



**HAL**  
open science

## Une nouvelle génération d'indicateurs : l'exemple de l'indice invertébrés multimétrique I2M2.

Cédric P. Mondy, Bertrand Villeneuve, Virginie Archambault, Philippe Usseglio-Polatera

### ► To cite this version:

Cédric P. Mondy, Bertrand Villeneuve, Virginie Archambault, Philippe Usseglio-Polatera. Une nouvelle génération d'indicateurs : l'exemple de l'indice invertébrés multimétrique I2M2.. Sciences Eaux & Territoires, 2021, Directive cadre européenne sur l'eau : Bilan de vingt années de recherche pour la reconquête de la qualité des masses d'eau, 37 (37), pp.30-37. 10.14758/SET-REVUE.2021.4.06 . hal-03494457

**HAL Id: hal-03494457**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03494457>**

Submitted on 20 Dec 2021

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

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

## Une nouvelle génération d'indicateurs : l'exemple de l'indice invertébrés multimétrique I2M2

**Pour répondre aux nouvelles règles d'évaluation fixées par la directive cadre européenne sur l'eau, les méthodes de bioindication basées sur l'observation des invertébrés ont été renouvelées et améliorées. Grâce à la combinaison de plusieurs métriques taxonomiques et fonctionnelles, le nouvel indice multimétrique I2M2 permet aujourd'hui de mieux évaluer l'état écologique d'un cours d'eau et d'améliorer la détection de certaines pressions liées aux activités humaines, comme par exemple la présence de micropolluants.**



Les macroinvertébrés benthiques sont connus pour être de bons indicateurs de la nature et de l'intensité des perturbations auxquelles les écosystèmes aquatiques sont soumis. Leurs caractéristiques intrinsèques, et le fait qu'ils soient faciles à collecter, les placent à la base de la création de nombreuses méthodes et indices d'évaluation de la qualité du milieu aquatique. Depuis la création de l'indice saprobique en 1908, de nombreux indices biotiques ont vu le jour, comme l'indice biologique global normalisé (IBGN ; AFNOR, 2004) en France.

L'IBGN permet d'évaluer l'aptitude d'un milieu à héberger des macroinvertébrés en prenant en compte leur variété (de manière semi-quantitative), leur sensibilité à la pollution (via une liste de groupes faunistiques indicateurs principalement identifiés à la famille) et les habitats les plus biogènes. Il fournit alors une note de qualité du milieu variant de 0 à 20 interprétée en termes de « classe d'état écologique » (cinq classes de « mauvais » à « très bon » état).

Depuis 2000, la directive cadre européenne sur l'eau (DCE), fixe, via son annexe V, de nouvelles règles dans l'évaluation de la qualité des milieux aquatiques en prenant en compte à la fois les caractéristiques biotiques et abiotiques du milieu. Les outils utilisés nationalement doivent maintenant prendre en compte la typologie des masses d'eau, être exprimés sous forme de ratio par rapport à un état de référence (EQR) et, pour le compartiment des macroinvertébrés benthiques, être construits sur des métriques qui collectivement prennent en compte l'abondance, la diversité et le ratio « espèces sensibles sur espèces tolérantes ». Une métrique est un paramètre ou un ensemble de paramètres décrivant une fonctionnalité de l'écosystème. Par exemple, le taux d'espèces détritivores, la richesse taxonomique, la diversité<sup>1</sup>...

En ce sens, l'IBGN n'est donc pas DCE-compatible, et malgré des essais d'adaptation (e.g. une expression en termes d'EQR), il peut difficilement être rendu totalement DCE-compatible sans une modification de l'indice lui-

1. Source : <https://hydrobio-dce.inrae.fr/quelques-definitions/>

❶ Larve de *Chloroperla*, les larves de Chloroperlidae comptent parmi les plus petites espèces de plécoptères (5 à 6 mm maximum), elles sont rhéophiles et indicatrices de très bonne qualité de l'eau de la rivière.



© J.-P. Balmain - INRAE

même. C'est pourquoi, comme de nombreux pays européens, la France a dû faire évoluer sa méthode nationale d'évaluation de l'état écologique des cours d'eau basée sur le compartiment « invertébrés aquatiques ». Il y avait deux contraintes à impérativement prendre en compte dans cette évolution :

- ne générer qu'une faible augmentation du coût par rapport à la méthode existante ;
- permettre le recalcul de la note IBGN (appelée alors IBG-DCE ou équivalent IBGN) afin d'autoriser la rétro-comparabilité des résultats, mais, avant tout, il était nécessaire de définir précisément l'état de référence des différents types de cours d'eau.

