



INDICATEUR INVERTEBRES BENTHIQUES DE SUBSTRAT MEUBLE

Aurélie Foveau¹, Nicolas Desroy¹

¹ Ifremer, LER Bretagne Nord, Dinard

Résumé

Le Multivariate-AMBI [M-AMBI (Muxika *et al.*, 2007)] est une méthode synthétique, qui combine dans une analyse factorielle, puis une analyse discriminante, les valeurs de l'AMBI, de la diversité de Shannon-Weaver et de la richesse spécifique. Cette méthode robuste permet de mettre en évidence un état de perturbation. Elle a déjà été éprouvée sur de nombreux jeux de données provenant de zones géographiques différentes (Borja *et al.*, 2008a). Elle a été testée le long de gradients de perturbation (Borja *et al.*, 2011). Cet indice varie de 0 à 7.

Rappel des paramètres DCE (Annexe V)

Les paramètres biologiques à prendre en compte pour l'évaluation écologique sont :

- la **composition et l'abondance des taxa d'invertébrés** ;
- le ratio des **taxa sensibles aux perturbations** par rapport aux taxa insensibles ;
- le niveau de **diversité des taxa d'invertébrés**.

Historique au niveau français

Le choix d'une méthode permettant de répondre aux exigences de la DCE en milieu côtier a été rendu complexe par la profusion d'indices existant. Deux des métriques les plus utilisées en Europe (M-AMBI et BQI) ont été retenues et testées sur des jeux de données variés [*i.e.* les communautés benthiques côtières de sables fins plus ou moins envasés que la DCE recommande de cibler, localisées entre la frontière belge et le cap d'Antifer (Desroy *et al.*, 2003), en baie de Seine orientale (Janson, 2007), en Rance maritime (Desroy & Retière, 2004), en Rade de Brest (données non publiées, J. Grall), dans le bassin de Marennes-Oléron et les pertuis Charentais (données non publiées, P.G. Sauriau) et dans le bassin d'Arcachon (hors herbier, données non publiées H. Blanchet)]. Le choix de ces métriques, dont aucune ne s'avérait entièrement satisfaisante, a été partiellement guidé par le fait que la quasi-totalité des états membres du Groupe d'Intercalibration Géographique Nord-Est Atlantique (GIG-NEA) aient, à l'époque, adopté des méthodes basées sur au moins un de ces deux indices. Le M-AMBI est la métrique retenue pour les façades Mer du Nord – Manche – Atlantique.

Typologies

En France : pas de types

En Europe : un type (GIG NEA 1/26).

Jeu de données utilisé

Le jeu de données comprend 84 sites pour les années 2006 à 2016. Les données correspondantes ont été collectées dans le cadre de la DCE selon la méthode d'échantillonnage prescrite par Guillaume et Gauthier (2005). Depuis 2015, les données collectées se font selon le protocole défini par Garcia *et al.* (2014).

Code ME	Nom ME	Nombre de stations	Code ME	Nom ME	Nombre de stations
FRAC02	Malo - Gris Nez	3	FRGC36	Baie de Quiberon	2
FRAC05	La Warene - Ault	3	FRGC38	Golfe - Large	1
FRFC01	Côte Nord-Est de l'île d'Oléron	1	FRGC39	Golfe du Morbihan	1
FRFC02	Pertuis charentais	3	FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	2
FRFC06	Arcachon amont	3	FRGC45	Baie de Vilaine (large)	1
FRFC08	Côte landaise	1	FRGC46	Loire (large)	1
FRFC09	Lac d'Hossegor	3	FRGC47	Ile d'Yeu	1
FRFC11	Côte basque	1	FRGC48	Baie de Bourgneuf	3
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	2	FRGC50	Nord Sables d'Olonne	2
FRGC03	Rance-Fresnaye	2	FRGC53	Pertuis Breton	3
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	2	FRHC01	Archipel Chausey	4
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	1	FRHC02	Baie du Mont-Saint-Michel : centre baie	2
FRGC10	Baie de Lannion	2	FRHC03	Ouest Cotentin	4
FRGC11	Baie de Morlaix	2	FRHC04	Cap de Carteret - Cap de la Hague	2
FRGC13	Les Abers (large)	2	FRHC06	Rade de Cherbourg	2
FRGC16	Rade de Brest	2	FRHC09	Anse de Saint-Vaast la Hougue	1
FRGC18	Iroise (large)	1	FRHC10	Baie des Veys	2
FRGC20	Baie de Douarnenez	3	FRHC13	Côte de Nacre Est	1
FRGC26	Baie d'Audierne (large)	2	FRHC14	Baie de Caen	2
FRGC28	Concarneau (large)	1	FRHC15	Côte Fleurie	2
FRGC34	Lorient - Groix	2	FRHC16	Le Havre - Antifer	1
FRGC35	Baie d'Etel	1	FRHC18	Pays de Caux Nord	1

