



GRUPE D'ETUDES ET D'OBSERVATION
SUR LES DRAGAGES ET L'ENVIRONNEMENT



avec la collaboration du MEDDE

Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion

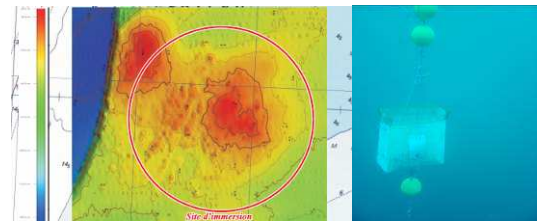
**Annexe 4 : Méthodes de suivi -
Propositions de protocoles détaillés et
de liens vers d'autres sources
méthodologiques**

Décembre 2012





GEODE



Guide rédigé par

 **egis eau**

En association avec

COPRAMEX




Sommaire

Fiche n°1A : Bathymétrie - Topographie.....	6
Fiche n°1B : Morpho-sédimentologie.....	9
Fiche n°2A : Courantologie.....	11
Fiche n°2B : Erosion – Engraissement / Géomorphologie.....	13
Fiche n°3 : Qualité des sédiments.....	16
Fiche n°4 : Qualité des eaux.....	20
Fiche n°5 : Bio-indicateurs.....	26
Fiche n°6 : Organismes phytoplanctoniques.....	29
Fiche n°7: Organismes benthiques.....	32
Fiche n°8 : Flore aquatique.....	41
Fiche n°9 : Algues.....	46
Fiche n°10: Flore rivulaire.....	51
Fiche n°11 : Ichtyofaune et espèces d'intérêt halieutique.....	53
Fiche n°12 : Avifaune.....	57
Fiche n°13 : Mammifères marins.....	60
Fiche n°14A : Qualité microbiologique de coquillages d'élevage.....	64
Fiche n°14B : Qualité chimique de coquillages d'élevage.....	67

Liste des figures

Figure 1 : Schémas de fonctionnement des sondeurs monofaisceau et multifaisceaux (<i>source : SHOM</i>).....	7
Figure 2 : Mode de fonctionnement du sonar à balayage latéral.....	10
Figure 3 : Exemple de différentiel de sondage sur le site d'immersion de la Lambarde (<i>Source : GPMNSN</i>).....	13
Figure 4 : Benne Van Veen.....	17
Figure 5: Positions de stations de suivis (Suivi des impacts des clapages dans le bassin Mirabeau – GPMM 2005).....	22
Figure 6 : Variations des turbidités au droit d'un clapage en deçà d'une membrane géotextile en surface et au fond (Suivi des clapages dans le bassin Mirabeau – GPMM 2005).....	23
Figure 7 : Illustration du principe méthodologique du RINBIO.....	28
Figure 8 : d'après Hermand, 2008: trois indices biotiques utilisés pour décrire l'évolution temporelle de 3 stations. SLT Fos et SLT Rhône étaient 2 stations « témoins » et PA était située dans la zone de clapage des sédiments de FOS 2XL ($6,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ clapés sur $7,2 \text{ km}^2$ en 6 mois en 2003).....	34
Figure 9 : Variation temporelle des fréquences des groupes d'espèces (%) dans le cas du suivi de la zone d'immersion de Fos 2XL. D'après Hermand, 2008.	35
Figure 10 : Schéma explicatif de l'hypothèse sous-jacente à la diminution de la distance entre une station dans la zone d'immersion (A) et un point de référence (Ref) A-Ref (dA-Ref). Si la dA-Ref diminue, elle peut être due au rapprochement du peuplement de A vers celui de Ref, de l'inverse ou encore de la variation concomitante des deux l'un vers l'autre.....	39
Figure 11: Exemple de plan d'échantillonnage selon la méthode REMMOA à partir d'un avion. En rouge, le tracé que doit suivre l'avion (Van Canneyt et al., 2009).	58
Figure 12 : Seuils microbiologiques fixés par la réglementation fixant les prescriptions de commercialisation des produits conchyliques.....	65



Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes de toxicité établies par GEODE	19
Tableau 2 : Liste des espèces marines benthiques protégées. Arrêté du 20 décembre 2004.....	33
Tableau 3 : Grille d'évaluation de l'état écologique des peuplements benthiques.	34
Tableau 4 : Estimations des coûts de suivi des peuplements benthiques selon plusieurs scénarios : 10 ou 5 stations selon 3 protocoles différant par la fréquence d'échantillonnage, la précision de la détermination	40
Tableau 5 : Réglementation en vigueur concernant la protection de la flore aquatique	41
Tableau 6 : Interprétation de la vitalité de l'herbier (tendance à la progression) en fonction des pourcentages de recouvrement moyens mesures ou estimés le long du balisage en limite supérieure d'herbier.....	43
Tableau 7 : Liste des espèces souvent liées aux herbiers marins ou estuariens	44
Tableau 8 : Estimations des coûts de suivi de la flore aquatique	45
Tableau 9 : Réglementation en vigueur concernant la protection des algues.....	46
Tableau 10 : Estimation du coût de suivi des algues.....	49
Tableau 11 : Réglementation en vigueur concernant la protection des peuplements piscicoles	53
Tableau 12 : Exemple de descripteurs de l'état des peuplements halieutiques.....	55
Tableau 13 : Estimation des coûts d'un suivi des peuplements halieutiques.....	56
Tableau 14 : Législation en vigueur sur la protection des mammifères marins et leur habitat.....	60
Tableau 15 : Estimation des coûts de suivi de l'avifaune.....	63
Tableau 16 : Seuils réglementaires de contamination de produits conchylicoles à destination de la consommation humaine.....	69



Fiche n°1A : Bathymétrie - Topographie

OBJECTIFS

- Connaître l'altimétrie de la zone observée (à un instant donné)
- Suivre l'évolution de cette altimétrie dans le temps. Les variations observées peuvent être corrélées avec le transport des matériaux : érosion / dispersion ou engraissement / accumulation (fiche 2B).
- Vérifier l'adéquation entre la localisation des dépôts et les périmètres prévus à cet effet

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

- **Période d'échantillonnage** : les variations marégraphiques doivent être prises en compte. Afin de rapporter les mesures au zéro hydrographique, la correction doit être réalisée à l'aide de la marée observée, généralement disponible dans le port le plus proche, en tenant éventuellement compte de corrections d'heure et de hauteur. La mise en œuvre d'un marégraphe pendant l'opération est conseillée.
- **Fréquence d'échantillonnage** : la période de réalisation du levé bathymétrique dépend de l'évolution bathymétrique de la zone et de l'objectif de suivi. Sur les zones de dragage, l'objectif d'assurer un tirant d'eau suffisant pour la sécurité des navires peut nécessiter des levés de fréquence annuelle, mensuelle voire hebdomadaire sur les zones les plus sensibles. Sur les zones d'immersion, le suivi de l'évolution des dépôts effectué dans une logique de bilan par comparaison de profils, repose généralement sur un échantillonnage de référence puis des relevés annuels.
- **Répartition spatiale et précision des levés** : ces paramètres varient en fonction de l'objectif des levés. Les préconisations de précision verticale et horizontale, de densité de points levés ou encore d'écartement maximal entre les profils de bathymétrie sont fonction de la sécurité de navigation nécessaire. Les recommandations pour la conduite d'un levé bathymétrique réalisé dans le domaine portuaire, côtier ou fluvial faites par l'association DALI font par ailleurs un parallèle entre ces préconisations applicables aux zones de navigation et le suivi des zones de dépôt.

METHODES D'ACQUISITION

Des normes hydrographiques ont été élaborées par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI) afin de définir les exigences de qualité et de précision de relevés bathymétrique. Voir la norme OHI PS 44. (http://www.shom.fr/fr_page/fr_act_acquisition/smf/normes.htm)

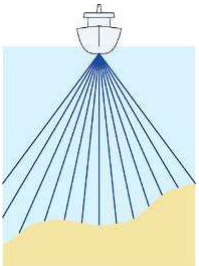
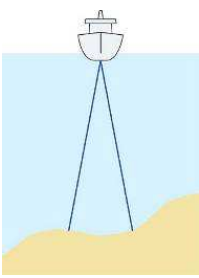


Figure 1 :
Schémas de
fonctionnement
des sondeurs
monofaisceau et
multifaisceaux
(source : SHOM)

La profondeur des fonds se mesure le plus souvent par le biais de **sondeurs bathymétriques** parmi lesquels on distingue les sondeurs **monofaisceau** et les **sondeurs multifaisceaux**.

Le principe de fonctionnement d'un sondeur monofaisceau est simple : un signal acoustique est émis et réfléchi par le fond. Le temps de retour de l'écho permet de définir la profondeur minimale entre le sondeur et le fond. Ils émettent un faisceau d'ondes compris entre 15 et 30°. Ils ne mesurent donc la profondeur des fonds qu'à la verticale du navire le long de la route suivie. La cartographie est alors réalisée à partir de bandes régulièrement espacées d'une centaine de mètres, obtenues grâce à de nombreux passages du bateau.

Le sondeur multifaisceaux, quant à lui, mesure simultanément la profondeur selon plusieurs directions, déterminées par les faisceaux de réception du système. On explore ainsi le fond sur une large bande, avec une très grande résolution. Ils permettent, eux, de couvrir bien plus aisément la totalité des fonds marins. Comme leur nom l'indique, ils émettent plusieurs faisceaux (d'une dizaine à plusieurs centaines), dans plusieurs directions. L'angle couvert peut aller de 90 à 150°.

La fréquence acoustique détermine notamment la portée du sondeur et la résolution spatiale, d'autant meilleure que la fréquence est élevée. Pour les petits fonds des zones littorales, les fréquences employées se situent généralement entre 200 et 400 kHz. Pour ces petits fonds, un levé bathymétrique nécessite en principe l'observation de la marée au voisinage de la zone de levé. L'emploi du GPS en mode cinématique, qui fournit une altitude très précise, permet éventuellement de s'affranchir de l'installation d'un marégraphe.

Au-delà des relevés topographiques du relief des fonds (bathymétrie), ce système d'investigation permet également d'obtenir des images sonar présentant la réflectivité locale du fond et donc sa nature (Fiche n°2). Les caractéristiques morfo-sédimentaires d'un secteur peuvent donc être rapidement obtenues avec ce type de système.

Les vedettes de levé bathymétrique doivent embarquer un module GPS ou tout autre matériel de positionnement (donne le t, X, Y, Z brut). La précision du positionnement est un élément particulièrement important pour la comparaison des levés d'une campagne à une autre sur les zones de dragage et de dépôt.

La liaison des levés avec un marégraphe ou tout autre matériel permettant de connaître la marée est indispensable pour pouvoir corriger, en lien avec le GPS, la variation de la hauteur d'eau par rapport à la cote marine.

Une centrale d'altitude permet enfin de corriger les résultats par rapport aux mouvements de la vedette.

METHODES D'ANALYSE

En bathymétrie, le traitement des données recueillies dépend de l'objectif du levé (par exemple recherche du point le plus haut, du point le plus bas ou de profondeurs relatives moyennes).

Un logiciel d'acquisition des données mesurées, de traitement et de modélisation numérique du terrain permet d'exploiter les relevés. Ils sont retranscrits sous format cartographique à une échelle de précision variable en fonction des outils de levé et des objectifs du suivi.



INTERPRETATION DES RESULTATS

L'évolution des fonds est évaluée par comparaison des profils bathymétriques. L'analyse de l'évolution des isobathes et de la profondeur moyenne des fonds permet de distinguer et de localiser les impacts causés par les dragages et les immersions à plus ou moins long terme.

Comme pour toute mesure, les levés bathymétriques présentent une marge d'erreur qui doit être considérée lors de l'interprétation des résultats. Trois paramètres doivent à ce titre être pris en compte :

- **La précision des levés** (l'application des normes internationales assure une précision minimale de +/- 0,5% de la hauteur d'eau) ;
- **La profondeur d'immersion** qui influence la hauteur globale d'incertitude ;
- **L'épaisseur attendue** de matériaux immergés au regard du volume et de la surface de clapage.

Une incertitude de levé plus importante que l'épaisseur attendue de dépôt empêche toute conclusion pertinente sur l'évolution des fonds. Cette limite doit donc être particulièrement prise en compte pour les clapages profonds ainsi que les clapages de petits volumes sur de vastes superficies.

ESTIMATION DES COÛTS

Les coûts varient en fonction de la surface de la zone à prospector, de la durée des suivis et de la fréquence des campagnes à la mer.

L'ordre de grandeur des coûts d'un suivi par analyse des fonds au sonar latéral peut être évalué come suit :

- Mobilisation d'un sonar : 1 000 à 2 000 €/jour
- Mobilisation d'un navire : 1 000 à plus de 6 000 €/jour
- Mobilisation de l'équipe technique : de 2 000 à 5 000 €/jour
- Traitement et interprétation des données : 1 000 à 2 500 € par campagne

ORGANISMES RESSOURCES

⇒ Organisme public de référence

SHOM
(Service Hydrographique et Océanologique de la
Marine)
13 rue du Châtelier
BP 426
29275 BREST Cedex
<http://www.shom.fr/>

⇒ Experts

- Les services hydrographiques des ports.
- Les membres de l'association APHY (Association pour la promotion de l'Hydrographie) : il s'agit des services hydrographiques du Ministère de l'environnement et des grands ports maritimes.

REFERENCES UTILES / BIBLIOGRAPHIE

Le site internet du SHOM : <http://www.shom.fr/>

L'Organisation Hydrographique Internationale :
<http://www.ohi-shom.fr/>

Recommandations pour un levé bathymétrique :

<http://www.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/projets/simulexploit/aphy/>

http://www.cetmef.developpementdurable.gouv.fr/projets/simulexploit/aphy/Dali_Recommandations_finale.pdf

Suivi environnemental des aménagements portuaires et littoraux, CETMEF, 2011



Fiche n°1B : Morpho-sédimentologie

OBJECTIFS

- Connaître les caractéristiques de nature et de forme du fond.
- Apprécier l'évolution de ces caractéristiques suite à l'enlèvement de sédiments par dragage ou au dépôt de sédiments par immersion.

REGLEMENTATION

Aucune réglementation spécifique

PARAMETRES A MESURER

- Coefficients de rétrodiffusion des fonds
- Caractéristiques granulométriques des fonds

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

- **Période** : le levé morphosédimentaire doit généralement être réalisé en même temps que le levé bathymétrique.
- **Fréquence d'échantillonnage** : la période de réalisation du levé par sonar dépend de l'objectif des suivis. Dans la mesure où ils reposent sur la comparaison de profils dans une logique d'analyse différentielle, la fréquence est à choisir en fonction du pas de temps de comparaison souhaité. Elle est généralement d'ordre annuel.
- **Répartition géographique des levés** : l'espacement des routes (profils) devra permettre d'avoir un recouvrement des sonogrammes significatif, de l'ordre de 10 %, entre deux passages voisins pour s'assurer de l'exhaustivité de la couverture « sonar » dans le périmètre.

METHODES D'ACQUISITION

Les méthodes d'acquisition peuvent différer d'un opérateur à un autre et aucune norme n'est aujourd'hui établie pour ce type de levé.

L'utilisation du Sonar Latéral est généralement préconisée pour la réalisation de la cartographie morpho-sédimentaires des fonds marins. Il s'agit d'un système acoustique de haute définition (submétrique) qui fournit une image en continue et en niveau de gris du fond marin. Ce type de sonar permet d'insonifier à différentes fréquences, et perpendiculairement à la route du navire, une bande constante de 50 m à 1 000 m de largeur en fonction de la profondeur.

Le **sonar à balayage latéral** (side-scan sonar) est un émetteur-récepteur d'ultrasons, remorqué par un navire. Deux transducteurs, montés sur un corps fuselé appelé communément "poisson", émettent des ondes de haute fréquence et de courte durée d'impulsion. L'écho est rétro diffusé avec une intensité variable selon la nature et la morphologie des fonds, puis il est capté par les transducteurs et transmis à des enregistreurs.