Des modifications ont été apportées dans la phase d'acquisition des données, aussi bien au niveau de l'effort d'échantillonnage (par une augmentation du nombre d'échantillons élémentaires) et de la stratégie de sélection des points de prélèvement élémentaires (pour une meilleure prise en compte de la mosaïque d'habitats sur le terrain ; AFNOR, 2016), que lors de la phase de laboratoire avec l'adoption d'un niveau d'identification plus précis des taxons (pour une meilleure sensibilité de la méthode ; AFNOR, 2020).

Un nouvel indice a également été construit, l'« indice invertébrés multimétrique » (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ; Mondy *et al.*, 2012). Un indice multimétrique est un indice qui combine différentes métriques (taxonomiques, bioécologiques ou fonctionnelles), qui apportent des informations complémentaires sur le compartiment biologique étudié. Il permet ainsi de mieux évaluer l'état écologique d'un cours d'eau et mieux discriminer des états écologiques différents le long d'un gradient de pression anthropique. Il est également plus sensible aux modifications des assemblages d'invertébrés que les indices classiques. Afin de répondre pleinement aux exigences de la DCE, l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> a été développé en exprimant ses résultats en tant qu'écart à une référence. Cette référence n'est pas universelle mais définie en prenant en compte la taille et la localisation biogéographique du cours d'eau à hauteur du point de prélèvement.

## Matériel et Méthodes

### Données mobilisées

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> a été développé pour les cours d'eau peu profonds dont la totalité des substrats à échantillonner dans le lit mouillé peuvent l'être à pied ou au moyen d'une embarcation légère, avec des appareils à main de type filet Surber ou haveneau.

Plus de 1 700 stations appartenant aux réseaux de contrôle de surveillance et au réseau de références pérennes sur l'ensemble du territoire métropolitain ont été prospectées en suivant des protocoles de terrain et de laboratoire normalisés (AFNOR, 2016, 2020). Les données utilisées pour le développement de l'indice correspondent au suivi de ces stations entre 2004 et 2010, soit plus de 6 200 opérations de contrôle.

Des données de pressions anthropiques ont également été utilisées. Ces pressions (tableau ❶) étaient en relation avec d'une part dix catégories de pression liées à la qualité physico-chimique de l'eau, évaluées sur les six mois précédant l'échantillonnage des macroinvertébrés

❶ Intitulés et abréviations des catégories de pression prises en compte dans le développement de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Voir Mondy *et al.* (2012) pour plus de détails sur la description des catégories de pression.

Pressions « physico-chimiques »		Pressions « hydromorphologiques »	
<b>MO</b>	Matières organiques	<b>COMM</b>	Voies de communication
<b>MN</b>	Matières azotées hors nitrates	<b>RIPI</b>	Altération de la ripisylve
<b>NO<sub>3</sub></b>	Nitrates	<b>URBA</b>	Urbanisation dans le corridor à 100 m
<b>MP</b>	Matières phosphorées	<b>COLM</b>	Risque de colmatage
<b>MES</b>	Matières en suspension	<b>HYDRO</b>	Instabilité hydrologique
<b>ACID</b>	Acidification	<b>ANTHRO</b>	Anthropisation du bassin versant
<b>MPMX</b>	Micropolluants minéraux	<b>RECT</b>	Niveau de rectification du cours d'eau
<b>PEST</b>	Pesticides		
<b>HAP</b>	Hydrocarbures aromatiques polycycliques		
<b>MPORG</b>	Autres micropolluants organiques		

benthiques, et d'autre part sept catégories de pression liées à l'hydromorphologie et l'occupation du sol dans le bassin versant, évaluées une seule fois sur la période 2004-2010. Chaque catégorie de pression a été évaluée à partir d'un nombre variable de paramètres élémentaires qui ont été agrégés selon le principe de l'élément le plus déclassant.

### Typologie et références

Les tronçons sur lesquels étaient localisées les stations prospectées ont été individuellement alloués à un type de cours d'eau. La typologie utilisée est basée sur :

- un découpage du territoire métropolitain en zones homogènes du point de vue du relief, de la géologie et du climat (= hydro-écorégions ou HER),
- une prise en compte de la taille du cours d'eau (Chandesris *et al.*, 2006).

Au vu de la difficulté d'identifier des références « vraies », nous avons privilégié une approche dite « du moindre impact ». Dans cette approche, nous avons retenu comme stations « LIRR » (*Least Impacted River Reaches*), les stations répondant aux critères suivants :

- pressions physico-chimiques :
  - aucune catégorie de pression de niveaux « état médiocre » ou « mauvais état » ;
  - au maximum trois catégories de pression de niveau « état moyen » ;
  - au maximum une catégorie de pression non renseignée ;
- pressions hydromorphologiques :
  - aucune catégorie de pression de niveau « mauvais état » ;
  - au maximum une catégorie de pression de niveau « état médiocre » ;
  - aucune catégorie de pression non renseignée.