Métriques

Métrique 1 : la richesse taxinomique, notée S , correspond au nombre total de taxons échantillonnés dans la station.

Métrique 2 : l'indice de diversité de Shannon-Weaver (Shannon & Weaver, 1949), noté H' , avec un logarithme de base 2 :

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \times \log_2(p_i), \text{ avec } p_i \text{ la proportion du taxon } i \text{ dans la station.}$$

Métrique 3 : AZTI's Marine Biotic Index (Borja et Muxika, 2005 ; Borja *et al.*, 2000), noté AMBI, calculé pour chaque réplicat puis moyenné sur l'ensemble des réplicats de la station.

Le calcul de l'indice AMBI consiste en une somme pondérée de la proportion d'abondance assignée à chacun des cinq groupes de polluo-sensibilité, avec une pondération qui augmente avec le niveau de perturbation associé au groupe (Tableau 1) :

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

Tableau 1 : Groupes écologiques de polluo-sensibilités différentes (d'après Hily, 1984).

Groupe	Type d'espèces	Caractéristiques	Groupes trophiques
I	sensibles à une hypertrophisation	- largement dominantes en conditions normales - disparaissent les premières lors de l'enrichissement en matière organique du milieu - dernières à se réinstaller	- suspensivores, carnivores sélectifs, quelques déposivores tubicoles de subsurface
II	Indifférentes à une hypertrophisation	- espèces peu influencées par une augmentation de la quantité de MO	- carnivores et nécrophages peu sélectifs
III	Tolérantes à une hypertrophisation	- naturellement présentes dans les vases, mais, leur prolifération étant stimulée par l'enrichissement du milieu, elles sont le signe d'un déséquilibre du système	- déposivores tubicoles de surface profitant du film superficiel chargé en MO
IV	Opportunistes de second ordre	- cycle de vie court (souvent <1 an) proliférant dans les sédiments réduits	- déposivores de subsurface
V	Opportunistes de premier ordre	- prolifèrent dans les sédiments réduits sur l'ensemble de leur épaisseur jusqu'à la surface	- déposivores

Ces métriques sont calculées pour chaque station.

Valeurs de références, indicateur et grille de qualité

Calcul de l'indice

Deux stations fictives dites « de référence », correspondant au très bon et au mauvais état, sont ajoutées au jeu de données. Pour chaque métrique les valeurs sont standardisées : la moyenne est retranchée à chaque valeur puis le résultat est divisé par l'écart-type. Une analyse factorielle (AF) est ensuite réalisée :

- une analyse en composantes principales permet de déterminer trois axes perpendiculaires maximisant la somme des carrés des distances des points projetés dans le nouvel espace ;
- une rotation de type « Varimax » de ces trois axes permet de faciliter l'interprétation des axes en associant chacune des variables à un nombre réduit d'axes.