L'énergie de retour est fonction de la réflectivité du fond, de ses irrégularités. Elle combine un effet de surface du fond (micro-topographie, rugosité, ...) et un effet de volume lié à la granulométrie et qui est par conséquent sensible au degré de porosité ou de compaction du sédiment. Ce deuxième effet disparaît avec l'utilisation de très hautes fréquences (500 kHz).

L'émission d'ondes à intervalles réguliers, au fur et à mesure de l'avancement du bateau, permet une transcription sous forme d'image continue du fond en différents niveaux de gris.

Classiquement, un enregistrement clair traduit un sédiment meuble (vase), de granulométrie fine, tandis qu'un enregistrement foncé traduit un substrat dur, de granulométrie plus grossière.

Ce levé peut être utilement complété par des **prélèvements de sédiment** à la benne (voir § 3) permettant d'associer à chaque faciès acoustique, détecté par le sonar à balayage latéral, une nature lithologique et une classe granulométrique.

L'implantation des points de prélèvement, à l'intérieur et à l'extérieur du périmètre, sera déterminée après le dépouillement et l'examen de la mosaïque d'images "sonar".

Des points localisés à l'extérieur du périmètre serviront de stations témoins, à des fins comparatives, pour le suivi ultérieur.

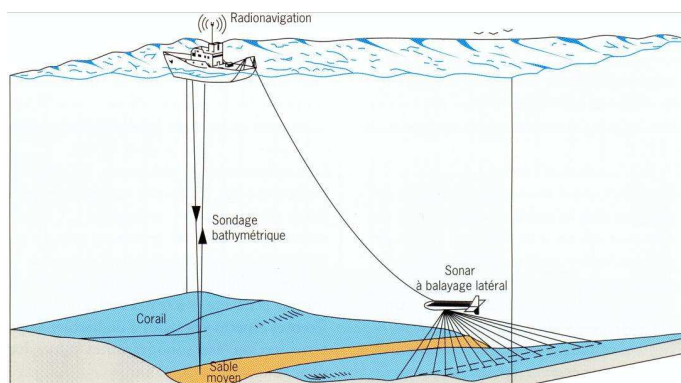


Figure 2 : Mode de fonctionnement du sonar à balayage latéral

INTERPRETATION DES RESULTATS

Une carte morpho-sédimentaire permet d'apprécier la répartition et la nature des formations superficielles (vase, sable, roche, etc.). L'évolution des fonds est évaluée par comparaison des profils entre eux. La morphologie associée à ces formations (mégarides, rubans, trainées, ...) permet d'évaluer la mobilité des sédiments. Les analyses sédimentaires complémentaires permettent d'apprécier l'évolution des faciès liée au dépôt ou au dragage (ensablement de la zone, mise à nu de couches sédimentaires différentes) à court et à long terme.

L'interprétation des résultats doit tenir compte d'autres facteurs d'influence potentiels tels que l'évolution naturelle des fonds en fonction des conditions hydro-sédimentaires locales, ou la présence d'autres activités susceptibles de modifier les fonds (pêche aux arts trainants par exemple).

ESTIMATION DES COÛTS

Les coûts varient en fonction de la surface de la zone à prospector, de la durée des suivis et de la fréquence des campagnes à la mer.

L'ordre de grandeur des coûts d'un suivi par analyse des fonds au sonar latéral peut être évalué comme suit :

- Mobilisation d'un sonar : 500 à 1 000 €/jour
- Mobilisation d'un navire : 1 000 à plus de 6 000 €/jour
- Mobilisation de l'équipe technique : de 2 000 à 5 000 €/jour
- Traitement et interprétation des données : 1 000 à 2 500 € par campagne



Fiche n°2A : Courantologie

OBJECTIFS

- Evaluer l'incidence de l'opération sur la vitesse et la direction des courants dans les zones où ces modifications seraient dommageables à l'environnement
- Le suivi des conditions hydrodynamiques participe à la compréhension de l'ensemble des phénomènes physiques et biologiques dans la zone impactée, puisque les courants régissent les conditions de sédimentation, apportent les nutriments pour la faune, et conditionnent la colonisation des milieux par la faune et la flore.

REGLEMENTATION

Aucune réglementation spécifique

PARAMETRES A MESURER

Vitesse et direction des courants à un niveau donné : au fond ou en surface par exemple.

Vitesse et direction des courants : moyennées sur la verticale.

Profil vertical des vitesses et de la direction des courants.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➤ **Période d'échantillonnage** : elle dépend des objectifs de résultat du suivi. Des situations discriminantes pourront être privilégiées pour caractériser les cas « extrêmes » :

- Pour caractériser les situations de forte courantologie, les périodes de grandes marées (coefficient supérieur à 95) discriminent mieux les situations de flot et de jusant, notamment par rapport à la crue et à l'étiage dans le cas des estuaires. En Méditerranée, les périodes à vent fort seront privilégiées, couplées à des périodes de crue pour les zones estuariennes.
- La caractérisation des situations de faible courantologie (faible marnage, vent faible, débit d'étiage) pourra s'avérer utile pour vérifier l'impact sur les courants les plus faibles et obtenir une image de la courantologie moyenne en utilisant les mesures de forte courantologie.

➤ **Fréquence d'échantillonnage** : pour les mers à marée, il est utile de couvrir un cycle de marée complet, avec une mesure en étiage et une mesure en crue pour les estuaires.

➤ **Choix des stations de mesure** : il dépend du site et des enjeux écologiques et d'usages. Les stations seront situées dans les zones où l'opération crée un risque de modifications dommageables pour l'environnement. Le nombre de stations dépendra des objectifs de précision des données.

METHODES D'ACQUISITION ET D'ANALYSES

Des mesures effectuées in situ permettent d'alimenter des modèles courantologiques représentatifs de zones plus larges. Les mesures *in situ* sont :

- soit des mesures ponctuelles effectuées avec un courantomètre, qui peut être soit fixé soit tracté dans la zone de suivi par un bateau ;
- soit des mesures de profils à l'aide d'un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler).



On distingue deux types de modèles. Les modèles bidimensionnels (TELEMAC 2D, Mike 21 HD, ...) permettent de modéliser les champs de vitesse 2D (vitesse moyenne sur la verticale). Les modèles tridimensionnels (TELEMAC 3D, MIKE 3D, ...) permettent de modéliser les champs de vitesse 3D (profils).

A noter que pour caler les modèles, des données d'entrée complémentaires aux mesures de courantologie sont souhaitables. Il s'agit de mesures de vent, de marée et de houle et des gradients de salinité pour les estuaires.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Au-delà d'une comparaison de situation avant / après travaux renseignant sur la perturbation même de la courantologie, les résultats peuvent également servir à la compréhension des évolutions locales de l'environnement. Dans ce cadre, les résultats seront comparés à un seuil de modification supportable de l'environnement local qui doit être fixé dès le départ en fonction :

- des enjeux du site (habitats spécifiques, tourisme, zone de pêche ou d'élevage) ;
- des capacités naturelles d'adaptation du site aux modifications engendrées par l'opération (capacité du milieu à atteindre un nouvel équilibre à moyen terme).

ORGANISMES RESSOURCES

➔ Organisme public de référence

SHOM
(Service Hydrographique et Océanologique de la
Marine)
13 rue du Châtelier
BP 426
29275 BREST Cedex
<http://www.shom.fr/>

REFERENCES UTILES / BIBLIOGRAPHIE

Suivi environnemental des aménagements
portuaires et littoraux, CETMEF, 2011
Prévimer : <http://www.previmer.org/>
SHOM : « Courants de marée et hauteurs d'eau »
(Plusieurs fascicules sur la façade atlantique)

Fiche n°2B : Erosion – Engraissement / Géomorphologie

OBJECTIFS

- Suivre l'évolution des dépôts sur les sites d'immersion et l'évolution des chenaux, des bassins ou des souilles sur les zones de dragage.
- Evaluer l'incidence du projet sur l'érosion des côtes sableuses de la zone impactée (milieu marin)
- Evaluer l'incidence du projet sur l'érosion des berges de la zone impactée (estuaire)

REGLEMENTATION

Aucune réglementation spécifique

PARAMETRES A MESURER

- Altimétrie de la zone observée à un instant donné (Fiche 1A)
- Position du trait de côte
- Position des berges
- Granulométrie (Fiche n°3)

EROSION / ENGRAISSEMENT SUR LES ZONES D'IMMERSION OU DE DRAGAGE

Ce suivi repose le plus généralement sur la comparaison de données bathymétriques dont le protocole figure en fiche 1A. L'analyse des données permet en effet le calcul de cubatures et de débits sédimentaires par comparaison différentielle de campagnes successives. Les objectifs sont l'évaluation des volumes de sédiments à évacuer pour les sites de dragage ou l'analyse de l'évolution des dépôts pour les sites d'immersion. Dans cette logique, les références des coordonnées et des altitudes sont très importantes pour pouvoir comparer efficacement des levés entre eux. La norme est la référence au Lambert 93.

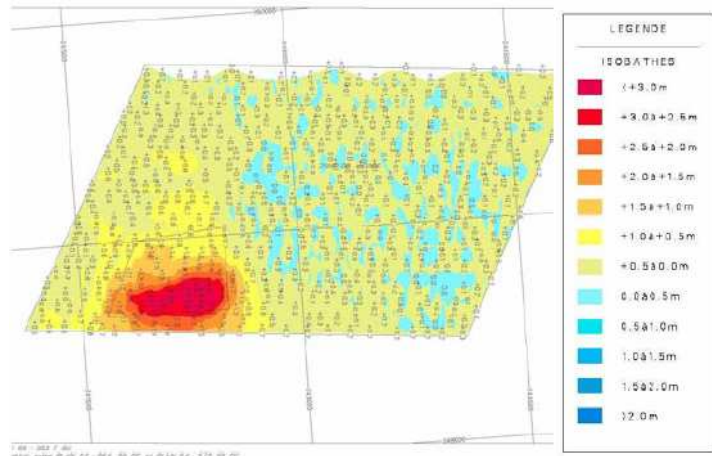


Figure 3 : Exemple de différentiel de sondage sur le site d'immersion de la Lambarde (Source : GPMNSN)

On notera que dans certaines configurations (bathymétrie importante, dépôts de faible épaisseur), la variation d'altimétrie constatée d'une campagne à une autre peut être inférieure à la marge d'erreur inhérente au relevé. Dans ce cas, les conclusions pouvant être tirées d'un tel suivi sont limitées et doivent être présentées avec précaution.



POSITION DU TRAIT DE COTE / PROFILS DE PLAGE

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

- **Période d'échantillonnage** : pour les mers à marée, avant les grandes marées d'équinoxe d'automne (1^{ère} quinzaine de septembre) et après les grandes marées d'équinoxe de printemps (en avril). Les périodes doivent être les mêmes à quelques jours près d'une année sur l'autre pour que les données soient comparables.
- **Fréquence d'échantillonnage** : deux levés par an et un après tempête (conditions météorologiques exceptionnelles).
- **Durée d'échantillonnage** : cinq ans. L'analyse des résultats sur ces cinq années permettra de définir s'il faut poursuivre ou non les suivis.
- **Choix des stations de prélèvement** : les profils sont effectués sur les grèves sableuses susceptibles d'être modifiées par les opérations. Deux profils sont à réaliser parallèlement à la plage, un en pied de dune (ou limite référente de la grève) et un en laisse de mer.

METHODES D'ACQUISITION

Le suivi de l'érosion du trait de côte à cette échelle se fait essentiellement par levés terrestres par géomètre. Le choix entre ces deux techniques dépend essentiellement de l'échelle de suivi retenue.

METHODES D'ANALYSE

Les relevés topographiques donnent lieu à la réalisation de cartes topographiques et de cartes topographiques différentielles.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les cartes différentielles de topographie d'une campagne à une autre permettent de suivre l'évolution du trait de côte et du profil des plages.



POSITION DES BERGES

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➔ **Période d'échantillonnage** : la géomorphologie des cours d'eau évoluant principalement en période de crue, ces épisodes mériteront un suivi particulier.

➔ **Choix des stations de prélèvement** : pour la réalisation de profils, leur localisation pourra être régulière ou irrégulière pour tenir compte de particularités locales.

METHODES D'ACQUISITION

Le suivi de l'érosion des berges d'un cours d'eau fait le plus souvent appel à des méthodes de levés topographiques classiques : levés terrestres par géomètre ou analyse par photographies aériennes. Le choix entre ces deux techniques dépend essentiellement de l'échelle de suivi retenue. La première méthode est plutôt utilisée pour des petites surfaces levées avec une forte précision, la seconde pour les grands espaces étudiés globalement.

METHODES D'ANALYSE

Les relevés topographiques donneront lieu à la réalisation de cartes topographiques et de cartes topographiques différentielles.

INTERPRETATION DES RESULTATS

La réalisation de cartes différentielles de topographie d'une campagne à une autre permet de suivre l'évolution du trait de côte et du profil des plages. La réalisation de cartes différentielles permet de calculer des indicateurs tels que des taux d'érosion de berges (en mètres ou en hectares érodés par kilomètre de rivière par an par exemple).



Fiche n°3 : Qualité des sédiments

OBJECTIFS

- Evaluer l'état de contamination des matériaux à draguer avant travaux,
- Evaluer l'état de contamination de référence des sédiments en place sur le site d'immersion avant travaux,
- Evaluer l'évolution de la contamination des matériaux au niveau du site d'immersion après travaux.

REGLEMENTATION

Les textes réglementaires portent exclusivement sur la connaissance de la qualité des matériaux à draguer. Dans le cas de clapages dans le milieu récepteur, il est demandé par les services de l'état d'avoir une connaissance de la qualité des matériaux en place dans la zone. Ceci est réalisé lors de la demande d'autorisation pour les immersions et ces mesures sont reproduites au fur et à mesure des phases de clapages.

Lorsque ceux-ci sont explicités et inclus dans les arrêtés préfectoraux, les suivis sont principalement décrits pour les zones d'immersion et prennent en compte les sites présentant des sensibilités environnementales (espèces ou habitats remarquables) ou d'usages (cultures marines, ...). Ceci est dû au fait que ces zones reçoivent des sédiments pouvant être dragués en différents points et qu'il est porté une grande attention à la conservation d'un état environnemental dans ces zones ouvertes plus difficiles à investiguer de par leur situation et principalement leurs profondeurs.

- **Internationale** : Convention OSPAR
- **Communautaire** : Directive 2008/56/CE du 17 juin 2008 (Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin) / respect des normes DCE et Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007 NQE
- **Française** : arrêté du 09 août 2006 complété par l'arrêté du 23 décembre 2009, relatif aux niveaux à prendre en compte lors d'une analyse de rejets dans les eaux de surface ou de sédiments marins, estuariens ou extraits de cours d'eau ou canaux relevant respectivement des rubriques 2.2.3.0, 4.1.3.0 et 3.2.1.0 de la nomenclature annexée au décret n° 93-743 du 29 mars 1993. Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par arrêté interministériel.

Les laboratoires d'analyse des échantillons doivent par ailleurs être agréés par le Ministère en charge de l'Environnement. A ce titre, les laboratoires ont obligation d'être accrédités et de fournir les normes mises en application lors de ces dosages. Nous ne donnons donc pas d'indications sur les normes analytiques, ni à suivre, ni à préconiser, car la mise en œuvre d'une méthodologie autre permettant d'obtenir des résultats dont la validité est prouvée, est conforme à la réglementation (CF. norme 17025). Toutefois, il convient aux maîtres d'ouvrage de vérifier que l'application de la méthode est validée par rapport aux matrices analysées et leurs spécificités locales.