Les stations ne répondant pas à ces critères ont été classées comme « *Impacted River Reaches* » (IRR) pour une catégorie de pression donnée, si leur état était au mieux l'« état moyen ».

## Principes de construction

### Objectif

Afin de répondre aux exigences de la DCE, nous avons développé un indice multimétrique exprimé en ratio de qualité écologique (EQR), *i.e.* en écart par rapport à la situation de moindre perturbation (LIRR) définie pour le type de cours d'eau évalué. De plus, l'indice développé devait également :

- être efficace pour mettre en évidence les effets d'une grande variété de pressions d'origine humaine,
- être robuste dans son évaluation,
- être stable en conditions de moindre perturbation (LIRR)
- prendre en compte les critères préconisés par la DCE (abondances, diversité et polluo-sensibilité) pour une évaluation de l'état écologique des cours d'eau *via* le compartiment « invertébrés benthiques ».

### Métriques

Les douze prélèvements unitaires réalisés pour chaque opération de contrôle sont répartis en trois groupes de quatre prélèvements selon la norme (AFNOR, 2016).

Plus de quatre cents métriques ont ensuite été calculées sur différentes combinaisons de listes faunistiques correspondant à ces trois groupes de prélèvements. Les métriques calculées permettent de décrire un large panel de caractéristiques des communautés : composition, structure, diversité et homogénéité taxonomiques et fonctionnelles (sur la base de traits bio-écologiques), sensibilité à certaines catégories de pression et état général (indices biotiques) (Mondy *et al.*, 2012).

### Transformation en EQR

Afin de normaliser les valeurs des métriques et la direction de leurs réponses aux catégories de pression (croissante ou décroissante avec la qualité écologique, *i.e.* dont les valeurs croissent ou décroissent avec une diminution des pressions d'origine humaine), nous avons utilisé la formule suivante :

$$EQR = (Obs - Worst) / (Best_{type} - Worst)$$

avec :

- Obs = la valeur observée de la métrique,
- Best<sub>type</sub> = le 95<sup>e</sup> (métriques croissantes) ou le 5<sup>e</sup> (métriques décroissantes) percentile des valeurs de cette métrique dans les LIRR pour le même type de cours d'eau,
- Worst = le 5<sup>e</sup> (métriques croissantes) ou le 95<sup>e</sup> (métriques décroissantes) percentile des valeurs de cette métrique dans les IRR pour tous les types de cours d'eau.

### Jeux de données

Le jeu de données initial a été divisé en un jeu de données de développement (75 % des sites) et un jeu de données test (25 % des sites). La sélection des métriques et la constitution des indices multimétriques candidats ont été réalisées sur le jeu de données de développement.

### Sélection des métriques

La sélection des métriques composant l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> s'est faite en plusieurs étapes : une sélection des métriques sur la base de leurs performances individuelles, puis une sélection des métriques apportant des informations non redondantes parmi les meilleures métriques élémentaires.

### Sélection des métriques élémentaires

Les métriques recherchées devaient répondre à trois critères :

- répondre significativement à un maximum de catégories de pression : au moins sept des dix catégories de pression « physico-chimiques » et au moins cinq des sept catégories de pression « hydromorphologiques » ;
- discriminer efficacement les stations de statut LIRR des stations de statut IRR. Pour cela, nous avons calculé, pour chaque métrique et chaque catégorie de pression, son efficacité de discrimination (DE, d'après Ofenböck *et al.*, 2004) comme étant le pourcentage de valeurs de cette métrique (en EQR) issues des IRR et inférieures au percentile 25 de la distribution des valeurs de cette métrique issues des LIRRs. La DE moyenne sur les dix-sept catégories de pression doit être au moins de 60 % ;
- être stables en situation de moindre perturbation. Nous avons donc spécifiquement recherché les métriques présentant la variabilité « naturelle » la plus faible possible (coefficient de variation dans les stations LIRR inférieur à 0,333).

### Non redondance

Un examen de la nature de l'information bio/écologique individuellement apportée par chacune des métriques a ensuite été réalisé. Les métriques apportant une information similaire ont été regroupées et pour chaque groupe de métriques similaires, seule la métrique présentant la plus forte efficacité de discrimination moyenne (sur les dix-sept catégories de pression) a été retenue.

