



Méthodologie pour la surveillance et l'évaluation du
paramètre « Macro-invertébrés benthiques » dans les masses
d'eau de transition estuariennes de la façade Manche-
Atlantique –

Version mars 2025

Hugues BLANCHET, Marie FOUET, Lucie BIZZOZERO, Aurélie FOVEAU

Notice bibliographique

Auteurs :

Hugues BLANCHET
Marie FOUET

Lucie BIZZOZERO
Aurélie FOVEAU

Affiliations :

Université de Bordeaux / UMR CNRS
5805 EPOC

Ifremer

Citation : Blanchet H., Fouet M., Bizzozero L., Foveau A. (2025). Méthodologie pour la surveillance et l'évaluation du paramètre « Macro-invertébrés benthiques » dans les masses d'eau de transition estuarienne de la façade Manche-Atlantique – version mars 2025. Rapport Université de Bordeaux/UMR EPOC & Ifremer.

Le présent rapport fait suite aux travaux réalisés dans le cadre d'un projet R&D financé par l'Office Français de la Biodiversité : Sélection d'un indicateur DCE « faune benthique invertébrée » adapté aux estuaires.

Sommaire

Principes généraux :	1
1. Stratégie de surveillance	2
1.1. Nombre de stations par estuaire	2
1.2. Localisation des stations d'échantillonnage	6
1.3. Définition des habitats	6
2. Stratégie et méthode d'échantillonnage	9
2.1. Période d'échantillonnage	9
2.2. Stratégie d'échantillonnage	9
2.3. Choix des habitats à échantillonner	9
2.4. Echantillonnage de la faune	9
2.4.1. Engins d'échantillonnage	10
2.4.2. Nombre d'échantillons de faune à collecter	10
2.4.3. Type de tamis pour la faune	11
2.5. Caractérisation des sédiments	11
2.6. Mesures de salinité	11
3. Evaluation de l'état écologique	12
3.1. Indicateur de l'état écologique	12
3.2. Exclusion de certains taxa du calcul de l'indicateur	12
3.3. Calcul des métriques de l'indicateur	13
3.3.1. Calcul de l'AMBI	13
3.3.2. Calcul de S	13
3.3.3. Calcul de H'	13
3.3.4. Conditions de référence	14
3.3.5. Calcul de l'EQR pour chaque station	15
3.3.6. Valeurs seuils de l'EQR	15
Références bibliographiques	16

Principes généraux :

L'évaluation de l'état écologique selon le paramètre « Macro-invertébrés benthiques » prend en compte les caractéristiques environnementales de chaque habitat benthique échantillonné lors de la surveillance au moyen de l'utilisation de conditions de références différentes en fonction de l'habitat EUNIS (<http://eunis.eea.europa.eu/habitats.jsp>) échantillonné.

L'échantillonnage doit donc être réalisé sur un (ou plusieurs) de ces habitats, dont l'opérateur connaît la localisation avant l'échantillonnage (une connaissance préalable minimale du site est donc nécessaire avant de réaliser la campagne de surveillance).

Les valeurs données pour les conditions de référence en ce qui concerne le nombre d'espèces S et l'indice de Shannon H' correspondent au cumul de trois (3) échantillons de dimension unitaire égale à $\sim 0,1 \text{ m}^2$ en domaine subtidal (soit donc une surface cumulée de $\sim 0,3 \text{ m}^2$) ou du cumul de trois (3) échantillons de dimension égale à $\sim 0,03 \text{ m}^2$ (surface d'une carotte de 20 cm de diamètre) soit donc une surface cumulée de $\sim 0,09 \text{ m}^2$.

L'indicateur retenu pour l'évaluation de l'état écologique est le BEQI-FR, dérivé du BEQI2, méthode proposée par les Pays-Bas. Cet indicateur prend en compte trois métriques (H', S, AMBI), pour chacune desquelles il calcule un ratio. Il combine les trois ratios en les moyennant afin d'obtenir la valeur du BEQI-FR.

Le présent document a pour vocation de remplacer le précédent document de synthèse proposé par Blanchet et Fouet (2019) suite à la complétion de l'exercice d'intercalibration et aux retours des différents opérateurs.

1. Stratégie de surveillance

1.1. Nombre de stations par estuaire

En partant du principe qu'il est souhaitable, pour les besoins de la surveillance, d'obtenir des valeurs d'EQR convergentes, que la moyenne des EQR est le reflet de l'état écologique d'une Masse d'Eau et que la taille moyenne d'un intervalle de classe de qualité écologique est d'environ 0,2, une étude réalisée sur neuf estuaires suggère que la valeur moyenne d'EQR est obtenue dans 95% des cas lorsqu'elle est évaluée comme la moyenne obtenue à partir de 6 à 14 stations (3 échantillons par station) selon les estuaires considérés (figures 1A à 1C). De manière générale, les grands estuaires comme la Loire, la Seine et la Gironde ainsi que l'estuaire de la Charente devraient être échantillonnés au moyen d'un nombre nettement plus élevé de stations (de l'ordre de 10-12) et les estuaires de plus petite taille ou ceux dont le domaine subtidal est extrêmement réduit devraient être échantillonnés au moyen d'un réseau de 6 stations (3 échantillons par station).

Sur la base de ces résultats, il est proposé d'échantillonner les masses d'eau de la manière suivante :

- Grands estuaires + Charente = 6 stations intertidales distribuées de manière à peu près équidistante le long du gradient meso- à euhalin de la masse d'eau + 6 stations subtidales distribuées de manière à peu près équidistante le long du gradient meso- à euhalin de la masse d'eau. Ces différentes stations doivent échantillonner l'un des habitats pour lesquels un état de référence a été déterminé.
- Petits estuaires (autres que Charente) : 3 stations intertidales distribuées de manière à peu près équidistante le long du gradient meso- à euhalin de la masse d'eau + 3 stations subtidales distribuées de manière à peu près équidistante le long du gradient meso- à euhalin de la masse d'eau. Ces différentes stations doivent échantillonner l'un des habitats pour lesquels un état de référence a été déterminé.
- Estuaires dont seule la zone intertidale est échantillonnable : 6 stations intertidales distribuées de manière à peu près équidistante le long du gradient meso- à euhalin de la masse d'eau. Ces différentes stations doivent échantillonner l'un des habitats pour lesquels un état de référence a été déterminé.

