expliquent-ils uniquement par des pressions (naturelles ou anthropiques) ou peuvent-ils être expliqués par tout ou partie des éléments liés à la construction de l'indice ? 71

Question 25 : Est-ce que les déclassements observés peuvent être expliqués par l'abondance de certains taxons (notamment les gammaridae) ou de certaines structures habitationnelles (herbiers) ? 72

## **Chapitre 4 : Conclusions et pistes d'adaptations envisageables de la méthode sur les cours d'eau des Tables calcaires**

Question 26 : Les résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont-ils fiables sur l'HER 9A ? 74

Question 27 : Au final, quels sont les points problématiques pour l'application de l'indice sur les cours d'eau des tables calcaires ? 75

Question 28 : Quelles sont les adaptations possibles et envisageables de la méthode sur l'HER 9A 77



## Tables des Illustrations

### Figures

Figure 1 : Exemple de concrétion calcaire (Source : planet-terre).....	6
Figure 2 : Schématisation du calcul d'un EQR (ANTEA Group).....	6
Figure 3 : Mise en correspondances des zonations écologiques et typologiques de cours d'eau (Source : ONEMA) .....	9
Figure 4 : Place des méthodes de bio indication dans le processus d'évaluation de l'état des cours d'eau de la Directive cadre sur l'Eau (Source : ANTEA Group) .....	17
Figure 5 : Evolution des indices hydrobiologiques « Macroinvertébrés petits cours d'eau en France » (Selon Pouvreau R., 2015).....	19
Figure 6 : Schéma explicatif du protocole d'échantillonnage MPCE (Source : ANTEA Group) .....	21
Figure 7 : Schéma descriptif du principe de calcul de l'IBGN-équivalent.....	23
Figure 8 : Schématisation du calcul d'un EQR (Source : ANTEA Group).....	23
Figure 9 : Formule de calcul d'un sous-indice : pondération entre EQR régionalisé et efficacité de discrimination (« DE ») des métriques vis-à-vis des catégories de pression.....	25
Figure 10 : Efficacité de discrimination (« DE ») pour chacune des métriques biologiques vis-à-vis de la pression « Nitrates » (Extrait de l'Annexe 1) .....	25
Figure 11 : Schématisation des étapes de calcul d'une note d'indice I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> .....	26
Figure 12 : Exemples de taxons polyvoltins .....	29
Figure 13 : Pourcentage de taxons polyvoltins par Ordre taxonomique. Les Ordres non cités (ex : Plécoptères) n'ont pas de taxons polyvoltins. ....	30
Figure 14 : Exemples de taxons ovovivipares.....	30
Figure 15 : Répartition par Ordre des 41 taxons retenus pour le calcul de l'Ovoviviparité et scores d'Ovoviviparité moyen par ordre (le tableau complet est disponible en Annexe 7). ....	31
Figure 16 : Exemple de résultats en diagramme radar issus de l'Outil Diagnostique .....	37
Figure 17 : Habitats présents et habitats prélevés dans le cadre du protocole MPCE sur la station fictive correspondant au peuplement utilisé dans l'exemple. ....	40
Figure 18 : Cartographie des habitats (% de recouvrement des couples substrat- vitesse) et prélèvements unitaires réalisés dans cadre du protocole MPCE sur 2 relevés. ....	42
Figure 19 : Notes d'indice I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2. ....	43
Figure 20 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de variété taxonomique .....	45
Figure 21 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de la diversité de Shannon .....	45
Figure 22 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de l'ASPT Score. ....	46
Figure 23 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul du polyvoltinisme .....	46
Figure 24 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de l'ovoviviparité.....	48
Figure 25 : Notes I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et des métriques associées à un même peuplement mais dans des contextes hydroécorégionaux différents.....	50
Figure 26 : Importance des métriques biologiques par contexte hydroécorégional. ....	51
Figure 27 : Scores d'ovoviviparité et de polyvoltinisme des taxons (genre) ayant un impact fort sur la note I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> sur les HER étudiées. Les niveaux taxonomiques de la Famille et de l'Ordres ont mentionnés. ....	54
Figure 28 : Localisation des stations de suivi caractérisées par des « opérations de contrôle de référence »	56
Figure 29: Valeurs moyennes de l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et de ses métriques par type de cours d'eau sur les opérations de référence de l'HER 9A .....	56
Figure 30 : Nombre de cours d'eau et d'opérations de contrôle de référence par contexte typologique et hydroécorégional .....	57
Figure 31: Valeurs moyennes de l'I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> et de ses métriques sur les opérations de contrôle dites de « référence » des différents types des HER 9 (gauche) et 10 (droite) pour les grands (G10) et moyens (M10) cours d'eau.....	58

Figure 32 : Pourcentages du nombre d’opérations de contrôle de référence caractérisés par une note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil de Très Bon état Biologique pour chaque type de cours d’eau représenté dans les HER 9A, 9 et 10. .... 58

Figure 33 : Notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques associées calculées à partir du peuplement utilisé en exemple sur les HER 9A, 9 et 10..... 60

Figure 34 : Probabilités de pressions obtenues par l’Outil Diagnostique (OD) à partir de 3 peuplements identiques prélevés « fictivement » sur les HER 9A, 9 et 10..... 61

Figure 35 : Notes d’indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2. .... 62

Figure 36 : Probabilités de pressions physico-chimiques et hydromorphologiques calculées sur le peuplement reconstitué avec le Cas 1 et le Cas 2. .... 63

Figure 37 : Répartition du nombre de stations par classe d’état biologique selon la méthode utilisée sur l’HER 9A dans le cadre des Etat des lieux de 2019 des SDAGE Artois-Picardie et Seine-Normandie..... 64

Figure 38 : Déclassement de l’état biologique par l’application de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les stations de l’HER 9A ..... 65

Figure 39 : Evolution du nombre de stations dont l’état biologique moins que bon sur l’HER 9A selon les Etats des lieux 2019 des SDAGE Artois-Picardie et Seine-Normandie. .... 65

Figure 40 : Nombre de stations concernées par un déclassement de l’état biologique (gauche) et nombre de classes d’état perdues selon par Agence de l’eau (droite) ..... 66

Figure 41 : Notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques associées calculées à partir du peuplement utilisé à titre d’exemple sur les HER 9A, 9 et 10 ..... 67

Figure 42 : Relation entre notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et IBGN en EQR (702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A) ..... 68

Figure 43 : Notes d’indice IBG-équivalent et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour le Cas et 2..... 69

Figure 44 : Notes d’indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2. .... 69

**Tableaux**

Tableau 1 : Catégories de pression prises en compte dans la conception de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Mondy et al. 2012)..... 34

Tableau 2 : Valeurs des métriques biologiques non régionalisées retenues dans le calcul de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour le peuplement utilisé à titre d’exemple ..... 49

## Chapitre 1 : Généralités sur la bio indication et les macro-invertébrés benthiques

---

### Question 1 : Quels en sont les principes généraux de la bio-indication ?

La bioindication consiste en l'évaluation de la qualité biologique d'un milieu physique – les hydrosystèmes- par l'analyse des communautés biologiques présentes en son sein ou **bioindicateurs\***.

Ainsi, la définition de la typologie et de l'état écologique d'un système aquatique par l'analyse des communautés qu'il héberge résulte de l'application du **principe général de causalité** (ou principe d'analogie) : *Dans une région biogéographique donnée, à des milieux ayant des complexes mésologiques semblables, correspondent des peuplements (statistiquement) similaires* » (Verneaux, 1973).

L'appréciation de « l'état de santé » d'un milieu aquatique se base sur l'amplitude et la signification écologique des modifications biocénétiques observées par rapport à un **état de référence** qui doit être caractérisé. Cet **état de référence** se définit comme étant celui d'un milieu équivalent (de même typologie), mais exempt de pressions anthropiques ou soumis à des pressions de très faible intensité.

Les analyses biologiques apparaissent alors non pas comme des compléments aux analyses physiques et physico-chimiques, nécessairement partielles et relevant de la recherche des causes probables, mais comme **les outils de base de l'évaluation des altérations des écosystèmes aquatiques**.

De nombreux indices ont été développés pour permettre cette évaluation en utilisant des indicateurs de nature différente, végétale ou animale.

Les principaux groupes taxonomiques retenus dans le cadre de l'évaluation de l'état DCE sont, les **diatomées**, les **macrophytes** pour les végétaux.

Pour la faune, les **poissons** les **macroinvertébrés aquatiques** sont utilisés comme bio-indicateurs.

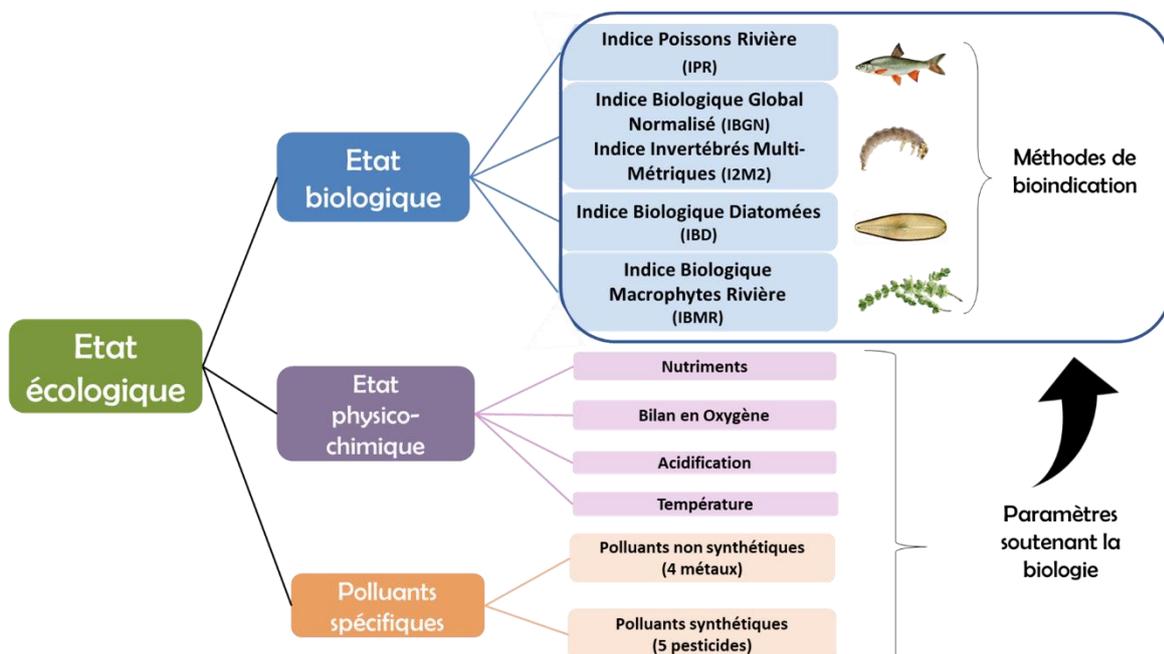


Figure 4 : Place des méthodes de bio indication dans le processus d'évaluation de l'état des cours d'eau de la Directive cadre sur l'Eau (Source : ANTEA Group)

## Question 2 : Pourquoi les invertébrés sont-ils utilisés comme bioindicateurs?

Les macroinvertébrés benthiques présentent de nombreux atouts pour constituer un indicateur pertinent d'analyse de la qualité des hydrosystèmes.

En effet, les macroinvertébrés sont caractérisés par :

- Une très grande variété taxonomique (125 familles divisées en 700 genres et regroupant près de 3800 espèces en Europe (Illies & coll., 1978) ;
- Une facilité d'échantillonnage ;
- Des durées de vie allant de quelques mois à 3 ans, ce qui les rend aptes à intégrer des perturbations sur une large échelle temporelle ;
- Des capacités de déplacement réduites (dérive active ou passive) mais pas de possibilité de recoloniser des milieux amont après une pollution. Cette caractéristique les rend plus intéressants que les populations de poissons -plus mobiles dans le milieu- dans l'étude des causes de perturbation ;
- Une capacité de coloniser tous types d'habitats (notions de **d'euryécie\*** et de **sténoécie\***, **d'euryptopie\*** ou de **sténotopie\***) ;
- Des sensibilités variables aux perturbations de par la grande diversité de **traits de vie\***. Les macroinvertébrés sont donc des indicateurs pertinents dans tous types de milieu, des plus protégés aux plus pollués.

Une position intermédiaire dans la chaîne trophique qui permet de mieux caractériser les différents types de perturbations pouvant affecter un hydrosystème.

**Les macroinvertébrés sont donc des bioindicateurs susceptibles de caractériser tous types de perturbations, naturelles ou anthropiques, morphologiques ou physicochimiques.**

▪ **Evolution des indicateurs biologiques « Macroinvertébrés benthiques »**

A l’instar des autres méthodes de bioindication (IBD, IBMR et IPR) développées au cours des 25 dernières années, les macroinvertébrés connaissent un long historique avec des premières études datant du début du 20<sup>ème</sup> siècle (méthode des « saprobies », Kolwitz et Marsson, 1909<sup>1</sup>).

En France, plusieurs indices basés sur ces organismes se sont succédés : **l’Indice Biotique** (IB, Verneaux et Tuffery, 1967), **l’Indice de Qualité Biologique Globale** (IQGB, Verneaux et al., 1976), **l’Indice Biologique Global** (IBG, Verneaux et al., 1982) et enfin **l’Indice Biologique Global Normalisé** (IBGN, NF T90-350, 1992 et révisé en 2004).

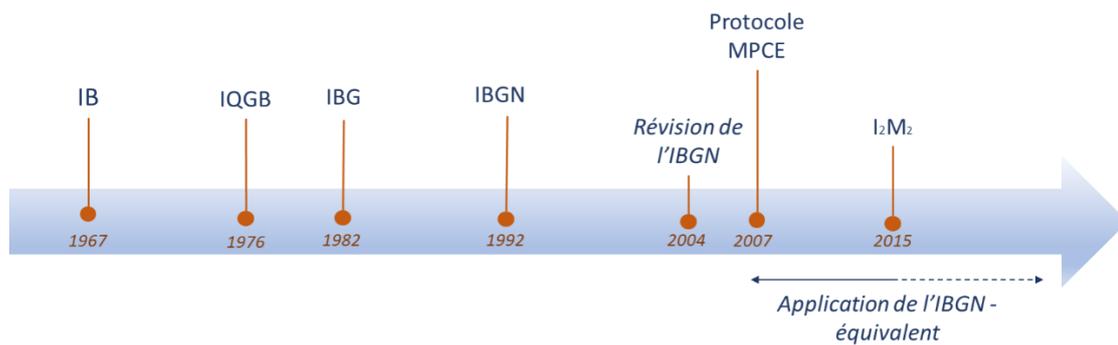


Figure 5 : Evolution des indices hydrobiologiques « Macroinvertébrés petits cours d’eau en France » (Selon Pouvreau R., 2015)

Ainsi, l’IBGN s’est imposé pendant plus de 20 ans comme l’indice français de référence pour évaluer la qualité biologique des cours d’eau à partir de l’étude des communautés de macro invertébrés benthiques.

Malgré sa facilité et sa rapidité d’utilisation, l’IBGN présente plusieurs faiblesses vis à vis des exigences de la DCE en matière d’évaluation de l’état écologique des masses d’eau.

D’une part, il ne prend pas en compte les notions d’écart à la référence et de typologie de cours d’eau et ne rend pas explicitement compte, au sein d’un relevé, de la diversité des taxons, de l’abondance des individus ou encore du ratio entre taxons polluo-sensibles et taxons polluo-résistants. D’autre part, l’IBGN se montre peu sensible à certaines catégories de pressions anthropiques, notamment les pressions hydromorphologiques. Enfin, son protocole d’échantillonnage oriente, de par sa méthodologie, les prélèvements vers les habitats les plus **biogènes\***, allant à l’encontre du **principe de représentativité\*** exigé par la DCE.

La mise au point d’une nouvelle méthode, avec le souci de ne requérir qu’une augmentation raisonnablement limitée du cout par rapport à la réalisation d’un IBGN et de permettre le calcul de la note IBGN pour garantir la continuité des suivis a débuté en 2003 et aboutit en 2007 avec l’adoption du protocole MPCE (**Question 3**).

Les principaux objectifs de cette nouvelle méthode sont de fournir une image représentative du peuplement d’invertébrés d’une station et de permettre le développement d’un nouvel indice multimétriques d’évaluation de l’état écologique pour le **réseau de contrôle et de surveillance (RCS)\*** : l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

<sup>1</sup> Kolwitz, R. and M. Marsson. 1909. Okologie der Tierischen Saprobien. Beitrage zur Lehre von der Biologischen Gewasserbeurteilung, Int. Rev. Ges. Hydrobiol.

Ce nouveau protocole d'échantillonnage dit « DCE-compatible » s'est accompagné du calcul d'un « nouvel indicateur » : l'IBG-DCE ou IBGN équivalent.

Dans la suite de cette synthèse, l'appellation « **IBGN-équivalent** » sera utilisée.

### Question 3 : Quelles sont les modalités d'échantillonnage des macro invertébrés benthiques ?

Dans le cadre des méthodes de bioindication actuellement mises en œuvre, les macro-invertébrés benthiques sont échantillonnés selon un protocole normalisé<sup>2</sup> : le **protocole MPCE** (Moyens et Petits Cours d'Eau) schématisé par la figure ci-dessous.

Les invertébrés sont prélevés avec un filet de type Surber dans **12 habitats** (12 couples substrats-vitesse prélevés) répartis en **3 phases** ou **bocaux (B)** :

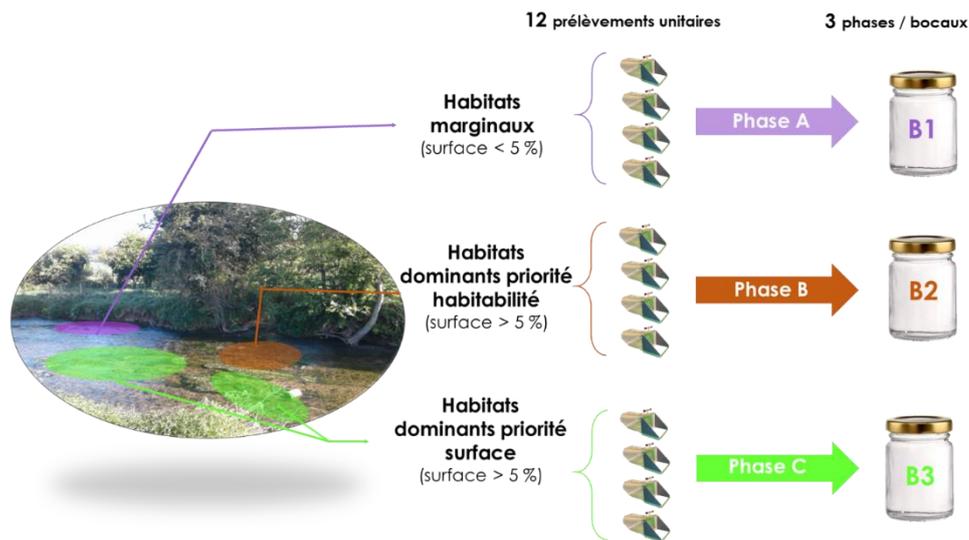


Figure 6 : Schéma explicatif du protocole d'échantillonnage MPCE (Source : ANTEA Group)

- La première phase (phase **A** ou **B1**) consiste à échantillonner les habitats dits « **marginaux** ». Ce sont les habitats dont le substrat représente **moins de 5 % de la surface totale de la station**. Ces habitats sont prélevés selon leur **habitabilité\*** (les plus biogènes échantillonnés en premier).
- La seconde phase (phase **B** ou **B2**) consiste à prélever 4 habitats dits « **dominants** » - qui représentent donc **au moins 5 %** de la superficie de la station échantillonnée. Ces habitats sont prélevés suivant leur ordre d'habitabilité.
- La troisième phase (phase **C** ou **B3**) est composée de 4 habitats dominants avec une priorité donnée aux substrats les plus représentés (4 surfaces les plus importantes)

Après prélèvement, les invertébrés sont triés puis déterminés selon un protocole de laboratoire normé<sup>3</sup>. Dans ce cadre, la plupart des taxons sont en général déterminés **au genre**.

<sup>2</sup> AFNOR, 2009, Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Prélèvement des macro-invertébrés aquatiques en rivières peu profondes, Association française de normalisation, Norme expérimentale T 90-333.

<sup>3</sup> AFNOR, 2010, Qualité écologique des milieux aquatiques. Qualité de l'eau. Traitement au laboratoire d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau, Association française de normalisation, Prénorme expérimentale XP T 90-388.

## Chapitre 2 : Principes de calcul et interprétation des deux méthodes de bioindication : l'IBGN- équivalent et l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

---

Question 4 : Quels sont les principes généraux de construction des deux indices ? Comment se calculent ces deux indices ?

▪ L'IBGN-équivalent (ou IBG-DCE)

Dans le cas de l'IBGN-équivalent, la liste faunistique retenue pour le calcul de la note se base sur les individus prélevés dans les habitats marginaux (B1) et dominants (B2) dans le cadre du protocole d'échantillonnage présenté en Question 3.

Le calcul se base sur la lecture d'un tableau à deux entrées :

- En ligne les **groupes indicateurs** dont les taxons doivent être représentés par au moins 3 individus (ou 10 pour les taxons les plus polluo-tollérants)
- En colonne la **variété taxonomique** ordonnée en classes.

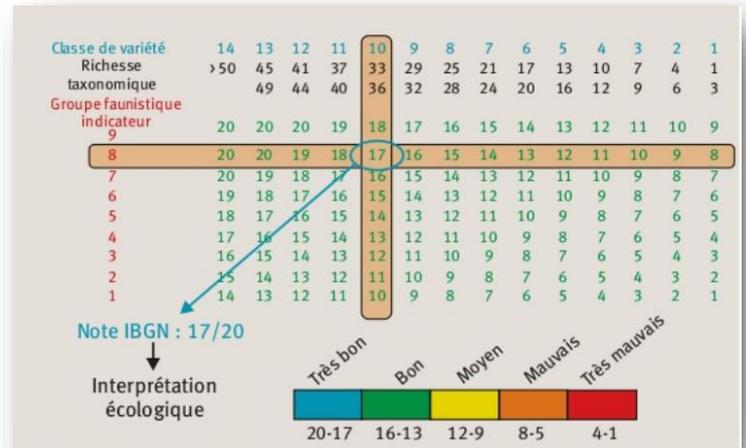


Figure 7 : Schéma descriptif du principe de calcul de l'IBGN-équivalent.

Le croisement ligne/colonne donne directement la note IBGN-équivalent.

La note d'indice peut également être obtenue par la formule rappelée ci-dessous :

$$IBGN \text{ équivalent} = \text{Groupe Indicateur} + (\text{Classe de Variété} - 1)$$

Dans le cadre de la DCE et de l'exercice d'évaluation de l'état des eaux, la note « brute » IBGN-équivalent calculée comme présentée ci-contre est régionalisée par le **calcul d'EQR** :

Pour chaque **type de cours d'eau\***, une valeur de référence est fixée. La transformation de la note IBGN-équivalent en EQR est calculée comme présenté par la figure ci-dessous :

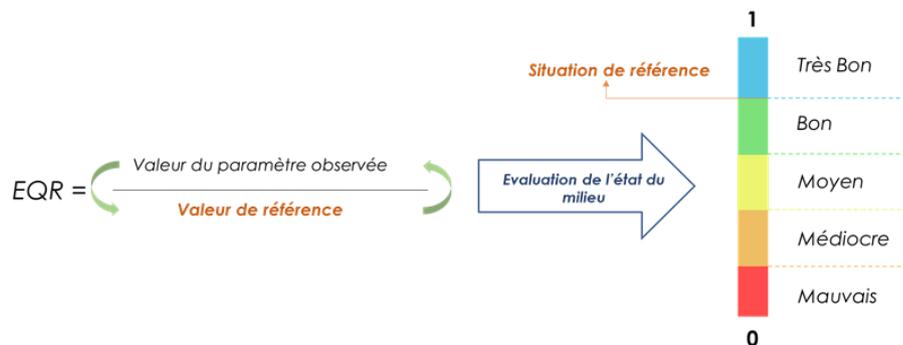


Figure 8 : Schématisation du calcul d'un EQR (Source : ANTEA Group)

## ■ L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

La méthode de calcul de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> se base sur la capacité de **5 métriques biologiques** à discriminer un état de référence d'un état impacté, à partir de **17 types de pressions anthropiques (Question 8)**, dans un **contexte typologique** donné.

La méthode de calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> repose sur des listes faunistiques (3 phases ou bords) échantillonnées et analysées selon les méthodes normalisées présentée en **Question 3**.

L'indice est ensuite calculé à partir d'un algorithme développé en langage R et disponible sur l'interface en ligne du **Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (SEEE<sup>4</sup>)**.

Il est à noter que, dans le cas où la détermination n'aurait pas été suffisamment précise, l'algorithme réaffecte automatiquement les taxons mal déterminés au prorata des taxons identifiés précisément et appartenant à la même « famille ».

Le calcul de l'indice sur une station donnée peut se décomposer en **4 étapes** résumées par le schéma présenté page suivante :

### ■ 1- Echantillonnage de la station et caractérisation du peuplement

Les macro-invertébrés benthiques sont échantillonnés comme défini par le protocole MPCE (**Question 3**).

### ■ 2 - Calcul des métriques biologiques dans un contexte typologique donné

Les 5 métriques biologiques retenues dans la méthode (**Questions 5**) sont régionalisées et transformées en **EQR\***.

**Pour chacune des 5 métriques**, la valeur calculée sur le peuplement échantillonné (valeur observée ou « Val obs ») est confrontée à la **valeur maximale de la métrique (« Best »)** sur le contexte typologique correspondant (HER et type de cours d'eau) **et à la valeur minimale connue sur le territoire métropolitain (« Worst »)**.