PARAMETRES A MESURER

Le suivi de la qualité des matériaux en place dans les zones d'immersion, initialement ou à la suite de clapages, porte actuellement sur les paramètres qui sont dosés dans les sédiments à draguer lors de l'élaboration du dossier réglementaire. Ceux-ci correspondent aux paramètres qui sont cités dans les arrêtés du 09 août 2006 et du 23 décembre 2009 :

- **Caractéristiques physiques** : granulométrie, % de matières sèches, densité, teneur en aluminium, Carbone Organique Total (COT).
- **Métaux lourds** : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc ;
- **PCB** : totaux, congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
- **TBT et produits de sa dégradation**
- **HAP**
- **Nutriments (N, P)** (*facultatif*)
- **Microbiologie** (*facultatif*)

On rappelle que la DCE impose, pour atteindre le bon état chimique des eaux, le respect des normes de qualité environnementales (NQE) pour une liste donnée de substances (Article 2, alinéa 24 de la DCE et Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007, NQE). Dans cette optique, en cas de suspicion d'une pollution spécifique pour une de ces substances, des analyses complémentaires pour certains de ces paramètres peuvent être envisagés.

Par ailleurs, il convient de porter une attention particulière aux **caractéristiques microbiologiques** des matériaux, et ceci principalement pour les dragages et les immersions fluviales, opérations durant lesquelles les variations de conditions des milieux (pression osmotique et température par exemple) ne sont pas suffisantes pour diminuer de manière performante les teneurs en agents pathogènes présents.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Le nombre de stations doit être en adéquation avec les surfaces mises en jeu et les volumes apportés ou dragués. La zone est, en général, constituée de plusieurs sous-zones qui permettent de répartir l'effort d'immersion afin de ne pas générer de surépaisseurs qui peuvent être pénalisantes en modifiant de façon drastique la topologie du fond et en retardant ainsi la recolonisation par les espèces enfouies.

Le positionnement de stations dans et à l'extérieur de la zone d'immersion permet de vérifier les localisations des immersions et ainsi la conservation des conditions de courantologie établies lors de l'étude du site.

METHODES DE PRELEVEMENT

Des prélèvements à l'aide de bennes preneuses dont le fonctionnement permet de limiter, voire de supprimer, le lessivage à la remontée, sont suffisants pour réaliser un suivi et évaluer les éventuels impacts. De nombreuses bennes existent sur le marché, la benne « Van Veen », paraît être préférentiellement utilisée.



Figure 4 : Benne Van Veen



INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans le cas du suivi d'une zone d'immersion, on ne peut à proprement pas parler d'indicateurs de résultats mais plus pragmatiquement de résultats comparés et de tendances.

Lors des clapages, les matériaux amènent au milieu récepteur des fractions minérales; ainsi que des nutriments, de la matière organique et des espèces animales et algales. On note, dans ces conditions, un enrichissement qui profite, dans une certaine mesure, à la faune pélagique et benthique. Mais aussi la mise en évidence d'un phénomène d'enfouissement des espèces présentes.

ESTIMATION DES COÛTS

Les suivis des zones de clapage représentent des budgets importants. Ceci en raison des positions des sites en milieux ouverts et généralement éloignés des côtes et des moyens à mettre en œuvre pour les investigations.

Les prélèvements par benne doivent être réalisés à partir d'une embarcation sur laquelle toutes les conditions sont réunies pour avoir la sécurité et le confort nécessaires à ces missions. On évalue une mission de ce type pour un montant de 3 000 à 4 500 € par jour en fonction de la taille du bateau, comprenant le matériel et le personnel.

Les coûts d'analyses considérant l'ensemble des paramètres des deux arrêtés précédemment cités et les peuplements benthiques (une seule campagne est généralement réalisée pour les sédiments et le benthos), sont de l'ordre de 800 à 1 200 € par échantillon.

DETAIL DES TESTS D'ECOTOXICITE

➤ **Le test de toxicité aiguë sur le copépode marin *Acartia Tonsa***

Ce test est défini par la norme ISO/DIS 14669 (1996).

La toxicité aiguë est déterminée par le taux de mortalité des copépodes adultes enregistrée au bout de 24 et 48h après exposition aux milieux à tester constitués d'eau de mer ou de substances à différentes concentrations. La concentration provoquant en 48h la mort de 50 % des copépodes exposés dans les conditions de l'essai est déterminée (CL50 - 48h).

Ce test est réalisé sur les phases liquides (extraits aqueux de sédiments et eau interstitielle).

➤ **Le test de toxicité des sédiments sur l'amphipode *Corophium SP***

Ce test correspond à la norme ASTM (1993).

La toxicité est déterminée par le taux de mortalité des amphipodes adultes (*C. volutator* ou *C. arenarium*) en contact des sédiments pendant 10 jours à différentes concentrations. La concentration qui entraîne la mort de 50 % des amphipodes (CL50) est déterminée avec un sédiment contenant des concentrations croissantes.

Ce test est réalisé directement sur les sédiments.

➔ Le test de toxicité aiguë sur le développement embryonnaire des bivalves *Mytilus edulis* (moule) et *Crassostrea gigas* (huître)

Ce test, non normalisé, est reconnu par l'Ifremer, le groupe d'étude et d'observation sur le dragage et l'environnement (GEODE) et le Conseil International pour l'Exploitation de la Mer (CIEM).

Il porte sur le développement embryonnaire d'œufs fécondés de bivalves, au stade de larve "D" qui correspond au début de l'évolution larvaire.

La toxicité des sédiments est alors évaluée par le pourcentage d'anomalies du développement embryonnaire, voire un blocage dans leur développement, pour des expositions à des concentrations en sédiment comprises entre 0 et 10 g/l. L'effet sur les larves de mollusques est évalué en recherchant la concentration en produit potentiellement toxique à laquelle on observe 50% d'anomalies (CE50). Les LOEC (concentration la plus faible ayant montrée un effet) et NOEC (concentration n'entraînant pas d'effet) peuvent également être calculées.

Ce test peut être réalisé sur sédiments, extraits aqueux ou eau interstitielle.

Il est préconisé pour la grande sensibilité des invertébrés marins aux toxiques en phase de développement embryonnaire et pour sa capacité à discriminer différents niveaux de contamination des sédiments.

En fonction du pourcentage d'anomalies pour une concentration de 5 g/l de sédiment sec, une grille de notation du risque, indiquant le niveau de toxicité, a été établi par GEODE.

Tableau 1 : Classes de toxicité établies par GEODE

Note	Toxicité	% larves « D » anormales
0	Négligeable	< 10%
1	Faible	10 à 30 %
2	Moyenne	30 à 50 %
3	Forte	> 50%
	Très forte	Blocage du développement au stade embryon

➔ Test d'inhibition de la luminescence de bactéries marines (*Vibrio fischeri* ou Microtox, NF EN ISO 11348-3, 2009)

Ce test repose sur la détermination de l'inhibition de la luminescence émise par une bactérie marine *Vibrio fischeri*, provoquée par la mise en contact avec la phase liquide de l'échantillon (eau interstitielle, lixiviats). Cet essai permet de déterminer la concentration d'échantillon (en %) qui, après 5, 15 à 30 minutes inhibe 50 % de la luminescence des bactéries. Cette concentration est désignée par CE 50-t, « t » représentant le temps de contact des bactéries avec l'échantillon.

Fiche n°4 : Qualité des eaux

OBJECTIFS

➔ Contrôler les remises en suspension susceptibles d'altérer des composantes du milieu récepteur en période de travaux

REGLEMENTATION

Les immersions sont réglementées par la convention OSPAR et les projets doivent être en accord avec la directive cadre sur l'eau, les SDAGE, le code de l'environnement (rejet de substances polluantes...). La directive-cadre stratégie pour le milieu marin (DCSMM) 2008/56/CE du 17 juin 2008 établit un cadre d'action communautaire dans le domaine de la politique pour le milieu marin.

41 substances, dont 37 prioritaires figurent à l'annexe X de la Directive Cadre et 8 figurent dans la Directive 76/464. Les teneurs de celles-ci sont quantifiables dans les eaux marines. Le retour à un bon état écologique passe par le contrôle de l'absence de quantité mesurable de ces substances dans les rejets issus des dragages et donc dans les immersions.

Par ailleurs, nous rappelons que si les teneurs de ces paramètres sont facilement mesurables à la sortie d'un exutoire (canalisation d'eaux d'exhaure par exemple pour les dragages), il n'en est pas de même dans le cas des immersions. Les stratégies d'échantillonnage et de prélèvements prennent alors toute leur importance.

Les laboratoires chargés des analyses des échantillons doivent être agréés par le Ministère en charge de l'Environnement. A ce titre, ils ont obligation d'être accrédités et de fournir les normes mises en application lors de ces dosages. Nous ne donnons donc pas d'indication sur les normes analytiques, ni à suivre, ni à préconiser, car la mise en œuvre d'une méthodologie autre permettant d'obtenir des résultats dont la validité est prouvée et conforme à la réglementation (CF. norme 17025). Toutefois, il convient que les maîtres d'ouvrage vérifient que l'application de la méthode est validée pour les matrices analysées et leurs spécificités locales.

PARAMETRES A MESURER

➔ Paramètres réglementaires

La liste des paramètres suivis par prélèvements ponctuels est souvent similaire à celle qui est énoncée dans l'arrêté du 09 août 2006 pour les rejets dans les eaux de surface (Tableau I)¹ :

- MES ;
- Matières inhibitrices ;
- Azote total ;
- Phosphore total ;

¹ Les seuils fournis dans le tableau I de cet arrêté concernent les eaux de surface, à l'exclusion des rejets visés, en particulier, à la rubrique 4.1.3.0, et ne s'applique pas aux dragages.



- Composés organohalogénés absorbables sur charbon actif ;
- Métaux et métalloïdes ;
- Hydrocarbures ;
- Le carbone organique total (COT) dans le cas de milieux présentant une teneur en chlorures supérieure à 2 000 mg/L, ou la DBO5 et la DCO dans le cas contraire.

Toutefois, il convient de faire une distinction pratique entre les paramètres dont les teneurs sont mesurables *in situ* et ceux qui nécessitent un dosage en laboratoire.

En effet, l'ensemble des paramètres, de l'arrêté du 09 août 2006 et de l'annexe X de la DCE, n'est pas mesurable au moyen de sondes ou autres appareillages de terrain et seul un aliquote, un échantillon moyen ou composite, peut permettre la connaissance *a posteriori* des teneurs rejetées. Ceci pose le problème d'un suivi réellement en phase avec les efforts de dragage.

La mesure de la **turbidité** ou de la **transparence de l'eau** peut constituer un mode opératoire plus opérationnel. Il présente néanmoins ses propres limites d'interprétation (voir encadré guide chapitre 4).

Selon la DCE et pour un « retour » au bon état chimique des eaux, le respect des normes de qualité environnementales (NQE) passe par la connaissance des rejets des paramètres listés dans l'Article 2 Alinéa 24 de la DCE et la Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007 NQE. On peut estimer que si, à terme, l'ensemble des paramètres ne présente pas un intérêt impérieux, **leur dosage en début d'étude ou de mission permet de confirmer les choix des substances à suivre**. Dans les suivis en eaux intérieures, les données peuvent compléter la base des données nationales sur l'eau (format SANDRE).

On pourra également cibler l'analyse de polluants spécifiques présents à très faible concentration par le suivi de bio-intégrateurs (voir fiche suivante).

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

↪ Stratégie sur les sites de dragage

La logique dans ces échantillonnages amène à considérer des stations en amont, au droit et en aval de la zone de dragage. Les situations aval et amont étant à considérer soit dans le sens de l'écoulement d'un fleuve, soit suivant la courantologie locale. Dans les zones ne présentant pas un hydrodynamisme suffisant, les suivis sont alors faits en décalant les mesures dans le temps.

Le nombre de stations en aval du dragage peut et doit être augmenté dans le cas où des espèces remarquables et/ou protégées ou des activités maritimes (cultures marines, activités nautiques, ...) sont présentes dans l'environnement moyen, voire proche.

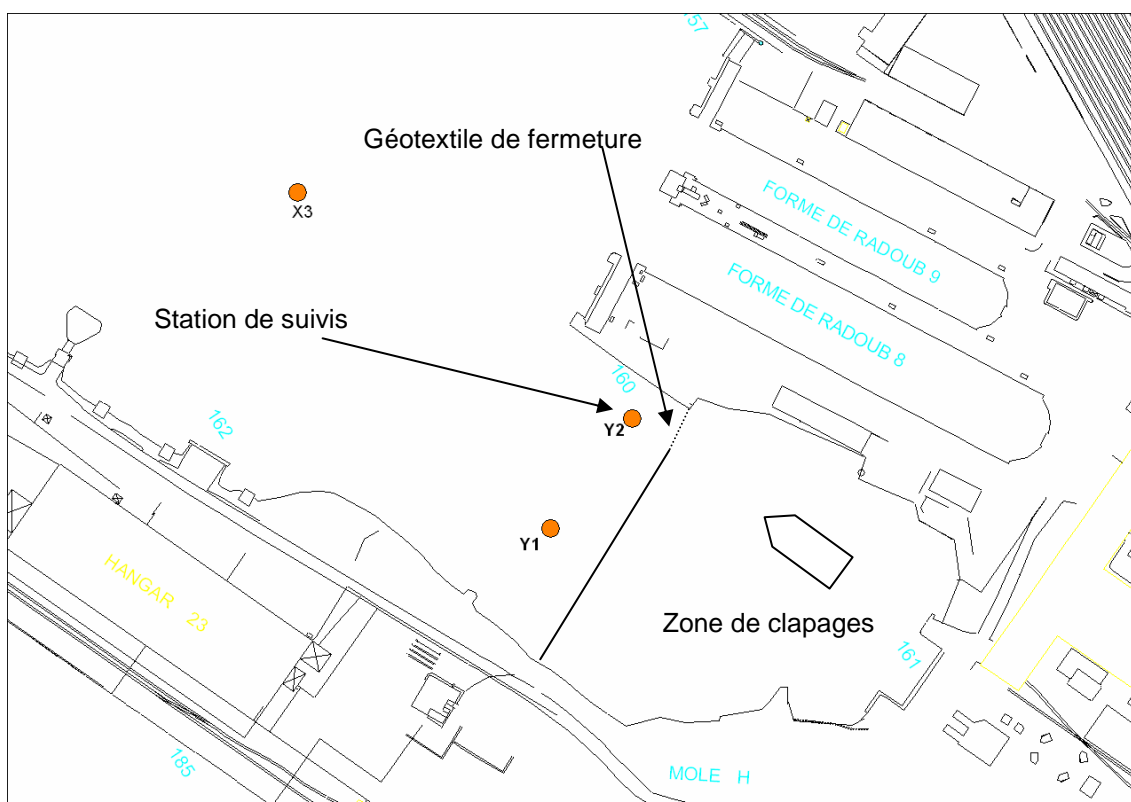
↪ Stratégie sur les sites d'immersion

Le suivi de la qualité des eaux peut concerner la vérification de l'absence d'impact sur des zones, dans l'environnement moyen ou lointain, présentant des caractéristiques ou des usages remarquables (herbiers, cultures marines, zone de baignade, ...).

Toutefois il convient de noter que des immersions directes sous l'effet de pompes de refoulement réalisées en front de mer nécessitent un suivi environnemental portant sur la qualité des eaux. Dans ces cas, un suivi de la qualité de l'eau doit être réalisé dans la colonne d'eau, à différentes profondeurs et à plusieurs stations.

On peut citer par exemple les dragages du port de Commerce de Nice, qui concernent des sables exempts de toute contamination dont le pompage, le transfert et le refoulement se font sous l'eau en contrôlant la qualité des eaux au droit des dragages et aussi en vérifiant l'absence de propagation vers, et *a fortiori* dans, un herbier de posidonies situé dans l'environnement proche. Le contrôle de qualité de l'eau est réalisé à huit profondeurs tout au long des immersions (mesures des turbidités comparées et des matières en suspension en cas de dépassement de valeurs seuils).