### Composition de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

#### Indices candidats

Pour chaque catégorie de pression « p » (parmi P = 17), la moyenne des valeurs des métriques élémentaires « m » (parmi M = 5 pour l'indice final) exprimées en EQR et pondérées par leurs efficacités de discrimination respectives (DE<sub>m</sub><sup>p</sup>) est calculée. La valeur de l'indice est ensuite obtenue en faisant la moyenne arithmétique de ces valeurs sur l'ensemble des dix-sept catégories de pression.

$$indice = \frac{\sum_P \frac{\sum_M (DE_m^p \times EQR_m^p)}{\sum_M DE_m^p}}{P}$$

Chaque métrique sélectionnée au terme de l'étape de sélection des métriques élémentaires a initié la création d'un indice multimétrique candidat, en recherchant des métriques complémentaires permettant d'améliorer successivement les performances de l'indice multimétrique progressivement formé. Cette sélection des métriques complémentaires s'est faite de manière itérative. À partir d'un indice à n métrique(s) (n = 1 au début de la procédure), on teste systématiquement si l'ajout de l'une des autres métriques sélectionnées, mais non encore intégrées, permet d'améliorer significativement l'efficacité de discrimination de l'indice (test de Wilcoxon pour échantillons appariés sur les DE des indices à n et n+1 métriques). La métrique apportant le gain significatif le plus important en matière de DE moyenne, est ajoutée à l'indice initial et la procédure continue jusqu'à ce que l'ajout d'une métrique supplémentaire ne permette plus d'améliorer significativement la DE moyenne de l'indice formé.

#### Sélection de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> est, parmi les indices candidats, celui qui offre le meilleur compromis entre :

- efficacité de discrimination importante pour toutes les catégories de pression,

- bonne stabilité : pas de différence significative (test de Kolmogorov-Smirnov ; p-value > 0,1) entre les valeurs de l'indice dans les LIRR des jeux de données de développement et test,
- bonne robustesse : pas de différence significative (test de Wilcoxon pour échantillons appariés ; p-value > 0,1) entre les DE mesurées sur les jeux de données de développement et test,
- bonne adéquation avec les exigences de la DCE sur les critères à prendre en compte pour le compartiment « invertébrés benthiques » (abondances, diversité et polluo-sensibilité).

### L'indice invertébrés multimétrique (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>)

La sélection des métriques a permis d'identifier trente métriques non redondantes et présentant des performances satisfaisantes. Sur la base de ces métriques, trente indices multimétriques candidats ont été produits, constitués de deux à huit métriques, ces indices ayant tous une efficacité de discrimination moyenne supérieure à 80%. Parmi ces trente indices candidats, seulement cinq ont démontré une stabilité et une robustesse satisfaisantes (tableau 2).

Parmi ces cinq indices, celui offrant le meilleur compromis entre efficacité de discrimination, stabilité, robustesse et prise en compte équilibrée des critères recommandés par la DCE pour les invertébrés benthiques a été sélectionné pour devenir l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (indice candidat #2 ; tableau 2). Cet indice est composé de cinq métriques (figure 1) :

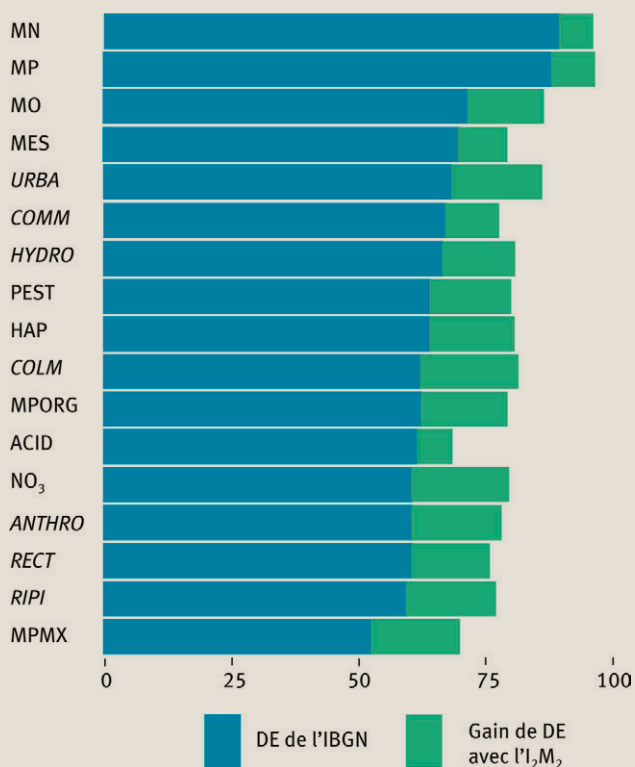
#### 1 Métriques élémentaires composant l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et prise en compte (ronds verts) des critères recommandés par la directive cadre européenne sur l'eau.