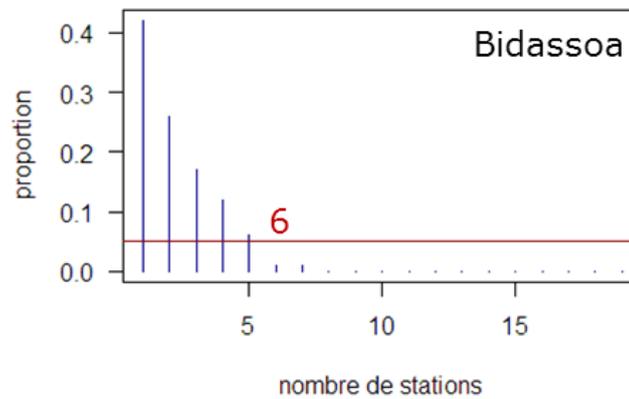
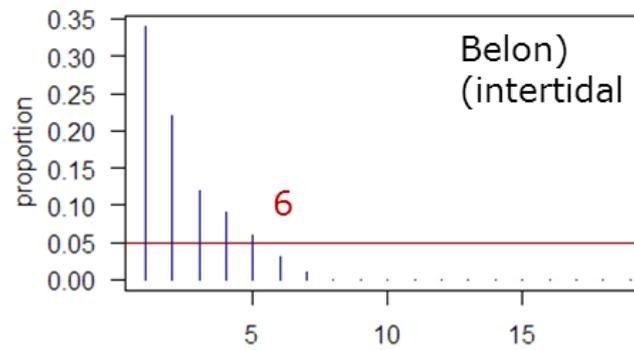
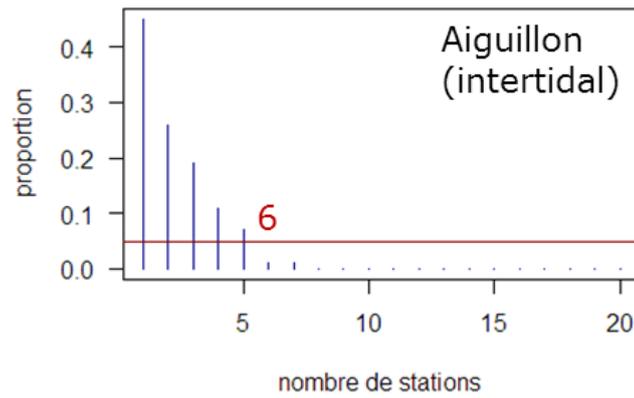


Figure 1A : Proportion de cas où le calcul de l'EQR moyen calculé sur la base d'un nombre de station donné s'écarte de plus de +/- 0,1 unité de l'EQR moyen calculé sur l'ensemble des stations. La proportion de cas est obtenue à partir de 100 tirages aléatoires de x stations et calcul de l'EQR moyen obtenus avec ce lot de x stations. Le segment rouge horizontal correspond à une proportion de 0,05.

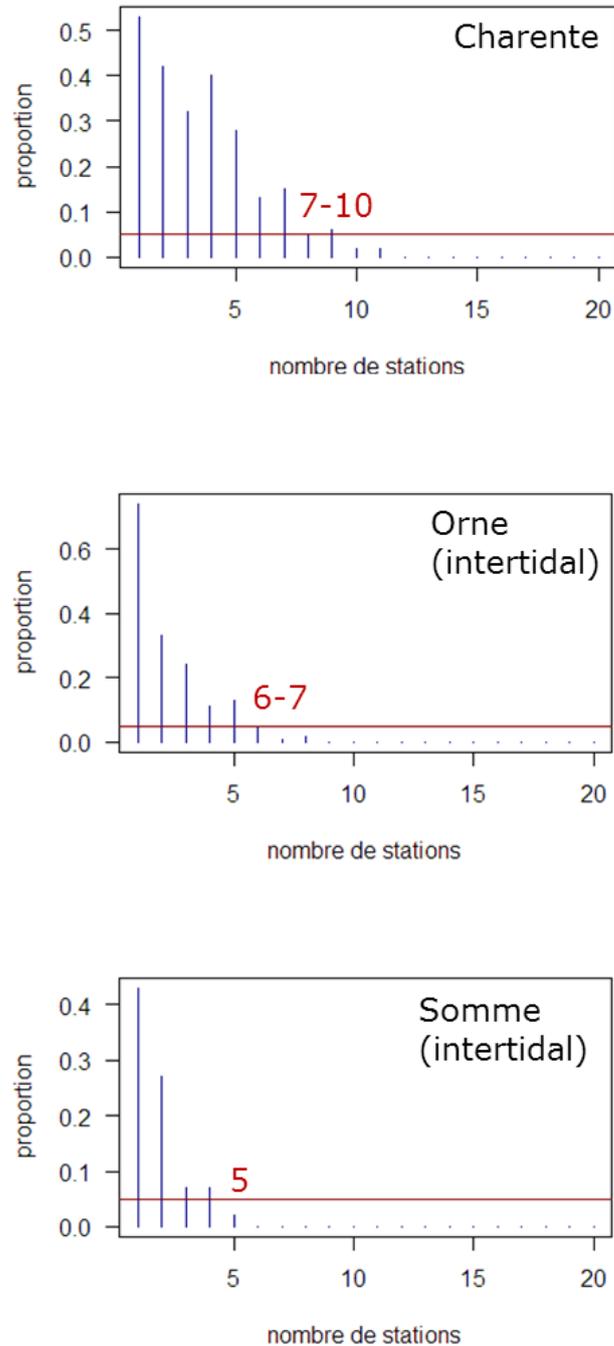


Figure 1B : Proportion de cas où le calcul de l'EQR moyen calculé sur la base d'un nombre de station donné s'écarte de plus de $\pm 0,1$ unité de l'EQR moyen calculé sur l'ensemble des stations. La proportion de cas est obtenue à partir de 100 tirages aléatoires de x stations et calcul de l'EQR moyen obtenus avec ce lot de x stations. Le segment rouge horizontal correspond à une proportion de 0,05.