Un autre exemple concerne le Grand Port Maritime de Marseille et des immersions que l'on peut qualifier de peu usuelles car elles sont réalisées dans une darse, en fond du bassin Mirabeau, fermée par une digue et comprenant une enclôture à l'aide d'un géotextile fermant l'espace dédié à ces clapages.



**Figure 5: Positions de stations de suivis
(Suivi des impacts des clapages dans le bassin Mirabeau – GPMM 2005)**

Les mesures des turbidités (figure 2) faites au cours des différents clapages de sédiments portuaires, principalement des vases sableuses ont permis d'évaluer le temps minimal nécessaire pour réaliser des mesures ponctuelles au moins 20 mn après le début des opérations. Ce délai a ensuite été appliqué lors de surveillances de dragages. Il est évident que la propagation des matériaux fins, issus du remaniement des sédiments portuaires et des immersions est fonction de la qualité des matériaux (granulométrie), de l'énergie mécanique mise en jeu, de la vitesse des écoulements et aussi de la hauteur d'eau. Toutefois, ces données permettent d'avoir des indications utilisables dans des chantiers similaires. Lors de ce suivi, seule la station Y2 a été investiguée. Ces mesures ont été réalisées pour caractériser la propagation des matériaux au delà d'un géotextile, et à proximité immédiate de celui-ci (environ 20 m), et le retour à l'état initial n'a pas été tracé sur ces graphes.



Les valeurs mesurées présentait des variations modérées, avec des accroissements de turbidité en surface de 40 à environ 85 NTU et au fond à environ 72 NTU (hors passages du navire clappeur et mouvements de la porte). Elles montrent que la propagation des matières en suspension remarquable par la turbidité engendrée, est limitée par le géotextile. Le retour à l'équilibre avait été relevé environ une heure après le dernier mouvement. Limité dans l'espace, ce suivi ponctuel ne donne pas d'indication sur le périmètre sous l'influence de la propagation. Cette zone impactée dépend de la quantité de matériaux immergés, de la hauteur d'eau et de la distance entre les travaux et le géotextile.

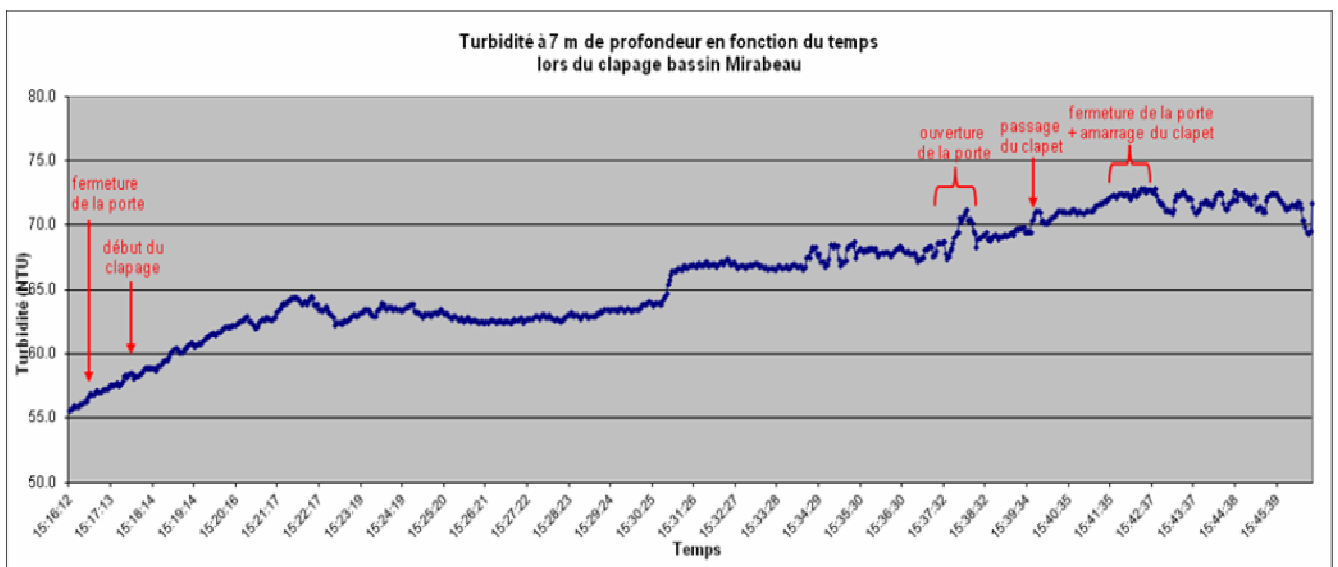
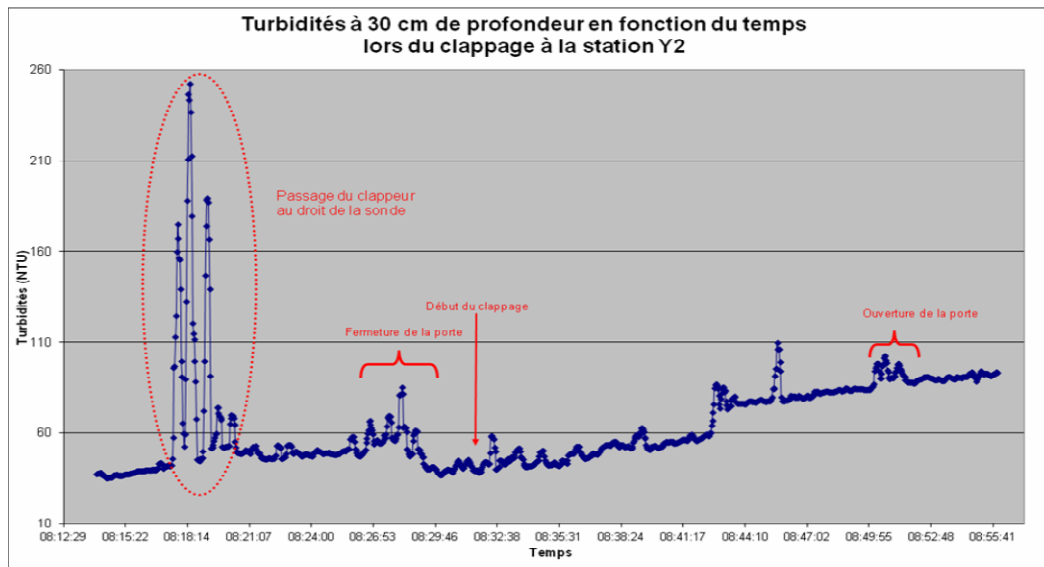


Figure 6 : Variations des turbidités au droit d'un clappage en deçà d'une membrane géotextile en surface et au fond (Suivi des clapages dans le bassin Mirabeau – GPMM 2005)



↪ Fréquence d'échantillonnage

Quand les mesures ne sont pas faites en continu, les prélèvements doivent être faits préalablement puis concomitamment aux dragages et/ou immersions. Il convient alors de disposer les stations de suivi pour s'affranchir des notions de temps. Il est courant, au regard des prescriptions préfectorales, de réaliser quotidiennement un point zéro avant l'ouverture du chantier, puis de réaliser le suivi au moins une fois par période travaillée (l'arrêt prolongé du chantier donnant lieu à un nouveau calage des données locales suivies).

METHODES DE PRELEVEMENT

Les prélèvements d'eaux sont réalisés avec les moyens nécessaires et suffisants pour disposer d'un échantillon représentatif. A ce titre, il est courant d'utiliser une ou plusieurs bouteilles type « Niskin » ou à retournement. On choisira de prélever, à chaque station, *a minima* trois échantillons, un en surface (à quelques centimètres en dessous de la surface pour ne pas collecter des débris flottants), un à mi-profondeur et un au dessus du fond (en prenant soin de ne pas prélever le néphéloïde). Un volume d'environ deux litres (un litre pour les matières en suspension) permet de mener à bien toutes les analyses nécessaires. Des sondes multiparamètres peuvent également être utilisées pour la mesure des principaux paramètres physiques.

Dans le cas de grands travaux, les quantités d'eaux et de matériaux remaniés peuvent être évaluées comme trop importantes pour la mise en place de prélèvements ponctuels. Il convient alors de placer des sondes autonomes en continu qui permettent de suivre plus finement les effets des remises en suspension des matériaux et leur propagation dans l'environnement. Il est courant de mettre en œuvre des sondes de turbidité dont les données et les heures sont consultables et enregistrables à distance. Toutefois, ceci doit être accompagné de prélèvements ponctuels afin de pouvoir mener les analyses des paramètres suivis.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les mesures de suivis de la qualité des eaux dans l'environnement proche et moyen de travaux de dragage et/ou d'immersion étant réalisées pour contrôler l'absence d'impact sur les milieux, l'indicateur de résultats est le respect des prescriptions énoncées dans les arrêtés d'autorisation de travaux.

La propagation des matériaux fins et des substances dissoutes doit présenter une décroissance des teneurs avec la distance depuis les travaux de dragage et/ou d'immersion suffisamment efficace pour que ces concentrations n'impactent pas les écosystèmes.



ESTIMATION DES COUTS

Le budget de tels suivis dépend de la taille du chantier et donc de la surface suivie et des moyens mis en jeu. Ces suivis comprennent une part souvent importante en ressource humaine dans le cas de mesures ponctuelles (mesures des transparences et paramètres in situ, prélèvements des échantillons pour les analyses en laboratoire, ...). Par ailleurs, pour les immersions, les distances entre les zones de clapage et la terre sont souvent assez importantes et demandent à disposer d'embarcations d'assez grande taille pour que le travail puisse être fait dans des conditions de confort et de sécurité suffisantes.

Montants moyens pour information :

- Embarcation pour mesures et intervention en haute mer avec équipage : entre 2 000 et 4 000 € par jour.
- Embarcation pour mesures et intervention dans la bande littorale avec équipage : environ 2 000 € par jour.
- Temps Bureau d'études pour planifications et interprétations environ 2 000 € / projet.

Montant des mesures en fonction des paramètres demandés (MES environ 10 €/échantillon, paramètres de l'arrêté du 09 août 2006 environ 200 € et l'ensemble des paramètres de la DCE environ 1 500 €/échantillon).



Fiche n°5 : Bio-indicateurs

OBJECTIFS

➔ Contrôle de la propagation de contaminants dissous et adsorbés sur des particules remaniées et évaluation de l'état d'exposition de certains milieux ou certaines activités sensibles.

REGLEMENTATION

Il n'existe pas de réglementation traitant des biointégrateurs ou bioindicateurs. Ce sont, comme nous l'avons énoncé en introduction, des outils technologiques ou biologiques dont les capacités d'accumulation permettent de doser des contaminants dont les teneurs sont inquantifiables dans les eaux.

On rappellera que les laboratoires d'analyses doivent être agréés par le Ministère en charge de l'Environnement. A ce titre, ils ont obligation d'être accrédités et de fournir les normes mises en application lors de ces dosages. Nous ne donnons donc pas d'indication sur les normes analytiques, ni à suivre, ni à préconiser, car la mise en œuvre d'une méthodologie autre permettant d'obtenir des résultats dont la validité est prouvée est conforme à la réglementation (Cf. norme 17025). Toutefois, il convient que les maîtres d'ouvrage vérifient que l'application de la méthode est validée pour les matrices investiguées et leurs spécificités locales.

PARAMETRES A MESURER

La liste des paramètres suivis est souvent identique à celle qui est énoncée dans l'arrêté du 09 août 2006 (Tableau I). De plus, au regard des termes de la DCE et pour un « retour » au bon état chimique des eaux, le respect des normes de qualité environnementale (NQE) passe par la connaissance des rejets des paramètres listés dans l'Article 2 Alinéa 24 de la DCE et la Circulaire 2007/23 du 7 mai 2007 NQE. Toutefois, les dosages dans les chairs des poissons et/ou les parties molles des mollusques de ces paramètres ne sont pas tous réalisables.

Dans le cas de l'utilisation de moules ou autres animaux, il est nécessaire de mesurer les paramètres dits de conditionnement que sont la mortalité, la taille, le poids de la coquille et de la chair des organismes. Ceci permet d'interpréter les résultats en ayant la connaissance de l'influence de la qualité du milieu sur la croissance des organismes. On privilégiera aussi le dosage des micro-organismes pathogènes, dont les dosages sont couramment pratiqués dans ces matrices (bioindicateurs vivants).

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Nous prenons en exemple le cas de moules, considérant que cet organisme est le plus souvent sollicité et que la méthodologie est similaire pour les capteurs passifs.

➔ Durée de suivi

Les impacts associés à la propagation de contaminants sous formes dissoutes ou adsorbés sur les matières en suspension, peuvent être relevés en les dosant dans des organismes qui nécessitent un temps de stabulation ou de contact important. Ces délais sont de l'ordre de trois mois pour obtenir des données estimées fiables (Cf programme RINBIO de l'IFREMER), mais des temps inférieurs peuvent être aussi intéressants dans le cas où des concentrations importantes sont supposées.



➤ Période de suivi

Afin de pouvoir acquérir des données fiables, voire comparables avec celles qui sont communément étudiées, la période la plus favorable correspond à celle où les organismes (moules principalement) sont en pleine croissance, soit de mai à juillet, voire août. Cette période estivale correspond avec la période de baignade durant laquelle les dragages et donc les immersions sont généralement interdites, ce qui limite particulièrement leur intérêt. Toutefois, cette interdiction en période estivale n'est pas imposée partout (elle ne concerne pas les Grands Ports Maritimes d'estuaire).

➤ Fréquence de suivi

Pour les moules, mises en place au cours des mois de mai à début juin, elles doivent rester en stabulation sur site au moins trois mois pour fournir des renseignements pertinents. Pour les autres organismes, les fréquences dépendent des facteurs de bioaccumulation et des concentrations estimées dans le milieu investigué. Pour les capteurs passifs, des temps de séjour entre quelques heures et quelques jours sont préconisés.

➤ Localisation et nombre de stations

Stratégie sur les zones de dragage : la logique d'échantillonnage amène à considérer des stations en amont, au droit et en aval de la zone de dragage. Les situations aval et amont sont à considérer soit dans le sens de l'écoulement d'un fleuve, soit suivant la courantologie locale. Dans les zones ne présentant pas un hydrodynamisme suffisant, les suivis sont alors faits en décalant les mesures dans le temps. Cette station en amont du projet est mise à profit pour faire stabuler les lots de moules, dans le cas de mises en cages, et de procéder au prélèvement du lot qui servira de référence (« blanc ») au moment de la mise en place des stations.

Le nombre de stations en aval du dragage peut et doit être augmenté dans le cas où des espèces remarquables et/ou protégées ou des activités maritimes (cultures marines, pêche, ...) sont présentes dans l'environnement moyen, voire proche.

Stratégie sur les zones d'immersion : les profondeurs et l'éloignement de la côte rendent peu probable l'utilisation d'animaux ou de végétaux, autochtones. Les espèces bioindicatrices sont alors disposées à quelques mètres de la surface afin de permettre leur vie dans des conditions quasi normales, et à toutes profondeurs pour les capteurs passifs. Ils sont placés de telle sorte qu'ils puissent renseigner sur les éventuelles propagations des matériaux immergés et aussi sur les apports naturels dans l'environnement moyen et lointain de la zone d'immersion.

METHODES DE MISE EN OEUVRE

Nous rappelons la méthodologie proposée par l'IFREMER dans le cadre des réseaux RINBIO et RNO.

Les moules, sont conditionnées dans des cages, à raison d'une centaine d'individus par cage. Les individus sont mis en stabulation quelques semaines dans des eaux exemptes de contamination présentant des caractéristiques similaires à celles de la zone d'étude (température, salinité). On notera qu'elles peuvent également être prélevées dans le milieu récepteur si elles sont présentes (autochtones) en quantité suffisante.