	Abondance	Diversité	Polluo-sensibilité
Diversité de Shannon-Weaver	●	●	○
ASPT	○	●	●
Polyvoltinisme	●	○	●
Ovoviviparité	●	○	●
Richesse taxonomique	○	●	○

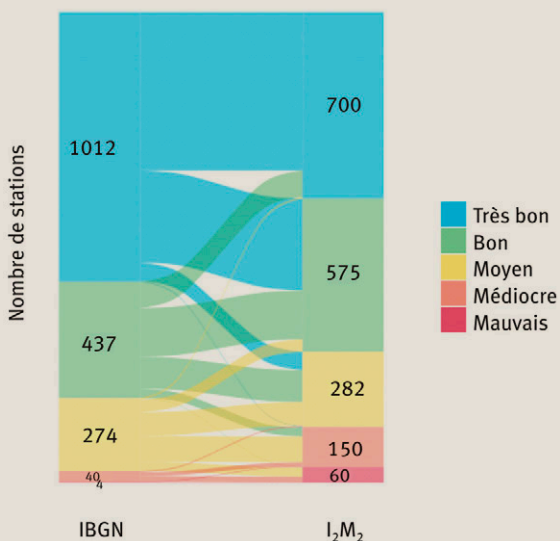
#### 2 Performances et compatibilité DCE des cinq indices candidats les plus stables (p-values d'un test de Kolmogorov-Smirnov supérieures à 0,1) et robustes (p-values d'un test de Wilcoxon pour échantillons appariés supérieures à 0,1). Une même métrique peut prendre en compte plusieurs critères demandés par la DCE (abondances, diversité, polluo-sensibilité). Voir le texte pour plus de détails.

I <sub>2</sub> M <sub>2</sub> candidats	Nombre de métriques	Stabilité	Robustesse	Nombre de métriques prenant en compte :		
				Abondances	Diversité	Polluo-sensibilité
#1	3	0,2057	0,7467	1	2	2
#2	5	0,1617	0,4874	3	3	3
#9	3	0,1145	0,2842	1	2	3
#25	3	0,2051	0,4586	1	0	3
#30	4	0,2479	0,4038	1	3	4

② Gain d'efficacité de discrimination (DE) de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> sur l'IBGN détaillé par catégorie de pression. Les pressions « hydromorphologiques » sont indiquées en italique. Voir le tableau ① pour les intitulés complets des catégories de pression.



③ Évolution de l'évaluation de l'état écologique correspondant au compartiment des macroinvertébrés benthiques en passant de l'utilisation de l'IBGN à celle de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>. Les mêmes données ont été utilisées pour calculer les deux indices. Le nombre de stations allouées à chaque classe d'état (« Très bon » : bleu, à « Mauvais » : rouge) est indiqué dans la colonne représentant chaque indice. La largeur des flux est proportionnelle au nombre de stations conservant (même couleur que la colonne I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>) ou changeant (couleur différente) de classe d'état.



• **L'indice de diversité de Shannon-Weaver.** Cette métrique prend en compte à la fois la richesse taxonomique et la distribution des abondances relatives des différents taxons de l'assemblage faunistique. En cas de pression anthropique croissante, une baisse de la valeur de l'indice est attendue ;

• **L'indice ASPT.** Cet indice mesure le niveau de polluosensibilité moyen de l'assemblage des macroinvertébrés. En cas de pression anthropique croissante, une baisse du niveau moyen de polluosensibilité, et donc de la valeur de l'ASPT, est attendue ;

• **la fréquence relative des organismes polyvoltins** (*i.e.* capables d'accomplir au moins deux générations successives au cours d'une année) dans la communauté. En cas de pression anthropique croissante, une augmentation de la fréquence relative des organismes polyvoltins est attendue ;

• **la fréquence relative des organismes ovovivipares** (*i.e.* dont l'incubation des œufs est réalisée dans l'abdomen de la femelle, l'éclosion suivant immédiatement l'expulsion des œufs dans le milieu aquatique) dans la communauté. En cas de pression anthropique croissante, une augmentation de la fréquence relative des organismes ovovivipares est attendue ;

• **la richesse taxonomique**, il s'agit du nombre de taxons identifiés au niveau systématique préconisé par la norme AFNOR NF T90-388 (2020). En cas de pression anthropique croissante, une réduction de la richesse taxonomique est attendue.

Sur un jeu de données complété par rapport à celui utilisé pour sa construction (plus de 10000 opérations de contrôle réalisées entre 2004 et 2013), l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> présente une efficacité moyenne de discrimination robuste et supérieure à 80% pour les catégories de pression prises en compte (68-97% suivant la catégorie). Sur le même jeu de données, l'IBGN affiche des performances significativement plus faibles avec une efficacité moyenne de discrimination de seulement 65% (53-90% suivant la catégorie de pression ; figure ②)<sup>2</sup>.