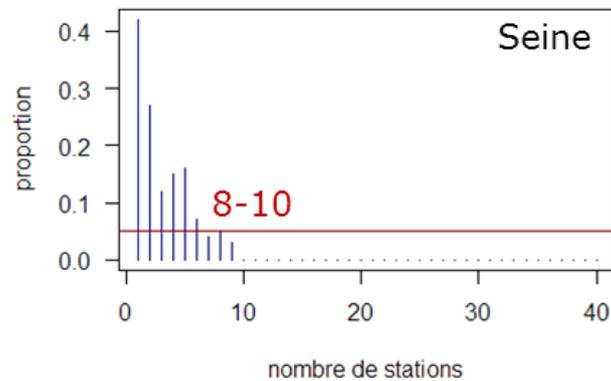
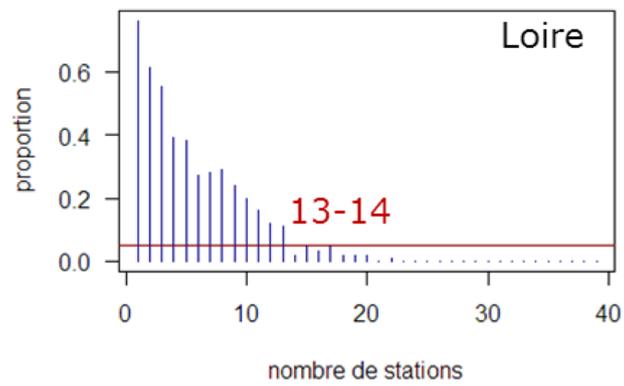
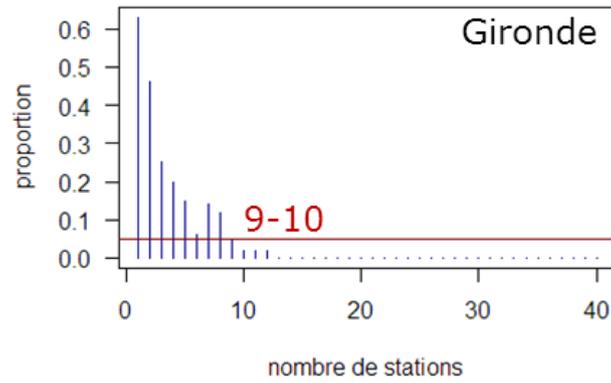


Figure 1C : Proportion de cas où le calcul de l'EQR moyen calculé sur la base d'un nombre de station donné s'écarte de plus de +/- 0,1 unité de l'EQR moyen calculé sur l'ensemble des stations. La proportion de cas est obtenue à partir de 100 tirages aléatoires de x stations et calcul de l'EQR moyen obtenus avec ce lot de x stations. Le segment rouge horizontal correspond à une proportion de 0,05.

1.2. Localisation des stations d'échantillonnage

L'idée est de localiser les stations d'échantillonnage dans des habitats EUNIS correspondant à ceux pour lesquels un état de référence a été proposé, même si ces habitats ne sont pas les habitats dominants de l'estuaire étudié.

Les différentes stations doivent être distribuées le long du gradient de salinité estuarien en se restreignant aux seules zones eu- à mésohalines (excluant donc la zone oligohaline).

Dans la mesure du possible, il est fortement recommandé de localiser les stations à proximité de points de suivis des paramètres environnementaux dans le cadre de programmes de surveillance/observation existants (ex : réseau SYVEL, réseau SOMLIT, réseau MAGEST, réseau DCE...). L'analyse de ces paramètres est susceptible d'explicitier, le cas échéant, des variations observées au niveau de la communauté benthique.

Enfin, la surveillance de stations pour lesquelles des données historiques sont disponible doit être privilégiée.

1.3. Définition des habitats

Afin de tenter d'obtenir une homogénéité dans la prise en compte des habitats pour la définition des états de référence, nous avons fait le choix d'une typologie existante et en usage en Europe : la typologie EUNIS pour les habitats marins. En raison de la nécessité d'une certaine simplicité et de la nécessité d'être capable, pour un opérateur formé, et sur la base d'une information minimale sur le milieu à étudier, d'identifier à vue les différents habitats estuariens, le choix a été porté sur le niveau 4 de cette typologie. Celle-ci est présentée dans les tableaux ci-dessous (Table A et B).