Les cages sont immergées en nombre suffisant pour réaliser des suivis dans le temps, en s'affranchissant des conditions de mer et autres pertes et dégradations. L'indication « suivi scientifique » sera inscrit sur les cages afin que les organismes qui ont accumulé les contaminants, ne soient pas consommés par des personnes qui les auraient malencontreusement prélevés.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les suivis des bioindicateurs dans l'environnement proche et moyen de travaux de dragage et/ou d'immersion permettent de contrôler l'influence des travaux vis-à-vis de la qualité physico-chimique des organismes autochtones ou en culture. Il s'agit notamment de déceler et prévenir toute altération pouvant être dommageable à cette qualité et indirectement à la santé publique.

Les résultats sont interprétés par comparaison aux teneurs attendues au regard des concentrations initiales des contaminants et de leur biodisponibilité. Les différences, si elles existent, permettent d'affiner les connaissances sur les processus de contamination en lien avec les modifications des caractéristiques physico-chimiques (eaux interstitielles et relargage) du milieu lors de son remaniement (dragage et immersion).

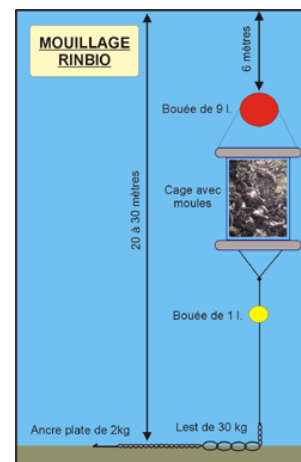


Figure 7 : Illustration du principe méthodologique du RINBIO

ESTIMATION DES COÛTS

Le budget de tels suivis dépend principalement de l'éloignement et des facilités d'accès aux sites, la partie « moyens à la mer » représentant le plus gros poste financier.

- Embarcation pour mesures et intervention en haute mer avec équipage : entre 2 000 et 4 000 € par jour.
- Embarcation pour mesures et intervention proche des côtes avec équipage : environ 2 000 € par jour.
- Equipe de plongeurs pour mise en place et prélèvement : 1 500 €/jour.
- Matériel biologique : quelques centaines d'euros en comptant le déplacement à partir d'un centre de cultures marines.

Le montant des analyses varie en fonction des paramètres demandés.

Fiche n° 6 : Organismes phytoplanctoniques

OBJECTIFS

- Evaluer l'impact de l'altération de la qualité des eaux sur la productivité du phytoplancton
- Evaluer le risque de dispersion et de blooms de kystes de phytoplancton toxique à proximité de zones sensibles

REGLEMENTATION

Les communautés phytoplanctoniques ne font pas, en tant que telles, l'objet d'une protection réglementaire. Par contre, elles sont utilisées dans le cadre de la DCE comme indicateurs de la qualité des masses d'eau. Elles sont toutefois soumises aux textes plus globaux qui régissent les zones littorales :

- Directive n° 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement européen et du Conseil, établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau et la Loi 2004-338 du 21 avril 2004 (JORF du 22 avril 2004) portant transposition de la directive 2000/60/CE
- Convention OSPAR 1992. Convention pour la protection du milieu marin de l'Atlantique du nord-est. Paris, 21-22 septembre 1992.
- Convention de Barcelone, 1976. Convention pour la protection de la mer Méditerranée contre la pollution, Barcelone, 16 février 1976. Amendée le 10 juin 1995 (Convention sur la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen).
- Directive n° 2006/113/CE du 12 décembre 2006 du Parlement européen et du Conseil, relative à la qualité requise des eaux conchylicoles.

Le phytoplancton toxique est suivi dans le cadre de la réglementation sur l'hygiène et la salubrité des ressources alimentaires (IFREMER, 2008 : Cahier de procédure et de programmation du REPHY) : poissons, coquillages :

- Règlement (CE) N°853/2004 du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 fixant les règles spécifiques d'hygiène applicables aux denrées alimentaires d'origine animale.
- Règlement CE n° 882/2004 CE du Parlement Européen et du Conseil du 29 avril 2004 relatif aux contrôles officiels effectués pour s'assurer de la conformité avec la législation sur les aliments pour animaux et les denrées alimentaires et avec les dispositions relatives à la santé animale et au bien-être des animaux.
- Règlement (CE) n°2074/2005 de la Commission du 5 décembre 2005 établissant les mesures d'application relatives à certains produits régis par le règlement (CE) n° 853/2004 du Parlement européen et du Conseil et à l'organisation des contrôles officiels prévus par les règlements (CE) n° 854/2004 du Parlement européen et du Conseil et (CE) n° 882/2004 du Parlement européen et du Conseil, portant dérogation au règlement (CE) n° 852/2004 du Parlement européen et du Conseil et modifiant les règlements (CE) n°853/2004 et (CE) n° 854/2004.



- Décision 2002/226/CE de la Commission Européenne du 15 mars 2002, instaurant des contrôles sanitaires spéciaux pour la récolte et le traitement de certains mollusques bivalves présentant un taux de toxine ASP (Amnesic Shellfish Poison) supérieur à la limite fixée par la directive 91/492/CEE du Conseil.

PARAMETRES A MESURER

Dans le cadre des opérations de dragage et d'immersion, les paramètres de base à vérifier pour la protection des communautés phytoplanctoniques sont la **turbidité** et / ou la **transparence de l'eau**, la **teneur en sels nutritifs** et, dans les zones non turbides, le suivi de l'indicateur **chlorophylle**, reflet de la biomasse phytoplanctonique. La chlorophylle est un pigment végétal très répandu dans le règne végétal. Il en existe différents types et le plus représenté dans les végétaux marins est la **chlorophylle a**. Elle est de plus représentative de la matière organique végétale, vivante ou fraîchement morte.

Dans les zones où des efflorescences toxiques ont été signalées par le passé, il faut vérifier la présence de **cellules enkystées** dans le sédiment et ceci d'autant plus si la zone draguée est située à proximité d'une zone d'exploitation aquacole. Ces cellules attendent des conditions idéales pour se réactiver et provoquer un « bloom ». Vérifier la présence de ces kystes passe par le comptage et l'identification des kystes contenus dans les fractions fines du sédiment. La présence de kystes de phytoplancton toxiques peut représenter un risque en cas d'immersions mais aucune réglementation n'interdit l'immersion dans ce cas.

Dans le cadre d'opérations qui incluraient un suivi de la communauté phytoplanctonique pour en qualifier la diversité : il conviendrait d'évaluer la densité (cellules/ml), le nombre d'espèces présentes, la diversité... selon les programmes réalisés par le REPHY. Les compétences nécessaires pour l'identification du phytoplancton sont rares. Ceci rend un tel suivi très coûteux.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Le plan d'échantillonnage sera élaboré en fonction des connaissances *a priori* sur la zone concernée par les travaux.

La vérification de la présence de kystes de phytoplancton toxique sera ponctuelle et préalable aux travaux. Le nombre d'échantillons à analyser dépendra de la surface concernée et de l'importance des efflorescences passées. Une seule vérification préalable aux travaux est nécessaire.

Pendant les dragages et dans la zone d'immersion, la surveillance de la turbidité, des teneurs en sels nutritifs et des teneurs en chlorophylle a sera réalisée en fonction de la dispersion des particules fines et du courant. Le nombre de points de prélèvements dépendra de la surface de la zone. Sur la zone de dragage, le suivi de la turbidité et/ou de la transparence de l'eau sera effectué pendant tout le temps des travaux et même quelques jours après afin de vérifier la dispersion des particules fines. En zone d'immersion, le suivi des paramètres turbidité, teneurs en sels nutritifs et en chlorophylle a, doivent être maintenus jusqu'à ce que l'élévation de la turbidité ne soit plus constatée.

METHODES DE PRELEVEMENT ET D'ANALYSES

Le protocole de prélèvement et d'analyse du phytoplancton en eau douce est régi par une norme nationale NF EN 15204 (2006-12-01). Qualité de l'eau - Norme guide pour le dénombrement du phytoplancton par microscopie inversée (méthode Utermöhl) sur laquelle s'appuient les protocoles de prélèvement en mer. Cependant, le protocole le plus employé est celui mis en place par IFREMER dans le cadre du REPHY.



➤ **Chlorophylle a** : son dosage passe par un **prélèvement d'eau** à l'aide d'une bouteille Niskin, dans la zone éclairée de la colonne d'eau, au mieux au « maximum de chlorophylle » déterminé lors d'un profil vertical à l'aide d'un fluorimètre. Le dosage de la chlorophylle a est effectué en laboratoire par spectrophotométrie après extraction à l'acétone.

➤ **Kystes phytoplanctoniques** : les prélèvements pour l'analyse des kystes consistent à prélever du sédiment à l'aide de carottiers. La profondeur du carottage dépendra du taux de sédimentation moyen et de la date des dernières efflorescences toxiques. Ces prélèvements doivent être maintenus au frais pour éviter la floraison des kystes. Les carottes, découpées en tranches de quelques centimètres sont soumises à une analyse granulométrique avec sonication pour débarrasser les particules de leur gangue organique. Les kystes sont recherchés dans la gamme de particules de taille 20-40 µm. Les sédiments sont séchés pour obtenir un nombre de kystes par gramme de sédiment sec (Ismael et Khadr, 2003). Les kystes sont recherchés et identifiés sous un microscope inverse.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Une diminution de la quantité de chlorophylle dans l'eau traduirait une diminution de la biomasse de phytoplancton. Cependant, les floraisons phytoplanctoniques sont appelées « blooms » en raison de leur caractère « furtif ». Il est alors difficile d'attribuer une diminution de chlorophylle à l'impact des travaux. C'est pourquoi un suivi saisonnier est nécessaire pour préciser le déterminisme des modifications observées. Un certain nombre d'images satellites (SEAWIFS par exemple) permettent d'obtenir les teneurs en chlorophylle dans l'eau de surface et d'avoir ainsi une appréciation des floraisons phytoplanctoniques. Ces données sont compilées et normalement en accès libre sur les sites de la NASA (figure 1) par exemple ou encore sur le site Nausicaa d'IFREMER après une inscription.

ESTIMATION DES COÛTS

Un suivi simple qui engloberait à chaque station un suivi de la turbidité (teneur en MES / transparence de l'eau, des teneurs en sels nutritifs et dosage de la chlorophylle a, couterait environ 70 € d'analyses par station auxquels il faudrait rajouter le coût d'une intervention, soit environ 1 500 € la journée.

L'analyse des kystes de phytoplancton toxique n'est pas une méthode réalisée en routine et les compétences nécessaires à l'identification de ces kystes sont rares en France et ne sont représentées que par quelques chercheurs principalement à l'IFREMER. Les tarifs de l'analyse d'un échantillon doivent avoisiner 1 000 €.

Un suivi phytoplanctonique complet comprenant l'étude de la diversité phytoplanctonique, et nécessitant un suivi saisonnier couterait en moyenne 900 € l'échantillon. Pour plus de lisibilité sur la faisabilité de ce type de suivi, ce coup doit être mis en perspective du nombre d'échantillon à réaliser.

BIBLIOGRAPHIE

Hermand, 2008. Réponses d'une communauté macrobenthique méditerranéenne soumise à des apports sédimentaires allochtones naturels ou anthropiques. Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée : 234 pp.

Ismael AA et Khadr, AM, 2003. *Alexandrium minutum* cysts in sediments cores from the Eastern Harbour of Alexandria, Egypt. *Oceanologica* : 45(4) : 721-731.

Pagano, M et Saint-Jean L, 1988 : Comparaison de deux techniques de prélèvement du zooplancton, le filet et la trappe de Schindler, en lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Hydrobiologia* 173 : 167-192.

Unesco, 1968. Zooplankton sampling. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris: 170 pp.

Fiche n°7: Organismes benthiques

OBJECTIFS

- Visualisation de l'impact direct des opérations de dragage et d'immersion et caractérisation globale de l'état du milieu,
- Vérification au niveau du site de dragage de la présence éventuelle d'espèces d'intérêt commercial avant travaux et vérification de la restauration des peuplements (composition et structure) après travaux,
- Détermination au niveau du site d'immersion, d'espèces d'intérêt commercial, de nurseries etc. et évaluation de la capacité de la communauté à supporter les immersions (fort potentiel de reproduction, de dispersion des larves, communauté « résistante »...) et vérification de la restauration des peuplements (composition et structure) après travaux.

REGLEMENTATION

L'immersion des déblais en mer est encadrée au niveau international par la convention de Paris, dite convention OSPAR (OSPAR, 1998). En Europe, la Directive Cadre Eau impose qu'en 2015 « le bon état écologique » des milieux humides soit rétabli. Les instances européennes, en 2000, mais aussi l'« Environmental Protection Agency » aux États Unis ont adopté, comme outil de diagnostic de l'état des milieux estuariens et côtiers, l'utilisation d'indices biotiques basés sur les peuplements d'invertébrés benthiques (Weisberg et al., 1997; Borja et al., 2000; Simboura et Zenetos, 2002; Bald et al., 2005; Flaten et al., 2006; Dauvin et Ruellet, 2007; Hale et Helsthe, 2008)

Le suivi des organismes benthiques est recommandé dans le cadre des dragages et immersions et peut même être obligatoire : les suivis des peuplements de la macrofaune benthique sont recommandés par la Directive Cadre sur l'Eau et la directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) (2008/56/CE du 17 juin 2008). « Dans certains cas de dépassement du niveau N 2, les impacts potentiels du matériau de dragage devant être immergé peuvent justifier des caractérisations biologiques en complément de la caractérisation chimique et physique » (Circulaire n°2000-62 du 14 juin 2000 relative aux conditions d'utilisation du référentiel de qualité des sédiments marins ou estuariens présents en milieu naturel ou portuaire défini par l'arrêté interministériel).

Au niveau national la « loi sur l'eau » de 1992 et la réglementation appliquée dans le cadre de Natura 2000 assurent la protection des habitats naturels.

Quelques espèces benthiques font l'objet d'une protection en tant qu'espèce au titre de l'arrêté du 20 décembre 2004 fixant la liste des animaux de la faune marine protégés sur l'ensemble du territoire -J.O du 07/01/2005.

Tableau 2 : Liste des espèces marines benthiques protégées. Arrêté du 20 décembre 2004

MOLLUSQUES	
Gastéropodes	<i>Patella ferruginea</i> (Gmelin, 1791), patelle géante.
Bivalves	<i>Pinna nobilis</i> (Linné, 1758), grande nacre, jambonneau hérissé ; <i>Pinna pernula</i> (Chemnitz, 1785), jambonneau rude ; <i>Lithophaga lithophaga</i> (Linné, 1758), datte de mer.
Crustacés	<i>Scyllarides latus</i> (Latreille, 1803), grande cigale de mer.
ECHINODERMES	
Oursins	<i>Centrostephanus longispinus</i> (Philippi, 1845), oursin diadème, oursin à longs piquants.

PARAMETRES A MESURER

Les organismes benthiques concernés sont la macrofaune benthique, c'est-à-dire, les animaux dont la taille est supérieure à 1mm. La méiofaune et la microfaune ne font pas encore partie des suivis recommandés. Il n'existe pas de méthodologies utilisables en routine pour ces compartiments et les connaissances écologiques sont encore trop réduites pour être informatives.

⇒ Ce qui se fait couramment

La DCE et la DCSMM recommandent pour la caractérisation des peuplements benthiques, l'évaluation de la composition, de l'abondance et de la structure des peuplements. L'analyse des données faunistiques fait en général appel à quelques paramètres « classiques » : densité, richesse spécifique, diversité taxonomique, biomasse... Densité et richesse spécifique ne posent pas de problème de définitions mais de nombreux indicateurs peuvent être proposés pour suivre les autres paramètres.

La diversité taxonomique peut être évaluée par l'indice de Shannon (parfois nommé indice de Shannon-Wiener, ou Shannon-Weaver), l'indice de Clarke & Warwick ; les indices d'équitabilité de Pielou, Simpson, ...