## Conclusion

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> a été développé pour répondre aux exigences de la DCE et pour tenter d'améliorer les performances des méthodes existantes. Ce nouvel indice permet ainsi une amélioration de la détection des catégories de pression les moins bien détectées par l'IBGN (e.g. micropolluants et certaines pressions « hydromorphologiques »).

L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> s'interprète en termes de classes d'état écologique (cinq classes de « très bon » à « mauvais ») dont les limites sont définies pour chaque type de cours d'eau (rang xHER). Afin de garantir la comparabilité des évaluations rendues par l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> avec celles rendues par les indices « macroinvertébrés » utilisés dans les autres États membres de l'Union européenne, les limites de classe utilisées pour l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> ont été définies au cours d'un exercice d'intercalibration. L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> et ses limites de classes harmonisées au niveau européen sont donc désormais

2. L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (version 1.0.6) et l'IBGN (IBG-DCE version 1.0.6) ont été calculés en utilisant le Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE) : <https://seee.eaufrance.fr/>

utilisés pour évaluer l'état de l'élément de qualité biologique « macroinvertébrés benthiques » pour les cours d'eau peu profonds en France métropolitaine. La transition de l'IBGN (arrêté « Évaluation » du 27 juillet 2015) à l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (arrêté « Évaluation » du 27 juillet 2018)<sup>3</sup> se traduit par une évaluation plus rigoureuse de l'état des communautés d'invertébrés benthiques avec une réduction de 12 % du nombre de stations classées au moins en « Bon » état. Cette réduction est en particulier liée au nombre plus réduit de stations classées en « Très bon » état (- 31 %) et au nombre plus important de stations classées en « Mauvais » ou « Très mauvais » état (210 vs. 44) avec l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> par rapport à l'IBGN (figure 3).

3. L'état biologique a été calculé selon les deux arrêtés évaluations (indicateurs EBio\_CE\_2015 et EBio\_CE\_2018, tous les deux en version 1.0.1) en utilisant le Système d'évaluation de l'état des eaux (SEEE) : <https://see.eaufrance.fr/>

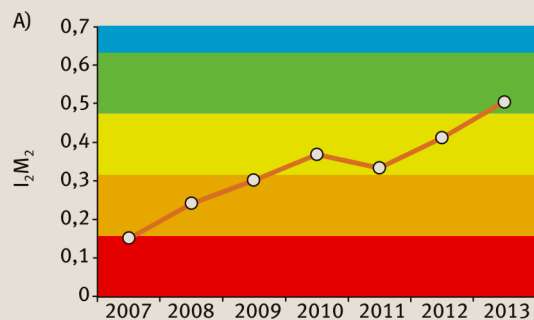
### 1 ILLUSTRATION DE L'APPROCHE INTERPRÉTATIVE DE L'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> À PARTIR DES RÉSULTATS OBTENUS SUR UNE STATION SITUÉE SUR UN TRÈS PETIT COURS D'EAU (TP) DE L'HER 6 « MÉDITERRANÉEN » SUR LA CHRONIQUE 2007-2013.

L'évolution du score I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (partie A) montre une amélioration progressive de la valeur de l'indice biotique qui traduit une restauration importante de l'état écologique à hauteur du point de prélèvement. En effet un gain de trois classes de qualité est observé, du « mauvais » état écologique en 2007 au « bon » état écologique en 2013.

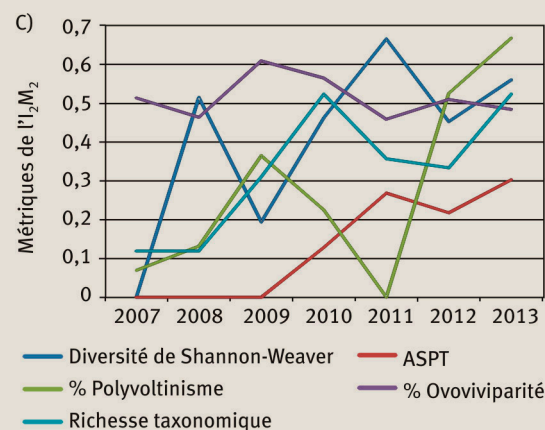
Cette restauration de l'état écologique est confirmée par l'évolution des pressions anthropiques (partie B), puisqu'une amélioration progressive de l'état chimique est observée, d'abord pour les composés phosphorés (MP dès 2008), puis les composés azotés hors nitrates (MN), les matières organiques et certains micropolluants organiques (HAP) dès 2010. Le niveau modéré de contamination du site par les nitrates (NO<sub>3</sub>) varie peu au cours de la période.