Table A : Liste et principales caractéristiques des habitats prise en compte dans l'étude du domaine intertidal

DOMAINE INTERTIDAL			
CODE	NOM	GRANULO METRIE	CARACTERISTIQUES
MoSa A2.22 (EUNIS 2012) MA5-23 (EUNIS 2022) A5-2.1 (NatHab-Atl.)	-Barren or amphipod dominated mobile sand shores. Estrans de sable mobile, stérile ou dominé par des amphipodes -Sable mobile propre ou dominé par les amphipodes du supra- et du médiolittoral en Atlantique <i>Sables médiolittoraux mobiles propres</i>	Sables moyens.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fort hydrodynamisme. ▪ Sables « propres » pratiquement dépourvus de matière organique et de particules fines (<63µm). ▪ Faible densité d'espèces + principalement des amphipodes ainsi que d'autres crustacés mobiles ou aux bonnes capacités fouisseuses et natatoires. ▪ Embouchure des estuaires/salinité souvent élevée et assez proche de celle de l'Océan.
FiSa A2.23 (EUNIS 2012) MA5-24 (EUNIS 2022) A5-3 (NatHab-Atl.)	-Polychaete or amphipod-dominated fine sand shores Estrans de sable fin dominés par des amphipodes ou des polychètes -Sable fin médiolittoral dominé par les polychètes/amphipodes en Atlantique <i>-Estrans de sable fin dominés par des amphipodes ou des polychètes</i>	Sables fins.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sables propres dominés par les sables fins. ▪ Teneurs en particules fines et matière organique extrêmement faibles ▪ Amphipodes et polychètes. ▪ Milieux légèrement plus abrités que MoSa ▪ Niveau de salinité élevé

DOMAINE INTERTIDAL			
CODE	NOM	GRANULO METRIE	CARACTERISTIQUES
<p>MuSa A2.24 (EUNIS 2012)</p> <p>MA5-251 MA5-252 MA5-253 MA5-255 (EUNIS 2022)</p> <p>A5-4 (NatHab-Atl)</p>	<p><i>Polychaete or bivalve-dominated muddy sand shores.</i> Estrans de sable vaseux dominés par des polychètes ou des bivalves</p> <p>-Sable vaseux médiolittoral dominé par des polychètes ou des bivalves en Atlantique (partie)</p> <p>-Sables fins envasés médiolittoraux</p>	<p>Sables fins avec une fraction plus ou moins importante de particules fines.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Niveau de salinité élevé mais variable ▪ Sables vaseux (teneurs en particules fines typique : 3-33%, teneur typique en MO : 1-3%) ▪ Polychètes et bivalves.
<p>MEst A2.31 (EUNIS 2012)</p> <p>MA6-223 MA6-224 MA6-225 (EUNIS2022)</p> <p>A6-3.1.1 (NatHab-Atl)</p>	<p><i>Polychaete/bivalves-dominated mid estuarine mud shores.</i> Vases médiolittorales en milieu à salinité variable dominées par les polychètes/bivalves</p> <p>-Communautés animales des vases médiolittorales en milieu à salinité variable en Atlantique (partie)</p> <p>-Vases médiolittorales en milieu à salinité variable dominées par les polychètes/bivalves</p>	<p>Particules < 63µm et sables fins.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sédiment vaseux. Il convient cependant de faire remarquer que la nature anthropisée de nombreuses zones estuariennes entraîne une modification artificielle de la granulométrie par ajout de blocs, de gravats <i>etc...</i> Le point clés est ici l'envasement important. ▪ Dessalure marquée, en position intermédiaire dans l'estuaire. ▪ Polychètes et bivalves typiquement abondants en milieu estuarien (<i>L. balthica</i>, <i>S. plana</i>, <i>C. edule</i>, <i>H. diversicolor</i>, <i>P. elegans</i>, <i>S. shrubsolii</i>, <i>C. volutator</i>, <i>C. carinata</i>, <i>P. ulvae</i>)
<p>UEst A2.32 (EUNIS 2012)</p> <p>MA6-226 MA6-227 (EUNIS 2022)</p> <p>A6-3.1.2 (NatHab-Atl)</p>	<p><i>-Polychaete/oligochaete-dominated upper estuarine mud shores.</i> Estrans vaseux en amont des estuaires dominés par des polychètes ou des oligochètes</p> <p>-Communautés animales des vases médiolittorales en milieu à salinité variable en Atlantique (partie)</p> <p>-Vases médiolittorales en milieu à salinité variable dominées par les polychètes/oligochètes (NatHab-Atl)</p>	<p>Particules fines <63µm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ vaseux. Là aussi, il convient de faire remarquer que la nature anthropisée de nombreuses zones estuariennes entraîne une modification artificielle de la granulométrie par ajout de blocs, de gravats <i>etc...</i> Le point clés est ici l'envasement important. ▪ Forte influence de l'eau douce. Dessalure importante ▪ Peu d'espèces + polychètes et oligochètes. Une des caractéristiques de la faune de ces zones est la disparition des bivalves (notamment <i>S. plana</i>) l'espèce invasive <i>Corbicula fluminea</i>, espèce d'eau douce, peut cependant parfois y être rencontrée. ▪ en amont de MEst dans un estuaire.

Table B : Liste et principales caractéristiques des habitats prise en compte dans l'étude du domaine subtidal

DOMAINE SUBTIDAL			
CODE	NOM	GRANULOMETRIE	CARACTERISTIQUES
SMuVS A5.32 (EUNIS 2012) MB6-25 (EUNIS 2022) B6-4.2 (NatHab-Atl)	-Sublittoral mud in variable salinity. Vase subtidale en milieu à salinité variable (estuaires) -Communautés animales sur vase en milieu à salinité variable ou réduite de l'infralittoral en Atlantique -Vases infralittorales en milieu à salinité variable estuarien	Particules fines et sables fins.	<ul style="list-style-type: none"> ▪Vaseux mais avec une teneur en particules fines extrêmement variable d'une benne à l'autre. ▪Oligochètes et polychètes.
SSaVS A5.22 (EUNIS 2012) MB5-24 (EUNIS 2022) B5-4 (NatHab-Atl)	-Sublittoral sand in variable salinity. Sable mobile infralittoral soumis à des variations de salinité (estuaires) -Communautés animales sur sable de l'infralittoral en milieu à salinité variable en Atlantique -Sables mobiles infralittoraux en milieu à salinité variable	Sables moyens.	<ul style="list-style-type: none"> ▪Habitats sableux ▪Amphipodes, polychètes et mysidacés. ▪Endofaune souvent peu abondante
IMuSa2 A5.24 (EUNIS 2012) MB5-23 (EUNIS 2022) B5-3 (NatHab-Atl)	-Infralittoral muddy-sand. Sable vaseux infralittoral CONDITIONS POLYHALINES -Communautés animales de sable de l'infralittoral en milieu marin en Atlantique -Sables fins envasés infralittoraux	Sables plus ou moins envasés	<ul style="list-style-type: none"> ▪Sédiment sablo-vaseux non cohésif. ▪Polychètes et bivalves. ▪Prolongement des habitats marins en domaine à salinité variable, limité à la partie la moins dessalées des estuaires.
IMuSa1 A5.24 (EUNIS 2012) MB5-23 (EUNIS 2022) B5-3 (NatHab-Atl)	-Infralittoral muddy-sand. Sable vaseux infralittoral CONDITIONS EUHALINES -Communautés animales de sable de l'infralittoral en milieu marin en Atlantique -Sables fins envasés infralittoraux	Sables plus ou moins envasés	<ul style="list-style-type: none"> ▪Sédiment sablo-vaseux non cohésif. ▪Polychètes et bivalves. ▪Habitat de type quasiment marin (ex : Bassin d'Arcachon et autres baies marines).