La comparaison spatio-temporelle des données faunistiques est également réalisable à l'aide de nombreux outils, plus ou moins puissants qui offrent de nombreuses possibilités en fonction de la quantité de données disponibles :

- Analyses multivariées (AFC, ACP, MDS...)
- Modèle de QinHong
- Indice de similarité : Jaccard, Sorensen, distance canonique...

L'état écologique du peuplement (EQS) qui est un des critères définis par la DCE pour comparer la qualité des milieux entre les états membres. La qualification de l'état écologique du milieu (EQS) passe par l'application d'indices que l'on appelle Indices Biotiques. Il en existe une multitude avec différents objectifs, différents degrés de difficulté d'application, et de fiabilité parfois discutée (Hermand, 2008). La détermination de l'EQS passe par l'utilisation d'une grille à 5 niveaux qui permet de qualifier l'état du peuplement de Mauvais à Bon (Tableau 3). La qualification de l'état écologique d'une zone d'immersion n'est pas forcément un critère déterminant dans le cadre des suivis des opérations de dragages et d'immersion. Les indices biotiques par contre permettent de réaliser un suivi temporel facile et pertinent puisque basé sur un seul indicateur.

Tableau 3 : Grille d'évaluation de l'état écologique des peuplements benthiques.

Valeur de l'indice	Indice $I < X1$	$X1 < I \leq X2$	$X2 < I \leq X3$	$X3 < I \leq X4$	$I > X4$
Statut écologique (EcoQ)	Mauvais	Pauvre	Moyen	Bon	Très bon

L'EQS peut être évalué à partir de l'indice de Shannon, considéré comme l'un des meilleurs indicateurs des perturbations importantes de la communauté (Andral, 2007) ; celui recommandé par la DCE est l'indice biotique AMBI/M-AMBI. Cet indice s'est montré applicable dans de très nombreux types de perturbations mais a montré des limites d'applicabilité en milieux lagunaires (Pinto et al., 2009) et lors du suivi de la zone d'immersion du projet Fos 2XL (Méditerranée) (Hermand, 2008).

Les indices utilisés sont alors laissés à l'appréciation de l'expert en charge de l'analyse des données qui choisira le plus adapté, au milieu, à la nature des sédiments, au type et à la quantité de données disponibles : par exemple, l'indice BENTIX fonctionne très bien en Méditerranée, l'indice AMBI lorsqu'il y a un enrichissement en matière organique, l'indice BQI (Benthic Quality Index) qui présente l'avantage de prendre en compte des données écologiques régionalisées par bassin et permet ainsi de tenir compte des spécificités locales des peuplements. Un guide a été écrit par une équipe de chercheurs portugais et espagnols afin de faciliter le choix des indices biologiques à utiliser (J C Marques, Salas, J Patricio, Teixeira, & J M Neto, 2009).

Quoiqu'il en soit, un seul indicateur ne peut pas suffire (cas de l'étude de Fos2XL) contradiction sur les indices (exemple de cas concrets suivants et Figure 6) :

Exemple d'utilisation de trois indices biotiques lors du suivi de la restauration de la communauté impactée par les déblais de Fos 2XL (Hermand, 2008)

Le peuplement a été suivi pendant 3 ans à raison de 15 campagnes dans trois stations : PA, dans la zone d'immersion, SLT Fos témoin situé à proximité de la zone d'immersion et SLT Rhône, témoin située sous l'influence directe du panache du Rhône. Les variations temporelles décrites par les trois indices utilisés n'étaient pas concordantes. Un seul indice a décrit l'amélioration constatée par d'autres indicateurs (richesse, diversité, composition du peuplement) de la station PA.

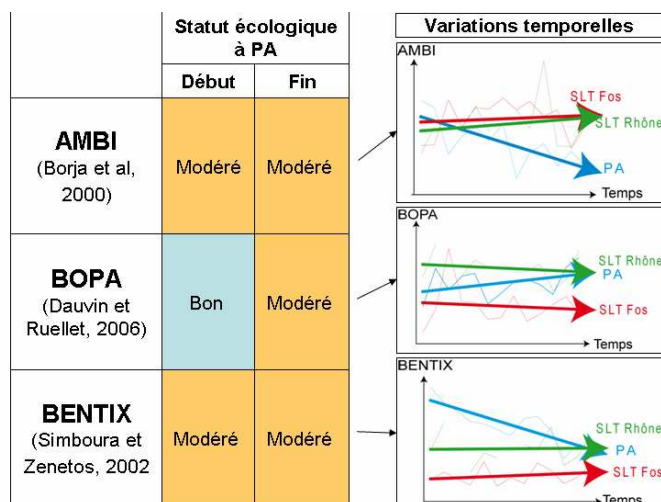


Figure 8 : d'après Hermand, 2008: trois indices biotiques utilisés pour décrire l'évolution temporelle de 3 stations. SLT Fos et SLT Rhône étaient 2 stations «témoins » et PA était située dans la zone de clapage des sédiments de FOS 2XL (6,5.10⁶ m³ clapés sur 7,2 km² en 6 mois en 2003).

Exemple d'utilisation d'indices biotiques en milieu estuarien : suivi des peuplements benthiques dans le programme Seine-Aval (GIP Seine Aval, 2008).

L'indice AMBI a été utilisé pour avoir une appréciation moyenne de l'état des peuplements sur la période 1979-2006 et l'indice BOPA a été utilisé pour suivre les variations temporelles de la qualité des peuplements.

La mesure de la biomasse totale est très souvent demandée mais n'apporte pas d'informations fondamentales dans le cadre des opérations de dragages/immersions, surtout sur un suivi avec un pas de temps annuel. La mesure de la biomasse peut être un outil pour estimer la structure du peuplement à condition de faire des mesures de biomasses, espèce par espèce. Dans ce cas, ces données peuvent être utilisées dans le cadre du modèle « ABC curves » développé par Warwick en 1986 (Grall et Coïc, 2005). Cette méthode est une méthode graphique qui permet, avec un minimum de traitement des données, de voir si le peuplement est composé d'espèces de grande taille ou de petite taille (stratégie r ou K). De la même façon, cette méthode peut-être une alternative à une analyse du type « dynamique de population » qui pourrait être utile pour vérifier la maturité des individus : capacité d'installation, de reproduction, efficacité de la bioturbation...

➤ **Propositions d'améliorations**

La liste des méthodes d'analyse des données pourrait presque s'allonger à l'infini. Chaque expert a ses outils préférés et chaque question fait appel à un outil différent. Il n'existe pas pour l'instant de modèle unique d'analyse des données pour les peuplements benthiques. Toutefois, on peut préconiser quelques « astuces » pour optimiser les suivis des peuplements benthiques dans le cadre des opérations de dragage et d'immersion.

Le nombre d'espèces suivies lors des suivis à long terme

Dans le cas de perturbations aussi importantes que celles subies lors des dragages ou des immersions, les peuplements benthiques montrent une dynamique de restauration assez reproductible : la colonisation rapide du milieu vierge (quelques semaines) par les espèces opportunistes puis la communauté se modifie petit à petit au gré du jeu de la compétition pour l'espace et les ressources. Ces modifications sont importantes et sont observables très facilement dans le cortège des espèces dominantes. Dans l'exemple de Fos 2XL, moins de 10 espèces sur plus de 200 recensées ont décrit une dynamique temporelle remarquable (**Figure 9**).

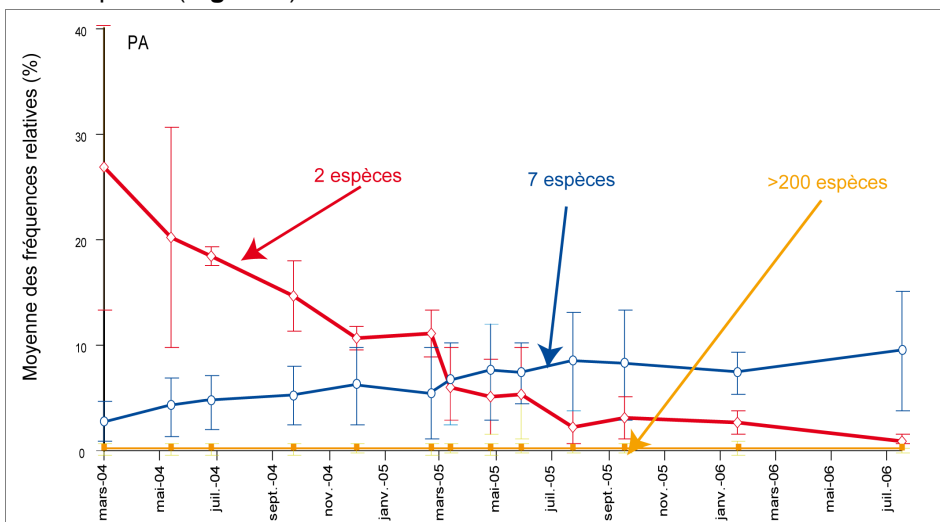


Figure 9 : Variation temporelle des fréquences des groupes d'espèces (%) dans le cas du suivi de la zone d'immersion de Fos 2XL. D'après Hermand, 2008.



Il peut être alors envisagé dans le cadre d'un suivi à long terme avec un pas court de se concentrer uniquement sur les espèces dominantes tout en les comparant aux stations témoins. Cette méthode « raccourcie » ne peut être envisagée que si l'on possède des données antérieures sur la zone suivie qui permettent de s'assurer de la représentativité de la méthode.

Le niveau de détermination taxonomique

Ellis (1985) a développé le concept de « suffisance taxonomique » et depuis, le niveau de détermination nécessaire à un bon suivi des communautés benthiques a été longuement discuté (Dauvin et al., 2003). Dolédec et al. (2000) (*in* Gayraud, 2001) ont évalué à 7 % la perte d'information entre l'espèce et le genre et 12 % entre l'espèce et la famille. Toutefois, il ressort de ce débat que, dans certains cas, en fonction des besoins de l'étude, le niveau de détermination taxonomique peut être limité au niveau générique voire familial. Certaines perturbations ou modifications de l'environnement sont suffisamment traumatisantes pour affecter les animaux à un niveau taxonomique élevé contrairement aux « forçages » naturels qui ont, en général, un impact faible et n'influençant les animaux qu'au niveau spécifique.

Ce principe a été appliqué lors du suivi de la zone de clapage de FOS 2XL (Hermand, 2008) et a montré qu'il était tout à fait possible de ne pas déterminer absolument tous les individus d'un peuplement jusqu'à l'espèce et que le niveau générique était suffisamment informatif dans le cadre d'une étude réglementaire de suivi de travaux. La mise en évidence du rétablissement des taxa dominants peut-être abordée de cette façon. Même si le suivi de la diversité taxonomique peut-être compromis, l'utilisation d'une approche fonctionnelle (groupe trophique par exemple à condition d'être sûr de l'écologie des espèces) peut être utilisée en complément. Elle permettrait de mettre en évidence des perturbations graves qui affecteraient le fonctionnement même de l'écosystème. Cette approche écosystémique sera de plus en plus demandée dans le cadre de la DCSMM.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➤ Nombre de stations

Dans la zone de dragage, une ou deux stations suffisent avant les dragages afin de vérifier l'intérêt que peut éventuellement représenter la faune dans la zone. Si un intérêt est avéré et qu'il est nécessaire d'envisager un suivi temporel post-dragage, il conviendra de préconiser n stations dans la zone draguée en fonction de sa surface et des données antérieures connues. Une ou deux stations témoins extérieures situées à même profondeur mais hors de la zone d'influence des travaux seront également incluses dans le suivi. Après quelques campagnes de suivi, il faudra évaluer l'homogénéité de la zone draguée. Si l'homogénéité est vérifiée, on pourra réduire le nombre de stations dans la zone draguée.

Dans la zone d'immersion, dans un premier temps et si l'on ne dispose pas de données antérieures, un plan d'échantillonnage préconisera m stations dans la zone d'immersion en fonction de sa surface et de la dispersion potentielle des sédiments (courantologie, profondeur...) et une ou deux stations témoins en dehors de la zone et hors d'influence des rejets. Les x premières campagnes de suivi permettront d'évaluer l'hétérogénéité spatiale de la zone et de vérifier s'il est nécessaire de conserver autant de stations. De la même façon que précédemment, si l'homogénéité est vérifiée, le nombre de stations suivies sera diminué et la durée pourra être allongée ou les pas d'échantillonnage réduit.

➤ Durée et fréquence des suivis

Dans l'idéal, le suivi de la zone de dragage ou d'immersion doit être saisonnier ou semestriel et doit durer plusieurs années après la fin des travaux (jusqu'à 10 ans). Une évaluation réelle du niveau de restauration permettrait de mettre fin au suivi lorsque la restauration est établie.



METHODES DE PRELEVEMENT

➤ Prélèvements

Le prélèvement de benthos marin est réglementé par la norme ISO 16665 de janvier 2006. En milieu subtidal, les prélèvements peuvent être effectués à partir d'une embarcation à l'aide d'une benne (Van-Veen, Smith Mc Intyre ou autre) ou d'un carottier. Dans les cas particuliers de milieux où le sédiment est trop grossier, les prélèvements pourront être effectués en plongée, à l'aide d'une suceuse et d'un quadrat d'une surface donnée. La surface minimale d'échantillonnage est de 0.25 m² généralement réalisée en 3 à 5 coups de benne. Les coups de benne sont généralement mélangés pour ne produire qu'un seul échantillon par station. Cependant, la réalisation de plusieurs réplicats à chaque station permet de prendre en compte la variabilité intra-station et permet de mieux estimer la restauration du peuplement. Les réplicats sont en général au nombre de 3, il suffit que la surface totale par station soit au moins de 0.25 m² et que chaque réplicat fasse la même surface. Dans le cas de peuplement très peu diversifié, en haut d'un estran par exemple, la surface minimale peut être diminuée.

➤ Tamisage

Afin de limiter sa dégradation, l'échantillon sera immédiatement tamisé (tamis de maille de 1 mm ronde de préférence ou carrée de 800 µm de côté) à l'eau de mer sur le bateau. Afin d'éviter d'abimer les organismes vivants, le tamisage sera effectué dans un bain d'eau en secouant doucement le tamis ou sous un jet d'eau à faible pression.

Les refus de tamis seront conditionnés en bocaux étanches avec une solution de fixateur ; l'éthanol modifié à 75 % est très largement suffisant dans ce type de suivis. Cependant, lorsque la mesure des biomasses est nécessaire, une solution de formaldéhyde neutralisée (10 %) est nécessaire. Le formaldéhyde permet d'éviter la dissolution des corps gras que provoque l'éthanol et de causer ainsi un biais important dans l'estimation des biomasses.

MÉTHODES D'ANALYSES

L'analyse des échantillons passe par une longue étape de tri. Cette étape consiste à prélever toute la faune présente. Elle nécessite l'utilisation d'une loupe binoculaire (appelée aussi microscope stéréoscopique) afin de ne pas rater les petits animaux. Parfois un colorant, ajouté au moment du prélèvement permet de réduire la durée de cette étape mais pose parfois des problèmes pour l'identification des espèces.

L'étape suivante consiste à identifier les individus jusqu'à l'espèce ou au genre selon les besoins. Cette étape nécessite l'usage de la loupe binoculaire et du microscope pour de nombreux groupes taxonomiques et de ressources bibliographiques importantes (descriptions originales des espèces et des révisions récentes dans la bibliographie récente). Les noms des espèces ainsi que leur autorité doivent être vérifiées dans la bibliographie internationale et les bases de données du type ERMS (*The European Register of Marine Species*). Ceci afin de rendre les données plus facilement comparables avec d'autres études.