### ■ 3- Calcul des sous-indices par type de pression

Pour chacune des 17 catégories de pressions prises en compte dans la méthode (**Question 8**), un sous-indice est calculé.

Ce sous-indice correspond à la **pondération de l'EQR moyen des 5 métriques biologiques par leur efficacité de discrimination (« DE »)** pour ce type de pression.

L'efficacité de discrimination (« DE ») correspond au pourcentage de **stations sous l'influence de pression\***<sup>5</sup> discriminée par rapport aux **stations de référence\***<sup>6</sup>. Les valeurs d'efficacité de discrimination (« DE ») utilisées pour le calcul des sous-indices sont celles qui ont permis de sélectionner les métriques biologiques lors de la phase de construction de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Ces valeurs sont fixes comme présenté dans le tableau en **Annexe 1** et rappelées dans l'exemple ci-dessous qui illustre le calcul du sous-indice pour la pression « Nitrates » :

<sup>4</sup> <http://seee.eaufrance.fr/>

<sup>5</sup> Ces stations sont mentionnées sous le terme de *IRRs* (Impacted River Reaches) dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

<sup>6</sup> Les stations de référence sont mentionnées sous le terme *LIRRs* (Least Impacted River Reaches) dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

$$\left[ DE_{Shannon}^{Nitrates} \times EQR_{Shannon} \right] + \left[ DE_{ASPT\ Score}^{Nitrates} \times EQR_{ASPT\ Score} \right] + \left[ DE_{Polyvoltinisme}^{Nitrates} \times EQR_{Polyvoltinisme} \right] + \left[ DE_{Ovoviviparité}^{Nitrates} \times EQR_{Ovoviviparité} \right] + \left[ DE_{Richesse}^{Nitrates} \times EQR_{Richesse} \right]$$


---


$$DE_{Shannon}^{Nitrates} + DE_{ASPT\ Score}^{Nitrates} + DE_{Polyvoltinisme}^{Nitrates} + DE_{Ovoviviparité}^{Nitrates} + DE_{Richesse}^{Nitrates}$$

Figure 9 : Formule de calcul d'un sous-indice : pondération entre EQR régionalisé et efficacité de discrimination (« DE ») des métriques vis-à-vis des catégories de pression

Avec les EQR métriques tels que calculés en étape 2 et les valeurs de DE métriques<sup>Nitrates</sup>

DE Métriques<sup>Nitrates</sup>

Shannon	0.55
ASPT Score	0.76
Polyvoltinisme	0.77
Ovoviviparité	0.84
Richesse	0.47

Figure 10 : Efficacité de discrimination (« DE ») pour chacune des métriques biologiques vis-à-vis de la pression « Nitrates » (Extrait de l'Annexe 1)

■ 4-Calcul de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

La note d'indice finale correspond à la moyenne arithmétique des 17 sous-indices

Ces quatre étapes principales peuvent résumées comme présenté dans le schéma ci-dessous :

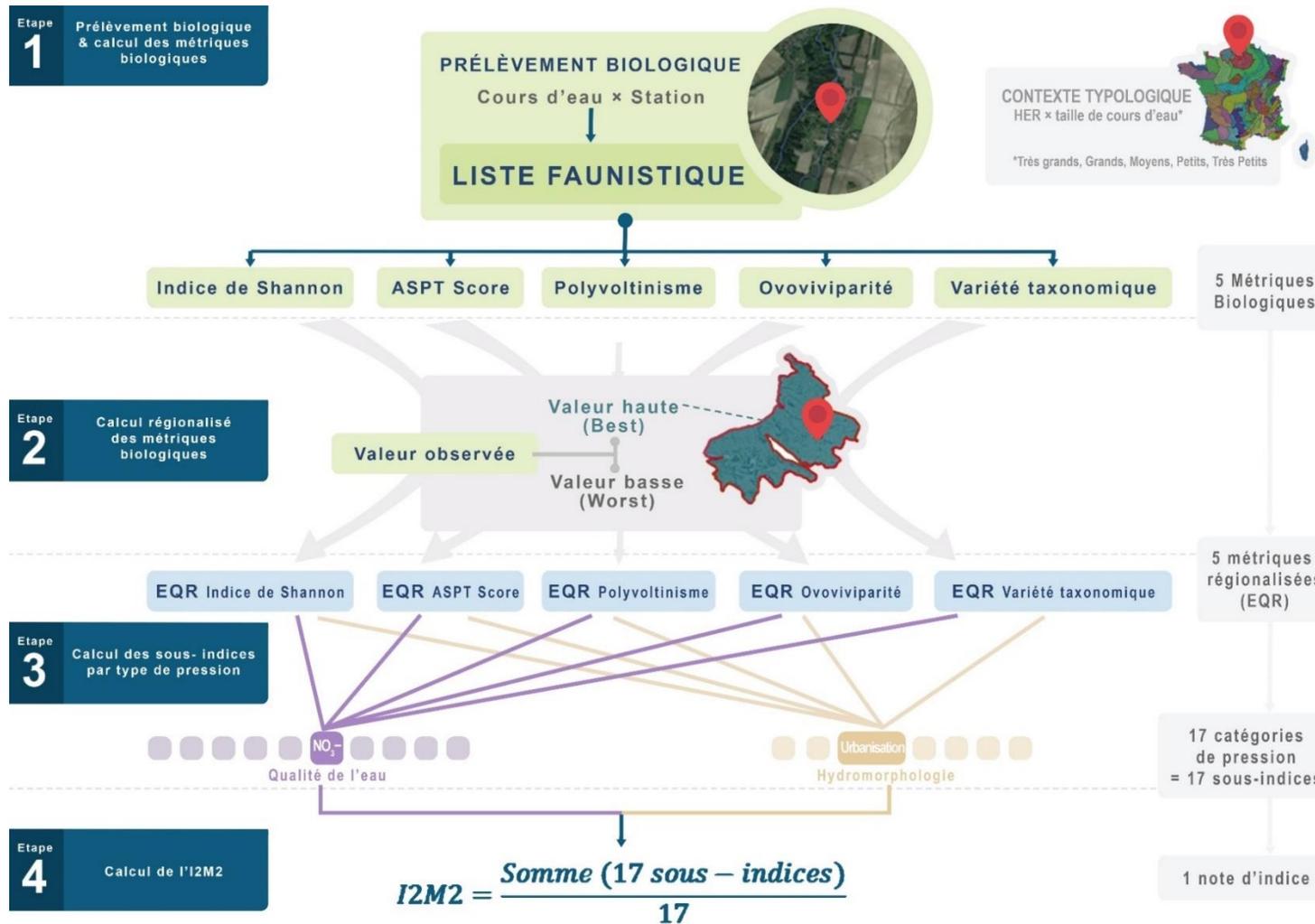


Figure 11 : Schématisation des étapes de calcul d'une note d'indice I2M2

Le tableau de synthèse présenté en **Annexe 1** schématise les relations entre métriques biologiques et pressions établies par la méthode.

Les deux exemples donnés ci-dessous illustrent les deux lectures possibles de ce tableau :

- La **pression** « Nitrates » présente est discriminée de manière plus ou moins efficace par les 5 métriques biologiques sur lesquels est basé le calcul de l'indice :

La métrique la plus efficace pour discriminer les stations sous l'inf des stations de référence est l'ovoviviparité (0.84 soit 84 % des stations discriminées). On retrouve ensuite le Polyvoltinisme (0.77), l'ASPT Score (0.76), la diversité de Shannon (0.55) et la richesse taxonomique (0.47)

La somme de ces cinq « DE » donne un score (3.39 pour la pression Nitrates) qui peut être calculée pour chacune des pressions analysées par l'indice.

En comparant ces scores, on observe que de manière générale, la pression « Nitrates » (5,8 %) est moins bien discriminée que la pression « Matière Organique » (6.3 %)

- La **métrique biologique** « Ovoviviparité » est - comme chaque autre métrique biologique, caractérisée par 17 sous-indices correspondant à l'efficacité de discrimination de la métrique pour chacune des 17 pressions prises en compte.

En sommant ces sous-indices, on constate que certaines métriques biologiques ont une capacité de discrimination globale supérieure à d'autres : L'ovoviviparité est la métrique biologique qui a la capacité de discrimination la plus élevée (22.54 %).

Ainsi, un poids peut être attribué à chaque métrique biologique comme résumé dans la formule présentée plus bas.

Sur la base de ces relations entre métriques biologiques et pressions, la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut également être calculée à partir de la formule suivante :

$$I_2M_2 = (17.1 \% \times \text{EQR Indice de Shannon}) + (22.01 \% \times \text{EQR ASPT Score}) + (22.48 \% \times \text{EQR Polyvoltinisme}) + (22.54 \% \times \text{EQR Ovoviviparité}) + (15.81 \% \times \text{EQR Richesse})^7$$

Cette formule montre que 3 métriques portent principalement la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> :

- L'ovoviviparité (22,54%)
- Le polyvoltinisme (22.49%)
- L'ASPT Score (22.01%)

Les deux variables restante, l'Indice de Shannon (17.14%) et la Richesse Taxonomique (15.82%) contribuent moins à la note finale obtenue.

**Ces pourcentages traduisent le fait que certaines métriques biologiques auront un poids supérieur à d'autres pour caractériser l'impact des 17 pressions sur le milieu.**

**Dans son principe le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> met donc en avant les métriques qui expliquent le plus des décalages entre stations de référence et stations analysées. Le pourcentage prend en compte la probabilité des effets des 17 pressions.**

**Cette méthode permet, d'après les auteurs, de discriminer en moyenne dans 81% des cas des stations soumises à des pressions par rapport à des situations de référence (Mondy & al, 2012).**

<sup>7</sup> Les métriques biologiques sont exprimées en EQR

## Question 5 : Quelle est la signification des métriques biologiques retenues dans l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ?

La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> repose sur le calcul de 5 variables ou métriques biologiques. La signification écologique ainsi que les principaux facteurs contrôlant ces variables sont expliquées ci-dessous :

### ▪ La richesse ou variété taxonomique

Cette variable traduit le **nombre de taxons présents** dans le peuplement échantillonné. C'est un descripteur classiquement utilisé pour décrire le peuplement d'une station à la date de prélèvement.

Une diminution de la richesse taxonomique peut traduire :

- Une réduction de l'hétérogénéité de l'habitat (notamment par perte de niches écologiques sous influences naturelles (faibles développements d'herbiers en fonction de critères hydro-climatiques...) ou anthropiques (curage, recalibrage...)
- Une altération de la qualité des eaux (pollution ponctuelle ou chronique) qui peut provoquer par exemple une disparition des taxons les plus polluosensibles.

L'interprétation de cet indice ne peut se faire qu'au regard de la nature du milieu échantillonné (biocénotype), de la structure des habitats (couples substrat/vitesse) et des conditions physico-chimiques locales.

### ▪ L'indice de Diversité de Shannon

L'indice de Shannon permet d'analyser la **diversité spécifique** d'un peuplement. Il permet d'avoir une image de la **structure** du peuplement, à un instant donné, puisqu'il intègre dans son calcul les notions de **richesse spécifique** (nombre total d'espèces) et **d'équitabilité** (répartition des individus par espèce).

Cet indice est d'autant plus élevé que la variété taxonomique est forte et que le peuplement est équilibré (chaque taxon est représenté par un nombre équivalent d'individus). Il permet d'évaluer l'hétérogénéité et la stabilité de l'habitat.

Dans des contextes habitationnels équivalents, on observe en général une baisse de la valeur de l'indice de Shannon en cas de pression anthropique croissante (voir facteurs de contrôle de variété).

Plus la valeur de l'indice est élevée, plus la diversité taxonomique est grande.

### ▪ L'ASPT score

L'Average Score Per Taxon (ASPT Score) a été défini pour rendre compte du **niveau de polluo-sensibilité moyen** d'un peuplement et notamment vis-à-vis des pollutions organiques (Armitage, 1982).

Il se calcule à partir du **BMWP Score** (Biological Monitoring Working Party Score) basé sur **un inventaire non quantitatif** des taxons présents (méthode de **kick sampling\***).

Chaque taxon – déterminé en général, au niveau taxonomique de la famille représenté par au moins un individu dans le peuplement échantillonné – est affecté d'un score croissant selon son niveau de polluo-sensibilité (voir tableau en **Annexe 2**).

Variant entre 0 et 10, plus le score est élevé, plus le peuplement est composé de taxons polluo-sensibles et moins le milieu est altéré par des perturbations anthropiques.

Note sur la métrique :

Pour les auteurs de cette méthode, bien que le niveau taxonomique de la famille ne soit pas adapté à une analyse autoécologique fine, l'indice permet de détecter assez facilement des variations taxonomiques entre des sites différents.

Toutefois les auteurs s'accordent et insistent sur le fait que scores ASPT similaires peuvent traduire, à l'échelle stationnelle, des conditions mésologiques très différentes (importance stationnelle de certains habitats, impact fort de la période d'échantillonnage sur la note).

▪ **Le Polyvoltinisme**

Le polyvoltinisme est une modalité du trait biologique relatif au **nombre de générations par an** caractérisant un taxon (Tachet & al. 2010).

Cette modalité est attribuée aux taxons capables d'avoir des **cycles reproductifs rapprochés** ou courts pouvant ainsi produire **plusieurs générations** au cours d'une même année.

Les taxons dits « polyvoltins » ont donc plus de chance de perdurer que des taxons à cycle reproductif long dans un milieu soumis à des perturbations.



**ISOPODES**  
**Asellidae** (*Asellus aquaticus*)



**EPHEMEROPTERES**  
**Baetidae** (*Baetis sp.*)

Figure 12 : Exemples de taxons polyvoltins

Cette métrique représente la fréquence relative de taxons polyvoltins au sein du peuplement échantillonné et renseigne sur **l'instabilité du milieu** vis-à-vis des pressions anthropiques intenses et/ou fréquentes.

Le polyvoltinisme serait expliqué par la qualité générale du milieu : une mauvaise qualité d'eau favoriserait la présence de taxons polyvoltins (Polatera & al., 2016).

Plus particulièrement, différents facteurs sont susceptibles d'expliquer la présence d'espèces polyvoltines sur les milieux sont :

- Une altération de la qualité des eaux qui pourrait favoriser le remplacement des taxons d'un rang typologique supérieur par des taxons d'un rang typologique inférieur (Verneaux, 1973).
- Une altération de la qualité des habitats (recalibrage, curage...) qui en modifiant des critères physico-chimiques (température...) ou morphologiques vont modifier la typologie et donc favoriser les espèces polyvoltines.
- La présence de substrats spécifiques comme les franges rivulaires. En général, les habitats rivulaires sont plus présents sur les cours d'eau de plaine que sur les cours d'eau avec des substratums grossiers à forte dynamique dont les berges sont plus instables. Ces habitats sont particulièrement colonisés par des espèces polyvoltines. .

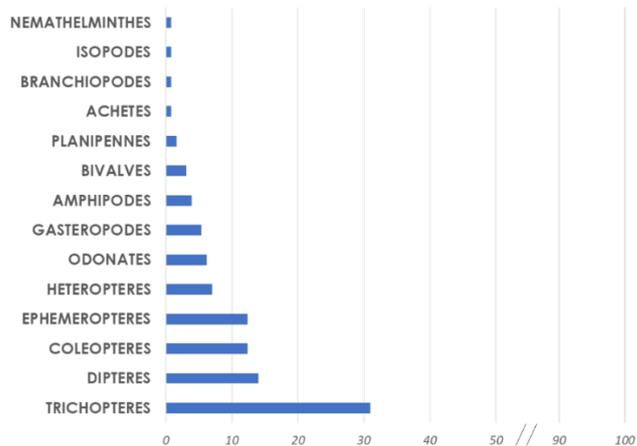


Figure 13 : Pourcentage de taxons polyvoltins par Ordre taxonomique. Les Ordres non cités (ex : Plécoptères) n’ont pas de taxons polyvoltins.

Ainsi, d’après les auteurs de la méthode I2M2, plus la valeur de la métrique polyvoltinisme est faible (et donc un EQR élevé), moins le milieu serait – a priori – perturbé.

### ▪ L’Ovoviviparité

L’ovoviviparité est une modalité du trait biologique relatif au **mode de reproduction** caractérisant un taxon (Tachet et al. 2010).

Cette modalité est attribuée aux taxons dont le mode de reproduction permet l’incubation et l’éclosion des œufs dans l’abdomen de la femelle avant expulsion dans le milieu aquatique : **41 taxons** vont permettre de calculer le score d’ovoviviparité.

Comme le montre la figure ci-dessous, ces taxons correspondent pour l’essentiel, à deux ordres taxonomiques :

- Les **Crustacés** (*Isopodes*, *Décapodes* et *Amphipodes*)
- Les **Mollusques** (*Bivalves* et *Gastéropodes*).



**AMPHIPODE**  
*Gammaridae* (*Echinogammarus marinus*)



**BIVALVE**  
*Sphaeridae* (*Sphaerium rivicola*)

Figure 14 : Exemples de taxons ovovivipares

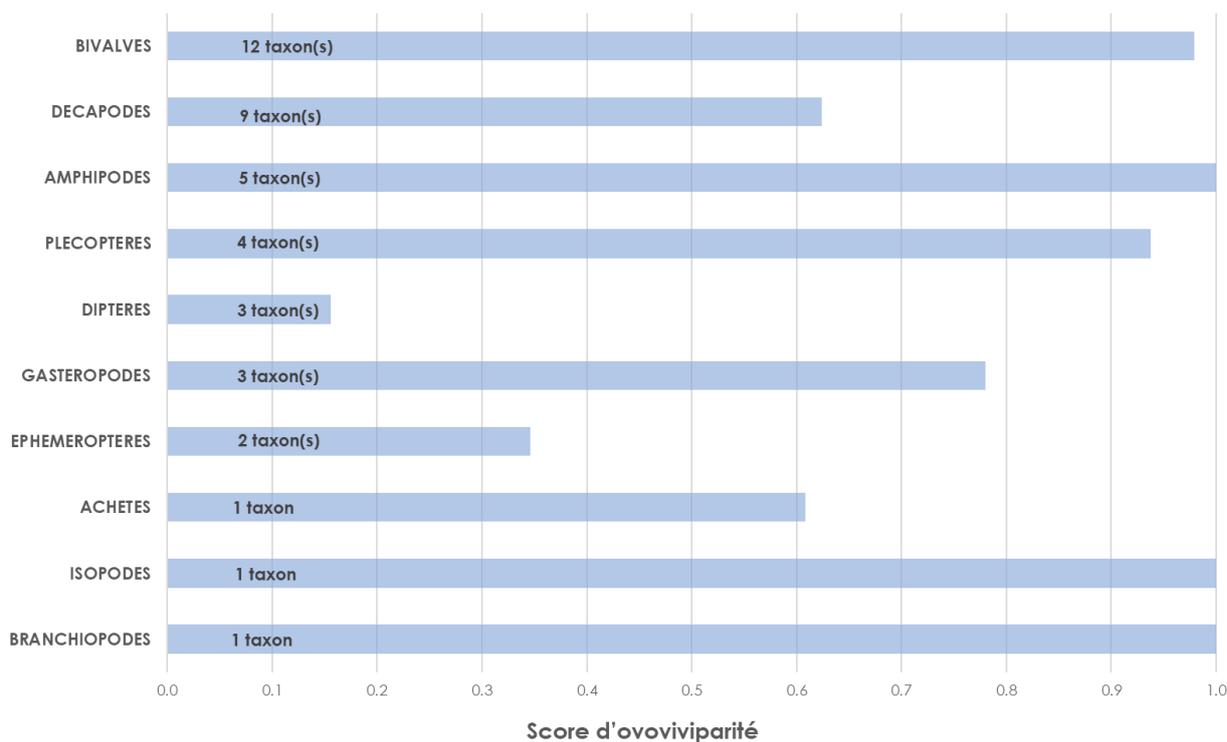


Figure 15 : Répartition par Ordre des 41 taxons retenus pour le calcul de l'Ovoviparité et scores d'Ovoviparité moyen par ordre (le tableau complet est disponible en Annexe 7).

Les taxons ovovivipares auraient donc plus de chances de survivre dans un cours d'eau perturbé puisque la survie des embryons serait maximisée. Cette variable rendrait compte de la dégradation globale de l'habitat (notamment de la qualité physico-chimique de l'eau).

L'ovoviparité se calcule comme le polyvoltinisme; elle représente la fréquence relative de taxons ovovivipares au sein du peuplement échantillonné.

Les espèces ovovivipares se retrouvent dans des habitats caractéristiques. Par exemple, on retrouvera des Gammaridae dans des habitats riches en matière organique comme les débris végétaux, les spermaphytes immergés, les bryophytes ou encore les racines. Les mollusques tels que *Hydrobiidae* (Gastéropode) et *Sphaeriidae* (Bivalve) ; qui ont un impact notable sur le calcul de l'indice sur les HER étudiées ; se développent principalement sur des substrats fins (vase, sable et limon) dans des vitesses d'écoulement moyenne à faible.

***D'après les auteurs de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, plus la valeur de la métrique ovoviparité est élevée, plus le milieu serait perturbé.***

## Question 6 : Comment est intégré le principe de comparaison à une situation de référence dans la construction de l'IBGN-EQ et de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ?

### ▪ L'IBGN-équivalent

Le principe même de l'IBGN-équivalent est de pouvoir caractériser l'état d'un hydrosystème indépendamment d'un système de référence permettant ainsi d'appliquer le même calcul pour tout type de cours d'eau dans tous contextes biogéographiques (France métropolitaine).

Toutefois l'interprétation de la note d'indice doit prendre en compte des cours d'eau avec des conditions particulières (zones de source ou de montagne) où la variété taxonomique peut être naturellement plus faible que sur les autres hydrosystèmes (l'interprétation de la note devant donc se faire « relativement » à ces conditions particulières).

Après son calcul, la note IBGN-équivalent est transformée - par un calcul d'EQR propre à chaque HER et type de cours d'eau relatif - pour déterminer l'état des masses d'eau.

### ▪ L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

Dans le cadre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> la notion de référence est intégrée dans le calcul de l'indice par la prise en compte de métriques régionalisées par type **de cours d'eau\***.

Pour cela, des **opérations de contrôle\*** (issues des suivis **RCS\***<sup>8</sup>) sur lesquelles les différentes pressions ont été jugées faibles ont été définies comme les **situations de référence\***.

Ces opérations de contrôle ont permis le calcul des valeurs des métriques biologiques censées traduire chaque contexte hydroécorégional. Pour chacune des 5 métriques biologiques, les valeurs **best** et **worst** ont été déterminées comme suit :

- Les valeurs **worst** sont définies à partir de la valeur la plus déclassante observée sur l'ensemble des stations à **l'échelle métropolitaine** (non régionalisée).
- La valeur **best** est la valeur la plus élevée observée sur les opérations de contrôle **dans un contexte hydroécorégional et typologique donné** (régionalisée).

La comparaison à la situation de référence se fait par la transformation **des variables biologiques**<sup>9</sup> en EQR : ces métriques sont dites régionalisées par hydroécorégion et type de cours d'eau.

L'intégration de la régionalisation dans le calcul de la note explique qu'un même peuplement analysé sur deux hydroécorégions différentes ou types de cours d'eau différents donne une note d'indice différente.

On note que **le calcul de l'outil diagnostic (OD)** mis en place pour identifier les pressions qui pourraient impacter la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> **n'est pas régionalisé**. Un même peuplement analysé pourra donc donner des valeurs différentes d'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> mais une même réponse de l'outil diagnostic.

<sup>8</sup> Réseau de Contrôle et de Surveillance

<sup>9</sup> Ces variables sont calculées sur tout ou partie du peuplement (voir **Question 23**)

## Question 7 : Quelles sont les principales différences méthodologiques dans la construction des deux indices ?

La méthode IBGN est une méthode plutôt classique de caractérisation du peuplement à partir de l'analyse de deux variables (variété et groupe indicateur) censées caractériser au mieux le peuplement en fonction des connaissances taxonomiques de l'époque.

Le protocole d'échantillonnage avait même été simplifié lors des phases de normalisation. L'analyse de la variation de la note doit permettre d'estimer un niveau de perturbation qui est d'autant plus fort que la note s'éloigne de la valeur maximale de 20/20, définie comme **la valeur normale** que tout hydrosystème doit atteindre en l'absence de perturbations fortes<sup>10</sup>.

La nature des perturbations ne peut pas être directement déduite de l'indice mais doit être discutée par l'analyse comparée des résultats de l'IBGN et des caractéristiques morphologiques et/ou physico-chimiques observées sur le site.

***Dans le cadre de la notation IBGN-équivalent, l'analyse de la qualité d'un peuplement est directement liée à la présence des taxons les plus polluo-sensibles dont l'absence peut être le signe d'une perturbation notamment de la qualité des eaux.***

Dans le cadre de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> la nature même du calcul est très différente. Comme nous l'avons vu précédemment, le principe de cette méthode repose sur la détermination d'un niveau de pression à partir de variables biologiques qui ont été :

- Choies en fonction de leurs relations avec les 17 catégories de pressions.
- Associées entre elles pour rendre le mieux compte des pressions potentielles.
- Pondérées par leurs capacités à traduire les pressions

***Cet indice doit donc être analysé comme un indicateur de pressions qui met en avant certaines caractéristiques du peuplement, comme l'abondance de certains taxons considérés polluo-résistants, pour la caractérisation des milieux.***

***La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> obtenue ne peut donc pas être considérée comme un indice de caractérisation du peuplement. Toutefois, les 5 métriques biologiques calculées (Diversité de Shannon, ASPT Score, Richesse, Polyvoltinisme et Ovoviviparité) peuvent servir - sous réserve d'une validation de leurs modalités de calcul – comme des descripteurs du peuplement stationnel.***

---

<sup>10</sup> Hors cas particuliers des zones de sources ou de systèmes montagneux

### Question 8 : Quelle est la signification des deux indices ?

#### ▪ L'IBGN-équivalent

L'IBGN-équivalent ou IBG-DCE, qui était d'usage avant l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub><sup>11</sup> est une méthode basée sur un protocole d'échantillonnage standardisé et normalisé de 8 échantillons prélevés (phases A et B) en fonction des couples substrats /vitesse (Question 3).