2. Stratégie et méthode d'échantillonnage

2.1. Période d'échantillonnage

Comme le préconise le protocole de suivi de Garcia *et al.* (2014), l'échantillonnage doit être réalisé entre **début septembre et fin octobre**, lors de la période d'étiage des fleuves. Au vu de la forte influence de la saison sur la richesse spécifique et d'abondance de la macrofaune benthique, il est recommandé d'effectuer les suivis toujours à la même période.

2.2. Stratégie d'échantillonnage

Dans la mesure du possible, il est conseillé d'échantillonner le long du gradient de salinité, en se limitant, en amont, aux zones mésohalines (éviter les secteurs oligohalins en raison de la faible diversité de ces zones et des connaissances insuffisantes de l'écologie des espèces qui y vivent pour les classer de manière fiable dans un groupe écologique AMBI de polluosensibilité/tolérance). Il faut déployer un nombre similaire de stations entre les secteurs soumis aux différents régimes de salinité afin d'éviter, par exemple, de n'avoir qu'une unique station en mésohalin et le reste en euhalin afin que la moyenne finale ne soit pas biaisée et représente un état intégré à l'échelle de l'estuaire.

2.3. Choix des habitats à échantillonner

Dans la mesure du possible, il est recommandé de privilégier l'échantillonnage des habitats envasés même s'ils ne sont pas les plus représentatifs des habitats de la masse d'eau (en intertidal : A2.24, A2.31 et A2.32, dans une moindre mesure A2.23 ; en subtidal : A5.24 (IMuSa1 et IMuSa2 et A5.32) et éviter les habitats sableux témoignant de conditions d'intense hydrodynamisme : A2.22 et A5.32).

2.4. Echantillonnage de la faune

La méthode d'échantillonnage est résumée sur la Figure 2.

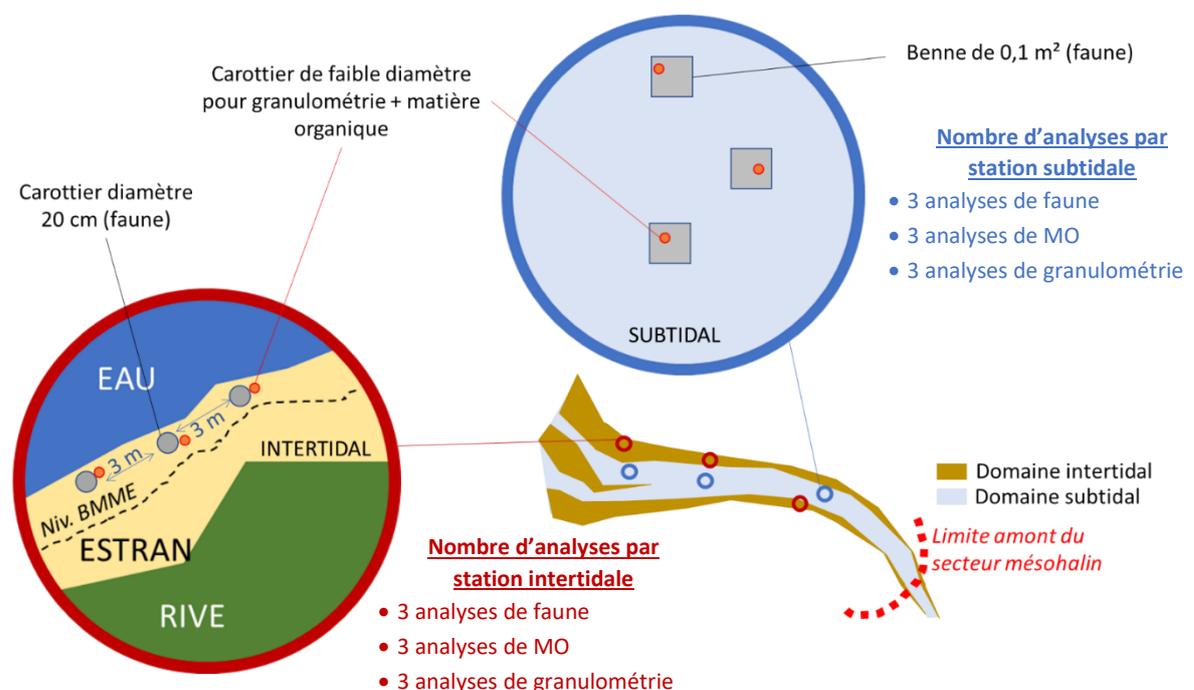


Figure 2 : Figure synthétisant la méthodologie proposée pour la surveillance d'une station en MET estuarienne.

2.4.1. Engins d'échantillonnage

Les engins d'échantillonnage retenus sont les mêmes que ceux adoptés pour la surveillance des eaux côtières.