L'examen des métriques constitutives de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (partie C) montre une augmentation différée (à partir de 2010 seulement) de l'ASPT qui mesure le niveau de pollu-sensibilité moyen de la communauté. Elle reste cependant relativement limitée. Parallèlement le taux de taxons à cycle de développement court (*i.e.* polyvoltins), d'autant plus élevé que le milieu subit un régime sévère de perturbations, diminue car celui-ci se rapproche des conditions de référence au cours de la période d'étude, avec cependant une rechute sévère en 2011. La diversité taxonomique (Shannon) et la richesse taxonomique, indicateurs respectifs de la stabilité et de la complexité de l'habitat, s'améliorent progressivement au cours du temps.

MO = matières organiques.  
PES = particules en suspension.  
COMM = voies de communication.  
RIPI = altération de la ripisylve.  
URBA = urbanisation dans le corridor.  
COLM = risque de colmatage.  
INSTA = instabilité hydrologique.  
ANTHRO = anthropisation dans le bassin-versant.



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
MO							
MN							
NO <sub>3</sub>							
MP							
PES	NA						
HAP	NA						
COMM							
RIPI							
URBA							
COLM							
INSTA							
ANTHRO							



► Une méthode d'évaluation est d'autant plus intéressante que le degré d'incertitude associé à l'évaluation réalisée est connu. Une étude spécifique a permis de montrer que la source principale d'incertitude autour de la valeur de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> était liée à la variabilité inter-opérateurs au cours des phases de terrain et de laboratoire, qui, bien que nettement supérieure aux sources d'incertitude liées à la construction de l'indice (sur les valeurs de DE, BEST, WORST), n'entraînait qu'un risque faible de mauvaise allocation d'une classe d'état écologique, sauf lorsque la valeur d'indice obtenue était proche d'une valeur limite entre deux classes.

Afin d'assurer une meilleure homogénéité dans l'effort et la stratégie d'échantillonnage le long du profil longitudinal des cours d'eau, un nouveau protocole d'échantillonnage (norme XP T90-337 ; AFNOR, 2019) et un nouvel indice adapté aux grands cours d'eau profonds (GCE) ont été proposés. Cet indice multimétrique (I<sub>2</sub>M<sub>2</sub>-GCEC) a été construit selon une démarche très similaire à celle présentée ici. ■

## Les auteurs

### Cédric MONDY

Office français de la biodiversité,  
Direction régionale d'Ile-de-France,  
12 cours Lumière, F-94300 Vincennes, France.  
✉ [cedric.mondy@ofb.gouv.fr](mailto:cedric.mondy@ofb.gouv.fr)

### Bertrand VILLENEUVE

INRAE, UR EABX, 50 avenue de Verdun,  
F-33612 Cestas Cedex, France.  
✉ [bertrand.villeneuve@inrae.fr](mailto:bertrand.villeneuve@inrae.fr)

### Virginie ARCHAIBAUT

Université Paris-Saclay, INRAE, UR HYCAR,  
F-92761 Antony Cedex, France.  
✉ [virginie.archambault@inrae.fr](mailto:virginie.archambault@inrae.fr)

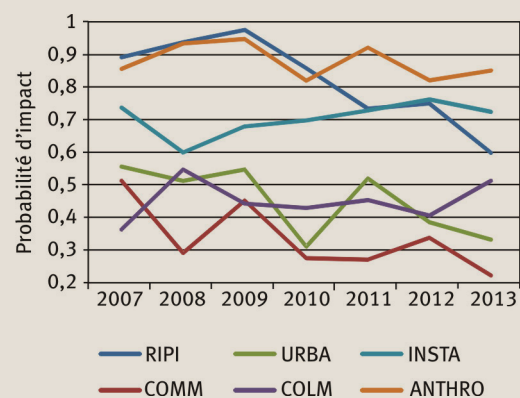
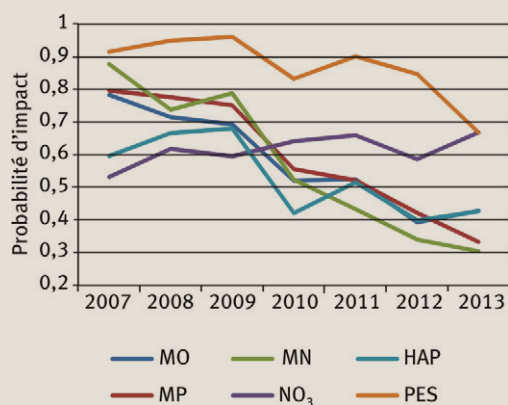
### Philippe USSEGLIO-POLATERA