La caractérisation de l'état biologique du milieu est obtenue par la confrontation de deux variables :

- **La variété ou richesse taxonomique** qui rend compte de la qualité de l'eau mais aussi de la qualité des habitats (la variété taxonomique augmentant en général en fonction du nombre de niches écologiques présentes sur les milieux)
- Le « **groupe faunistique indicateur** » qui peut traduire une perturbation de la qualité de l'eau en fonction de la présence ou de l'absence de taxons polluo-sensibles.

Le niveau de polluosensibilité du peuplement couplé à l'analyse de la variété taxonomique permet, suivant le principe général de causalité, de qualifier le niveau d'altération du milieu (eau et habitat).

Cette altération est d'autant plus importante que la note d'indice s'éloigne de 20/20 ; note caractéristique d'une situation peu à pas perturbée.

#### ▪ L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

L'Indice Invertébrés Multi-Métriques est une méthode qui a pour objectif de caractériser **un niveau de pression global** à partir de l'analyse du peuplement d'invertébrés benthiques.

Ce niveau de pression est intégrateur de **17 catégories de pressions** liées à la **qualité physico-chimique de l'eau** (10 pressions) ainsi qu'à **l'hydromorphologie et l'occupation du sol** (7 pressions) :

Tableau 1 : Catégories de pression prises en compte dans la conception de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (Mondy et al. 2012)

Physico-chimie	Hydromorphologie
Matières organiques oxydables (MOOX)	Voies de communication
Matières azotées (hors nitrates)	Ripisylve
Nitrates	Intensité d'urbanisation
Matières phosphorées	Risque de colmatage
Matières en suspension (MES)	Instabilité Hydrologique
Acidification	Niveau d'anthropisation du bassin versant
Métaux	Niveau de rectification
Pesticides	
Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	
Micropolluants organiques	

La caractérisation du niveau de pression d'un cours d'eau s'appuie sur **5 métriques ou variables biologiques** :

- La variété taxonomique

<sup>11</sup> L'IBGN-équivalent est toujours utilisé sur l'HER 9A compte tenu de la problématique faisant l'objet de la présente étude (voir **Question 15**).

- L'indice de diversité de Shannon
- L'ASPT Score (*Average Score per Taxon*)
- Le polyvoltinisme
- L'ovoviviparité

Ces variables ont été retenues sur la base de plusieurs critères statistiques et notamment sur leur capacité à traduire – *statistiquement* - les niveaux de pressions correspondants aux 17 catégories mentionnées dans le tableau ci-dessus et à discriminer un état perturbé d'un état de référence.

Afin d'identifier plus précisément les pressions anthropiques les plus probables à l'origine des altérations détectées par l'indice, un **Outil Diagnostique (OD)** a été parallèlement développé afin de fournir aux gestionnaires une aide dans la définition des actions de restauration à mener.

*Ainsi, les deux indices sont très différents sur leurs principes de construction. Les notes d'indice en résultant ne peuvent donc pas être interprétés de la même façon :*

- *La note IBGN-équivalent caractérise l'état général du milieu à partir de deux variables descriptives du peuplement : le Groupe Indicateur et la Variété taxonomique. L'état général du milieu peut alors être déduit de façon très globale par analogie en faisant notamment le constat de la disparition de taxons pollu-sensibles. La note IBGN-équivalent n'intègre pas de facteur de régionalisation dans son calcul.*
- *La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> permet une évaluation directe des pressions sur le milieu en se basant sur des variables descriptives du peuplement choisies en fonction de leur capacité à discriminer statistiquement différents ensembles de pressions physico-chimiques et morphologiques. La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> permet donc d'évaluer une probabilité de pressions d'autant plus forte que certains taxons considérés comme polluo-résistants seront présents en grand nombre dans les relevés. Cette évaluation est régionalisée car les métriques biologiques sont transformées en EQR pour le calcul de la note.*

### Question 9 : Comment interpréter une note $I_2M_2$ ?

L'interprétation d'une note  $I_2M_2$  doit être faite avec précaution. En effet, l'indice est censé être représentatif d'un ensemble de pressions mais ces pressions ne peuvent pas être identifiées précisément.

Comme la méthode n'est pas basée sur l'analyse de relations quantifiées entre une valeur de pression et les valeurs des métriques biologiques (**Question 6**), il semble aussi difficile de considérer que la variation de la note  $I_2M_2$  est directement proportionnelle à la variation d'un ou de plusieurs paramètres physico-chimiques ou morphologiques.

**Toutefois, on peut considérer que plus la note  $I_2M_2$  est faible, plus il est probable qu'un niveau de pressions élevé soit à l'origine d'une modification de la structure du peuplement.**

**La probabilité pour que l'indice  $I_2M_2$  discrimine une station soumise des pressions d'une station de référence est en moyenne de 81 % (Mondy & al., 2012). Autrement dit, la méthode  $I_2M_2$  permet d'identifier une station sous l'influence de pressions 8 fois sur 10.**

**Question 10 :** Comment interpréter les résultats de l’Outil Diagnostic de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ?

L’Outil Diagnostic (OD) associé à l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, a été mis en place pour caractériser les **probabilités d’impact des pressions** susceptibles d’expliquer le plus l’évaluation globale des pressions faite par l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Toutes les pressions prises en compte dans la construction de l’indice n’ont pas été intégrées dans l’Outil Diagnostic car certains liens statistiques n’ont pas pu être établis. C’est par notamment le cas des **Métaux** ou des **Micropolluants organiques** pour les pressions physico-chimiques où le **Niveau de rectification du lit** pour les pressions hydromorphologiques.

Ces probabilités de pression sont généralement représentées sous forme de diagramme radar comme présenté dans la figure ci-contre.

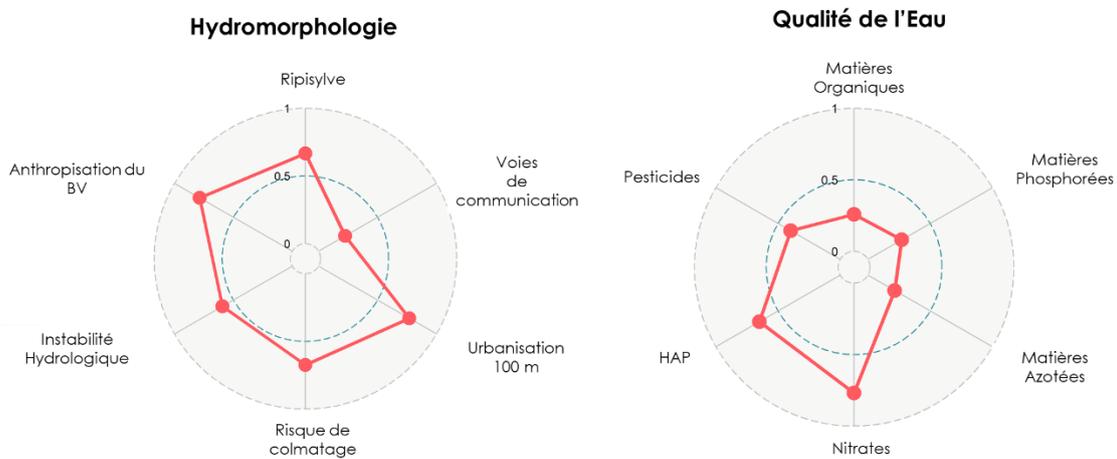


Figure 16 : Exemple de résultats en diagramme radar issus de l’Outil Diagnostic

L’Outil Diagnostic se base sur la mise en relation de variables biologiques avec des pressions.

Il est important de noter que les variables biologiques utilisées ne sont pas nécessairement celles prises en compte dans la construction de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

De plus, la relation établie entre pressions et réponses biologiques (métriques) faite dans l’outil diagnostic n’est pas régionalisée. Alors qu’elle est dans le processus de calcul de l’indice (**Question 6**).

Dans des contextes hydroécorégionaux différents, la caractérisation d’une probabilité générale de pression par l’OD est identique alors que l’évaluation faite par l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est différente. Cela illustre bien le fait qu’il est difficile de rattacher une pression à une note d’indice.

L’Outil Diagnostic a été mis au point pour permettre d’éclairer le gestionnaire sur les facteurs de pression qui auraient une probabilité d’impact sur une station et donc un peuplement analysé. Comme pour l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> c’est une approche statistique qui nécessite une grande prudence pour l’interprétation comme le soulignent les auteurs (Livret Guide, 2016).

## Chapitre 3 : L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les tables calcaires.

---

## ■ *Préambule*

Cette troisième partie a pour objectif de faire le lien entre les éléments de synthèse issus de la bibliographie de référence sur la bioindication et plus spécifiquement sur l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et son application dans un contexte hydroécorégional particulier : l'HER 9A ou tables calcaires côtiers.

Afin de rendre la lecture de cette partie plus fluide, les différentes questions qui permettent de donner des points d'explication principaux sur la problématique liée à l'application de la méthode sur cette hydroécorégion sont organisées selon 3 chapitres :

Un premier chapitre qui regroupe les questions liées à l'analyse des éléments constitutifs de la méthode, tels que le protocole d'échantillonnage, le mode de reconstitution des peuplements ou encore le calcul des métriques biologiques sur les hydroécorégions des Tables calcaires.

Le second chapitre traitera spécifiquement des données utilisées pour caractérisées les « références » auxquelles sont comparées les stations suivies dans le cadre de l'évaluation de l'état biologique par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Puis, un troisième chapitre montrera à l'aide d'exemples illustratifs dans quelle mesure les résultats de l'Outil Diagnostic permettent de refléter les pressions qui s'exercent sur ces hydroécorégions.

Enfin, l'impact du changement de méthode, de l'IBGN-équivalent à l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sera présenté puis expliqué en essayant de mettre en relation les explications apportées dans les chapitres précédents et les caractéristiques des cours d'eau de l'HER 9A, et notamment sur la base des observations réalisées lors des visites de terrain de plusieurs stations de suivies.

Afin d'illustrer certaines questions à des fins pédagogiques, certaines réponses s'appuient sur des exemples construits à partir de données fictives présentées dans le paragraphe suivant.

■ **Présentation du jeu de données illustratif**

Ce jeu de données est composé d'une **liste faunistique fictive** caractéristique des peuplements observés sur les tables calcaires<sup>12</sup> et des niveaux de pressions associés.

A la différence des listes faunistiques usuellement bancarisées, le détail des taxons échantillonnés dans chacun des **12 prélèvements unitaires** est conservé.

Ce peuplement est un peuplement de très bonne qualité, qui pourrait être observé dans des conditions de perturbations très faibles. De nombreux taxons présents appartiennent à groupe indicateur élevé avec un nombre d'individus important (*Chloroperlidae, Nemouridae, Perlidae,..*).

Les indices de caractérisation du peuplement indiquent que le peuplement est relativement équilibré (équitabilité de 0,65 et dominance : 0,15).

La note IBG-équivalent calculée est de 17/20, elle semble donc traduire correctement le très bon état de ce peuplement. Le fait que la note soit inférieure à 20/20 ainsi que l'abondance plutôt faible (1821 individus) pourrait traduire des conditions de milieu spécifiques (ex : proximité de zone de sources).

Sur l'HER 9A, la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> calculé sur ce peuplement (0.5617) traduit un bon état biologique. Cet état semble toutefois sous-estimé par rapport à la qualité globale du peuplement.

**L'habitat** dans lequel ce peuplement a été échantillonné est également reconstitué à titre d'exemple. Il est caractérisé par une répartition des couples substrat-vitesse hétérogène avec un substrat majoritairement dominant : les pierres et galets (60 % de recouvrement). La mosaïque d'habitats est présentée dans la figure ci-dessous.

Les cellules colorées correspondent aux 12 prélèvements unitaires correspondants aux trois phases du protocole MPCE (**Question 3**) :

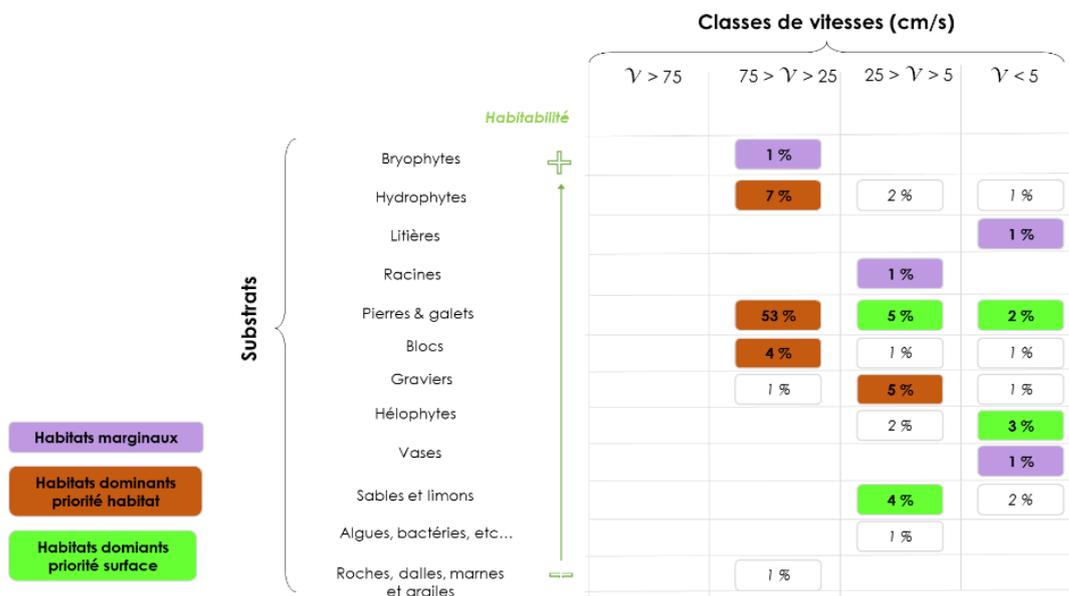


Figure 17 : Habitats présents et habitats prélevés dans le cadre du protocole MPCE sur la station fictive correspondant au peuplement utilisé dans l'exemple.

<sup>12</sup> La liste faunistique complète de ce peuplement est disponible en **Annexes 3 et 4**.

▪ Application de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A

*Question 11 : La reconstitution du peuplement fait par bocal dans le cadre du protocole d'échantillonnage est-elle représentative du peuplement réellement présent sur la station ?*

Dans le cadre de l'application du **protocole MPCE (Question 3)**, on peut considérer que les procédures mises en place permettent un échantillonnage relativement représentatif de la mosaïque d'habitats d'une station.

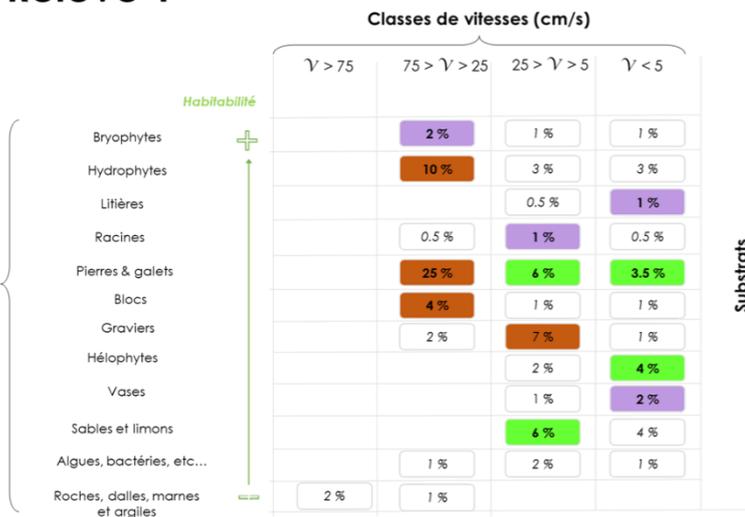
Néanmoins, on note que la représentativité de l'échantillonnage est d'autant plus forte que l'habitat est simplifié avec des substrats dominants. Cela sera moins le cas avec des stations avec des habitats diversifiés et équilibrés.

**On peut donc supposer que d'une façon générale le peuplement échantillonné sur une station avec des habitats très diversifiés, sera toujours sous-évalué par rapport à des stations ou certains habitats vont prédominer sur d'autres.**

Ce point est illustré à partir de deux relevés (le premier relevé correspondant à celui du peuplement décrit plus haut)<sup>13</sup> caractéristiques des hydroécorégions étudiées.

Le premier relevé correspond à une station présentant des habitats assez homogènes tandis que le second est caractérisé par des habitats hétérogènes avec une prédominance de substrat type pierres-galets.

**Relevé 1**

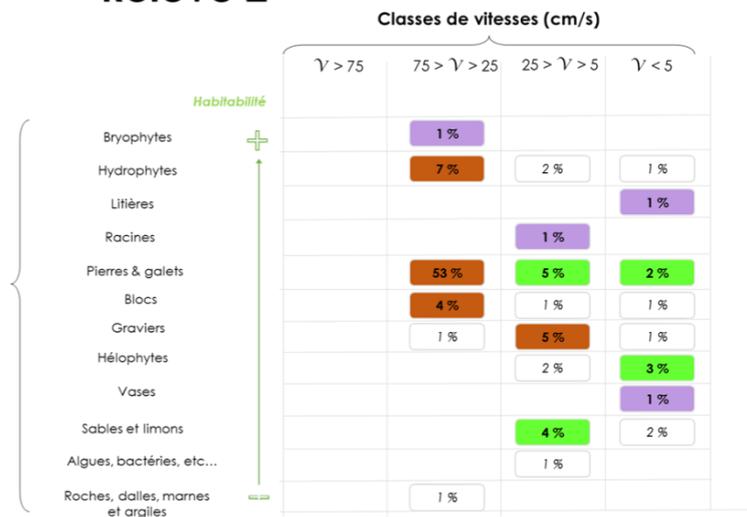


**B1 : Habitats marginaux**

**B2 : Habitats dominants priorité habitat**

**B3 : Habitats dominants priorité surface**

**Relevé 2**



<sup>13</sup> Les listes faunistiques de ces relevés sont disponibles en **Annexes 3** (relevé 2) **et 5** (relevé 1).

Figure 18 : Cartographie des habitats (% de recouvrement des couples substrat- vitesse) et prélèvements unitaires réalisés dans cadre du protocole MPCE sur 2 relevés.

L'application du protocole MPCE sur ces deux relevés **conduit au prélèvement des mêmes couples substrat-vitesse**<sup>14</sup> comme le montre la figure ci-dessus, et cela bien que les pourcentages de surfaces échantillonnées soient très différents.

Ces éléments permettent d'illustrer que :

- Le protocole MPCE ne permet pas de différencier des stations ayant des habitats différents puisque son application peut conduire au prélèvement des mêmes substrat-vitesse qui seront par la suite traités de manière équivalente (dans le calcul des indices biologiques)
- De ce fait, les abondances calculées par bocal ne sont pas représentatives du peuplement réel échantillonné sur la station.
- Les « peuplements » reconstitués par « bocal » ne peuvent pas être considérés comme représentatifs du peuplement d'une station échantillonnée.

Par exemple, pour le relevé 1, l'assemblage des bocaux B1 et B2 correspond au global à un échantillonnage de 52 % des habitats présents sur la station, les abondances du bocal B1 (6 % des habitats du relevé de la station) seront considérées comme équivalentes à celle au bocal B2 (46 %).

***Dans le cadre du calcul d'un I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (et des métriques biologiques associées), la prise en compte de l'abondance devrait s'appliquer au prorata du recouvrement des différents couples substrat-vitesse.***

***Ce point est développé plus largement en question 13.***

---

<sup>14</sup> Les 12 prélèvements unitaires ensuite regroupés en 3 phases (A, B et C) ou bocaux (B1, B2 et B3)

**Question 12 :** Le mode de reconstitution du peuplement par bocal peut-il influencer le calcul de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les hydroécorégions ciblées par l'étude ?

**Le mode de reconstitution du peuplement a un effet significatif sur le calcul des métriques biologiques et in fine sur la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> obtenue.**

L'exemple présenté ci-dessous basé sur la liste faunistique fictive à partir de laquelle on compare un peuplement reconstitué de manière classique (**Cas 1**) et le même peuplement reconstitué en pondérant les abondances des taxons présents par la surface de l'habitat dans lequel ils ont été échantillonnés (**Cas 2**).

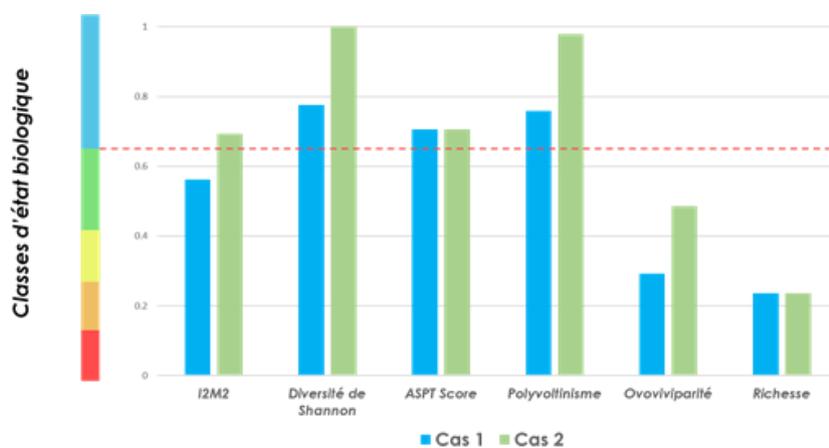


Figure 19 : Notes d'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2.

La prise en compte du pourcentage de recouvrement influence fortement le calcul de la note finale avec un impact sur toutes les métriques biologiques intégratrices de l'abondance :

- L'indice de diversité de Shannon
- Le Polyvoltinisme
- L'Ovoviviparité.

Il est intéressant de noter que l'Ovoviviparité et le Polyvoltinisme sont les deux métriques biologiques qui contribuent le plus dans le calcul d'une note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (**Question 6**).

**La prise en compte du pourcentage de recouvrement des couples substrat-vitesse échantillonnés permet de minimiser des fortes abondances sur des substrats peu représentés ou de mieux prendre en compte des abondances faible sur des substrats dominants.**

Ainsi, les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> calculées avec prise en compte des surfaces relatives des couples substrats-vitesse échantillonnés pourront varier selon les cas suivants :

- Une amélioration de la note si les taxons dominants, polyvoltins et/ou ovovivipares sont présents dans les couples substrat-vitesse marginaux ;
- Une dégradation de la note si les taxons dominants polyvoltins et/ou ovovivipares sont présents dans les couples substrat/vitesse avec les plus forts recouvrements ;

- Une amélioration de la note si les espèces qui ne sont ni polyvoltines ni ovovivipares sont dominantes dans les couples substrat/vitesse avec les plus forts recouvrements ;
- Une dégradation de la note si les espèces ni polyvoltines ni ovovivipares sont dominantes dans les couples substrat/vitesse marginaux ;

Notons enfin que toutes les notes biologiques sont analysées relativement à des « opérations de contrôle de référence » qui peuvent présenter des habitats très différents par rapport stations analysées.

Cela peut conduire à des erreurs d'appréciation de la qualité des peuplements observés par rapport à ces situations de « référence » dont les abondances devraient, elles aussi, être corrigées par rapport à la surface échantillonnée.

### Question 13 : Le choix de bocaux à partir desquels sont calculés les métriques biologiques permettent-ils de rendre compte de la structure du peuplement ?

Comme détaillé en **Question 4**, le calcul de la note d'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est basé sur 5 métriques biologiques qui caractérisent le peuplement échantillonné et qui ont été sélectionnées pour leur capacité à discriminer les stations soumises à des pressions des stations de référence.

Dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, ces métriques peuvent être calculées sur des peuplements reconstitués selon des assemblages de bocaux différents (**Question 3**).

#### ▪ La variété taxonomique

La variété taxonomique est calculée sur l'ensemble du peuplement échantillonné : les 3 bocaux B1, B2 et B3 sont pris en compte et *in fine* la totalité des couples substrat - vitesse prélevés.

La variété est calculée à partir des limites taxonomiques de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (niveau taxonomique du genre) et de la réaffectation des taxons mal déterminés (famille) sur les genres existants identifiés au niveau systématique préconisé par la norme en vigueur <sup>15</sup>.



Figure 20 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de variété taxonomique

#### ▪ L'indice de Diversité de Shannon

Dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, cet indice **n'est calculé que sur une partie de l'échantillon** (habitats marginaux et dominants priorité à l'habitabilité).

Dans la première version de la méthode, le calcul de l'indice se faisait seulement sur les taxons inféodés aux habitats dominants (Bocaux B2 et B3). Ce changement a été justifié par une meilleure relation statistique de l'indice avec les pressions.



Figure 21 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de la diversité de Shannon

Toutefois, cette combinaison de bocaux est la plus défavorable pour le calcul de la diversité puisqu'elle somme les abondances des taxons sans pondération du pourcentage de recouvrements des habitats sur la station :

- Des substrats marginaux qui représentent en général moins de 10% des habitats de la station,
- Des substrats dominants priorité Habitat qui représentent la majorité (90%)

Pour être représentatif d'un peuplement, l'indice de diversité doit s'appuyer sur un échantillonnage également représentatif, c'est-à-dire que le calcul des abondances doit être pondéré au prorata de la surface de l'habitat échantillonné par rapport à la surface totale (**Question 12**).

Dans le cadre de la comparaison du peuplement d'une station à une situation de « référence », il est nécessaire de recourir à l'analyse de l'**équité** pour rendre compte de la structure du peuplement.