Il conviendra de noter, sur le terrain et au laboratoire, les caractéristiques générales des prélèvements telles que l'aspect du sédiment, sa couleur, sa qualité, la présence de gros organismes fabriquant du mucus, présence de nombreuses fibres, de nombreux débris de tubes d'annélides, etc. Ces notes, bien que qualitatives et suggestives, peuvent permettre d'expliquer pour certains échantillons des densités anormalement faibles par exemple.



INTERPRETATION DES RESULTATS

On parle de restauration d'un écosystème lorsqu'il retourne, avec ou sans l'aide de l'homme, à l'état préexistant avant la perturbation. L'état initial, biologiquement parlant, est très difficile à établir : faut-il se baser sur l'année d'avant, celle d'encre avant ou sur les 10 dernières années ? Faut-il tenir compte des variations saisonnières, très importantes en zone côtière, sur les compartiments biologiques ?

La simple crue d'un fleuve côtier crue va, par exemple, pouvoir doubler les densités d'animaux benthiques et modifier le cortège des espèces dominantes. Dans le suivi de FOS 2XL (Marseille), par exemple, il a été établi que les clapages avaient généré le même type de réactions sur le benthos que certains types de crues du Rhône (Hermand, 2008).

Dans le cadre des opérations de dragages et d'immersions, un gestionnaire de port n'est pas en mesure de faire établir "l'état initial réel" de la communauté benthique potentiellement impactée. Ainsi, pour prendre en compte les variations naturelles de l'écosystème, le site de dragage ou d'immersion sera considéré comme « restauré » lorsqu'il sera devenu statistiquement comparable aux sites témoins non perturbés. La définition des points de référence, extérieurs à la zone d'impact et qui seront suivis au même rythme que la zone de travaux, se base sur l'étude de dispersion des particules, la courantologie, la profondeur, l'étendue de la biocénose en place, la granulométrie... ainsi que sur les connaissances préalables de ce type de travaux. Il suffit en général d'un kilomètre entre la zone de travaux et un point de référence et de tâcher de rester dans la même biocénose. Ainsi un suivi en parallèle des zones impactées et non impactées permet de prendre en compte les variations naturelles du compartiment benthique.

Lors de l'étude de Fos 2XL, le suivi s'est poursuivi jusqu'à 34 mois après la fin des immersions et la restauration du milieu était quasi complète : restauration de la densité, des espèces dominantes, des variations saisonnières. La méthode utilisée pour estimer le niveau de restauration du peuplement fera appel aux calculs de la distance canonique entre les stations. Cette méthode présente l'avantage de comparer les peuplements sur les plans qualitatif et quantitatif.

La distance entre chaque station dans la zone d'immersion (appelée A) et les points de référence (Ref) sera calculée. L'évolution temporelle de cette distance permettra d'apprécier l'évolution des communautés. La diminution de la distance peut traduire trois hypothèses : elle peut être due 1) au rapprochement du peuplement de A vers celui de Ref, 2) de l'inverse ou encore 3) de la variation concomitante des deux l'un vers l'autre (Figure 3).

Parallèlement, la variation des peuplements de référence sera suivie avec le même paramètre en s'appuyant sur les données les plus anciennes dont on dispose. Ceci permettra de savoir si, oui ou non, les peuplements de référence ont varié. Dans l'hypothèse d'une diminution de d_{A-Ref} qui traduirait les phénomènes de restauration du peuplement dans les stations A, le moment où la restauration pourra être considérée comme achevée sera défini comme l'instant où $d_{A-Ref} = 0$, c'est à dire le moment où la droite de régression coupe l'axe des abscisses. Une bande de confiance (95 %) autour de la droite de régression permettra de donner une fourchette autour de ce moment. A partir de ce moment, il ne sera pas forcément nécessaire de poursuivre le suivi des communautés.

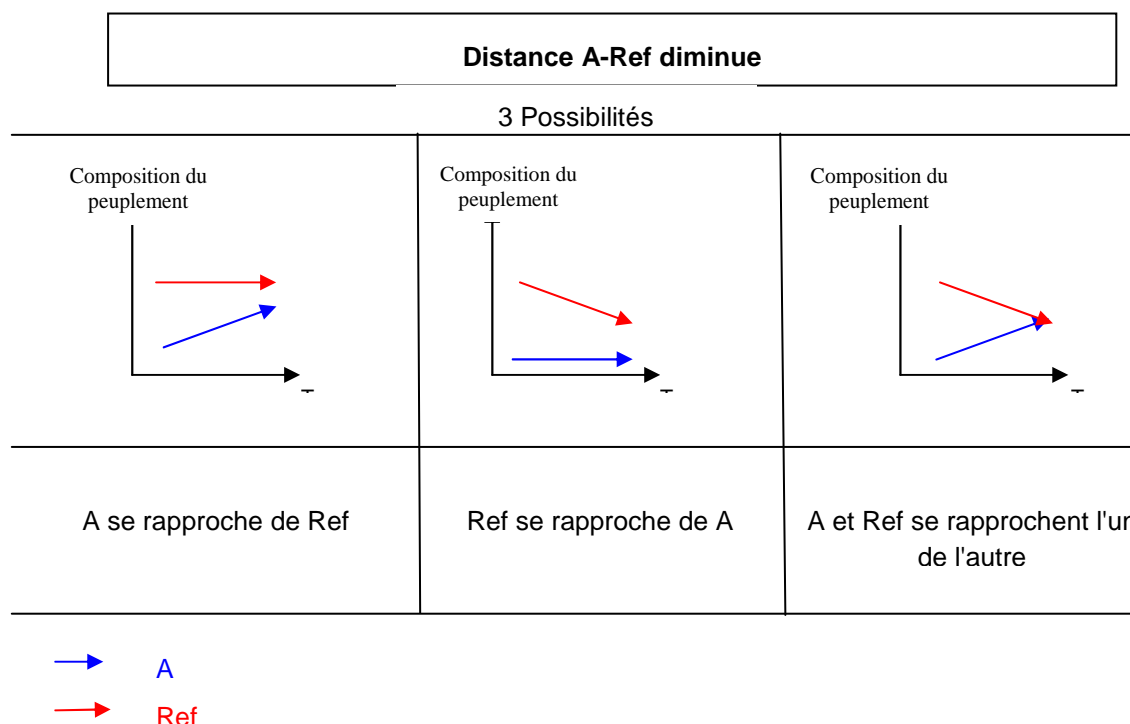


Figure 10 : Schéma explicatif de l'hypothèse sous-jacente à la diminution de la distance entre une station dans la zone d'immersion (A) et un point de référence (Ref) A-Ref (dA-Ref). Si la dA-Ref diminue, elle peut être due au rapprochement du peuplement de A vers celui de Ref, de l'inverse ou encore de la variation concomitante des deux l'un vers l'autre.

ESTIMATION DES COÛTS

L'analyse d'un échantillon benthique est en moyenne facturé à 700 € (plein tarif, c'est-à-dire avec une détermination complète jusqu'à l'espèce). Une analyse simplifiée (avec une détermination jusqu'au genre ou uniquement détermination à l'espèce des espèces dominantes) est en moyenne facturée à 450 €. La détermination de la biomasse totale coûte en moyenne 50 €. Une analyse, espèce par espèce, le double. Le déplacement en bateau et la réalisation du prélèvement coûte en moyenne 1 500€ la journée.

Compte tenu de tout cela le suivi complet d'une station pendant 10 ans s'élève en moyenne à 46 000 €. Le suivi simplifié sur la même durée 41 000 €. Le suivi peut-être plus court si l'on estime le moment où la restauration est effective.

Le **Tableau 4** montre le coût de différents scénarios de suivis sur 10 ans en fonction de la fréquence d'échantillonnage. Un protocole simplifié par rapport à ce qui se fait couramment aujourd'hui (suivi semestriel ; détermination jusqu'au genre ; suivi des espèces dominantes; biomasse par espèce; division par 2 du nombre de stations au bout de 3 ans ; suivi sur 10 ans) permettrait par exemple de réaliser un suivi avec une fréquence deux fois plus élevée pour le même prix.



Tableau 4 : Estimations des coûts de suivi des peuplements benthiques selon plusieurs scénarios : 10 ou 5 stations selon 3 protocoles différant par la fréquence d'échantillonnage, la précision de la détermination

	10 stations	5 stations
Protocole 1: <ul style="list-style-type: none"> • Suivi annuel • Détermination jusqu'à l'espèce • Biomasse par espèce • Toutes les stations pendant 10 ans 	110 000 € $(700 \times 10 + 100 \times 10 + 2 \times 1\,500) \times 10$	55 000 € $(700 \times 5 + 100 \times 5 + 1 \times 1\,500) \times 10$
Protocole 2 <ul style="list-style-type: none"> • Suivi semestriel • Détermination jusqu'à l'espèce • Biomasse par espèce • Toutes les stations pendant 10 ans 	220 000 € $(700 \times 10 + 100 \times 10 + 2 \times 1\,500) \times 2 \times 10$	110 000 € $(700 \times 5 + 100 \times 5 + 1 \times 1\,500) \times 2 \times 10$
Protocole 3 simplifié <ul style="list-style-type: none"> • Suivi semestriel • Détermination jusqu'au genre/suivi espèces dominantes • Biomasse par espèce • Division par 2 du nombre de station au bout de 3 ans • Suivi 10 ans 	110 500 € $(450 \times 10 + 100 \times 10 + 2 \times 1\,500) \times 2 \times 3$ $+ (450 \times 5 + 100 \times 5 + 1\,500) \times 2 \times 7$	69 600 € $(450 \times 5 + 100 \times 5 + 1\,500) \times 2 \times 3$ $+ (450 \times 3 + 100 \times 3 + 1\,500) \times 2 \times 7$

Exemple du suivi de FOS 2XL : 10 stations à l'extérieur + 16 stations intérieures (7 km²) : 1 fois par an : 18 200€ pour la détermination : 3 jours de prélèvement : 4 500 € soit : 22 700 € par an puis après vérification de l'homogénéité de la zone : réduction du nombre de stations à 16 soit une économie annuelle de 7 000 €.

BIBLIOGRAPHIE

1. Hermand, R. Restauration et dynamique d'une communauté marine benthique soumise à d'importants apports sédimentaires allochtones (naturels ou anthropiques). 236 (2008).

Fiche n°8 : Flore aquatique

OBJECTIFS

- ➔ Evaluer l'incidence des travaux sur les herbiers sous-marins.

REGLEMENTATION

Tableau 5 : Réglementation en vigueur concernant la protection de la flore aquatique

Internationale	Communautaire	Nationale
Convention de Berne, 1979 – Annexe I	Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 dite Directive Habitats – Faune – Flore – Annexe V	Arrêté du 19 juillet 1988 Natura 2000 (art L. 414.1 à L. 414.7 du Code de l'Environnement).
Convention de Barcelone, 1976 – Annexe II		

En principe, aucun dragage ou d'immersion de produits de dragage ne doit être autorisé sur les herbiers, considérés comme écosystème à grande valeur écologique ou économique. Toute opération de ce type sur les herbiers nécessite une demande de dérogation à la DREAL, au CNPN et à la Préfecture de Région.

PARAMETRES A MESURER

➔ Les paramètres à mesurer pour les prairies des Zostères

- Position géographique ;
- Evolution dynamique (superficie et taux de fragmentation) ;
- Densité selon trois critères :
 - herbier continu (surface recouverte de façon homogène supérieure à 10 m²) et discontinu (taille semblable et régulièrement espacée),
 - taches (présence irrégulière de « taches » de taille et d'homogénéité variable),
 - pieds dispersés ;
- Associations (épiphytes) ;
- Nature du substrat.

➔ Les paramètres à mesurer pour les prairies de *Posidonia oceanica*, *Halophila stipulacea* et *Cymodocea nodosa*

- Densité ;
- Déchaussement des rhizomes ;
- Pourcentage de rhizomes plagiotropes ;
- Taux de recouvrement de l'herbier.



STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Ces suivis se réalisent une à deux fois par an, au printemps et à l'automne. Les biologistes spécialisés effectuent une sélection de sites répartis dans les principales zones de l'herbier en considérant la dynamique de population, la diversité des peuplements faune et flore associés et divers paramètres environnementaux.

METHODES D'ACQUISITION ET D'ANALYSES

➤ **Photographie aérienne** : la photographie aérienne implique l'usage d'un équipement spécialisé associé à l'avion utilisé. Les clichés doivent être restitués à une échelle adaptée à l'étude des biocénoses marines. Habituellement, elle est comprise entre 1/5 000 et le 1/10 000. La résolution au sol obtenue est entre 15 et 20 cm en fonction des objectifs recherchés par la cartographie et la surface couverte. Avec un recouvrement de 60 %, le cliché permet une surface utile d'1 km².

Lors d'une campagne de reconnaissance normale de 4 heures, la surface couverte en une journée est de 400 km. Cette technique implique le travail d'un spécialiste en analyse et interprétation des clichés et en information géographique numérisée qui peut être intégrée au Système d'Information Géographique (SIG). Le traitement des données varie en fonction du nombre des clichés (surface couverte) et de la complexité des fonds et de leur assemblage (herbier-sable-roche-matte). Il faudra également tenir compte de la topographie des fonds, de la surface couverte par des faibles profondeurs, notamment celles inférieures à 15 m.

On notera que les herbiers de Zostères se situant normalement et en grande majorité en zone médiolittorale exondable (entre 0 et 2 m). Les supports les plus appropriés et les plus utilisés sont les orthophotographies littorales (exemple : Programme PROLITTORAL – Été 2006 – CEVA). Toutefois, certains herbiers de *Z. marina* atteignent des profondeurs jusqu'à 5 m. Dans ce cas, la hauteur d'eau devient trop importante pour les orthophotographies et on utilise des images satellites (SPOT) et/ou les images acoustiques.

➤ **Sonar latéral** : le sonar latéral permet de prospecter une surface d'environ 1000 hectares par jour. Son utilisation implique la présence d'un technicien sonariste et d'un géomorphologue sous-marin capable de dépouiller et d'interpréter les données d'images sonar et les vérités terrain. Ensuite, une maquette de carte interprétée est numérisée et calée dans le système de référence géographique choisi.

➤ **Cartographie** : la cartographie nécessite le travail de spécialistes en informatique, en SIG et en gestion de bases de données. Ils intègrent et analysent l'ensemble des informations géographiques issues des diverses sources telles que nomenclature commune, informatique (formats), géométrie (précision) et géographie (référentiel). Ils doivent ensuite effectuer un travail de conception et d'édition des cartes, de structuration, de sauvegarde et de reproduction de la base de données.

➤ **Plongée sous-marine** : la plongée sous-marine est une méthode complémentaire, mise en œuvre lorsque la confirmation sur le terrain des données obtenues s'avère nécessaire. Elle permet d'acquérir des données telles que la densité, le taux de déchaussement, le taux de recouvrement, etc. Le protocole de la plongée a été établi par Panoyotidis, et al. en 1988 et nécessite un plongeur scientifique expérimenté.

➤ **Microcartographie par télémétrie acoustique** : cette technique assez récente, se base sur un principe d'interférométrie acoustique 3D (Médard J., 2003). La télémétrie acoustique permet d'obtenir un positionnement au centimètre près et de réaliser donc une microcartographie des prairies de biocénoses.

Cette méthode de localisation a été initiée pour l'archéologie sous-marine, dans le cadre de relevés d'objets et de charpente, et le génie civil. Depuis 2002, elle est appliquée à la réalisation de cartographie de végétation marine.



Cependant, la télémétrie acoustique connaît son véritable essor depuis 2006 grâce notamment à une amélioration technologique (nouveau type de pointeur) qui permet une meilleure précision des relevés et la réalisation de carte à une échelle proche du 1/50.