L'AF est réalisée par habitat, pour l'ensemble des années et à l'échelle de la façade « Manche-Atlantique » afin de répondre au mieux à la recommandation d'avoir au minimum 50 stations pour stabiliser l'AF (cf. Borja *et al.*, 2008b). La projection dans ce nouveau repère des valeurs des deux stations de référence permet de définir un nouvel axe sur lequel sont projetés orthogonalement l'ensemble des points correspondant aux stations. La position des points de référence sur ce nouvel axe est supposée être égale à 0 pour le mauvais état et à 1 pour le très bon état. La position de chaque projection sur cet axe correspond à la valeur du M-AMBI pour chaque station. A l'échelle de la masse d'eau et pour une année donnée, la valeur du M-AMBI correspond à la valeur observée à la station échantillonnée dans cette masse d'eau lorsqu'elle est unique ou à la moyenne des valeurs observées dans les différentes stations lorsqu'il y en a plusieurs.

Ces étapes de calcul sont faites à l'aide d'un script R.

Valeurs seuils

En Manche, il n'existe plus d'écosystèmes exempts de perturbations anthropiques. Ce constat est particulièrement vrai pour la zone côtière. Les données dites historiques disponibles étant souvent malgré tout trop récentes, les conditions de références ont dues être définies à partir de jugements d'experts.

La philosophie a été de définir, pour les communautés benthiques côtières de sables fins plus ou moins envasés (intertidales et subtidales), les conditions de référence pour les trois paramètres employés dans le calcul du M-AMBI (richesse spécifique, diversité de Shannon-Weaver, AMBI) et de s'affranchir de l'impossible ou tout au moins très délicate définition de sites de références. Une analyse multivariée réalisée à partir de l'analyse des jeux de données existants sur les façades Manche et Atlantique, a montré que les valeurs maximales de ces trois paramètres différaient peu d'une façade à l'autre. Des valeurs de référence ont donc été définies pour les trois types d'habitats hydro-sédimentaires, rencontrés sur le littoral des façades Manche et Atlantique : (1) les sables fins plus ou moins envasés subtidaux, (2) les sables fins plus ou moins envasés intertidaux et (3) les sables fins battus. Les valeurs relatives au très bon état pour les trois paramètres intégrés dans le calcul du M-AMBI, correspondent au percentile 95 des valeurs maximales observées et sont reportées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Conditions de référence applicables pour le calcul de la valeur de M-AMBI dans les masses d'eaux côtières pour les façades Manche et Atlantique (d'après Desroy *et al.*, 2010).

	Etat Ecologique	Richesse Spécifique	Diversité de Shannon-Wiener	AMBI
<i>Sables fins, plus ou moins envasés subtidaux</i>	Très Bon	58	4	1
	Mauvais	1	0	6
<i>Sables fins plus ou moins envasés intertidaux</i>	Très Bon	35	4	1
	Mauvais	1	0	6
<i>Sables fins battus</i>	Très Bon	15	3.5	1
	Mauvais	1	0	6

Seules les conditions de référence relatives aux habitats de sables fins plus ou moins envasés subtidaux ont été intercalibrées lors de l'exercice mené par le GIG-NEA (décision CE du 30 octobre 2008).

La grille de lecture du M-AMBI (Tableau 3), telle qu'adoptée par la France au sein du GIG-NEA, est la suivante (arrêté du 25 janvier 2010) :

Tableau 3 : Grille d'EQR retenue pour l'évaluation de qualité « Invertébrés benthiques » dans les masses d'eaux côtières pour la façade Mer du Nord – Manche - Atlantique (arrêté du 25/01/2010).

Arrêté évaluation 27 juillet 2015	EQR après le 3 ^e round d'intercalibration	Classe
[1,00 - 0,77]	Inchangé	Très Bon
]0,77 - 0,53]	Inchangé	Bon
]0,53 - 0,39]	Inchangé	Moyen
]0,39 - 0,20]	Inchangé	Médiocre
]0,20 – 0,00]	Inchangé	Mauvais

Du fait de l'intégration d'une analyse factorielle des correspondances dans le calcul de l'indicateur (voir les recommandations de Borja *et al.*, 2008a), les résultats peuvent différer légèrement en fonction du nombre de stations utilisées dans le jeu de données employé. Le calcul du M-AMBI est effectué par façades du littoral français : Manche d'une part, et Atlantique d'autre part. La valeur du M-AMBI retenue pour une masse d'eau donnée correspond à celle observée à la station échantillonnée dans cette masse d'eau (lorsqu'elle est unique) ou à la moyenne des valeurs relatives aux différentes stations (lorsqu'il y en a plusieurs).