**De ces différentes remarques il est possible d'affirmer que la note de l'indice de Shannon qui est calculée présente une redondance forte avec les informations apportées par la variété taxonomique. La valeur obtenue sera d'autant**

<sup>15</sup> AFNOR XP T90-388 (2010)

plus inexacte qu'il existera - au niveau stationnel - une grande hétérogénéité des pourcentages de recouvrement des couples substrat/vitesse.

A titre illustratif, l'indice de diversité tel que calculé dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ne serait juste que si tous les prélèvements avaient été réalisés sur couples substrat/vitesse présentant la même surface de recouvrement : 8.33 %.

### Le BMWP score et l'ASPT score

Pour le calcul du BMWP Score et de l'ASPT Score, le peuplement reconstitué correspond aux taxons prélevés sur les habitats dominants (B2 et B3).<sup>16</sup>

En retirant de l'analyse les substrats marginaux (B1) qui représentent en général entre 3-4% de la surface prélevée, on néglige des habitats souvent porteurs de forte variété taxonomique.

Ce choix méthodologique peut avoir un impact significatif sur la note selon la structure habitationnelle de la station (répartition des couples substrat-vitesse homogène ou non).

Plusieurs points de cette méthode de calcul semblent altérer la représentativité du peuplement :

- Dans son calcul, cette métrique ne considère pas l'abondance des taxons ce qui va avoir pour effet de donner un poids fort à des taxons qui ne sont pas nécessairement caractéristiques du peuplement stationnel : 1 seul individu d'un taxon dans un relevé n'a pas la même signification qu'un taxon présent avec 10, 50, 100 ou 500 individus.
- Le score retenu est calculé au niveau de la famille et non du genre. Ce choix ne permet pas une prise en compte réelle de l'écologie des taxons telle qu'elle est actuellement connue et décrite notamment dans l'ouvrage de référence attaché à la méthode (Tachet & al., 2010).

En effet, les familles d'invertébrés peuvent être en effet représentées par des genres et des espèces d'écologie très différente.

Ainsi on note que certains taxons considérés comme **polluo-tolérants** (*Ephemerellidae*, *Leuctridae*, *Aphelocheiridae*, *Leptoceridae* ou *Goeridae*) ont le score maximum de polluo – sensibilité (10/10) à l'équivalence de taxons **polluo-sensibles** comme les *Perlidae*, *Perlodidae* et *Chloroperlidae*. Cette évaluation de la polluo-sensibilité de ces taxons est même supérieure à des taxons comme les Astacidae (score de 8/10). A l'inverse, certains taxons de la famille des *Hydrobiidae* (score de 3/10) peuvent être représentés par des genres polluosensibles (ex : *Bythinella*).

### Le Polyvoltinisme

Le calcul de la métrique polyvoltinisme se base sur l'abondance<sup>17</sup> des taxons échantillonnés sur l'ensemble des couples substrats-vitesse (B1, B2 et B3).



Figure 22 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de l'ASPT Score.



Figure 23 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul du polyvoltinisme

<sup>16</sup> La méthode initiale était basée sur un inventaire exhaustif des taxons sur une station (B1, B2 et B3).

<sup>17</sup> Les abondances sont corrigées logarithmiquement

Cette variable apparait comme l'une des plus intéressantes car elle intègre des variations de milieu qui jusqu'à lors étaient ignorées par les méthodes de biomonitoring invertébrés et notamment l'IBGN-équivalent.

Néanmoins plusieurs points de la méthode semblent avoir un impact sur le score obtenu et au final sur la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> :

- Le mode de reconstitution du peuplement par addition des valeurs d'abondance sans prise en compte du pourcentage de recouvrement des substrats échantillonnées peut fausser la représentation du score.
- L'utilisation de cet indice **impose que les niveaux typologiques retenus par l'analyse soient identiques entre stations de référence et stations analysées**...ce qui ne semble pas nécessairement le cas avec la seule prise en compte de la largeur du cours d'eau et comme nous le verrons par la suite par le faible nombre de stations de « référence » sur certaines hydroécorégions. En effet, comme le montre les différentes **typologies\*** ou **zonations\*** établies sur les milieux aquatiques (Huet, Verneaux, etc...), les peuplements évoluent de l'amont vers l'aval en fonction des modifications naturelles de certaines caractéristiques du milieu (température, pente, largeur, trophie, etc..)
- Une prise en compte des caractéristiques habitationnelles est aussi essentielle pour interpréter cet indice qui peut être fortement impacté par les habitats rivulaires riches en taxons polyvoltins (coléoptères, hétéroptères, odonates, diptères, gastéropodes...).

Une transformation logarithmique des abondances par taxon est réalisée pour le calcul de la note finale de polyvoltinisme. Cette transformation n'est pas suffisante dans le cadre de la comparaison des traits biologiques de taxons différents car la valeur des scores obtenus (somme des scores de chaque taxon multiplié par leur abondance) privilégie les taxons présents selon de fortes abondances aux dépens des taxons présents en faible nombre.

Ces taxons, généralement les plus polluosensibles (*Perlidae*, *Chloroperlidae*, ...) sont très fortement marginalisés par un tel calcul alors que des taxons très prolifiques (*Gammaridae*, *Asellidae*) portent l'essentiel de l'information.

Pour limiter les biais, il est d'usage de recourir à une transformation des abondances en classes<sup>18</sup>. En effet, le mode de calcul actuel de la métrique avec transformation logarithmique ne permet pas de prendre en compte les capacités naturelles de chaque espèce à se développer sur une station de cours d'eau :

Une telle **approche synécologique\*** combinant des taxons à capacité de développement très différente, nécessite en général de transformer les abondances de chaque taxon en classes.

<sup>18</sup> La transformation des abondances en classes est dans la méthode de bioindication basée sur les communautés de poissons : l'Indice Poisson Rivière (IPR).

## ■ L'Ovoviviparité

Le calcul du score d'ovoviviparité se base sur l'abondance des taxons prélevés sur l'ensemble des couples substrats-vitesse échantillonnés (B1, B2 et B3).

Si l'on ne considère que les taxons les plus communs, seules 10 familles sont susceptibles de donner un score élevé d'ovoviviparité :

- Gammaridae,
- Sphaeridae,
- Conchostracés,
- Hydrobiidae,
- Viviparidae,
- Asellidae
- Corbiculidae
- Glossiphoniidae
- Chironomidae
- Baetidae



Figure 24 : Schématisation du peuplement reconstitué pour le calcul de l'ovoviviparité

Toute présence significative de ces taxons dans des relevés va faire baisser fortement la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

La méthode de calcul de cette métrique peut également être discutée sur certains points :

- Le mode de reconstitution du peuplement par addition des valeurs d'abondance des substrats, sans prise en compte du pourcentage de recouvrement peut fausser la représentation stationnelle du score. C'est particulièrement important pour l'indice d'ovoviviparité ou les taxons concernés sont très souvent présents avec de très fortes abondances.
- Il existe des contradictions entre les valeurs théoriques utilisées dans le calcul de l'indice et les caractéristiques des espèces : par exemple les Ecrevisses à pattes blanches ou à pattes rouges ou encore les *Margaritiferae* (Bivalve) et *Capniidae* (Plecopteres) ont été considérées, par le biais de cette métrique, comme des espèces polluo-tolérantes, ce qui n'est pas le cas dans la réalité.

La transformation logarithmique des abondances ne permet pas une prise en compte des taxons les plus polluo-sensibles mais avec de faibles capacités de développement.

**L'analyse de ces différentes métriques biologiques montre que les phases de peuplement choisies dans le cadre de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont susceptibles d'affecter la représentation du peuplement réellement présent et in fine du du fonctionnement des masses d'eau étudiées.**

**Les points à retenir sont les suivants :**

- **La reconstruction du peuplement à partir de la simple addition des prélèvements unitaires. Ce choix méthodologique ne permet pas de rendre compte de la structure du peuplement réel, notamment dans le calcul de l'Indice de Shannon, du Polyvoltinisme et de l'Ovoviviparité.**
- **La non prise en compte de l'ensemble du peuplement de la station dans le calcul de certaines métriques comme l'Indice de Shannon (calculé sur les bocaux B1 et B2) et ASPT score (calculé sur les bocaux B2 et B3).**

- **Notons aussi que la comparaison de peuplements à partir des traits écologiques nécessite en général pour chaque taxon, la transformation des abondances en classes. Ceci est essentiel pour que l'information portée par un taxon non proliférant ne soit pas masquée par celles de taxons proliférants.**

**Question 14 :** Quelle est l'importance de chaque métrique dans le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A ? Ces métriques ont-elles la même importance dans toutes les hydroécorégions et tous les types de cours d'eau ?

**La régionalisation des métriques biologiques et de leurs relations avec les pressions intervient dans le calcul de l'indice (Question 6) et a un effet significatif sur la note d'indice finale obtenue :**

**Pour un même peuplement analysé dans des contextes hydroécorégionaux différents, les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> seront significativement différentes. L'évaluation du niveau de pression s'exerçant sur le milieu qui en sera faite sera donc différente.**

Ce point illustré ci-après est basé sur le peuplement (**Présentation du jeu de données illustratif**). Ce peuplement peut être décrit par les 5 métriques biologiques « brutes » ou « non régionalisées » utilisée dans le calcul de l'indice :

Tableau 2 : Valeurs des métriques biologiques non régionalisées retenues dans le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> pour le peuplement utilisé à titre d'exemple

Diversité de Shannon	ASPT Score	Polyvoltinisme	Ovoviviparité	Richesse
3.21	6	0.34	0.26	30

Si l'on analyse ce même peuplement en considérant qu'il a été prélevé sur les hydroécorégions 9A, 9 et 10, on constate que les valeurs d'indices et des métriques associées sont différentes :

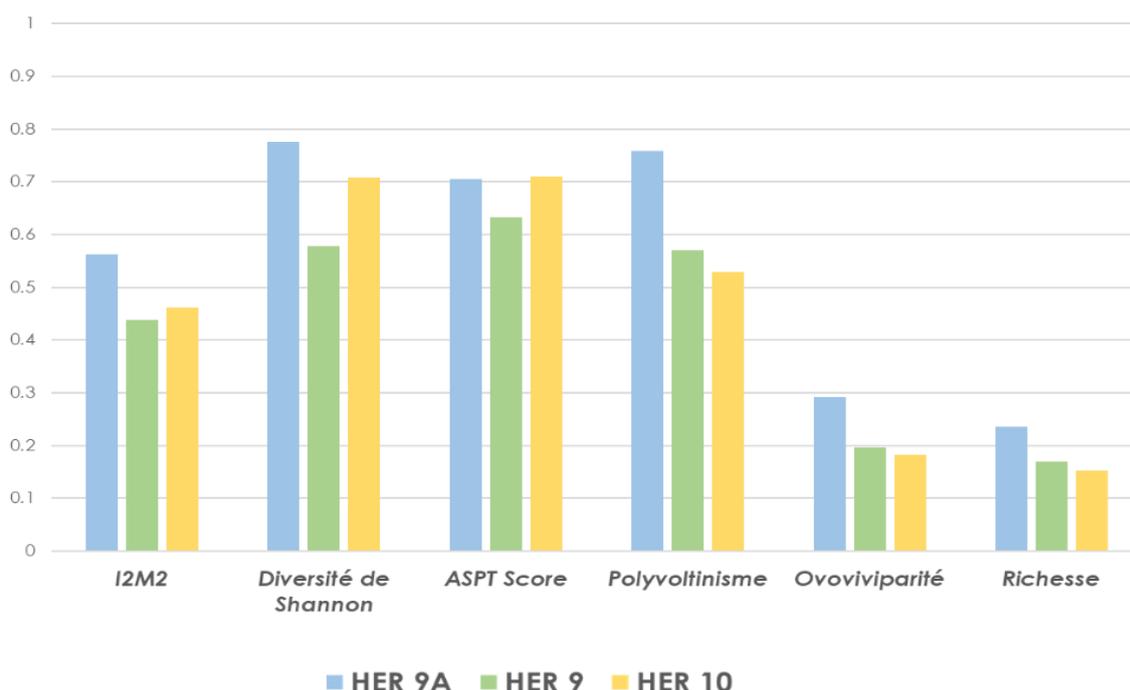


Figure 25 : Notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des métriques associées à un même peuplement mais dans des contextes hydroécologiques différents

On note globalement que l'HER 9A ( $I_2M_2 = 0,56$ ) semble moins pénalisée que les HER 9 ( $I_2M_2 = 0,44$ ) et 10 ( $I_2M_2 = 0,46$ ) avec de fortes différences pour l'Indice de Shannon, le Polyvoltinisme ainsi que pour l'Ovoviviparité et la Richesse.

Ces différences de notations sont expliquées par l'étape de régionalisation et notamment par les valeurs Best et Worst retenues pour chaque hydroécologie qui interviennent dans le calcul des métriques en EQR.

Le tableau ci-dessous donne les valeurs « Best » et « Worst » retenues pour chaque métrique biologique pour chaque typologie de cours d'eau des hydroécologies 9A, 9 et 10.

Les valeurs Worst sont définies au niveau national, quel que soit la typologie et le contexte hydroécologique.

Tableau 3 : Valeurs « Best » et « Worst » intervenant dans la régionalisation des métriques biologiques dans le calcul d'EQ, pour les hydroécologies 9A, 9 et 10

Hydroécologie	Type	Valeurs de régionalisation	Indice de Shannon	ASPT Score	Polyvoltinisme	Ovoviviparité	Richesse
HER 9A	M9-A / P9-A	Best	4.43	6.49	0.26	0.12	77.8
		Worst	1.53	4.38	0.47	0.3	22
HER 10	TP 10 P 10 M 10	Best	4.19	6.97	0.25	0.064	64.2
			3.91	6.66	0.22	0.06	74.25
			3.75	6.57	0.28	0.06	64
	Worst		1.53	4.38	0.47	0.3	22
HER 9	TP 9 P 9 M 9 / 10	Best	4.22	6.74	0.26	0.1	65
			4.45	6.94	0.24	0.08	69
			4.43	6.49	0.26	0.12	77.8
	Worst		1.53	4.38	0.47	0.3	22

Cette méthodologie est justifiée par le fait qu'un même peuplement pourrait apparaître comme la résultante d'un groupe de pressions de nature ou d'intensité différentes et propres à un contexte hydro-écorégional donné.

Néanmoins, l'outil diagnostic qui est censé caractériser et hiérarchiser les pressions ayant un impact probable sur le milieu donne une réponse non régionalisée et invariante pour un même relevé quel que soit le contexte hydroécorégional testé (Question 16).

Cela revient à considérer que les taxons présentent une sensibilité variable aux mêmes perturbations dans des contextes hydroécologiques différents.

Cela ne pourrait être vérifié que par une **analyse synécologique régionalisée**\*<sup>19</sup>. Ce type d'analyse n'a pas été mis en œuvre dans le cadre de la construction de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> : les relations entre métriques biologiques et impact probable des pressions n'ont été caractérisées qu'à l'échelle nationale.

Afin de mieux comprendre les phénomènes en jeu dans les calculs d'EQR et l'importance de chaque métrique selon le contexte hydroécorégional, il est possible de déterminer un coefficient de pondération des métriques biologiques basé sur la mise en relation des **valeurs de métriques régionalisées** et des **valeurs de métriques nationales** calculées à partir de leurs valeurs brutes.<sup>20</sup>

A partir de ces coefficients de pondération, il est possible de connaître l'importance de chaque métrique dans un contexte hydroécorégional donné comme représenté ci-dessous pour les HER 9A, 9 et 10.

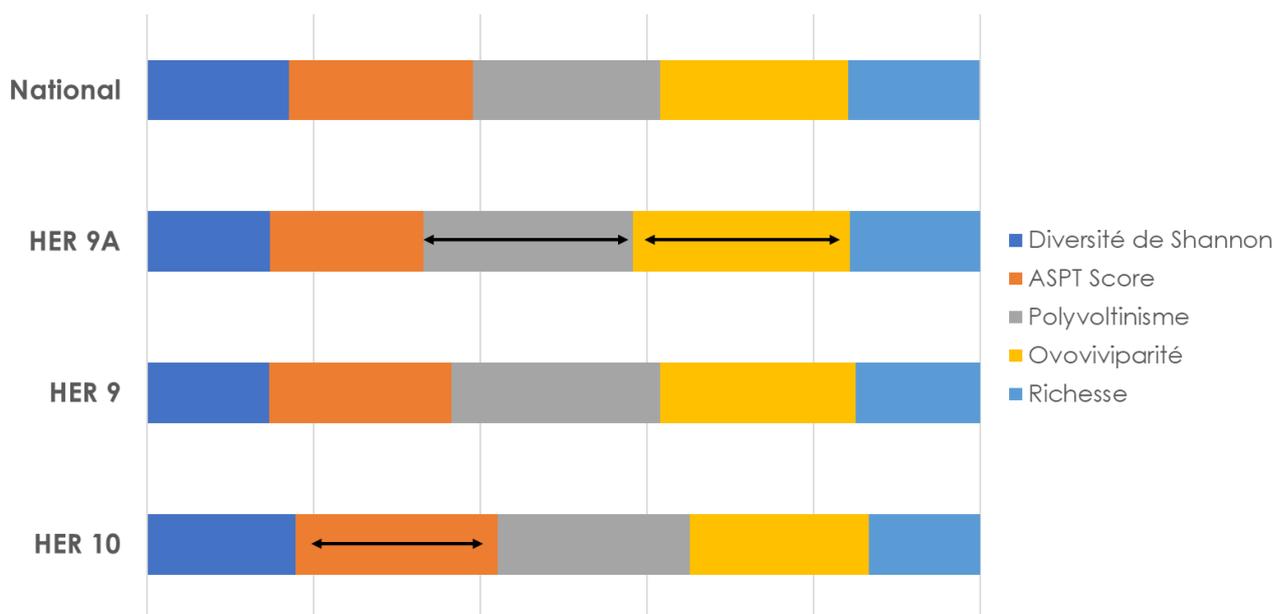


Figure 26 : Importance des métriques biologiques par contexte hydroécorégional.

Cette analyse montre que certaines variables prennent plus d'importance selon le contexte hydroécorégional comme par exemple le **Polyvoltinisme** et l'**Ovoviviparité** sur l'HER 9A.

<sup>19</sup> Öenböck, T., Moog, O., Gerritsen J., Barbour, M. (2004) A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macro-invertebrates. Hydrobiologia 516: 251-268.

<sup>20</sup> L'analyse complète réalisée est détaillée dans le rapport technique.

Cette modification est liée aux caractéristiques des cortèges de macro-invertébrés propres à chaque hydro écorégion : les métriques biologiques dont la valeur « **Best** » *régionalisée* est la plus éloignée des valeurs « **Best** » *nationales* sont davantage prises en compte dans le calcul de l'indice.

*La transformation des métriques calculées en EQR semble problématique car elle va donner, pour chaque HER un poids plus important aux métriques dont la valeur BEST régionale est la plus éloignée de la valeur BEST nationale.*

*Ainsi, la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> calculée sur une HER donnée ne peut être comparée à une note calculée sur une HER différente car les métriques seront pondérées différemment. On note que ces différences sont liées à des différences structurelles des peuplements entre écorégions et pas nécessairement à l'impact de pressions (ex : il est normal que les cours d'eau comme des Alpes présentent des variétés taxonomiques plus faibles que celles observées sur des secteurs de plaine)*

*Ces relations pression-réponse auraient pu être évaluées pour chaque hydroécorégion, ce qui aurait permis d'utiliser des EQR régionalisés.*

*Question 15 : Est-ce que la méthodologie globale de calcul des métriques biologiques peut expliquer les déclassements observés sur les hydroécorégions étudiées ?*

*L'analyse des différentes métriques biologiques montre que leur calcul est susceptible d'affecter la perception que l'on peut avoir du fonctionnement des masses d'eau étudiées et notamment celles des HER 9A, 9 et 10.*

Les points qui semblent les plus problématiques sont :

- La reconstruction du peuplement à partir de la simple addition des prélèvements unitaires. Ce choix méthodologique ne permet pas de rendre compte de la structure du peuplement réel, notamment dans le calcul de l'**Indice de Shannon**, du **Polyvoltinisme** et de l'**Ovoviviparité**.
- La non prise en compte de l'ensemble du peuplement de la station dans le calcul de certaines métriques comme l'**Indice de Shannon** (calculé sur les bocaux B1 et B2) et **ASPT score** (calculé sur les bocaux B2 et B3).
- L'attribution de scores qui ne correspondent pas aux caractéristiques biologiques et écologiques réelles de certains taxons pris en compte dans le calcul de l'**ASPT score**, du **Polyvoltinisme** et de l'**Ovoviviparité**.
- Une non pondération des abondances en classe qui est nécessaire pour toute analyse synécologique et notamment dans le cadre de l'**ASPT Score**, du **Polyvoltinisme** et de l'**Ovoviviparité**.

De plus, on note que certaines métriques sont redondantes dans les informations apportées. Il s'agit de :

- La **Richesse taxonomique** et l'**Indice de Shannon**. En effet, l'indice de diversité est fortement lié à la variété dans son calcul.
- Du **Polyvoltinisme** et de l'**Ovoviviparité**. En effet certains taxons, comme on peut le constater dans la figure ci-dessous, vont avoir un impact très fort sur la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> car ils présentent un score élevé pour les deux indices.

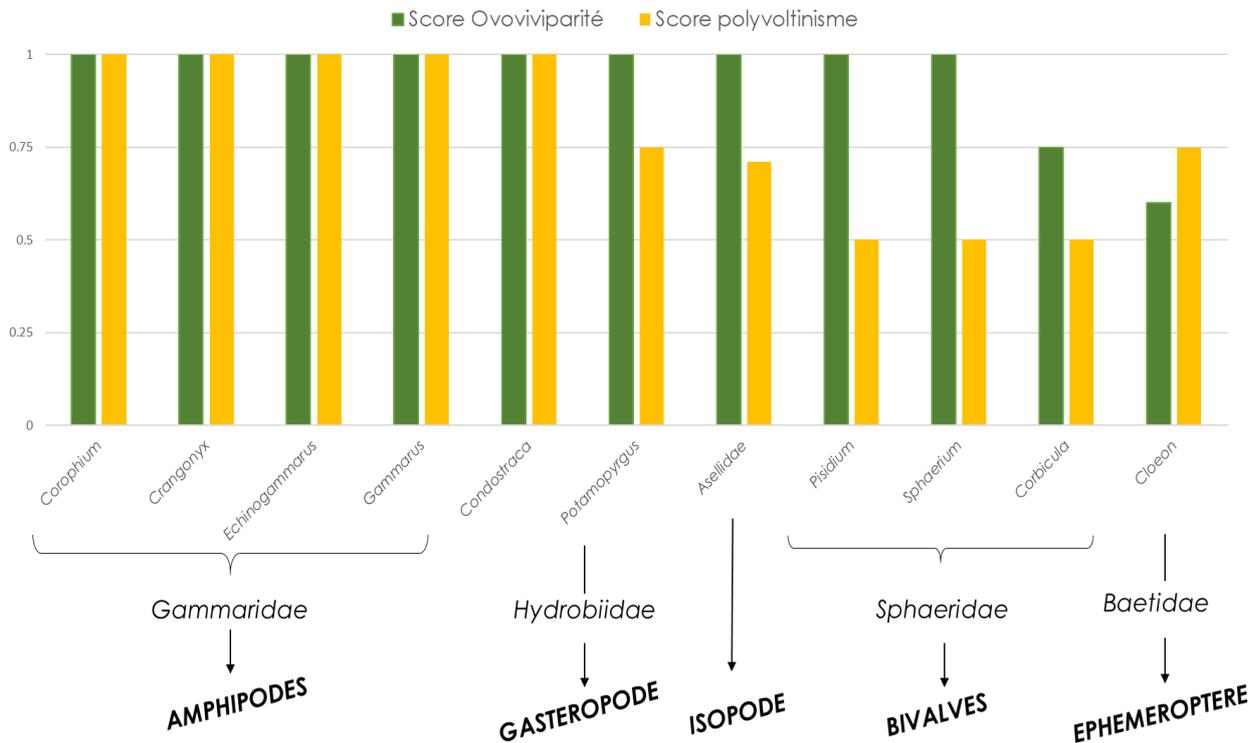


Figure 27 : Scores d’ovoviviparité et de polyvoltinisme des taxons (genre) ayant un impact fort sur la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les HER étudiées. Les niveaux taxonomiques de la Famille et de l’Ordres ont mentionnés.

Les taxons <sup>21</sup> de la famille des *Gammaridae* et notamment les genres *Gammarus* et *Echinogammarus* que l’on retrouve généralement en très grande quantité sur des stations riches en substrats végétaux<sup>22</sup> ont des scores d’ovoviviparité et de polyvoltinisme maximums. Leur présence va fortement impacter, négativement, la note d’indice obtenue.

**Les habitats caractéristiques de fortes densités de *Gammaridae* sont très présents notamment sur les cours d’eau de l’HER 9A (Question 14) mais aussi sur les cours d’eau de plaine des tables calcaires (HER 9 et 10) et ceci même dans des conditions d’anthropisation peu marquées. Leur présence risque donc de « brouiller » fortement l’image de la qualité des stations obtenue par la notation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> notamment si les caractéristiques des stations de référence retenues, qui sont peu nombreuses, présentent des structures habitationnelles très différentes des stations analysées.**

Il est aussi important de noter que le statut « d’indicateur de pressions » donné à ces taxons est à démontrer. En effet, il semble peu logique de considérer le genre *Gammarus* comme l’un des plus polluorésistant alors qu’il est utilisé dans d’autres méthodes <sup>23</sup> comme étant une espèce sentinelle, sensible aux contaminants et un bon indicateur de la présence et des effets des substances toxiques dans les milieux aquatiques »

<sup>21</sup> D’autres taxons peuvent aussi impacter la note, ils sont mentionnés plus en détails dans le rapport technique

<sup>22</sup> Voir les résultats des analyses réalisées sur l’HER 9A présentée dans le rapport technique.