Laboratoire interdisciplinaire  
des environnements continentaux,  
UMR 7360 CNRS-Université de Lorraine,  
Campus Bridoux, Bât. IBISE,  
8 rue du Général Delestraint, F-57070 Metz, France.  
✉ [philippe.usseglio-polatera@univ-lorraine.fr](mailto:philippe.usseglio-polatera@univ-lorraine.fr)

## 2 L'« OUTIL DIAGNOSTIQUE INVERTÉBRÉS »

Le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> peut être complété par les informations apportées par l'« Outil diagnostique invertébrés » (ODI; Mondy et Usseglio-Polatera, 2013). En examinant simultanément les valeurs de 216 métriques biologiques décrivant l'histoire de vie et les principales préférences écologiques des invertébrés benthiques, sur l'échantillon faunistique utilisé pour le calcul de l'I<sub>2</sub>M<sub>2</sub> (norme AFNOR NF T90-333), les modèles de l'ODI (un par catégorie de pression) évaluent la probabilité que la communauté d'invertébrés soit significativement impactée par différentes catégories de pression liées à la qualité de l'eau (partie A), l'altération hydromorphologique du cours d'eau ou l'occupation de l'espace dans le bassin versant (partie B). Ainsi sur le site TP6 étudié dans l'encadré 1, les probabilités d'impact restituées par les assemblages d'invertébrés sur la chronique d'étude confirment la levée de pression chimique, avec une baisse progressive des probabilités d'impact, particulièrement nette pour les composés azotés hors nitrates (MN) et les composés phosphorés (MP). Il est à noter que la probabilité d'impact par les nitrates (NO<sub>3</sub>) est peu modifiée, voire augmente légèrement au cours de la chronique, ce qui est confirmé par le peu d'évolution de la concentration en nitrates dans l'eau (encadré 1B). De manière similaire, les probabilités d'impact significatif restituées par les modèles liés à l'habitat varient peu, exceptée une réduction progressive de la probabilité d'impact liée à une dégradation de la ripisylve (RIPI).

MO = matières organiques, PES = particules en suspension, URBA = urbanisation dans le corridor, INSTA = instabilité hydrologique, COMM = voies de communication, COLM = risque de colmatage, ANTHRO = anthropisation dans le bassin versant.





## EN SAVOIR PLUS...

- ▣ **AFNOR**, 2004, Qualité de l'eau – Détermination de l'indice biologique global normalisé (IBGN), Association française de normalisation, norme homologuée NF T 90-350, p. 1-16.
- ▣ **AFNOR**, 2016, Qualité de l'eau – Prélèvement des macroinvertébrés aquatiques en rivière peu profondes, Association française de normalisation, norme homologuée NF T 90-333, p. 1-39.
- ▣ **AFNOR**, 2019, Qualité de l'eau – Prélèvements des macro-invertébrés aquatiques en rivières profondes et canaux, Association française de normalisation, norme homologuée XP T 90-337, p. 1-56.
- ▣ **AFNOR**, 2020, Qualité de l'eau – Analyse d'échantillons contenant des macro-invertébrés de cours d'eau, canaux et plans d'eau, Association française de normalisation, norme homologuée NF T 90-388, p. 1-34.
- ▣ **CHANDESRIIS, A., WASSON, J.-G., PELLA, H., SAUQUET, E., MENGIN, N.**, 2006, Appui scientifique à la mise en œuvre de la Directive Européenne Cadre sur l'Eau. Typologie des cours d'eau de France métropolitaine, Publication Cemagref, p. 1-64, <https://hal.inrae.fr/hal-02588807>
- ▣ **MONDY, C.P., VILLENEUVE, B., ARCHAIMBAULT, V., USSEGLIO-POLATERA, P.**, 2012, A new macroinvertebrate-based multimetric index (I2M2) to evaluate ecological quality of French wadeable streams fulfilling the WFD demands: A taxonomical and trait approach, *Ecological Indicators*, n° 18, p. 452-467, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.013>
- ▣ **MONDY, C.P., USSEGLIO-POLATERA, P.**, 2013, Using conditional tree forests and life history traits to assess specific risks of stream degradation under multiple pressure scenario, *Science of the Total Environment*, 461/462, p. 750-760, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.072>
- ▣ **OFENBÖCK, T., MOOG, O., GERRITSEN, J., BARBOUR, M.**, 2004, A stressor specific multimetric approach for monitoring running waters in Austria using benthic macroinvertebrates, *Hydrobiologia*, 516, p. 251-268, [https://doi.org/10.1007/978-94-007-0993-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-007-0993-5_15)

*Les peuplements de macroinvertébrés benthiques intègrent dans leur structure toute modification, même temporaire, de leur environnement.*