- Borja A., Mader J., Muxika I., Rodríguez J.G. & Bald J., 2008b. Using M-AMBI in assessing benthic quality within the Water Framework Directive: Some remarks and recommendations. *Marine Pollution Bulletin*, 56: 1377–1379.
- Borja A., Barbone E., Basset A., Borgersen G., Brkljacic M., Elliot M., Garmendia J.M., Marques J.C., Mazik K., Muxika I., Neto J.M., Norling K., Rodriguez J.G., Rosati I., Rygg B., Teixeira H. & Trayanova A., 2011. Response of single benthic metrics and multi-metric methods to anthropogenic pressure gradients, in five distinct European coastal and transitional ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 62: 499-513.
- Buchet R. & Guégan C., 2012. Directive Cadre sur l'Eau : les pressions anthropiques et leur impact sur les indicateurs de l'état écologique des masses d'eau littorales de la façade Manche-Atlantique. Développement d'une base de données quantitatives sur les pressions anthropiques littorales. Hocer/Ifremer. 144 p.
- Desroy N., Warembourg C., Dewarumez J.M. & Dauvin J.C., 2003. Macrobenthic resources of the shallow soft-bottom sediments in the eastern English Channel and southern North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 60: 120-131.
- Desroy N. & Retière C., 2004. Using benthos as a tool for coastal management. Example of the impact of the tidal power station on benthic communities of the Rance basin. *Aquatic Ecosystem Health and Management*, 7: 59-72.
- Desroy N., Soudant D., Auby I., Barillé A.L., Blanchet H., Gentil F., Hily C., Oger-Jeanneret H. & Sauriau P.-G., 2010. Contrôle de surveillance benthique de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE) : Etat écologique des masses d'eau - Année 2007 - Façade Atlantique. Rapport Ifremer LER Finistère Nord-Bretagne/Station de Dinard. 18 p + annexe.
- Garcia A., Desroy N., Le Mao P., Miossec L. (2014). Protocole de suivi stationnel des macroinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidiaux et intertidaux dans le cadre de la DCE. Façades Manche et Atlantique – Rapport AQUAREF 2014 – 13 p. + Annexes.
- Grall J., Quiniou F. & Glemarec M., 2003. L'indice d'évaluation de l'endofaune côtière I2EC. In: Alzieu C. (éditeur), Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion, édition Ifremer: 89-115.
- Guillaumont B., Gauthier E., 2005. Recommandations pour un programme de surveillance adapté aux objectifs de la DCE – Recommandations concernant le benthos marin. Rapport Ifremer, 27 p.
- Hily C., 1984. Variabilité de la macrofaune benthique dans les milieux hypertrophiques de la Rade de Brest. Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 696 p.
- Janson A.L., 2007. Evolution de la biodiversité benthique des vasières subtidales de l'estuaire de la Seine en réponse à la dynamique sédimentaire. De l'approche descriptive à l'approche fonctionnelle. Thèse de troisième cycle, Université de Rouen, 282 p.
- Muxika I., Borja A. & Bald J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the European Water Framework Directive. *Marine Pollution Bulletin*, 55: 16-29.
- Shannon C.E. & Weaver W., 1949. *The Mathematical Theory of Communication*. University of Illinois Press, Urbana, 144 p.
- Simboura N., Papathanassiou E. & Sakellariou D., 2007. A comparative approach of assessing ecological status in two coastal areas of Eastern Mediterranean. *Ecological indicators*, 7: 455-468.