<sup>23</sup> Notamment une méthode développée par l’IRSTEA/BIOMAE qui utilise *Gammarus fossarum* pour évaluer la qualité des écosystèmes. L’espèce a été retenue car ubiquiste présente en France et en Europe, espèce clef pour le fonctionnement des écosystèmes aquatiques, espèce d’intérêt pour les essais d’écotoxicité : cycle de vie court, période de reproduction continue tout au long de l’année, etc., espèce accumulatrice de métaux et de contaminants organiques, **espèce sensible à la pollution chimique (micropolluants).**

▪ *Les opérations de référence sur l'HER 9A et les cours d'eau des Tables Calcaires*

*Question 16 : Quelles sont les caractéristiques des stations de référence sur l'HER 9A ?*

Sur l'HER 9A, **32 opérations** de contrôle réalisées entre 2005 et 2013 <sup>24</sup> ont été considérées comme des opérations de référence.

Ces 32 opérations de contrôle sont réparties sur **7 stations de contrôle** localisées sur la carte ci-contre et représentatives des **deux types de cours d'eau \*** présents sur l'hydro écorégion 9A :

Pour les cours d'eau moyens (« M9-A »), **9 opérations de contrôles** ont été réalisées sur **2 stations** de la Risle :

- **La Risle** à Fontaine-la-Soret
- **La Risle** à Manneville

Pour les petits cours d'eau (« P9-A »), 23 opérations de contrôle réalisées sur 5 stations :

- **La Hem** à Recques-sur-Hem
- **L'Yères** à Villy-le-Bas
- **L'Arques Béthune** à Arques-la-Bataille
- **L'Eaulne** à Envermeu
- **La Paquine** à Hermival-les-Vaux

---

<sup>24</sup> Ces opérations de contrôle prises en compte dans les références peuvent avoir été réalisées la même année à des dates différentes (décalage de 2 à 6 mois) ou sur des années différentes.

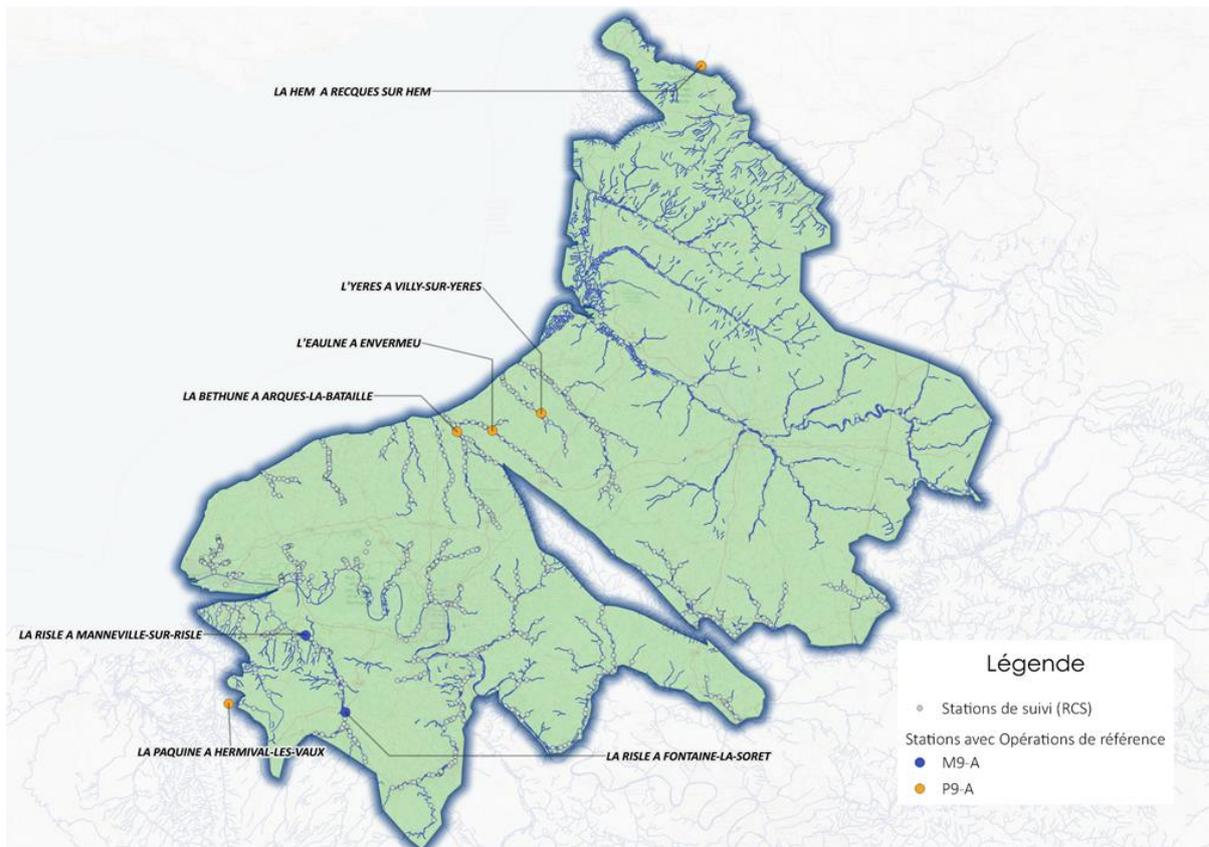


Figure 28 : Localisation des stations de suivi caractérisées par des « opérations de contrôle de référence »

La figure ci-dessous montre que les valeurs moyennes de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et des 5 métriques biologiques sur ces opérations de contrôle sont généralement - pour les petits et moyens cours d’eau – à la limite entre bon et très bon état biologique. Cela est particulièrement le cas pour les petits cours d’eau (« P9-A) où les valeurs maximales des métriques comme l’ASPT Score, la Diversité de Shannon sont inférieures ou égales à la limite du très bon état biologique.

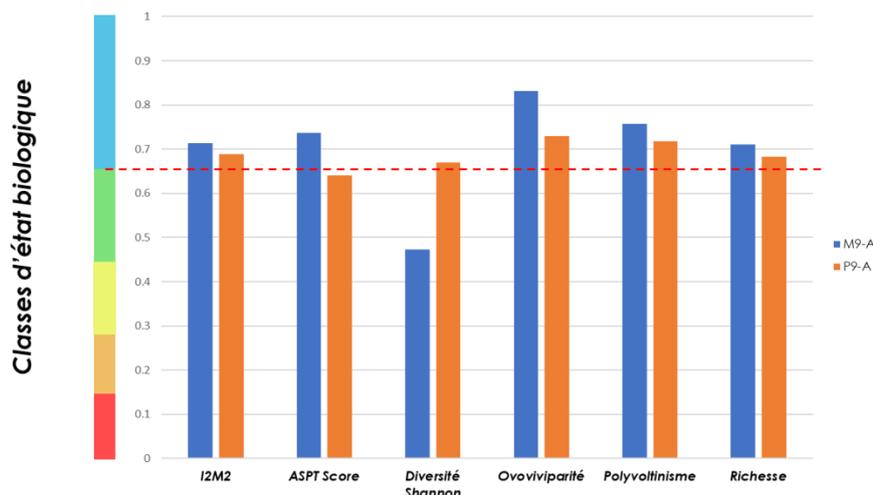


Figure 29: Valeurs moyennes de l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de ses métriques par type de cours d’eau sur les opérations de référence de l’HER 9A

**Question 17 :** Les opérations de référence utilisées pour caractériser des stations analysées des HER 9A, 9 et 10 permettent-elles de rendre compte du très bon état ?

La généralisation des pressions qui s'exercent sur ces hydroécorégions (**Question 23**) rend l'identification de stations de « référence » difficile. Cela explique pourquoi le nombre total de sites retenus comme « référence », et notamment sur l'HER 9A - est relativement faible (**Question 16**).

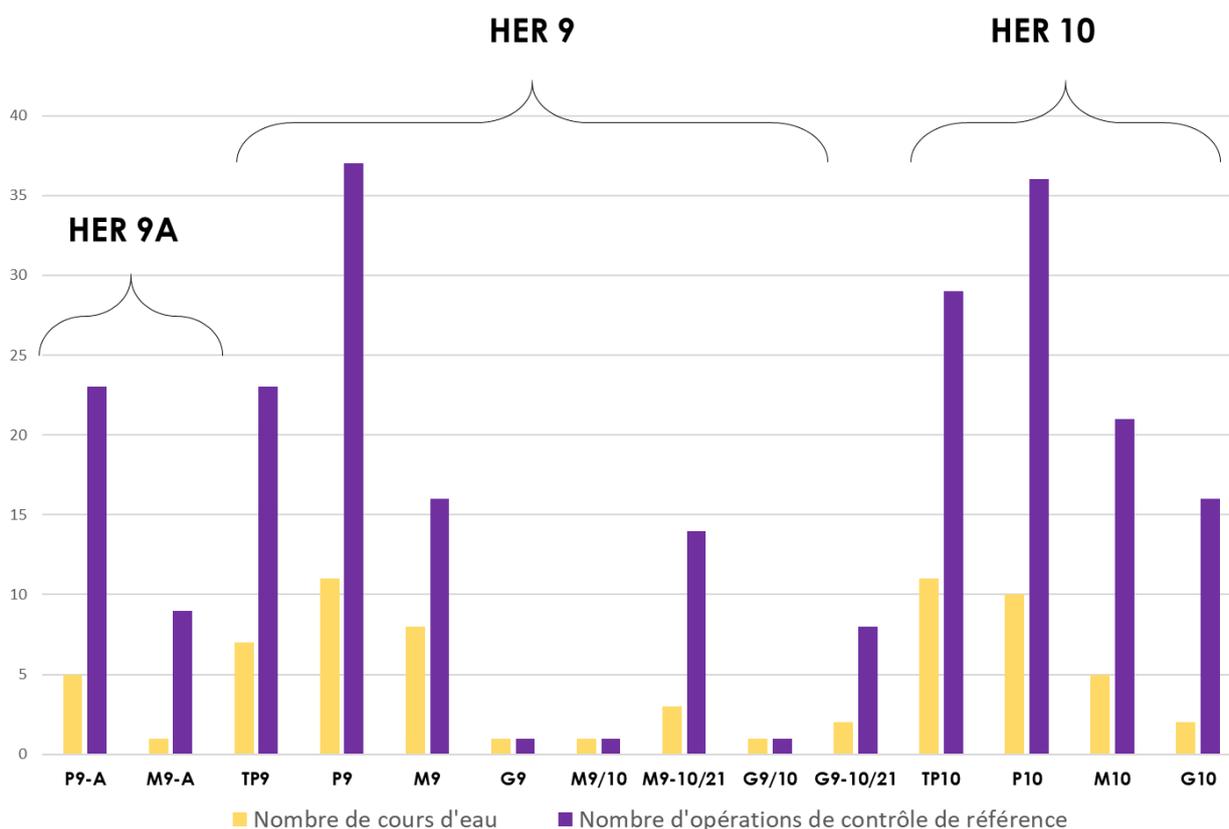


Figure 30 : Nombre de cours d'eau et d'opérations de contrôle de référence par contexte typologique et hydroécorégional

D'une manière générale et comme on peut le voir sur la figure ci-dessus, le nombre d'opérations de contrôle dites « de référence » est très faible au regard de la superficie des hydro écorégions concernées et de la diversité des types de cours d'eau que l'on peut y rencontrer.

On peut toutefois distinguer que ces références sont moins nombreuses sur les **cours d'eau moyens à grands (M9-A, G9, G9/10, M10 et G10)** alors que les **petits ou très petits cours** d'eau et notamment sur les HER 9 et 10 (P9, TP10, P10) sont caractérisée par plus de données.

De plus, les valeurs moyennes des opérations de référence <sup>25</sup> sont globalement situées à la limite entre le « Bon Etat » et le Très Bon Etat ». Les graphiques ci-dessous illustrent ce point sur les différents types des HER 9 et 10.

<sup>25</sup> Un tableau de synthèse détaillé est présenté en **Annexe 6**.

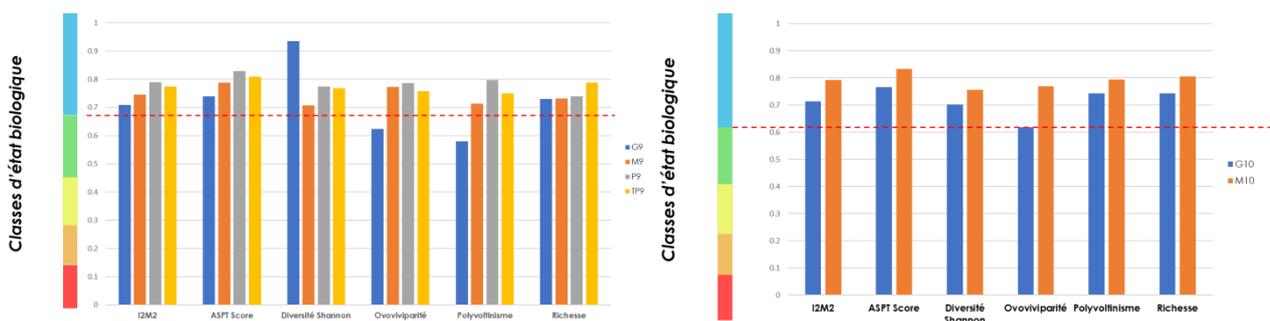


Figure 31 : Valeurs moyennes de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et de ses métriques sur les opérations de contrôle dites de « référence » des différents types des HER 9 (gauche) et 10 (droite) pour les grands (G10) et moyens (M10) cours d'eau.

Sur les hydroécorégions 9A, 9 et 10, près de 20 % des opérations de contrôle <sup>26</sup> dites de référence et censées présenter **les plus faibles niveaux de pression** affichent des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil au « Très Bon état ».

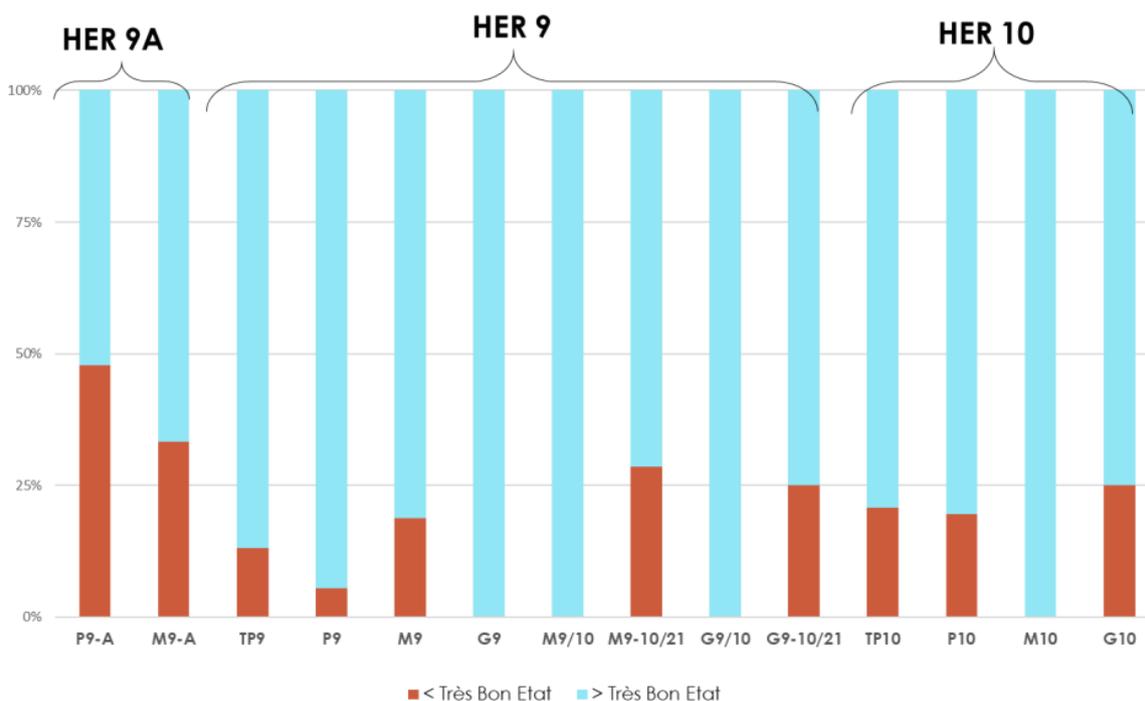


Figure 32 : Pourcentages du nombre d'opérations de contrôle de référence caractérisés par une note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil de Très Bon état Biologique pour chaque type de cours d'eau représenté dans les HER 9A, 9 et 10.

<sup>26</sup> 45 opérations de contrôle sur les 235 réalisées (19.15 %) sont caractérisées par des notes d'indices I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil de Très Bon Etat.

Pour les HER 9A, 9 et 10, près de 20 % des opérations de contrôle <sup>1</sup> dites de référence et censées présenter **les plus faibles niveaux de pression** affichent des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> inférieures au seuil de «Très Bon état

On note d'ailleurs que les deux types de cours d'eau de l'HER 9A (P9-A et M9-A) affichent les pourcentages de notes inférieures au seuil de très bon état les plus importants : 47,8 % sur les petits cours d'eau. Dans ce cadre une réévaluation des seuils de « bon état » et de « très bon état » serait peut-être souhaitable.

*Cette analyse montre que les stations de référence a priori en « Très Bon Etat » peuvent être assimilées à des stations en « Bon état » par le calcul de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ce qui incite à beaucoup de prudence sur l'interprétation des classes de qualité.*

*Le déclassement observé sur certaines opérations de contrôle tient peut-être dans le fait que la valeur maximale (valeurs best) retenue pour chaque variable biologique est celle de la meilleure valeur observée sur l'ensemble stations de référence.*

*L'opération de référence « type » correspondrait donc à une opération de référence « virtuelle » dont les valeurs des métriques biologiques seraient égales aux valeurs maximales connues dans un contexte hydroécorégional donné.*

*De par cette méthodologie de reconstitution des opérations de référence ", la notion de « référence » doit être considérer avec prudence dans la mesure où :*

- *Certaines espèces ont une durée de vie supérieure à 6 mois ce qui fait qu'un peuplement observé à un instant donné n'a pas forcément de lien avec le niveau de pression caractérisé par l'analyse des conditions météorologiques des 6 mois précédents l'analyse. (Par exemple, les larves de plécoptères ont un développement aquatique, qui se déroule par mues successives de quelques mois à deux ou trois ans (voire plus) suivant les zones géographiques et les espèces).*
- *Dans le cas de cours d'eau très fortement anthropisés, et notamment sur les secteurs amont, l'adéquation entre qualité du milieu et structure du peuplement n'est plus forcément prégnante.*

*Par exemple, une amélioration notable de la qualité de l'eau même sur des périodes relativement longues avant prélèvement ne sera pas nécessairement suffisante pour que le cortège faunistique se reconstitue.*

**Question 18 :** L'outil diagnostic (OD) permet-il d'identifier les pressions à l'origine du déclassement ?

Les résultats proposés par l'outil diagnostic (Question 10) ne sont pas « régionalisés » : pour une même liste faunistique, il fournira le même diagnostic quel que soit le contexte hydroécologique et les pressions qui s'exercent sur le milieu.

Ainsi, un peuplement qui serait analysé sur les tables calcaires (HER 9) se verrait attribuer par l'outil diagnostic les mêmes probabilités de pression qu'un peuplement identique (même liste faunistique) d'un cours d'eau du massif central alors que les pressions qui s'exercent sur les deux milieux sont très différentes dans leur nature et leur niveau d'intensité.

Ce point est illustré à partir du peuplement décrit plus haut (**Présentation du jeu de données illustratif**). Si l'on considère que ce même peuplement a été prélevé dans les HER 9A, 9 et 10, les notes I2M2 obtenues sont significativement différentes (Figure 28) alors que les probabilités de pressions données par l'Outil Diagnostique sont exactement les mêmes.

Ces différences d'évaluation par l'I2M2 sont expliquées par l'étape de régionalisation des métriques qui intervient dans le calcul de l'indice (**Question 4**).

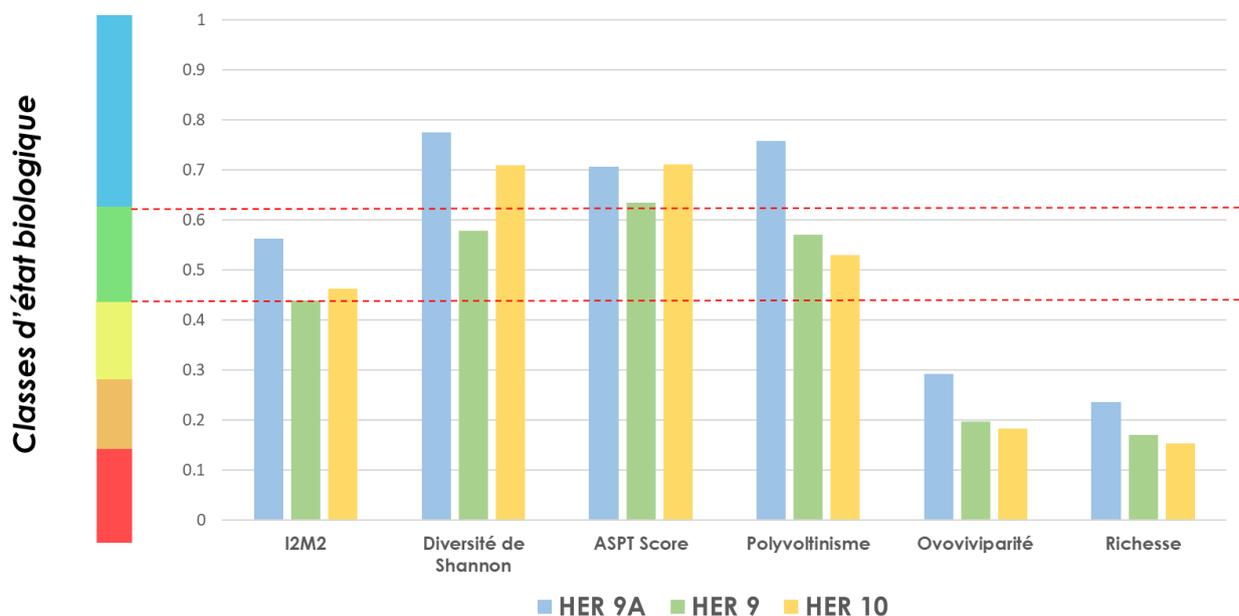


Figure 33 : Notes I2M2 et ses métriques associées calculées à partir du peuplement utilisé en exemple sur les HER 9A, 9 et 10.

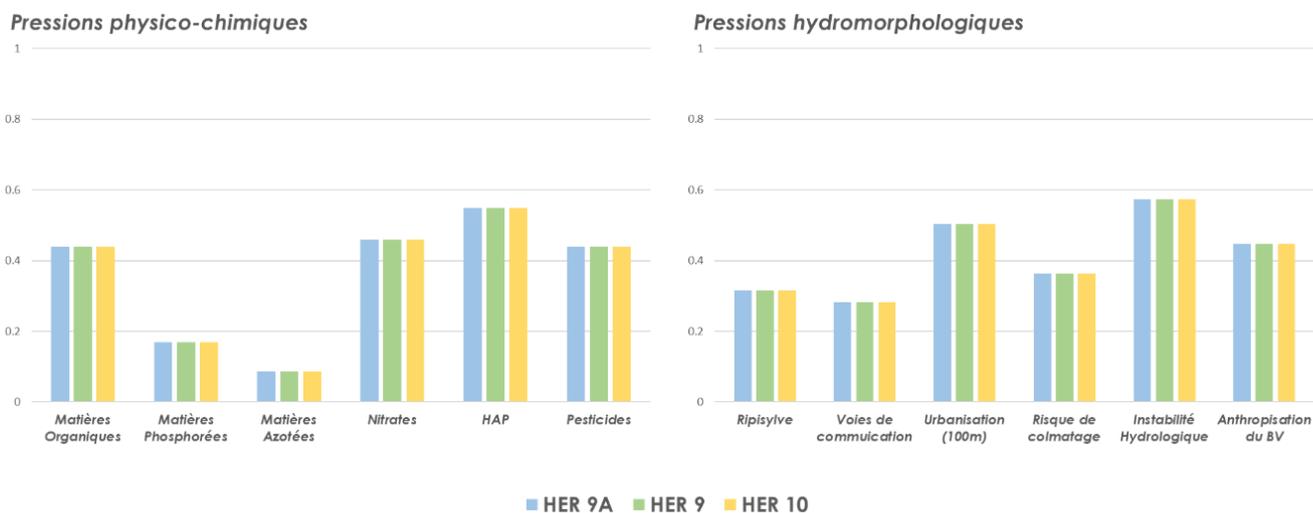


Figure 34 : Probabilités de pressions obtenues par l’Outil Diagnostic (OD) à partir de 3 peuplements identiques prélevés « fictivement » sur les HER 9A, 9 et 10.

**Question 19 :** Les résultats de l’outil diagnostic sont-ils influencés par la méthode de reconstitution du peuplement ?

L’exemple présenté ci-dessous basé sur la liste faunistique fictive à partir de laquelle on compare un peuplement reconstitué de manière classique (**Cas 1**) et le même peuplement reconstitué en pondérant les abondances des taxons présents par la surface de l’habitat dans lequel ils ont été échantillonnés (**Cas 2**).

Sur ces deux peuplements, on obtient des notes d’indices différentes qui s’expliquent en partie par les variations importantes de l’indice de Shannon du polyvoltinisme et de l’ovoviviparité (**Question 13**) qui sont les métriques les plus intégratrices de l’abondance.