En domaine intertidal, l'engin d'échantillonnage retenu est donc un carottier cylindrique de diamètre d'environ 20 cm, identique à celui retenu pour la surveillance des eaux côtières (cf Garcia *et al.*, 2014). Il s'agit d'un tuyau PVC disponible dans n'importe quel magasin de bricolage, les dimensions sont standardisées. Celui-ci doit être enfoncé de telle sorte qu'il prélève les 20 premiers centimètres du sédiment. Afin de garantir la sécurité des personnes réalisant l'échantillonnage, il est nécessaire de disposer de « luges » permettant à l'opérateur, le cas échéant, de se dégager de la vase et de transporter le matériel d'échantillonnage (Figure 3). Dans les secteurs les plus difficile d'accès, et en l'absence d'autre possibilité, les carottes peuvent être réalisées dans des échantillons collectés à la benne, en privilégiant les échantillons les moins perturbés par la benne.



Figure 3 : Exemple de Dispositif de sécurité fortement recommandé pour l'évolution dans les vasières

En domaine subtidal, l'engin d'échantillonnage favorisé est une benne de type Van Veen prélevant une surface unitaire de 0,1 m². Le cas échéant cette benne peut être remplacée par un autre modèle de benne prélevant une surface identique (la benne Smith-McIntyre est proposée dans ce cas). Elle peut être également remplacée, lorsque les conditions empêchent l'accès d'embarcations suffisamment large pour la manipulation de ce type de benne, par un dispositif de type « aspiratrice à air comprimé » déployée sur une surface de 0,1 m².

Il est recommandé de ne pas utiliser d'échantillonneurs de plus petite dimension dont le nombre serait multiplié afin d'atteindre, en les cumulant, la surface requise. En effet, ce type d'approche biaise l'évaluation du nombre d'espèce S.

2.4.2. Nombre d'échantillons de faune à collecter

Sur chaque station, il est nécessaire de collecter trois échantillons pour la faune (trois « répliqués »). Les échantillons de faune doivent être collectés en dessous du niveau des basses

mers de mortes-eaux. Les échantillons doivent être espacés les uns les autres d'environ 3 mètres et au minimum d'environ 1 mètre dans les situations d'échantillonnage les plus difficiles.

2.4.3. Type de tamis pour la faune

La maille de tamis à utiliser est une maille de 1mm, soit une maille carrée (1mm de côté) soit une maille ronde (1 mm de diamètre).

2.5. Caractérisation des sédiments

Sur chaque station, trois échantillons supplémentaires doivent être réalisés afin de caractériser la proportion des principales classes granulométriques des sédiments localisés à proximité immédiate de chaque échantillon de faune. **En domaine subtidal**, il est proposé de prélever 1 échantillon de sédiment dans chacune des trois bennes de faune dans une zone de l'échantillon où le sédiment est le moins perturbée possible (soit 3 échantillons de sédiments au total). **En domaine intertidal**, il est demandé de prélever le sédiment en contact chacune des carottes de prélèvement pour la faune (soit 3 échantillons de sédiments au total). Chacun des trois échantillons est, après homogénéisation, divisé en deux sous échantillons l'un pour l'analyse de la teneur en matière organique et l'autre pour l'analyse de la granulométrie.

En domaine intertidal et en domaine subtidal, chaque échantillon destiné à la caractérisation des sédiments consiste en une carotte de faible diamètre enfoncée de 5 cm dans le sédiment permettant d'obtenir un minimum de 100 g de sédiment. La carotte peut être fabriquée à partir d'une seringue de 100 mL tronquée de diamètre compris entre 1,5 et 3 cm de diamètre. Si une seule carotte (enfoncée de 5 cm) ne permet pas d'atteindre les 100g de sédiment requis, deux carottes peuvent être réalisées, puis homogénéisées pour former cet échantillon pour la caractérisation des sédiments. Comme mentionné ci-dessus chaque échantillon est, après homogénéisation, divisé en deux sous échantillons l'un pour l'analyse de la teneur en matière organique (MO) et l'autre pour l'analyse de la granulométrie. Ainsi pour chaque station 3 analyses de MO et 3 analyses de granulométrie doivent être réalisées.

Les méthodes d'analyse pour la granulométrie et la matière organique sont décrites dans Garcia *et al.* (2014).

2.6. Mesures de salinité

Dans la mesure du possible, il serait bon de pouvoir disposer de mesures de salinité en continu pour les différents secteurs de l'estuaire. Lorsqu'il n'existe pas un nombre suffisant de points de mesure de la salinité, il faudrait envisager le déploiement de petites sondes autonomes de mesure de salinité et température localisées en trois points des estuaires surveillés.

En l'absence de tels dispositifs, il est demandé, **pour l'intertidal** de mesurer la salinité de l'eau interstitielle. Si le substrat n'est pas cohésif (sédiment sableux), de l'eau peut être prélevée au fond de la trace laissée par la carotte prélevée pour la faune. Si le sédiment est cohésif (sédiment vaseux), il faut prélever une carotte de 10 cm de profondeur et de 2 cm de diamètre. L'eau et/ou le sédiment prélevés sont ramenés au laboratoire où le niveau de salinité peut être mesuré, après centrifugation, à l'aide d'un réfractomètre avec une précision de l'ordre de 1 % ou d'une sonde de mesure. **En domaine subtidal**, la salinité peut être prise dans l'eau ramenée par la benne. S'il n'y a pas suffisamment d'eau dans la benne, et que le sédiment est cohésif, le sédiment prélevé pour l'analyse granulométrique-soit environ 100 mL- peut être ramené au laboratoire où le niveau de salinité peut être mesuré après centrifugation à l'aide d'un réfractomètre avec une précision de l'ordre de 1 % ou d'une sonde de mesure.