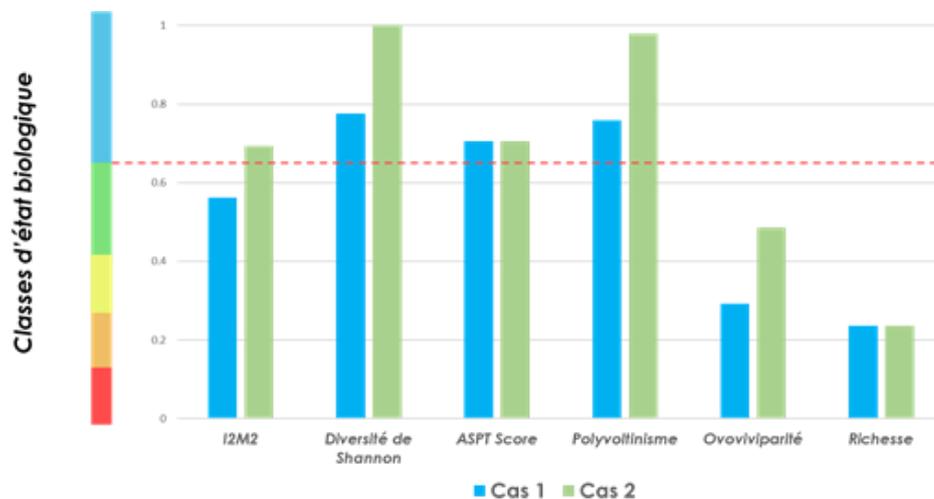
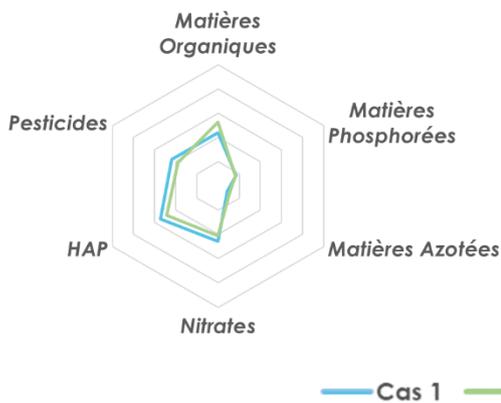


Figure 35 : Notes d’indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2.

Cependant, les probabilités de pressions calculées sur ces deux peuplements ne semblent pas intégrer les variations d’abondance de la même manière que l’I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Sur les deux graphiques présentés ci-dessous, on observe que les probabilités de pressions sont globalement les mêmes pour les **Cas 1** et **2**, à l’exception de pressions hydro-morphologiques liées à l’anthropisation du bassin versant et à la présence de voies de communication.

**Pressions physico-chimiques**



**Pressions hydromorphologiques**

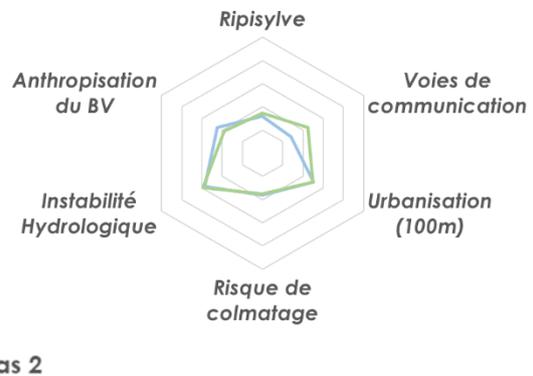


Figure 36 : Probabilités de pressions physico-chimiques et hydromorphologiques calculées sur le peuplement reconstitué avec le Cas 1 et le Cas 2.

On peut donc supposer que dans sa méthode de calcul des probabilités d’impact de pression, l’Outil Diagnostic est plus sensible à la nature des taxons présents qu’à leur abondance (par exemple leur polluo-sensibilité)

**Sur la base de cet exemple, il semble donc que les résultats de l’Outil Diagnostic sont plus influencé par les taxons que par leurs abondances et donc, par le mode de reconstitution du peuplement.**

**L’outil diagnostic a été conçu pour apporter une clé de lecture globale de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> en permettant une décomposition des probabilités de pression qui peuvent affecter un peuplement.**

**On note toutefois qu’un même peuplement va présenter des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> différentes - suivant les HER ou il aura été analysé - mais des probabilités de pression identiques.**

**Ce point semble paradoxal si l’on considère que ces deux indices sont censés rendre compte de l’impact des mêmes pressions.**

**En l’état actuel, et en l’absence d’information concernant la méthode de calcul des probabilités de pression, il semble difficile de se prononcer sur la pertinence des probabilités de pression calculées.**

**Ces éléments de compréhension semblent indispensables pour maîtriser et utiliser cet outil dans le cadre de plan d’action dans un contexte hydroécotonal donné.**

- Les déclassements liés au changement de méthodes : phénomène et causes probables

**Question 20 :** Quel a été l'impact du changement de méthode entre IBGN et I2M2 sur l'HER 9A ?

L'I2M2 a été développé pour améliorer la conformité de l'indice « invertébrés » avec les exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Il a été notamment conçu pour mettre en évidence les pressions qui s'exercent sur les milieux, pour aider à évaluer l'état des masses d'eau, et pour faciliter, avec son outil diagnostic associé, la définition d'un programme de mesures adapté.

*Depuis la création de l'indice, il a été constaté un impact important sur le pourcentage de bon état sur les bassins Artois-Picardie et Seine-Normandie. En effet, le passage entre l'indice utilisé jusqu'à présent – l'IBGN-équivalent (IBGN), basé sur le protocole MPCE – et l'I2M2 amène à déclasser environ la moitié des masses d'eau « cours d'eau naturels » qui étaient en bon état écologique avec l'application de l'IBGN-équivalent.*

Ce phénomène de déclassement est particulièrement important sur les cours d'eau de l'HER 9A, comme l'illustre l'ensemble des figures ci-dessous.

Comme le montre la figure 32, un grand nombre de stations étaient classés en **Très Bon Etat écologique** (77 stations : 19 stations AEAP et 58 stations AESN) avec l'application de la méthode IBGN-équivalent contre seulement 15 stations avec l'I2M2.

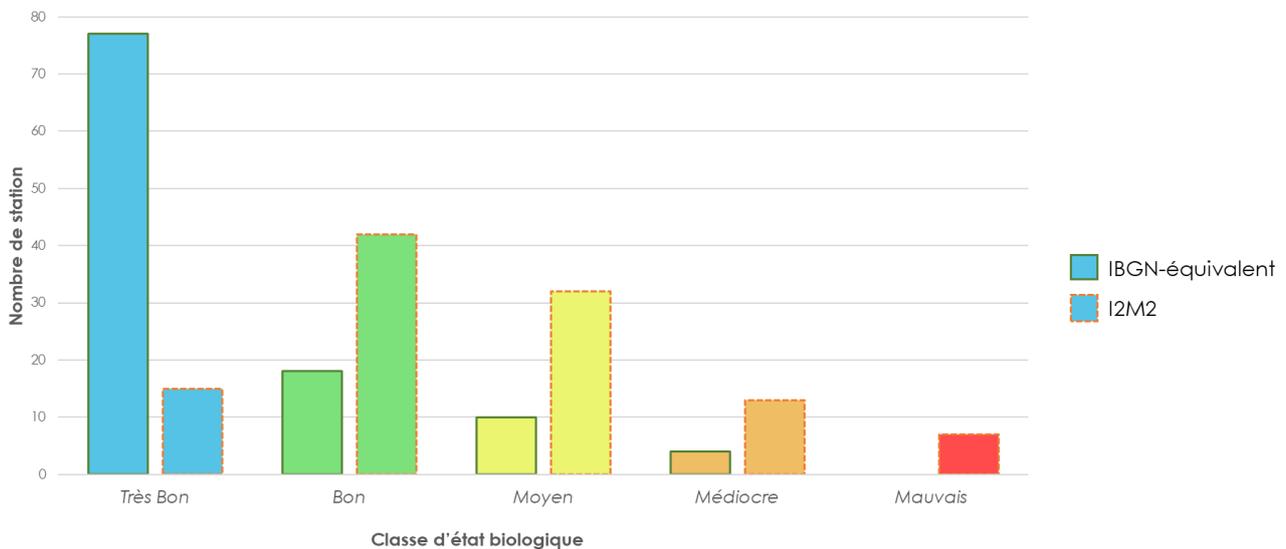


Figure 37 : Répartition du nombre de stations par classe d'état biologique selon la méthode utilisée sur l'HER 9A dans le cadre des Etat des lieux de 2019 des SDAGE Artois-Picardie et Seine-Normandie.

De manière générale, le changement de méthode a engendré un changement important (+ 35 %) dans le nombre de stations qualifiées en état moins que bon (états Moyen, Médiocre et Mauvais).

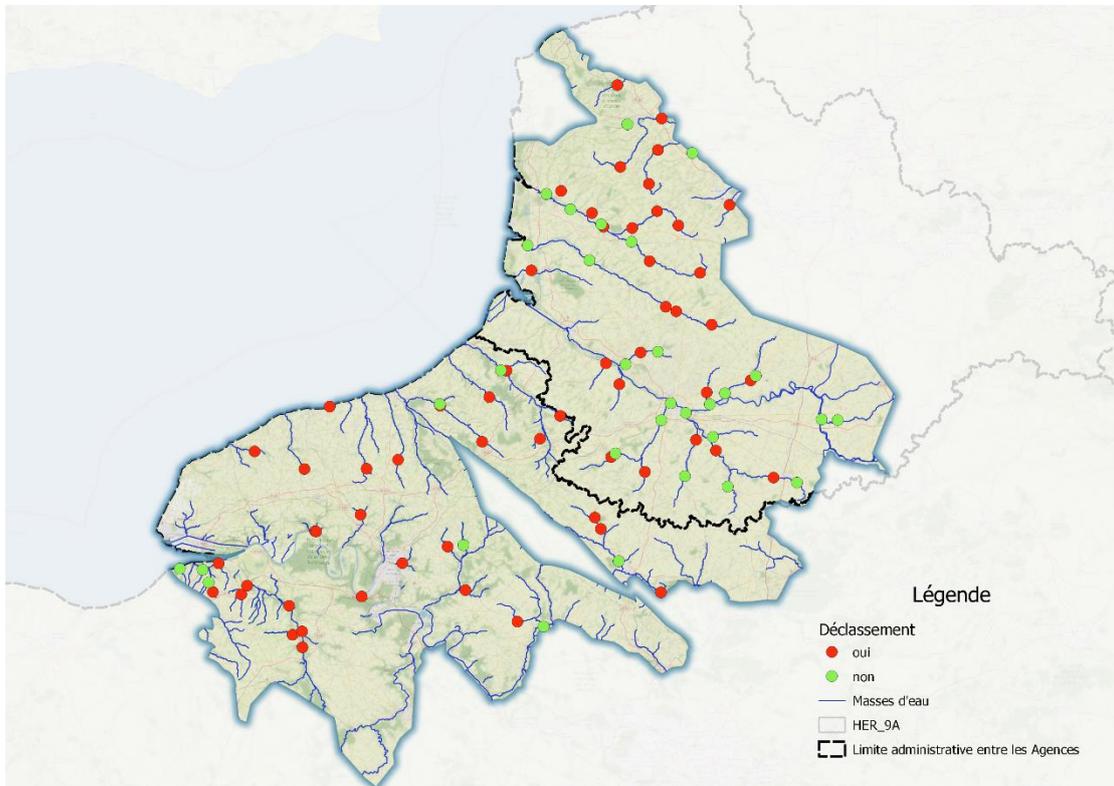


Figure 38 : Déclassément de l'état biologique par l'application de l'I2M2 sur les stations de l'HER 9A

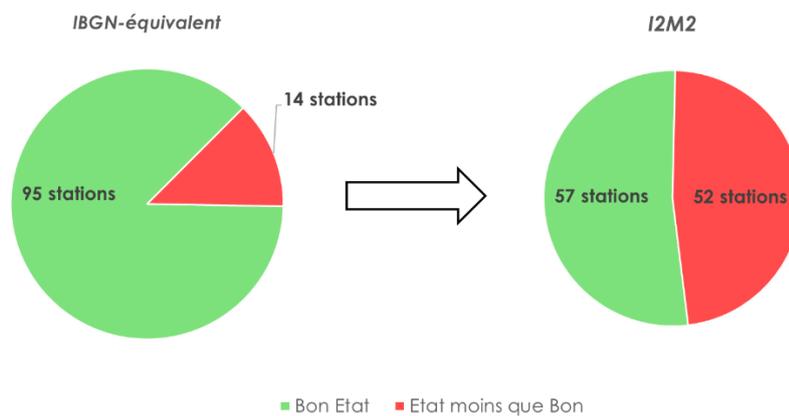


Figure 39 : Evolution du nombre de stations dont l'état biologique moins que bon sur l'HER 9A selon les Etats des lieux 2019 des SDAGE Artois-Picardie et Seine-Normandie.

Au final, **51 stations** sont concernées par un déclassement de leur état biologique avec l'application de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Plus de la moitié de ces stations (*soit 21 stations*) sont concernées par une perte de 2 classes d'état biologique.

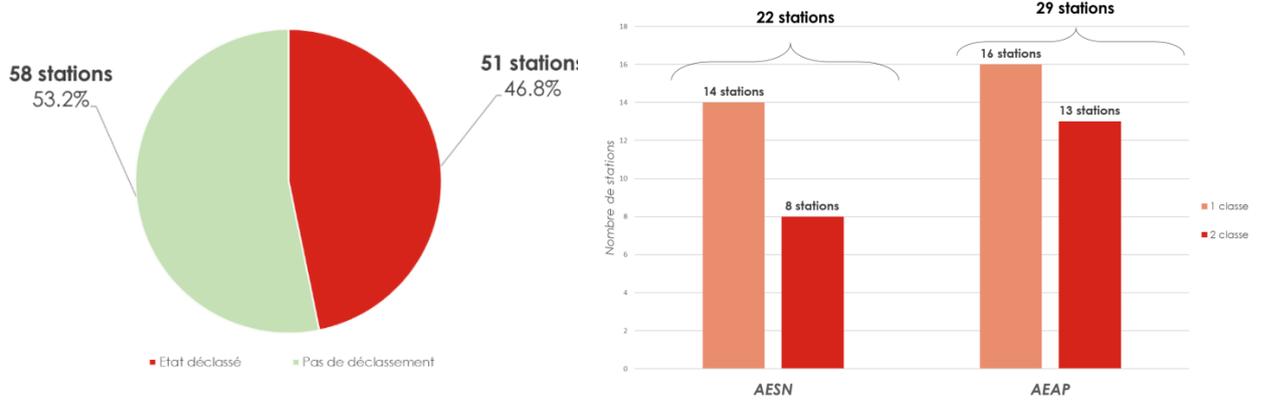


Figure 40 : Nombre de stations concernées par un déclassement de l'état biologique (gauche) et nombre de classes d'état perdues selon par Agence de l'eau (droite)

Question 21 : L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est-il particulièrement « pénalisant" sur l'HER 9A par rapport aux HER 9 et 10 ?

En comparaison avec les notes obtenues pour un peuplement similaire sur les trois HER étudiées, l'effet « pénalisant » de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semble fort sur les trois HER étudiées et plus particulièrement sur l'HER 9.

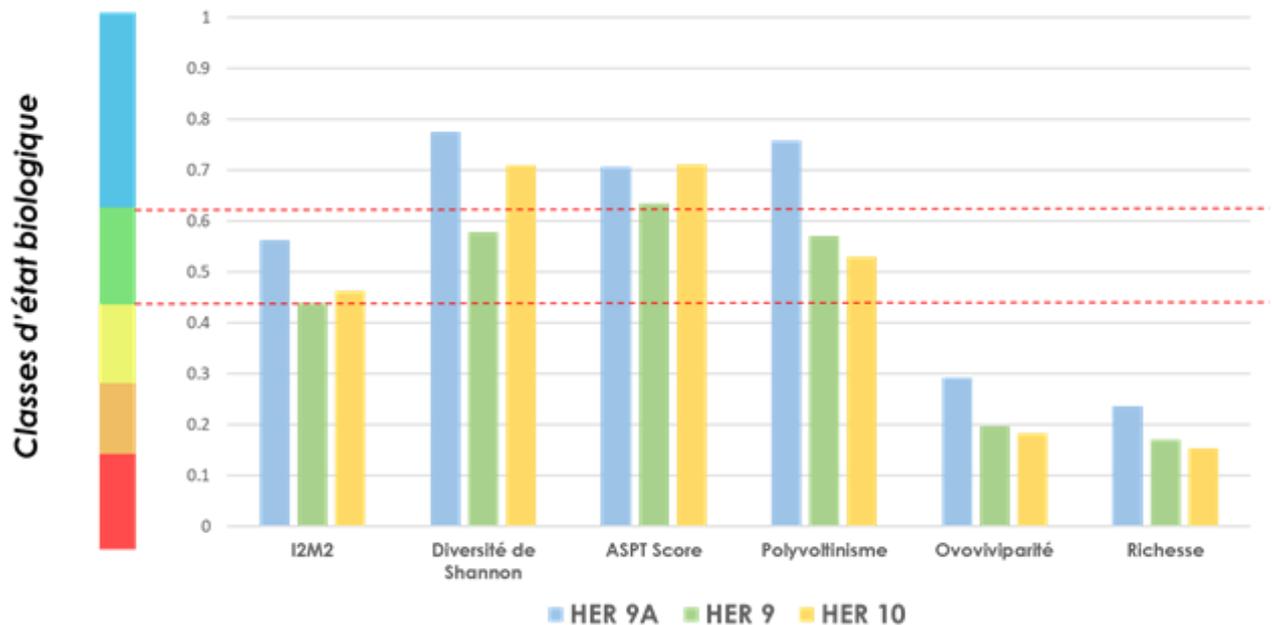


Figure 41 : Notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques associées calculées à partir du peuplement utilisé à titre d'exemple sur les HER 9A, 9 et 10

De plus, les visites de terrain réalisées dans le cadre de cette étude ont montré que les cours d'eau analysés, dont le régime hydraulique est fortement influencé par les nappes, présentaient souvent des habitats très favorables à certaines espèces polyvoltines et ovovivipares et notamment les taxons des familles telles que Gammaridae, Sphaeriidae ou Hydrobiidae qui ont tendance à pénaliser fortement les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Cela soulève la question de l'évaluation de l'état global du peuplement à partir de la présence de taxons considérés dans la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> comme polluo-résistants et non pas par la présence ou l'absence de taxons polluo-sensibles.

Question 22 : Les valeurs de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> semblent elles plus conformes que celles de l'IBGN sur les stations de ces HER ?

D'une façon générale sur les HER 9 et 9A, la mise en relation des notes IBGN-équivalent et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ne montre pas de corrélation forte comme on peut le constater sur la figure ci-dessous.

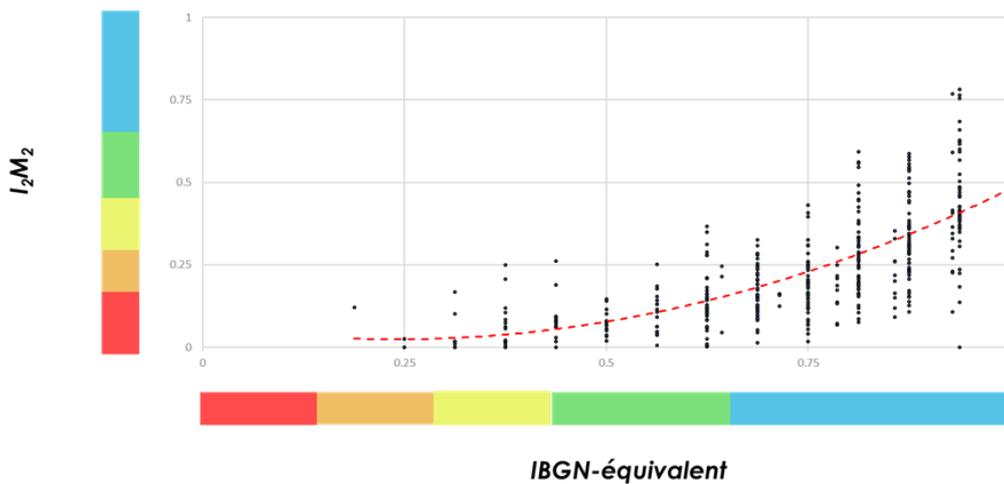


Figure 42 : Relation entre notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et IBGN en EQR (702 relevés analysés sur les HER 9 et 9A)

Les corrélations semblent meilleures pour les situations extrêmes (faibles ou fortes valeurs des deux indices) où les écarts sont les plus faibles.

Les variabilités les plus importantes sont observées pour des situations moyennes et notamment pour des valeurs d'EQR d'IBGN-équivalent situées dans la zone de qualification des états « Bon » et « Très bon ».

***Dans ce cadre, il paraît difficile de trancher sur la méthode la plus pertinente dans la mesure où il faudrait pouvoir expertiser un nombre important de stations échantillonnées pour caractériser statistiquement les décalages observés.***

***Ce travail est actuellement difficile car les listes faunistiques sont bancarisées par bocal (ou phases, voir Question 3) et que cela ne permet plus de caractériser le peuplement réellement représentatif de l'état de la station (Question 23).***

A titre d'exemple, si l'on compare les notes d'indices IBGN et I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> calculées sur la liste faunistique du peuplement (voir **Présentation du jeu données illustratif**) reconstitué selon la norme d'échantillonnage MPCE (**Cas 1**) et sur cette même liste faunistique mais reconstituée en pondérant les abondances des taxons par la surface de de l'habitat dans lequel ils

ont été prélevés (**Cas 2**), on observe une variation importante des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub><sup>27</sup> qui a un impact sur la classe d'état biologique retenue et notamment sur l'HER 9A<sup>28</sup>.

Les notes IBG-équivalent (17/20) traduisent un « Très Bon Etat » quel que soit la méthode de reconstitution du peuplement (**Cas 1** et **Cas 2**)

En effet, les 2 métriques permettant de calculer la note sont indépendantes de l'abondance qui est susceptible de varier pour le **Cas 2**.

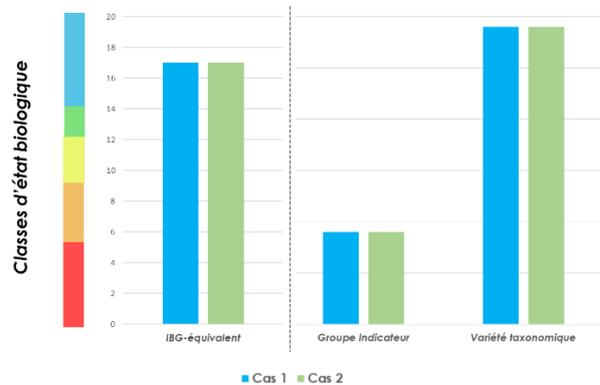


Figure 43 : Notes d'indice IBG-équivalent et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour le Cas 2.

Selon la méthode classique (Cas 1), la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> caractérise le « bon état biologique ».

Cette évaluation semble sous-estimer la qualité biologique du milieu compte tenu des caractéristiques du peuplement (**présentation**).

La prise en compte du pourcentage de recouvrement des habitats dans la reconstitution des peuplements (**Cas 2**) provoque une augmentation de la note d'indice.

Cette évolution est due aux variations importantes des métriques comme la **diversité de Shannon**, le **polyvoltinisme** et l'**ovoviviparité** qui réagissent fortement à des changements d'abondance (**Question 19**).

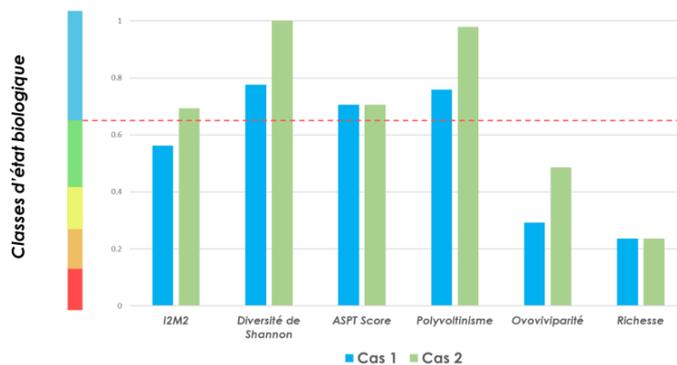


Figure 44 : Notes d'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses métriques calculées sur les peuplements reconstitués pour les Cas 1 et 2.

**La réponse à la question posée est donc complexe car elle sous-entend la prise en compte simultanée de deux paramètres :**

<sup>27</sup> Les notes d'indices ont été calculées sur l'interface de calcul du SEEE à partir des listes faunistiques des cas 1 et 2.

<sup>28</sup> Des exemples présentés dans le rapport technique montrent l'importance du mode de reconstitution du peuplement sur les HER 9 et 10.

- **Un niveau de « qualité » défini et qui est censé intégrer les particularités propres à un contexte régional (stations dites de références)**
- **Des systèmes d'appréciation de la qualité plus ou moins « sensibles, justes et fidèles » pour évaluer la qualité des peuplements (variables biologiques)**

*Pour les exemples qui ont été retenus, on montre que la note IBGN-équivalent, bien que peu sensible, donne l'appréciation de la qualité des 3 relevés qui est plus conforme à la structure des peuplements observés.*

*Pour l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, les résultats obtenus ne permettent pas systématiquement une appréciation correcte de la qualité des peuplements dont la qualité peut être sur ou sous-estimée notamment en fonction de la présence/abondance de certains taxons donnant des scores élevés pour les variables polyvoltinisme et ovoviviparité.*

*La méthode de reconstruction par « bocal » ne permet pas de faire une estimation représentative du peuplement réel. Cela peut également être une source d'explication des différences d'appréciation entre les deux méthodes.*

**Question 23 :** Quelles sont les spécificités de l'HER 9A ? Quelles sont les principales pressions s'exerçant sur les cours d'eau ? Ces caractéristiques particulières peuvent-elles expliquer les déclassements ?

Les cours d'eau de l'HER 9A partagent un certain nombre de caractéristiques qui ont pu être observés lors des visites de sites.

Les principales caractéristiques sont les suivantes :

- Des **régimes hydrologiques stables** qui peuvent s'expliquer par l'alimentation quasi-constante par les nappes souterraines.
- Des **régimes thermiques** caractéristiques des rivières salmonicoles. Ces cours d'eau présentent donc des peuplements piscicoles que l'on retrouve en général sur les zones plus en amont.
- Un recouvrement du lit par les **substrats végétaux** (spermaphytes immergés et algues filamenteuses). Cette prédominance des substrats végétaux peut s'expliquer par la forte connexion nappes-rivières et les concentrations importantes en nutriments (notamment en nitrates) mesurées dans les aquifères.
- Une morphologie caractéristique des cours d'eau **recalibrés** (pente des berges, tracé du lit, homogénéisation des écoulements) avec des phénomènes **d'érosion du fond du lit** (substratum) entraînant des **déséquilibres sédimentaires**.
- Des marques de **concrétionnement calcaire\*** observées sur une grande partie des cours d'eau.

En plus de ces spécificités, certaines **caractéristiques** de l'HER 9A sont susceptibles d'avoir un effet sur les peuplements macro benthiques. On note particulièrement :

- Des bassins où l'occupation du sol est majoritairement agricole avec des pratiques favorisant les transferts en nutriments et produits phytosanitaires vers les cours d'eau (par exemple la culture de pomme de terre)
- Un nombre significatif de systèmes d'assainissement collectif et non-collectif qui ne respectent pas les normes et génèrent des niveaux de pression « domestique » significatifs.



*D'une manière générale, les cours d'eau de l'HER 9A subissent depuis le développement de pratiques agro-industrielles, des pressions tant physico-chimiques (nutriments, micro-polluants...) que morphologiques (recalibrages, curages...) de plus en plus importantes. Ces facteurs de pressions peuvent s'exercer de façon concomitante sur les cours d'eau, on parle de contexte multi-pressions.*

*Dans un tel contexte, il est difficile voire impossible d'identifier la ou les pressions qui pourrait être à l'origine d'un déclassement.*

*De plus, nous avons vu que la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> donne un poids important à certains taxons polyvoltins ou ovovivipares dans l'évaluation globale des pressions qu'elle propose et que ces taxons (Gammaridae, Asellidae, Sphaeridae, ...) sont naturellement abondants dans les cours d'eau des tables calcaires (Question 24).*

*Des différences d'habitat sont donc susceptibles d'expliquer les différences de notes observées, notamment si les habitats des stations de « référence » sont très différents de ceux des stations analysées (Questions 16 et 17).*

*D'ailleurs ce point particulier pose la question de la référence en contexte fortement anthropisé où les recalibrages de cours d'eau ont été systématisés sur des territoires entiers.*

*En effet, la situation de référence doit-elle être un cours d'eau naturel non recalibré avec des perturbations physico-chimiques et / ou morphologiques faibles ou peut-elle être celle d'un cours d'eau modifié mais présentant encore un potentiel biologique correct.*

*Question 24 : Les déclassements observés s'expliquent-ils uniquement par des pressions (naturelles ou anthropiques) ou peuvent-ils être expliqués par tout ou partie des éléments liés à la construction de l'indice ?*

Les exemples qui ont été présentés plus haut montrent que les notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peuvent être aussi fortement influencées par des éléments liés à la constitution de l'indice. Ces éléments sont notamment :

- Les références choisies dans un contexte hydroécologique donné (**Questions 16 et 17**) ;
- Le mode de reconstitution des peuplements ne permettant pas de prendre en compte les abondances réelles des taxons échantillonnés sur les stations (**Question 11**) ;
- La non prise en compte du potentiel de développement de chaque taxon qui donne plus de poids aux taxons « polluo-résistant et proliférants qu'aux taxons polluo-sensibles présents en général avec des faibles abondances ;
- Les données écologiques utilisées pour le calcul des métriques, et plus particulièrement les données relatives à la polluosensibilité des taxons utilisés dans le calcul de l'ASPT score (**Question 15**) qui ne semblent -en partie- ne pas correspondre à l'écologie réelle des taxons pris en compte. C'est également le cas pour les scores de polyvoltinisme et d'ovoviviparité donnés à certains taxons.

La note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut aussi être fortement influencée par l'habitat des stations qui peut être très différent des références choisies et variable dans le temps (le cas du développement ou non des herbiers d'hydrophytes en fort recouvrement sur certaines années est à ce titre notable).

*On peut donc dire, en réponse à la question posée, que si le principe de construction de l'indice est intéressant, différents points sont susceptibles de provoquer de fortes variabilités dans les notes obtenues sans que celles-ci ne puissent être mises en relation avec des pressions.*

*L'un des points faibles de la méthode réside dans le fait que le calcul des métriques ne répond à certains critères relatifs à la reconstitution du peuplement, codification des abondances dans le cadre d'études synécologiques utilisant des traits écologiques....*

*L'autre point concerne les références utilisées en faible nombre sur certaines hydroécologiques, pas forcément représentatives des hydrosystèmes étudiés. De plus l'utilisation de ces variables régionalisées par EQR pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est discutable dans la mesure où cela modifie régionalement le coefficient de prise en compte de chaque variable indépendamment d'une relation avec d'éventuelles pressions.*

*Question 25 : Est-ce que les déclassements observés peuvent être expliqués par l'abondance de certains taxons (notamment les gammaridae) ou de certaines structures habitationnelles (herbiers) ?*

Comme nous avons pu le voir avec les exemples qui ont été présentés (**Question 15**), les faibles notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peuvent être fortement influencées par la présence de taxons donnant des scores forts pour polyvoltinisme et ovoviviparité (*Gammaridae*, *Sphaeridae*, *Baetidae*).

Si certains de ces taxons peuvent présenter des abondances plus élevées en conditions perturbées comme les taxons du genre *Potamopyrgus*<sup>29</sup>, ce n'est vraisemblablement pas le cas pour les genres de *Gammaridae* comme *Gammarus* ainsi que pour les *Asellidae*, ou encore les *Sphaeridae*, qui dépendent très étroitement des conditions habitationnelles sur les stations analysées.

En effet, la présence de ces taxons semble majoritairement expliquée par les forts recouvrements de **substrats végétaux** (*spermaphytes immergés*, *berges végétalisées par des hélrophytes*) et de substrats minéraux fins (*sablo-limoneux*).

Notons aussi que l'absence de ces taxons est susceptible de favoriser une surestimation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Ce phénomène s'observe davantage sur des cours d'eau à dynamique plus marquée, avec une dominance de substrats minéraux grossiers et des habitats de bordure peu végétalisés.

***On peut donc dire en réponse à cette question que la présence de certains habitats, plus caractéristiques des tables calcaires pourra être à l'origine de sur ou sous-estimation de la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> dans un contexte de pression donné et notamment si les structures d'habitat des stations de référence sont très différentes de celles des stations analysées.***

***Dans ce cadre il sera absolument indispensable qu'un recueil exhaustif des opérations de référence soit publié par hydroécorégion. Cet outil serait absolument indispensable pour interpréter correctement les listes faunistiques et la note I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.***

---

<sup>29</sup> Ce taxon est très ubiquiste, c'est-à-dire que l'on peut retrouver dans tous types de milieux.

## Chapitre 4 : Conclusions et pistes d'adaptations envisageables de la méthode sur les cours d'eau des Tables Calcaires.

---

### Question 26 : Les résultats de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont-ils fiables sur l'HER 9A?

En l'état actuel, l'application de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'HER 9A peut, du fait certaines spécificités hydroécologiques, être de nature à fausser l'évaluation de l'état écologique d'un nombre important de masses d'eau (**Question 20**)

L'un des points les plus notables concerne les habitats de ces cours d'eau fortement caractérisés par des recouvrements importants de substrats végétaux (notamment des hydrophytes) ainsi que par des substrats fins (sables, limons). L'application de la méthode sur de tels habitats, peut conduire en particulier sur l'HER 9A à une mauvaise évaluation de l'état réel de ces masses d'eau du fait de la présence en nombre important de taxons considérés comme polluo-résistants (*Gammaridae*, *Spharidae*, etc..).

La polluo-résistance de ces taxons reste d'ailleurs à valider sur les hydroécologies étudiées et notamment celle des différents genres de *Gammaridae* considérés dans d'autres méthodes de biomonitoring comme « sentinelle » de l'environnement.

Bien que les critères de régionalisation appliqués permettent une certaine correction des notes I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> observées sur l'HER-9A par rapport à celles observées sur les HER 9 et 10 (**Question 22**), on note toutefois que le nombre d'opérations de référence est faible (**Question 17**) et que leur manque de description de leurs caractéristiques ne permet pas de vérifier que les conditions stationnelles (typologie, habitat...) de ces stations sont effectivement comparables avec celles des stations analysées.

Par exemple, les pourcentages de recouvrement des habitats et notamment ceux potentiellement favorables aux *Gammaridae*, *Spharidae* ou *Hydrobiidae*) très différents entre une station de référence et une station analysée peuvent induire des erreurs d'interprétation.

Ces erreurs sont d'autant plus importantes que les pourcentages de recouvrement réels des habitats ne sont pas pris en compte dans le calcul des métriques biologiques (**Question 11**) qui intègrent la notion d'abondance des taxons.

**En l'état actuel, bien que la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> soit techniquement applicable sur l'HER 9A, il semble difficile de dire que les résultats obtenus soient plus pertinents que l'évaluation écologique apportée par la note IBGN-équivalent.**

### Question 27 : *Au final, quels sont les points problématiques pour l'application de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les cours d'eau des tables calcaires ?*

Comme il a pu être constaté au travers des exemples présentés dans cette synthèse, certains points ne permettent pas à la méthode, de représenter en l'état, une évaluation des pressions s'exerçant sur les cours d'eau à partir des peuplements réellement présents.

En effet, de par son mode de calcul particulier, la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> se différencie très nettement de l'approche des nombreuses méthodes hydrobiologiques qui l'ont précédée.

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> a été construit dans l'objectif de permettre une différenciation entre des sites non perturbés et sites perturbés en s'appuyant sur des métriques biologiques et leur aptitude à discriminer de façon efficace les stations de « référence » des stations soumises à des pressions.

Les cinq métriques retenues pour l'évaluation finale, transformées en EQR régionalisés et pondérées en fonction de leur capacité à discriminer le plus grand nombre de pression, permettent l'expression d'une note unique : l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Celle-ci ne peut être analysée comme une variable de description d'un peuplement mais comme l'expression synthétique d'un niveau de pression s'exerçant sur le milieu.

Si les principes de construction de l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sont intéressants, le choix et le calcul des métriques qui ont été réalisés pour déterminer les variables constitutives de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>, retiennent tout particulièrement l'attention notamment si on les considère d'un point de vue hydrobiologique.

Pour cela, le respect de différents critères est essentiel :

1. Le protocole d'échantillonnage, de tri, et de détermination doit pouvoir permettre une reconstitution correcte du peuplement,
2. La reconstitution du peuplement doit tenir compte des pourcentages de recouvrements unitaires sur la station dans le cadre de l'utilisation des abondances. Il n'existe qu'un seul et unique peuplement pour une station et à un instant donné. La décomposition en sous peuplement par types d'habitats n'a pas de sens du point de vue synécologique.
3. Dans le cadre de l'utilisation de traits écologiques (polluosensibilité, polyvoltinisme et ovoviviparité), il faut vérifier que l'information écologique apportée par un taxon correspond bien à celle qui peut lui être attribué dans un cadre hydro-éco régional.

En effet, certains taxons peuvent présenter des variations de préférences écologiques d'une HER à une autre (exemple : certains taxons ont des comportements monovoltins dans une HER et polyvoltins dans une autre).

Il est aussi probable que la sensibilité de taxons d'une espèce face à un type de pression soit différente d'une HER à une autre en fonction des conditions générales de milieu. Il n'existe cependant que très peu de données scientifiques sur le sujet (et les traits écologiques présentés dans le Tachet n'ont pas été modulés par contexte hydroécorégional).

4. Dans une approche synécologique et de calcul de « score », il est de règle de transformer les abondances en classes d'abondance de façon à ne pas donner plus de poids aux taxons proliférants.

*Les analyses et les tests réalisés dans cette étude montrent que seul le premier critère est respecté et qu'il permet notamment un calcul correct de la variété taxonomique. Les autres métriques seront particulièrement impactées par le non-respect de ces règles : Indice de Shannon, ASPT Score , Polyvoltinisme et Ovoviviparité.*

*Ces différentes remarques soulignent certains choix faits dans la méthodologie de construction de l'indice et notamment de leur intérêt pour caractériser un niveau de pression alors même que les modalités de calcul ne peuvent permettre de rendre compte fidèlement de l'état réel du peuplement.*

Quant à savoir si l'indice I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut permettre une meilleure approche de l' « état global » d'une station par rapport à l'IBGN-EQ, la réponse est complexe car elle sous-entend la prise en considération de deux paramètres de façon simultanée

1. Un niveau de « qualité » défini et qui est censé intégrer des particularités propres à un contexte régional
2. Des systèmes d'appréciation de la qualité plus ou moins « précis, sensibles, justes et fidèles » pour évaluer la qualité des peuplements.

*Dans les exemples illustrés, on montre que la note IBGN-EQ, bien que peu sensible, donne globalement, une appréciation de la qualité des relevés beaucoup plus conforme à la structure des peuplements observés.*

*Toutefois et notamment sur les HER 9 et 9A, les seuils fixés pour attribuer les classes d'état ne semblent pas rendre compte de l'état réel des stations analysées.*

*Pour ce qui est de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> on peut montrer que les résultats obtenus ne permettent pas systématiquement une appréciation correcte de la qualité des peuplements dont la qualité peut être sur ou sous-estimée notamment en fonction de la présence/abondance de certains taxons donnant des scores élevés pour les variables polyvoltinisme et ovoviviparité.*

## Question 28 : Quelles sont les adaptations possibles et envisageables de la méthode sur l'HER 9A ?

Comme évoqué dans le premier chapitre de ce document, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est une méthode susceptible de présenter de grandes variabilités en partie liées au calcul des métriques biologiques et dont l'interprétation est délicate.

Afin de limiter cette variabilité, la correction de ces données utilisées dans le calcul des métriques biologiques nécessiterait :

1. Une caractérisation des pourcentages de recouvrement des couples substrat vitesse échantillonnés ;
2. Un comptage (voire un sous-comptage) de tous les taxons lors de la phase de tri de façon à garantir que les abondances reconstruites sont caractéristiques du peuplement global ;
3. Une bancarisation des données par prélèvement unitaire et non plus par bocal ;
4. Une analyse fine des traits écologiques retenus dans certains indices de façon à s'assurer que les valeurs de score correspondent bien aux connaissances écologiques connues de l'espèce dans les hydro systèmes métropolitains ;
5. Une réflexion approfondie sur la signification réelle de certaines traits écologiques comme le polyvoltinisme et l'ovoviviparité, et notamment le lien avec des facteurs de pression.
6. La caractérisation de classes d'abondance pour chaque unité taxonomique afin de pouvoir calculer des scores prenant en compte la capacité de développement de chaque taxon.

Nul doute que la prise en compte de ces différents éléments, appliqués de façon conjointe sur les opérations de référence et sur les opérations de contrôle, permettrait de limiter les incertitudes sur les résultats de l'évaluation I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>.

Toutefois cela supposerait que l'ensemble du processus soit réévalué ce qui conduirait nécessairement à une redéfinition des variables à retenir et une modification des valeurs d'efficacité de discrimination (DE) attachées à chaque pression.

***Dans l'état actuel une modification globale ou partielle de la méthode qui compromettrait l'ensemble du processus du calcul, ne semble donc pas envisageable.***

Toutefois il serait intéressant, en travaillant sur un échantillon de stations - *qui auront été parfaitement décrites et échantillonnées de façon à pouvoir reconstituer parfaitement le peuplement* - d'analyser la variabilité liée à la méthodologie de calcul des indices.

Ce travail n'a pas pu être engagé dans la présente étude car la bancarisation des données hydrobiologiques, actuellement faites par « bocal » ne permet pas un recalcul des variables d'une façon correcte.

Le travail envisageable sur cet échantillon de stations témoins pourrait être le suivant :

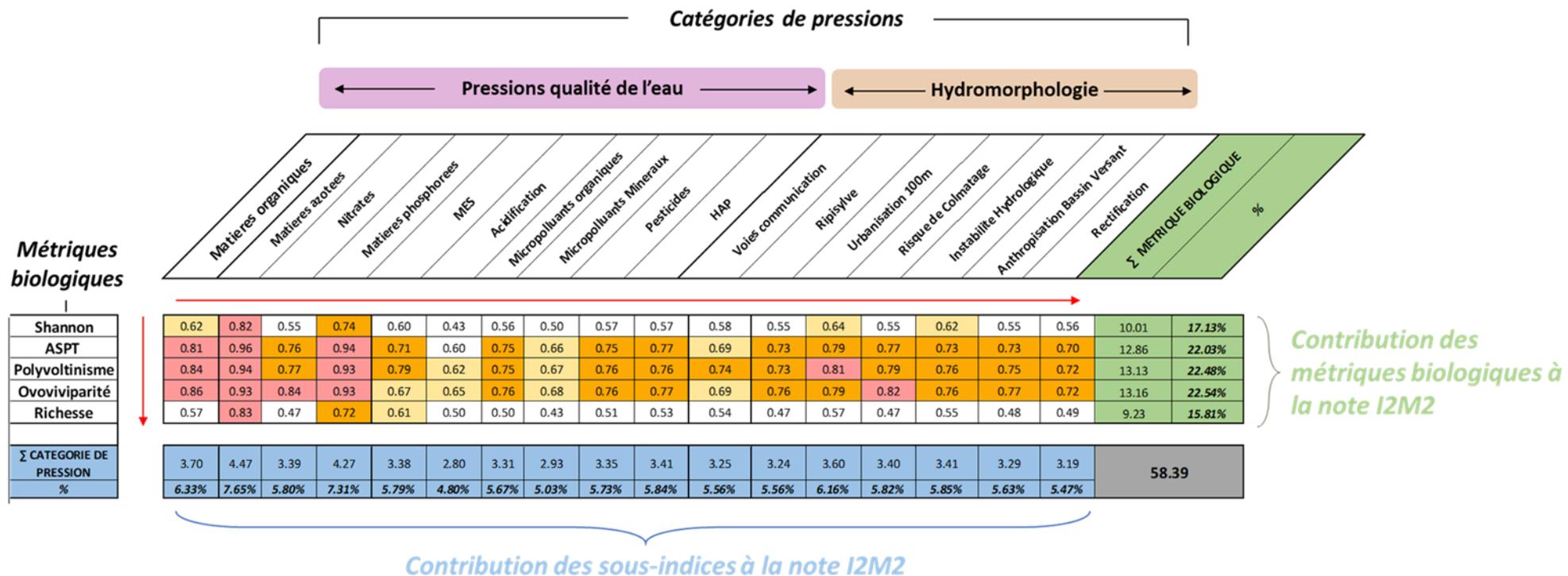
1. D'échantillonner le lot de stations témoin sur les bases du protocole MPCE en accompagnant ce relevé d'une description détaillée des paramètres mésologiques et plus particulièrement du recouvrement des couples substrat-vitesse ;

2. De recalculer les métriques biologiques utilisées dans la construction de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et notamment pour vérifier la variabilité liée à la non prise en compte des pourcentages de recouvrement des habitats sur les stations ;
3. De recalculer la note d'indice et les variables de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur les stations de « référence » si les données sont disponibles (listes faunistiques pour les 12 prélèvements unitaires et description des pourcentages de recouvrement des couples substrat/vitesse) ;
4. D'analyser en détails les résultats de l'outil diagnostic (OD). En effet, les analyses faites sur les données « fictives » montrent que l'outil diagnostic semble plus à même de discriminer des stations de de stations impactées. Cela doit donc être confirmé sur des analyses particulières et dans chaque contexte HER (analyses indispensables puisque l'outil diagnostic n'est pas régionalisé).  
Il est aussi probable que les variables de l'outil diagnostic aient été calculées sur les mêmes peuplements que celui de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> avec les mêmes incertitudes liées à la méthodologie de reconstitution des peuplements. Ce second point pourrait également être analysé.

## ANNEXES

---

# Annexe 1 : Tableau de synthèse des relations entre pressions et métriques biologiques



## Annexe 2 : Score de polluo-sensibilité attribué dans le cadre du BMWP Score (Source : Armitage, 1983)

Families	Score
Siphonuridae, Heptageniidae, Leptophlebiidae, Ephemerellidae, Potamanthidae, Ephemeridae Taeniopterygidae, Leuctridae, Capniidae, Perlodidae, Perlidae, Chloroperlidae Aphelocheiridae Phryganeidae, Molannidae, Beraeidae, Odontoceridae Leptoceridae, Goeridae, Lepidostomatidae, Brachycentridae, Sericostomatidae.	10
Astacidae Lestidae, Calopterygidae, Gomphidae, Cordulegasteridae, Aeshnidae, Corduliidae, Libellulidae Psychomyiidae (+Ecnomidae), Philopotamidae	8
Caenidae Nemouridae Rhyacophilidae (+Glossosomatidae), Polycentropodidae, Limnephilidae	7
Neritidae, Viviparidae, Ancyliidae (+Acroloxidae) Hydroptilidae Unionidae Corophiidae, Gammaridae Platycnemididae, Coenagriidae	6
Mesoveliidae, Hydrometridae, Gerridae, Nepidae, Naucoridae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae Haliplidae, Hygrobiidae, Dytiscidae, Gyrinidae, Hydrophilidae, Scirtidae, Dryopidae, Elmidae, Chrysomelidae, Curculionidae Hydropsychidae Tipulidae, Simuliidae Planariidae (+Dugesiidae), Dendrocoelidae	5
Baetidae Sialidae Piscicolidae	4
Valvatidae, Hydrobiidae (+Bithyniidae), Lymnaeidae, Physidae, Planorbidae, Sphaeriidae Glossiphoniidae, Hirudidae, Erpobdellidae Asellidae	3
Chironomidae	2
Oligochaeta (whole class)	1

## Annexe 3 : Liste faunistique fictive du peuplement reconstitué du Cas 1 (sans pondération des abondances)



Cours d'eau :  
Commune / Dépt :  
Référence de la station : R2  
Date de prélèvement :  
Heure :

ORDRE - Famille - Genre	I2M2	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>PLECOPTERES</b>													<b>99</b>	
Chloroperlidae	9		8	3		1		7						19
<i>Chloroperla</i>			8	3		1		7						
Nemouridae	6	1	5	10			2			8		3		29
<i>Nemurella</i>		1	5	10			2			8		3		
Perlidae	9	3	8	5	4		2			3		5		30
<i>Perla</i>		3	8	5	4		2			3		5		
Perlodesidae	9	3		12			5					1		21
<i>Perlodes</i>		3		12			5					1		
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>373</b>	
Hydropsychidae	3	5	3	35				3		85		155		286
<i>Hydropsyche</i>		5	3	35				3		85		155		
Odontoceridae	8	10	15		5	12		3	2		15			62
<i>Odontocerum</i>		10	15		5	12		3	2		15			
Rhyacophiliidae	4	4	8	1	3		1	5			3			25
<i>Rhyacophila</i>		4	8	1	3		1	5			3			
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>530</b>	
Baetidae	2	5	1	10		3	25			11	75	140	35	305
<i>Baetis</i>		5	1	10		3	25			11	75	140	35	
Ephemerellidae	3	12	1	1	14		8		6	14	6	120	13	195
<i>Seratella (Ephemerella)</i>		12	1	1	14		8		6	14	6	120	13	
Leptophlebiidae	7		3								10	5	12	30
<i>Paraleptophlebia</i>			3								10	5	12	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>1</b>	
Nepidae													1	1
<i>Nepa</i>													1	
<b>COLEOPTERES</b>													<b>53</b>	
Elmidae	2		1	16	10			6	10	7				50
<i>Elmis</i>			1	15	10			5	10	4				
<i>Limnius</i>				1				1		3				
Gyrinidae												3		3
<i>Orectochilus</i>												3		
<b>DIPTERES</b>													<b>1223</b>	
Chironomidae	1	3	3	75	15	20	15		1	180	350	145	70	877
Simuliidae		65	3	5				48		225				346
<b>ODONATES</b>													<b>18</b>	
Calopterygidae							2					7		9
<i>Calopteryx</i>							2					7		
Gomphidae					5	3					1			9
<i>Gomphus</i>					5	3					1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>3</b>	
Sialidae											2		1	3
<i>Sialis</i>											2		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>1675</b>	
Gammaridae	2	10	1	12	5	1	130	2	152	325	90	825	122	1675
<i>Gammarus</i>		10	1	12	5	1	130	2	152	325	90	825	122	
<b>ISOPODES</b>													<b>231</b>	
Asellidae	1			7			1	5		10	85	3	120	231
<i>Asellus</i>				7			1	5		10	85	3	120	
<b>DECAPODES</b>													<b>6</b>	
Astacidae			1									5		6
<i>Austropotamobius</i>			1									5		
<b>BIVALVES</b>													<b>844</b>	
Sphaeriidae	2	1	3	10	15	120		2	8		320		365	844
<i>Pisidium</i>		1	3	10	15	120		2	8		320		365	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>1014</b>	
Ancylidae	2					8					3		5	16
<i>Ancylus</i>						8					3		5	
Hydrobiidae	2	12	2	12	25	10	210	10	3	85	35	564	25	993
<i>Potamopyrgus</i>		12	2	12	25	10	210	10	3	85	35	564	25	
Valvatidae	2			2				3						5
<i>Valvata</i>				2				3						
<b>ACHETES</b>													<b>18</b>	
Epobdellidae	1	2						1	3		10			15
Piscicolidae	1			1								1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>14</b>	
Planariidae			8			5				1				14
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>24</b>	
Variété (famille)	1	1		3		1		2	1		4		12	29
Variété (genre)														30