3. Evaluation de l'état écologique

3.1. Indicateur de l'état écologique

L'indicateur retenu pour l'évaluation de l'état écologique est le BEQI-FR, dérivé du BEQI2, méthode proposée par les Pays-Bas. Cet indicateur prend en compte trois métriques (l'indice de diversité de Shannon (H'), le nombre d'espèces (S), l'AZTI Marine Biotic Index (AMBI) pour chacun desquels il calcule un EQR. Il combine les trois EQR en les moyennant afin d'obtenir l'EQR final. La formule de calcul est la suivante :

$$BEQI - FR = \frac{\frac{S_{obs}}{S_{ref}} + \frac{H'_{obs}}{H'_{ref}} + \frac{(AMBI_{obs} - 7)}{(AMBI_{ref} - 7)}}{3}$$

Le BEQI-FR diffère du BEQI2 car il prend en compte des états de références différents. Le BEQI2 ne reconnaît que quatre états de références, en raison de la plus grande homogénéité des types d'estuaires aux Pays-Bas par comparaison avec le territoire français : intertidal mésohalin, intertidal polyhalin, subtidal mésohalin et subtidal polyhalin.

En raison des métriques sur lesquelles il est basé, il est attendu que cet indicateur soit principalement sensible aux conditions de déficits d'oxygénation des fonds, résultants de l'accumulation de matière organique sur les fonds en conséquence de rejets d'effluents organiques ou de phénomènes d'eutrophisation. Son efficacité à détecter d'autres types de pollution reste, à notre avis, à démontrer.

3.2. Exclusion de certains taxa du calcul de l'indicateur

Le BEQI-Fr repose sur différentes métriques et notamment sur l'AMBI. Cette métrique requiert un nettoyage des données taxinomiques avant son emploi en tant que métrique. Il est à noter que l'AMBI est plus fiable et plus robuste sur des sédiments meubles.

Un nettoyage partiel des données doit aussi être effectué pour la métrique H' .

Avant toutes choses, les données doivent être à l'espèce le plus possible afin de mieux assigner les groupes écologiques. Il faut ensuite actualiser les taxa et leurs synonymes à l'aide du WORMS (outil « Match taxa »).

Pour le nettoyage des données, voici quelques préconisations :

- Si des taxa sont nommés en utilisant les suffixes sp1, sp2, etc., les regrouper au genre commun ;
- Enlever toutes les données non faune benthique (poissons, algues...)
- Enlever le méiobenthos ;
- Enlever les juvéniles (si taxon non identifié) ;
- Dès que la salinité du milieu est supérieure à 10, enlever les Insecta ;
- Enlever les taxa de substrats durs (par exemple, Bryozoa, Cnidaria, Porifera, Chordata, Sessilia, Serpulidae, Spirobidae...)
- Enlever les Foraminifera, Oligochaeta ;

- Enlever les hauts niveaux taxonomiques (Bivalvia, Gastropoda, Annelida...). Attention toutefois à conserver les Nemertea ;
- Globalement, il faut également enlever les espèces suprabenthiques (Crangonidae, Cumacea, Mysida, Leptostraca) ;

Pour le calcul du BEQI-Fr, sont à compter quand même dans le calcul de la richesse (mais pas dans H' et AMBI) : Cumacea, Hydrobiidae, Leptostraca, Mysida, Nudibranchia, Platyhelminthes, Polycladophora. Ces taxa ont des effectifs qui peuvent fluctuer énormément d'un échantillon à l'autre (en estuaire) et dont la présence dépendrait des conditions hydrologiques et de l'heure d'échantillonnage.

A noter également que les stations ne sont pas contributives au calcul si : la richesse spécifique est supérieure ou égale à 3 ; les abondances sont supérieures ou égales à 6 et le pourcentage de groupes écologiques non assignés est inférieur à 20%.

L'ensemble de ces taxons, s'il n'entre pas toujours dans le calcul de l'indicateur doit néanmoins être saisi dans Quadrigé² et leur présence indiquée dans les rapports.

3.3. Calcul des métriques de l'indicateur

3.3.1. Calcul de l'AMBI

La valeur d'AMBI_{obs} calculée correspond à la moyenne des valeurs d'AMBI calculées sur chacun des trois échantillons collectés et après « nettoyage » des données comme présenté au paragraphe 3.2 :

$$AMBI_{obs} = 0 \times propGE I + 1,5 \times propGE II + 3 \times propGE III + 4,5 \times propGE IV + 6 \times propGE V$$

Avec $propGE_x$: la proportion de l'abondance totale représentée par les espèces du groupe écologique x (x variant de I, espèces « sensibles » à V, espèces « opportunistes de 1^{er} ordre »).

L'AMBI prend la valeur 7 si le sédiment est dépourvu de macrofaune benthique (Borja *et al.*, 2000).

3.3.2. Calcul de S

Le nombre d'espèces S_{obs} correspond au nombre total de taxons identifiés sur la somme des trois échantillons cumulés.

3.3.3. Calcul de H'

La valeur de H'_{obs} est calculée à partir de la somme des trois échantillons cumulés. La base du logarithme à utiliser est 2 ($\log_2(p_i)$) selon la formule rappelée ci-dessous et après « nettoyage » des données comme présenté au paragraphe 3.2 :

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

3.3.4. Conditions de référence

Les valeurs en condition de référence par habitat sont fournies dans la Table C ci-dessous. A noter qu'il est fait une différence au sein de l'habitat EUNIS A5.24 entre la condition polyhaline et la condition euhaline qui peut être trouvée dans des petites baies classées en MET (ex : Baie de Txingoudy/Bidassoa).

L'exercice d'intercalibration (entres autres) fait appel à des « types » d'estuaires dont les types D, E et F sont trouvés en France. Les valeurs de références sont les mêmes quelle que soit le type d'estuaire. Seuls les seuils d'interprétation de l'EQR final varient en fonction du type d'estuaire.