## Annexe 4 : Liste faunistique fictive du peuplement reconstitué du Cas 2 (avec pondération des abondances)



**Cours d'eau :**  
**Commune / Dépt :**  
**Référence de la station :** R2\_P2  
**Date de prélèvement :**  
**Heure :**

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	GFI	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>PLECOPTERES</b>													<b>175</b>	
Chloroperlidae	9		51	2		1		5						59
<i>Chloroperla</i>			51	2		1		5						
Nemouridae	6	1	32	5			1			1		1		41
<i>Nemurella</i>		1	32	5			1			1		1		
Perlidae	9	3	51	3	3		1			1		1		63
<i>Perla</i>		3	51	3	3		1			1		1		
Perlodidae	9	3		6			2					1		12
<i>Perlodes</i>		3		6			2					1		
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>256</b>	
Hydropsychidae	3	5	20	17				2		11		19		74
<i>Hydropsyche</i>		5	20	17				2		11		19		
Odontoceridae	8	9	96		3	6		2	1			2		119
<i>Odontocerum</i>		9	96		3	6		2	1			2		
Rhyacophilidae	4	4	51	1	2		1	3				1		63
<i>Rhyacophila</i>		4	51	1	2		1	3				1		
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>139</b>	
Baetidae	2	5	7	5		2	9			2	9	17	5	61
<i>Baetis</i>		5	7	5		2	9			2	9	17	5	
Ephemerellidae	3	11	7	1	9		3		2	2	1	15	2	53
<i>Seratella (Ephemerella)</i>		11	7	1	9		3		2	2	1	15	2	
Leptophlebiidae	7		20								2	1	2	25
<i>Paraleptophlebia</i>			20								2	1	2	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>1</b>	
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>													<b>32</b>	
Elmidae	2		7	9	6			4	3	2				31
<i>Elmis</i>			7	8	6			3	3	1				
<i>Limnius</i>				1				1		1				
Gyrinidae												1		1
<i>Orectochilus</i>												1		
<b>DIPTERES</b>													<b>310</b>	
Chironomidae	1	3	20	36	9	10	6		1	22	42	18	9	176
Simuliidae		55	20	3				29		27				134
<b>ODONATES</b>													<b>8</b>	
Calopterygidae						1						1		2
<i>Calopteryx</i>						1						1		
Gomphidae				3	2						1			6
<i>Gomphus</i>				3	2						1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>2</b>	
Sialidae											1		1	2
<i>Sialis</i>											1		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>276</b>	
Gammaridae	2	9	7	6	3	1	47	2	37	39	11	99	15	276
<i>Gammarus</i>		9	7	6	3	1	47	2	37	39	11	99	15	
<b>ISOPODES</b>													<b>37</b>	
Asellidae	1			4			1	3		2	11	1	15	37
<i>Asellus</i>				4			1	3		2	11	1	15	
<b>DECAPODES</b>													<b>8</b>	
Astacidae			7									1		8
<i>Austropotamobius</i>			7									1		
<b>BIVALVES</b>													<b>180</b>	
Sphaeriidae	2	1	20	5	9	58		2	2		39		44	180
<i>Pisidium</i>		1	20	5	9	58		2	2		39		44	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>229</b>	
Ancylidae	2					4					1		1	6
<i>Ancylus</i>						4					1		1	
Hydrobiidae	2	11	13	6	15	5	76	6	1	11	5	68	3	220
<i>Potamopyrgus</i>		11	13	6	15	5	76	6	1	11	5	68	3	
Valvatidae	2			1				2						3
<i>Valvata</i>				1				2						
<b>ACHETES</b>													<b>8</b>	
Erpobdellidae	1	2							1		2			5
Piscicolidae	1			1				1				1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>55</b>	
Planariidae			51			3				1				55
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>10</b>	
Variété (famille)	1	1		2		1		2	1		1		2	29
Variété (genre)														30

## Annexe 5 : Liste faunistique fictive du peuplement reconstitué du pour le relevé 1 de la Question 11



**Cours d'eau :**  
**Commune / Dépt :**  
**Référence de la station :** R1  
**Date de prélèvement :**  
**Heure :**

TAXONS ORDRE - Famille - Genre	L10	ECHANTILLONS												Effectif
		DH1	DH2	DH3	DH4	DS1	DS2	DS3	DS4	MA1	MA2	MA3	MA4	
<b>TRICHOPTERES</b>													<b>428</b>	
Goeridae	7		4	5		1		7						17
<i>Silo</i>			4	5		1		7						
Hydropsychidae	3	5	3	35				3		85		155		286
<i>Hydropsyche</i>		5	3	35				3		85		155		
Leptocentridae	4	3	8	5	4		2			3		5		30
<i>Mystacides</i>		3	8	5	4		2			3		5		
Polycentropodidae	4	1		2			2					3		8
<i>Polycentropus</i>		1		2			2					3		
Rhyacophilidae	4	4	8	1	3		1	5				3		25
<i>Rhyacophila</i>		4	8	1	3		1	5				3		
Sericostomatidae	6	10	15		5	12		3	2			15		62
<i>Sericostoma</i>		10	15		5	12		3	2			15		
<b>EPHEMEROPTERES</b>													<b>955</b>	
Baetidae	2	5	1	10		3	25			11	75	140	35	305
<i>Baetis</i>		5	1	10		3	25			11	75	140	35	
Caenidae	2			7			1	5		10	85	3	120	231
<i>Caenis</i>				7			1	5		10	85	3	120	
Ephemerellidae	3		1	12			10		12	55	25	250	54	419
<i>Seratella (Ephemerella)</i>			1	12			10		12	55	25	250	54	
<b>HETEROPTERES</b>													<b>10</b>	
Aphelocheiridae	3	3					5					1		9
<i>Aphelocheirus aestivalis</i>		3					5					1		
Nepidae												1		1
<i>Nepa</i>												1		
<b>COLEOPTERES</b>													<b>53</b>	
Elmidae	2		1	16	10			6	10	7				50
<i>Elmis</i>			1	15	10			5	10	4				
<i>Limnius</i>				1				1		3				
Gyrinidae												3		3
<i>Orectochilus</i>												3		
<b>DIPTERES</b>													<b>1270</b>	
Chironomidae	1	3	50	75	15	20	15		1	180	350	145	70	924
Simuliidae		65	3	5				48		225				346
<b>ODONATES</b>													<b>18</b>	
Calopterygidae							2					7		9
<i>Calopteryx</i>							2					7		
Gomphidae					5	3					1			9
<i>Gomphus</i>					5	3					1			
<b>MEGALOPTERES</b>													<b>3</b>	
Sialidae											2		1	3
<i>Sialis</i>											2		1	
<b>AMPHIPODES</b>													<b>1283</b>	
Gammaridae	2	10			5	1	120	2	140	270	75	580	80	1283
<i>Echinogammarus</i>		10			5	1	120	2	140	270	75	580	80	
<b>DECAPODES</b>													<b>5</b>	
Astacidae												5		5
<i>Pacifastacus</i>												5		
<b>BIVALVES</b>													<b>770</b>	
Sphaeriidae	2			30	75		15	15	10		380		245	770
<i>Pisidium</i>				30	75		15	15	10		380		245	
<b>GASTEROPODES</b>													<b>1166</b>	
Ancylidae	2					8					3		5	16
<i>Ancylus</i>						8					3		5	
Hydrobiidae	2	25		120	10		15		85	450	85	235	120	1145
<i>Potamopyrgus</i>		25		120	10		15		85	450	85	235	120	
Valvatidae	2			2				3						5
<i>Valvata</i>				2				3						
<b>ACHETES</b>													<b>18</b>	
Erpobdellidae	1	2							3		10			15
Piscicolidae	1			1				1				1		3
<b>TRICLADES</b>													<b>6</b>	
Dendrocoelidae						5				1				6
<b>OLIGOCHETES</b>													<b>24</b>	
Variété (famille)	1	1		3		1		2	1		4		12	24
Variété (genre)														29

## Annexe 6 : Caractéristiques des opérations de contrôle de référence par type de cours d'eau sur les HER 9A, 9 et 10.

	P9-A	M9-A	TP9	P9	M9	G9	M9/10	M9-10/21	G9/10	G9-10/21	TP10	P10	M10	G10	
Nombre de cours d'eau	5.00	1.00	7.00	11.00	8.00	1.00	1.00	3.00	1.00	2.00	11.00	10.00	5.00	2.00	
Nombre d'opérations de contrôle de références	23.00	9.00	23.00	37.00	16.00	1.00	1.00	14.00	1.00	8.00	29.00	36.00	21.00	16.00	
IndiceShannonI2M2															
Moyenne	0.67	0.47	0.77	0.77	0.71	0.94	0.87	0.71	0.55	0.73	0.63	0.72	0.76	0.70	
Maximum	1.00	0.71	1.00	1.00	1.00	0.94	0.87	1.00	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Minimum	0.00	0.13	0.36	0.43	0.48	0.94	0.87	0.43	0.55	0.47	0.23	0.12	0.50	0.12	
AverageScorePerTaxonI2M2															
Moyenne	0.64	0.74	0.81	0.83	0.79	0.74	0.97	0.83	0.83	0.75	0.77	0.78	0.83	0.77	
Maximum	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	0.74	0.97	1.00	0.83	0.84	1.00	1.00	1.00	1.00	
Minimum	0.21	0.42	0.61	0.51	0.48	0.74	0.97	0.65	0.83	0.44	0.34	0.54	0.65	0.59	
PolyvoltinismeI2M2															
Moyenne	0.72	0.76	0.75	0.80	0.71	0.58	0.99	0.68	0.63	0.77	0.83	0.70	0.79	0.74	
Maximum	1.00	0.97	0.99	1.00	1.00	0.58	0.99	1.00	0.63	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	
Minimum	0.51	0.46	0.31	0.51	0.23	0.58	0.99	0.19	0.63	0.57	0.56	0.35	0.58	0.46	
OvovipariteI2M2															
Moyenne	0.73	0.83	0.76	0.79	0.77	0.62	0.99	0.72	0.64	0.54	0.84	0.84	0.77	0.62	
Maximum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.62	0.99	1.00	0.64	0.71	1.00	1.00	1.00	1.00	
Minimum	0.48	0.61	0.48	0.53	0.61	0.62	0.99	0.35	0.64	0.15	0.57	0.61	0.48	0.23	
RichesseI2M2															
Moyenne	0.68	0.71	0.79	0.74	0.73	0.73	0.70	0.69	0.75	0.83	0.66	0.62	0.80	0.74	
Maximum	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.73	0.70	0.98	0.75	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Minimum	0.30	0.41	0.51	0.36	0.39	0.73	0.70	0.33	0.75	0.63	0.00	0.10	0.57	0.42	
Ind Invert Multimétrique															
Moyenne	0.69	0.71	0.77	0.79	0.75	0.71	0.92	0.73	0.68	0.71	0.76	0.74	0.79	0.71	
Maximum	0.94	0.83	0.95	0.94	0.92	0.71	0.92	0.94	0.68	0.87	0.92	0.94	0.92	0.84	
Minimum	0.52	0.60	0.59	0.59	0.61	0.71	0.92	0.54	0.68	0.54	0.52	0.53	0.67	0.56	
Ecart type	0.11	0.09	0.09	0.08	0.10	0.00	0.00	0.12	0.00	0.11	0.09	0.09	0.08	0.08	
Nombre de valeurs I2M2 inférieures au très bon état	11	3	3	2	3	0	0	4	0	2	6	7	0	4	
Nombre de valeurs I2M2 supérieures au très bon état	12	6	20	35	13	1	1	10	1	6	23	29	21	12	

## Annexe 7 : tableau des scores BMWP, Polyvoltinisme et Ovoviviparité utilisés pour le calcul de la méthode I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

id_taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP-Original Score	id_taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP-Original Score	id_taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP-Original Score	id_taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP-Original Score	id_taxon	taxon	polyvoltinisme	ovoviviparité	BMWP-Original Score								
2	Taeniopterygidae	0	0	10 204	Tricholeleochiton	0,5	0	6 318	Setodes	0	0	10 509	Potamanthus	0	0	10 655	Lestes	0,3	0	8 823	Thaumaleidae	0	0	NA 1001	Galba	1	0	3 3137	Anostraca	1	1	NA
3	Brachyptera	0	0	10 206	Philopotamidae	0	0	8 319	Leptocerus	0	0	10 512	Gyrinidae	0	0	5 657	Platyncemis	0	0	6 824	Stratiomyidae	0	0	NA 1004	Radix	0	0	3 3156	Notostraca	0	0	NA
10	Rhabdiopteryx	0	0	10 207	Chimarra	0	0	8 320	Adicella	0	0	10 513	Aulonogyrus	0	0	5 658	Coenagrionidae	0,2	0	8 831	Empididae	0	0	NA 1007	Myxas	0	0	3 3160	Marstoniopsis	NA	NA	3
14	Taeniopteryx	0	0	10 209	Philopotamus	0	0	8 321	Sericostoma	0,4	0	10 514	Gyrinus	0	0	5 669	Aeshmidae	0	0	8 836	Dolichopodidae	0	0	NA 1009	Planorbidae	0	0	3 3163	Limnephilinae	0	0	7
20	Nemouridae	0	0	7 210	Wormaldia	0	0	8 322	Sericostoma	0,2	0	10 515	Orectochilus	0	0	5 670	Boyeria	0	0	8 837	Tabanidae	0	0	NA 1028	Ancylus	0	0	6 3168	Hydrozoa	0	0	NA
21	Amphinemura	0	0	7 211	Hydropsychidae	0,4	0	3 325	Notidobia	0,7	0	10 517	Halipilidae	0,8	0	5 672	Brachytron	0	0	8 838	Athericidae	0	0	NA 1030	Ferrisia	0	0	NA 3175	Brachythemis	0	0	8
26	Nemoura	0	0	7 212	Hydropsyche	0,5	0	5 327	Beraea	0	0	10 518	Halipus	0,8	0	5 674	Aeshva	0	0	8 841	Rhagionidae	0	0	NA 1033	Acrotioxus	0	0	NA 3181	Electrograna	0	0	10
44	Nemurella	0	0	7 221	Cheumatopsyche	0,4	0	5 328	Beraea	0	0	10 519	Peltodytes	0,8	0	5 675	Anax	0	0	8 843	Syrphidae	0	0	NA 1036	Margartifera	0	1	NA 3198	Raptobaetopus	0	0	4
46	Protonemura	0	0	7 223	Polycentropodidae	0,6	0	7 329	Beraeodes	0	0	10 520	Brychius	0,8	0	5 678	Hemianax	0	0	8 844	Ephyridae	0	0	NA 1037	Unionidae	0	1	6 3207	Pseudocentropilum	1	0	4
66	Leuctridae	0	0	10 224	Cyrnus	0,6	0	7 330	Emodes	0	0	10 523	Hygrobia	0,8	0	5 678	Gomphidae	0	0	8 845	Sciomyzidae	1	0	NA 1038	Anodonta	0	1	6 3212	Corophium	1	1	6
67	Euleuctra	0	0	10 228	Plectrocnemia	0,4	0	7 331	Beraeodina	0	0	10 526	Noterus	0	0	NA 679	Gomphus	0	0	8 846	Scatophagidae	1	0	NA 1039	Potomida	0	1	6 4202	Dikerogammarus	1	1	6
69	Leuctra	0	0	10 231	Polycentropus	0,3	0	7 333	Beraemyia	0	0	10 527	Dytiscidae	0,4	0	5 680	Ophiogomphus	0	0	8 847	Anthomyidae	1	0	NA 1040	Pseudanodonta	0	1	6 4226	Hypania	0	0	NA
110	Pachyleuctra	0	0	10 235	Holocentropus	0,6	0	7 336	Helicopsych	0	NA	571	Hydrophilidae	0,3	0	5 682	Dryocogomphus	0	0	8 854	Osmylus	0	0	NA 1041	Unio	0	1	6 4324	Myisidae	0	0	NA
115	Capnia	0	1	10 236	Neureclipsis	1	0	7 339	Odontoceru	0	0	10 599	Limnebius	0,3	0	NA 683	Paragomphus	0	0	8 856	Sisyra	1	0	NA 1042	Sphaeriidae	0,5	1	3 4334	Hemimysis	0	0	NA
116	Capnia	0	1	10 238	Psychomyiidae	0,8	0	8 342	Calamocerat	0	NA	601	Spercheus	0,3	0	NA 687	Cordulegaster	0	0	8 858	Neurothrus	0	0	NA 1043	Pisidium	0,5	1	3 4349	Paramysis	NA	NA	NA
120	Capnopsis	0	1	10 239	Psychomyia	0,8	0	8 344	Molannidae	0	0	10 604	Helophorus	0,3	0	NA 690	Cordullidae	0	0	8 861	Atyaephyra	0	1	NA 1044	Sphaerium	0,5	1	3 5097	Jaera	0	0	NA
122	Capnioides	0	1	10 241	Lype	1	0	8 345	Molana	0	0	10 606	Hydrochus	0,3	0	NA 691	Oxygastra	0	0	8 864	Astaciidae	0	1	8 1045	Dreissenidae	0	1	NA 5110	Ameletidae	0	0	NA
127	Perlodidae	0	0	10 245	Tinodes	0,6	0	8 346	Molannodes	0	0	10 607	Hydraenidae	0,3	0	NA 693	Somatochlora	0	0	8 865	Astacus	0	1	8 1046	Dreissena	0	1	NA 5112	Neopphemera	0	0	NA
128	Arcynopteryx	0	0	10 246	Metallotype	1	0	8 350	Siphonurus	0	0	10 608	Hydraena	0,3	0	NA 694	Macromia	0	0	NA 867	Austropotamob	0	1	8 1048	Congeria	0	1	NA 5116	Crangonyx	1	1	NA
130	Besidulus	0	0	10 249	Ecnomus	0,3	0	NA 356	Ameletus	0	0	NA 609	Ochthebius	0,3	0	NA 696	Libellulidae	0	0	8 870	Orconectes	0	1	NA 1051	Corbicula	0,5	0,8	NA 5120	Orchestia	0	0	NA
132	Dictyogenus	0	0	10 251	Phryganeidae	0	0	10 358	Metretelus	0	0	NA 610	Dryopidae	0	0	5 697	Libellula	0	0	8 872	Pacifastacus	0	1	8 1055	Dugesidae	0	0	NA 5124	Stagnicola	0	0	3
136	Diura	0	0	10 252	Rhithostegia	0	0	10 362	Ametropus	NA	NA	NA 613	Dryops	0	0	5 698	Orthetrum	0	0	8 875	Potamon	0	1	NA 1061	Planariidae	0	0	5 5137	Pseudoneureclipsis	0	0	7
138	Isogenus	0	0	10 254	Agrypnia	0	0	10 363	Baetidae	0,7	0,1	4 614	Elmidae	0	0	5 699	Sympetrum	0,3	0	8 878	Eriocheir	0	0	NA 1071	Dendrocoelidae	0	0	5 5138	Catagopella	0	0	NA
140	Isoperla	0	0	10 255	Phryganea	0,3	0	10 364	Baetis	0,6	0	4 615	Potamophilus	0	0	5 704	Sialis	0	0	4 880	Aesellidae	1	1	3 1083	Agriotypus	0	0	NA 5139	Stactobietta	1	0	6
150	Perlodes	0	0	10 256	Oligotrichia	0	0	10 383	Centroptilum	1	0	4 617	Stenelmis	0	0	5 709	Corkidae	0,8	0	5 887	Gammaridae	1	1	6 1087	Brizoza	0	0,5	NA 5140	Ylodes	0	0	10
155	Perlidae	0	0	10 258	Hagenella	0	0	10 387	Cloeon	0,8	0,6	4 618	Elmis	0	0	5 718	Cymatia	1	0	5 888	Echnogammaru	1	1	6 2024	Cambaridae	0	0,5	NA 5147	Paduniella	1	0	8
156	Dinocras	0	0	10 260	Oligostomis	0	0	10 390	Proclleon	0,8	0	4 619	Esolus	0	0	5 719	Microneta	1	0	5 892	Gammarus	1	1	6 2027	Procambarus	0	0,5	NA 5148	Oecismus	0	0	10
159	Marthamea	0	0	10 262	Brachycentridae	0	0	10 394	Oligoneurie	0	0	NA 620	Dupophilus	0	0	5 721	Aphelocherus	0	0	10 902	Niphargus	0	1	NA 2307	Diplectrona	0	0	5 5149	Schizopelex	0	0	10
162	Eoperla	0	0	10 263	Oligoplectrum	0	0	10 397	Isonychia	0	0	NA 622	Quilimnius	0	0	5 722	Naucoridae	0,3	0	5 906	Hydracarina	1	0	NA 2391	Torleya	0	0	0 5151	Acentrella	0	0	4
164	Perla	0	0	10 265	Brachycentrus	0	0	10 399	Hepageniidae	0	0	10 623	Limnius	0	0	5 725	Nepidae	0	0	5 908	Glossiphoniidae	0	1	3 2393	Hydroporinae	0,8	0	5 5163	Anaciaeschna	0	0	8
169	Chloroperlidae	0	0	10 268	Micrasema	0	0	10 400	Epeorus	0	0	10 624	Normandia	0	0	5 728	Notonectidae	0,1	0	5 918	Piscicolidae	0	0	4 2394	Laccophilinae	0,3	0	5 5164	Diplacodes	0	0	8
170	Chloroperla	0	0	10 276	Limnephilidae	0	0	7 404	Rhithrogena	0	0	10 625	Riolus	0	0	5 733	Plea minutissim	0	0	5 923	Hirudidae	0	0	3 2395	Colymbetinae	0,1	0	5 5191	Branchiobdella	0	0	NA
174	Siphonoperla	0	0	10 286	Goeridae	0	0	10 421	Ecdyonurus	0	0	10 626	Macronychus	0	0	5 735	Gerris	0,6	0	5 928	Erbopdelidae	0	0	3 2396	Dytiscinae	0	0	5 5194	Sphaeriidae	0	0	5
178	Xanthoperla	0	0	10 287	Goerra	0	0	10 443	Hepagenia	0	0	10 629	Hydroscapha	0,3	0	NA 738	Gerris	0	0	NA 933	Oligochaeta	1	0	1 2517	Hydrophilinae	0,3	0	5 5195	Copelatinae	0	0	5
180	Isoptera	0	0	10 289	Lithax	0	0	10 449	Ephemereilli	0,1	0	10 632	Eubria	0	0	NA 740	Hydrometra	0,3	0	5 967	Theodoxus	0	0	6 2611	Chalcolestes	0,3	0	8 5196	Corixinae	0	0	5
183	Rhyacophila	0	0	7 292	Silo	0	0	10 450	Ephemereilli	0,3	0	10 634	Scirtidae	0	0	5 742	Mesovelia	1	0	5 970	Viviparus	0	1	6 2655	Epitheca	0	0	8 9780	Omphiscola	NA	NA	3
189	Glossosomatidae	0	0	NA 298	Silonella	0	0	10 456	Caenidae	0,5	0	7 635	Cylopes	0	0	5 743	Veliidae	0,4	0	NA 972	Valvata	0	0	3 2657	Cordulia	0	0	8 10226	Melanoides	0	0	NA
190	Glossosoma	0	0	NA 301	Thremma	0	0	NA 457	Caenis	0,8	0	7 636	Elodon	0	0	5 747	Blephariceridae	0,1	0	NA 973	Hydrobiidae	0	0	3 2676	Crocothemis	0,7	0	8 19280	Physella	0	0	3
191	Agapetus	0	0	NA 304	Lepidostomatidae	0,1	0	10 468	Brachycceru	0	0	7 637	Hydrocyphon	0	0	5 753	Tipulidae	0,2	0	5 974	Hydrobia	0	0	3 2679	Leucorhinia	0	0	8 20680	Arthroplea	NA	NA	NA
192	Synagapetus	0	0	NA 305	Lepidostoma	0,3	0	10 471	Prospistom	0	0	NA 639	Microcypha	0	0	5 755	Cyindrotomidae	0,1	0	NA 978	Potamopyrgus	1	1	3 2947	Crambidae	0,4	0	NA 23202	Limnomyia	NA	NA	NA
193	Hydroptilidae	1	0	6 307	Lasiocephala	0	0	10 473	Leptophlebi	0	0	10 641	Scirtes	0	0	5 757	Limoniidae	0,3	0	NA 982	Belgrandia	0	0	3 3072	Musculium	0,5	1	3 24226	Mysis	NA	NA	NA
194	Ptilocolepus	1	0	6 309	Crunoecia	0	0	10 474	Choroterpes	0,3	0	10 642	Chrysomelidae	0	0	5 783	Chrychodidae	0,8	0,2	NA 986	Emmericia	0	0	3 3106	Spongillidae	0	0,5	NA 29151	Branchiura	0	0	NA
196	Stactobia	1	0	6 310	Leptocleptidae	0,1	0	10 476	Thraulus	0	0	10 643	Macrolept	0	0	5 789	Ptychopteridae	0,4	0	NA 989	Uthoglyphus	0	0	3 3110	Prostoma	0	0	NA 30103	Physa	0	0	3
197	Orthotrichia	1	0	6 311	Athripsodes	0	0	10 478	Leptophlebi	0	0	10 645	Donacia	0	0	5 791	Chaoboridae	0,3	0	NA 992	Bythinella	0	0	3 3111	Nemathelminthes	0,2	0	NA 31230	Sinanodonta	0	0	6
198	Itytrichia	0	0	6 312	Mystacides	0	0	10 481	Paraleptoph	0	0	10 646	Plateumaris	0	0	5 793	Dixidae	0	0	NA 994	Bithynia	0	0	NA 3120	Drusinae	0	0	7 31235	Microptilia	0	0	6
199	Oxyethira	1	0	6 313	Ceraclea	0,3	0	10 485	Habroleptoi	0	0	10 647	Curculionidae	0,3	0	5 796	Culicidae	0,5	0	NA 995	Physidae	0	0	3 3121	Dicosmoecinae	0	0</					