Table C : Conditions de références pour chaque métrique et chaque habitat. Métriques considérées : AMBI, H' (indice de Shannon), S (nombre d'espèces),

Types d'habitat : MEst : estrans vaseux de la partie moyenne de l'estuaire, UEst : estrans vaseux en amont de l'estuaire, MuSa : sables vaseux intertidaux, FiSa : sables fins intertidaux, SMuVS : vases sublittorales, IMuSa : sables vaseux de la zone subtidale, SSaVS : sables sublittoraux.

Les références proposées sont basées sur une surface de prélèvement de 0,09m² (3 carottiers) pour les habitats intertidaux et de 0,3m² pour les habitats subtidaux (3 bennes).

Méthode	Type de MET	Habitat	Conditions de référence			
			AMBI	H'	S	
BEQI-FR	D/E/F	MEst <i>Polychaetes/bivalves-dominated mid estuarine mud shores EUNIS code A2.31</i>	2,5	2,9	14	
		UEst <i>Polychaetes/oligochaetes-dominated upper estuarine mud shores EUNIS code A2.32</i>	2,8	1,6	8	
		MuSa <i>Polychaetes or bivalves-dominated muddy sand shores EUNIS code A2.24</i>	1,4	3,7	26	
		FiSa <i>Polychaetes or amphipods-dominated fine sand shores EUNIS code A2.23</i>	0,1	2,2	13	
		Subtidal	SMuVS <i>Sublittoral mud in variable salinity EUNIS code A5.32</i>	1,9	2,5	10
			IMuSa2 <i>Infralittoral muddy-sand (conditions polyhaline) EUNIS code A5.24</i>	1,0	3,8	33
			IMuSa1 <i>Infralittoral muddy-sand (conditions euhalines) EUNIS code A5.24</i>	1,0	4,0	58
			SSaVS <i>Sublittoral sand in variable salinity EUNIS code A5.22</i>	0,3	2,7	9

3.3.5. Calcul de l'EQR pour chaque station

Le BEQI-Fr est calculé à la station pour chaque année de suivi. Toutes les valeurs de BEQI-FR supérieures à 1 doivent être ramenées à la valeur 1.

Que faire en l'existence de doute sur l'habitat ? - En cas de doute sur l'habitat de référence, il est proposé de calculer la valeur du BEQI-FR pour les deux habitats et d'utiliser ces deux valeurs comme résultat afin de refléter cette incertitude.

3.3.6. Valeurs seuils de l' EQR

Pour les besoins de l'intercalibration, trois « types » d'estuaires ont dû être distingués :

Type D : « large estuaries ». Dans ce type d'estuaires ont été mis les estuaires qualifiés par Fairbridge (1980) « d'estuaires de plaine côtière » qui correspond à des estuaires avec de longs tributaires qui s'écoulent principalement en zone de plaines et qui charrient une grande quantité de particules fines formant de larges replats vaseux intertidaux. Dans ce type d'estuaire ont été classés, par exemple, l'Aiguillon (Sèvre-Niortaise), la Charente, la Gironde, la Loire et la Seine. Les habitats dominants la surface intertidale sont en général les habitats EUNIS A2.31 et A2.32.

Type E : "Small-Medium estuaries with >50% intertidal areas". Dans ce type ont été classés les estuaires des baies hypertidales telles l'Orne ou la baie de Somme.

Type F : "Small-Medium estuaries with <50% intertidal areas". Dans ce type ont été classées les estuaires de type Ria, caractérisées par des tributaires courts et des écoulements pouvant être importants mais brefs (ex : Belon, Bidassoa, Trieux).

Les valeurs seuils ont été modifiés suite au dernier rapport d'intercalibration et son acceptation par l'UE (Fouet *et al.*, 2021). Elles sont présentées en Table D.

Table D : Seuils intercalibrés selon la version acceptée du rapport d'intercalibration pour l'interprétation de l'EQR en termes de classe de qualité écologique.

Seules les limites entre les classes High/Good et Good/Moderate sont fournies. Les autres seuils sont similaires quels que soient les types : Moderate/Poor : 0.4, Poor/Bad : 0.2.

Seuils de l'EQR du BEQI-FR					
	High	Good	Moderate	Poor	Bad
TYPE D grand estuaire (estuaire de plaine côtière)	]1-0,86]	]0,86-0,67]	]0,67-0,40]	]0,40-0,20]	]0,20-0]
TYPE E estuaire petit à moyen à vaste zone intertidale (typiquement baies et estuaires en zone à régime hypertidal et macrotidal)	]1-0,84]	]0,84-0,62]	]0,62-0,40]	]0,40-0,20]	]0,20-0]
TYPE F estuaire petit à moyen à zone intertidale réduite (typiquement ria et estuaires en zone à régime mésotidal et microtidal)	]1-0,86]	]0,86-0,67]	]0,67-0,40]	]0,40-0,20]	]0,20-0]

Références bibliographiques

Borja A, Franco J, Pérez V (2000) A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within european estuarine and coastal environments. *Marine Pollution Bulletin* 40 (12) p 1100-1114

Garcia A, Desroy N, Mao P Le, 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, Dinard

Gruet Y (1998) L'estuaire de la Charente : données actuelles et associations écologiques. In: Laporte L (ed) L'estuaire de la Charente de la protohistoire au Moyen Age, Editions d. Paris, p 175–210.

Fouet M, Blanchet H, Leconte M, David V & Lepage M (2018) Sélection d'un indicateur DCE « faune benthique invertébrée » adapté aux estuaires -Rapport final. Rapport Université de Bordeaux/UMR EPOC et IRSTEA. 77 pages

Fouet M, Blanchet H & Lepage M (2021) Intercalibration of biological elements for French transitional water bodies: benthic invertebrates - Revised version-October 2021- Rapport d'intercalibration DCE. 39 pages