➤ **Prélèvements** : la prise d'échantillons de plantes marines ne s'effectue que s'y elle s'avère véritablement nécessaire dans le cadre du projet de suivi en cours (par exemple dans le cas d'analyses toxicologiques), compte-tenu de la fragilité et de l'importance des prairies au sein de l'écosystème marin. Les mesures effectuées sur place ainsi que les photographies sous-marines permettent d'éviter les prélèvements et de maintenir la zone d'étude dans son intégralité. Cependant, et dans le cas d'une stricte nécessité, les échantillons devront être prélevés en nombre variable d'exemplaires entiers (feuilles et racines) représentatifs de la zone d'étude.

➤ **Observation assistée** : des robots sous-marins de type ROV peuvent enfin être utilisés pour le suivi lorsque les conditions locales le permettent. Ils s'avèrent particulièrement utiles sur les fonds de grande profondeur.

INTERPRETATION DES RESULTATS

➤ **Densité** : le nombre de faisceaux (par mètre carré) détermine la densité. Les herbiers présentent naturellement des différences importantes entre eux notamment expliquées par la profondeur et les diverses conditions de milieu telles que la luminosité et le type de substrat.

➤ **Déchaussement des rhizomes** : le déchaussement des rhizomes s'explique par un déficit sédimentaire de l'herbier. Cette donnée permet d'apprécier l'évolution de l'hydrodynamisme de la zone d'étude et des mouvements sédimentaires qui y sont liés. Un déchaussement important des rhizomes signifie que la prairie est plus fragile et plus vulnérable. L'appréciation du niveau de déchaussement s'effectue au travers d'une série de conventions établies par Bourdouresque et al. (1980).

➤ **Pourcentages de rhizomes plagiotropes** : la présence de rhizomes plagiotropes traçants (croissance horizontale) signifie que l'herbier est en progression et qu'il dispose d'une bonne vitalité.

➤ **Recouvrement de l'herbier** : le taux de recouvrement de l'herbier est un bon indicateur de l'état de vitalité de l'herbier. Le recouvrement varie en fonction d'un certain nombre d'éléments tels que la nature du substrat, la profondeur, ou lorsque l'herbier est soumis à des facteurs dits perturbateurs (zones de mouillage, proximité de zone perturbée liée à des aménagements ou rejets).

L'estimation du recouvrement de l'herbier consiste à déterminer un taux de couverture du substrat par l'herbier par rapport aux zones non couvertes qui peuvent être du sable, de la matre morte ou de la roche.

Une échelle d'évaluation du recouvrement permet de qualifier le recouvrement de faible, de moyen ou de fort (Tableau 6). Cette échelle a été établie dans le cadre du RSP. Les critères d'évaluation diffèrent en fonction de la position de la limite (supérieure ou inférieure) car le recouvrement diminue avec la profondeur.

Tableau 6 : Interprétation de la vitalité de l'herbier (tendance a la progression) en fonction des pourcentages de recouvrement moyens mesures ou estimes le long du balisage en limite supérieure d'herbier

Limite supérieure	Limite inférieure	Interprétation
Inférieur à 40 %	Inférieur à 20 %	Faible recouvrement
De 40 à 80 %	De 20 à 50 %	Recouvrement moyen
Supérieur à 80 %	Supérieur à 50 %	Fort Recouvrement

➔ **Dynamique de l'herbier** : l'étude de l'ensemble des critères (densité, déchaussement et recouvrement) permet d'établir la dynamique de l'herbier. Elle est liée à la situation des limites des prairies et détermine quatre principaux types : progressives, franches, érosives, ou régressives.

➔ **Faune et flore associée** : les herbiers, qu'ils soient marins ou estuariens, de Posidonie ou d'autres espèces sont des zones riches en biodiversité étant à la fois des habitats permanents et des sites de reproduction de nombreuses espèces animales (Tableau 7). Les activités de dragage ou d'immersion peuvent avoir une incidence sur les habitats des espèces liées aux herbiers (turbidité de l'eau, accumulation de sédiments). Le tableau présenté ci-après recense les principales espèces animales et végétales qui souvent accompagnent les herbiers.

On notera que lorsque la présence d'espèces invasives végétales est confirmée sur le site de dragage, des mesures préventives sont à appliquer afin d'éviter la propagation des espèces. En outre, il est recommandé de prévoir un traitement à terre des matériaux extraits du dragage et d'installer des protections géotextiles immergées afin d'éviter le déplacement incontrôlé de restes de plantes.

Tableau 7 : Liste des espèces souvent liées aux herbiers marins ou estuariens

<i>Espèces protégées</i>	<i>Espèces invasives</i>
<u>Phanérogames</u>	<u>Espèces marines végétales</u>
Cymodocée (<i>Cymodocea nodosa</i>)	Caulerpe tropicale (<i>Caulerpa taxifolia</i>)
Zostères (<i>Zostera noltii</i> , <i>Z. marina</i>)	<i>Caulerpa racemosa</i>
<u>Espèces marines animales</u>	
Grande nacre (<i>Pinna nobilis</i>)	
Mérou brun (<i>Epinephelus marginatus</i>)	
Oursin diadème (<i>Centrostephanus longispinus</i>)	
Oursin violet (<i>Sphaerechhinus granularis</i>)	
Grande cigale (<i>Scyllarides latus</i>)	
Datte de mer (<i>Lithophaga lithophaga</i>)	
Saupe (<i>Sarpa salpa</i>)	

ESTIMATION DES COÛTS

L'obtention des critères basiques de contrôle (turbidité et contaminants de l'eau) implique un certain coût financier qu'il s'avère nécessaire de connaître :

- Prise des échantillons par des biologistes spécialisés : 1 000 € /j
- Analyse et acheminement d'un échantillon. entre 300 et 500 €

Dans la pratique, on procède au prélèvement de 4 à 5 échantillons d'eau représentatifs de la zone d'étude (mi-profondeur). On obtient un échantillon moyen issu du mélange des échantillons que l'on remet au laboratoire spécialisé.

Les estimations correspondant à un suivi plus complet sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Estimations des coûts de suivi de la flore aquatique

Méthodes	Coût	Observations
↻ Sonar latéral		
Matériel (Edge Tech DF 1000 DCI 16)	1 000 € par jour	
Bateau	De 3 000 à plus de 6 000 € par jour	
Sonariste embarqué (1 ou 2 personnes)	De 5 000 à 8 000 € bruts journaliers	
Géomorphologue (4 à 5 jours)	De 2 500 à 5 000 €	
Mise en forme de la carte	De 1 000 à 2 000 €	
↻ Photographie aérienne		
Coût campagne – km ²	De 150 € environ à 60 000 €	
↻ Cartographie		
Coût campagne	Entre 5 000 et 10 000 €	
↻ Plongée sous-marine		
Equipe de 4 plongeurs :		
Observations biocénose	2 500 € (coût journalier)	
Cartographie	De 5 000 à 9 000 €	
Traitement des données (SIG)	Entre 4 000 et 14 000 €	
↻ Microcartographie par télémétrie acoustique		Cette méthode à un coût élevé pour l'acquisition du matériel. Partie du coût général supposé par le balisage. Une grande partie des frais est représentée par l'équipe de plongeurs.

BIBLIOGRAPHIE

BOUDOURESQUE C.F., THOMMERET J., THOMMERET Y., 1980. Sur la découverte d'un bioconcrétionnement fossile intercale dans l'herbier à *Posidonia oceanica* de la baie de Calvi (Corse). Journées Etud. Systém. Biogéogr. médit., Cagliari, CIESM, Monaco : 139-142.

MEDARD J. 2003. AQUA-METRE D100, portable underwater metrology system for dive RSP Soc symposium, Portsmouth April 9, 2003.

PANAYOTIDIS P., BOUDOURESQUE C.F., 1981. Végétation marine de l'île de Port-Cros (Parc National). XXI. Aire minimale et patchiness de la flore épiphyte des feuilles de *Posidonia oceanica*. Trav. sci. Parc nation. Port-Cros, Fr., 7 : 71-84.

Fiche n°9 : Algues

OBJECTIFS

⇒ Evaluer l'incidence du projet sur les peuplements d'algues.

REGLEMENTATION

Tableau 9 : Réglementation en vigueur concernant la protection des algues

	Internationale	Communautaire	Nationale
Législation	Convention de Rio, 1992 Convention de Berne, 1979 – Annexe I Convention de Barcelone, 1976 – Annexe II	Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 dite Directive Habitats – Faune – Flore – Annexe V	Natura 2000 (art L. 414.1 à L. 414.7 du Code de l'Environnement).
Espèces spécifiques protégées	<i>Cystoseira amentacea</i> <i>C. mediterranea</i> <i>C. sedoides</i> <i>C. spinosa</i> <i>C. zosteroides</i>	<i>Lithothamnion corallioides</i> <i>Phymatholiton calcareum</i>	

PARAMETRES A MESURER

⇒ Evolution dynamique

L'évolution de la dynamique des champs d'algues implique l'étude de deux paramètres mesurés sur un échantillon représentatif. Le premier paramètre est la surface des prairies, qui représente l'ensemble de l'habitat colonisé. Elle est déterminée selon trois critères :

- Prairie continue (surface recouverte de façon homogène supérieure à 10 m²) et discontinue (taille semblable et régulièrement espacée),
- Taches (présence irrégulière de « taches » de taille et d'homogénéité variable),
- Pieds dispersés.

Le deuxième paramètre est le taux de fragmentation déterminé à l'aide d'un logiciel de traitement d'image. Dans le cas des faciès à algues calcifiées libres du détritique côtier, ces paramètres doivent être étudiés sur un minimum de 3 échantillons par masse d'eau.

⇒ Présence ou absence d'espèces

Lors du suivi d'une prairie d'algues, l'identification des espèces (Gayral, P., Cosson, J. 1966) qui forment cette prairie permet de connaître son évolution après plusieurs années, suite à des possibles impacts anthropiques.

⇒ Taux de recouvrement d'une espèce ou d'un groupe d'espèces

Le taux de recouvrement permet également de connaître l'évolution de la prairie au fil des années.



↪ Hauteur des strates

Les algues, suivant les espèces, ont différentes hauteurs de strates qui peuvent varier de 30 cm à plus d'un mètre. L'étude de ces strates sur plusieurs années permet d'obtenir des renseignements précis sur leur croissance et sur la qualité du milieu dans lequel elles évoluent

↪ Diversité spécifique

Ce paramètre se mesure en fonction des données de présence ou d'absence de certaines espèces et non pas en nombre d'individus. L'obtention de cette donnée est trop difficile concernant les prairies d'algues. Leur identification s'effectue principalement au laboratoire, après un prélèvement des principales espèces présentes sur la prairie.

Il conviendra également d'effectuer un recensement des **associations** (épiphytes), de connaître les **caractéristiques de l'eau** et d'indiquer la **nature du substrat**.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

La stratégie d'échantillonnage sera déterminée par les biologistes en charge du suivi. Ils définiront, une zone représentative de la prairie, à partir de données antérieures, en fonction de la dynamique de la prairie, des flores et faunes associées et des paramètres environnementaux.

Les coordonnées géographiques devront être déterminées afin de pouvoir réaliser un suivi régulier. Le suivi sur plusieurs années se base en effet sur une localisation exacte de la zone d'étude. Il exist plusieurs possibilités d'obtenir la position géographique des prairies d'algues. Les itinéraires de navigation doivent être positionnés de manière précise, autant que possible avec un DGPS. Les coordonnées géographiques doivent être exprimées en latitude – longitude, et le référentiel utilisé (de préférence WGS84) doit être précisé.

Les suivis sont en principe réalisés une à deux fois par an, au printemps et/ou à l'automne pour que les différentes espèces puissent être représentées (espèces hivernales et estivales), tous les ans pendant une période de 5 à 10 ans.

Des protocoles élaborés, notamment par IFREMER, et les stations biologiques qui étudient les algues (Roscoff, par exemple), (Feldmann, J., 1954 ; Feldmann, J. et F.Magne,, 1964) seront ensuite appliqués afin de procéder aux diverses mesures.

METHODES D'ACQUISITION ET D'ANALYSE

Il existe plusieurs méthodes pour suivre l'évolution des prairies d'algues : le sonar latéral, la photographie aérienne, la cartographie, la plongée sous-marine et la microcartographie par télémétrie acoustique.

↪ Sonar latéral

Le sonar latéral permet de prospecter une surface d'environ 1 000 ha par jour. Son utilisation implique la présence d'un technicien sonariste et d'un géomorphologue sous-marin capables de dépouiller et d'interpréter les données d'images sonar et les vérités terrain. Ensuite, une maquette de carte interprétée est numérisée dans le système de référence géographique choisi.

↪ Photographie aérienne

La photographie aérienne implique l'usage d'un équipement spécialisé associé à l'avion utilisé. Les clichés doivent être restitués à une échelle adaptée à l'étude des biocénoses marines. Habituellement, elle est comprise entre 1/5 000 et le 1/10 000. La résolution au sol obtenue est entre 15 et 20 cm en fonction des objectifs recherchés par la cartographie et la surface couverte. Avec un recouvrement de 60 %, le cliché permet une surface utile d'1 km².



Lors d'une campagne de reconnaissance normale de 4 heures, la surface couverte en une journée est de 400 km². Cette technique implique le travail d'un spécialiste en analyse et interprétation des clichés et en information géographique numérisée qui peut être intégrée au Système d'Information Géographique (SIG). Le traitement des données varie en fonction du nombre des clichés (surface couverte) et de la complexité des fonds et de leur assemblage (prairie-sable-roche-matte).

Il faudra également tenir compte de la topographie des fonds, de la surface couverte par des faibles profondeurs, notamment celles inférieures à 15 m.

➤ **Cartographie**

La cartographie nécessite le travail de spécialistes en informatique, en SIG et en gestion de bases de données. Leur mission a pour objectif d'intégrer et d'analyser l'ensemble des informations géographiques issues des diverses sources telles que : nomenclature commune, informatique (formats), géométrique (précision), géographique (référentiel).

Ils doivent ensuite effectuer un travail de conception et d'édition des cartes, de structuration, de sauvegarde et de reproduction de la base de données.

➤ **Plongée sous-marine**

La plongée sous-marine est une méthode complémentaire, mise en œuvre lorsque la confirmation sur le terrain des données obtenues s'avère nécessaire. Elle permet d'acquérir des données telles que la densité, le taux de recouvrement, la hauteur des strates, etc. La réalisation des travaux nécessite un plongeur scientifique expérimenté.

➤ **Microcartographie par télémétrie acoustique**

Cette technique assez récente, se base sur un principe d'interférométrie acoustique 3D (Médard J., 2003). La télémétrie acoustique permet d'obtenir un positionnement au centimètre près et de réaliser donc une microcartographie des prairies de biocénoses.

Cette méthode de localisation a été initiée pour l'archéologie sous-marine, dans le cadre de relevés d'objets et de charpente, et le génie civil. Depuis 2002, elle est appliquée à la réalisation de cartographie de végétation marine.

Cependant, la télémétrie acoustique connaît son véritable essor depuis 2006 grâce notamment à une amélioration technologique (nouveau type de pointeur) qui permet une meilleure précision des relevés et la réalisation de carte à une échelle proche du 1/50.

➤ **Prélèvements**

Les prélèvements sont parfois nécessaires, notamment dans le cadre de l'identification des espèces ou d'analyses toxicologiques. Ils sont effectués exclusivement en rapport avec le suivi. Cependant, les mesures peuvent être réalisées sur place par des photographies sous-marines et permettent de maintenir la prairie dans son intégralité.

Les échantillons sont prélevés en fonction des besoins scientifiques. Les exemplaires devront être entiers (crampon, stipe et fronde) et représentatifs de la zone d'étude. Pour les échantillons d'eau, on procède au prélèvement de 4 à 5 échantillons d'eau représentatifs de la zone d'étude (mi-profondeur). On obtient un échantillon moyen issu du mélange des échantillons que l'on remet à un laboratoire spécialisé.



INTERPRETATION DES RESULTATS

Le suivi de la prairie d’algues permettra de connaître comment évoluent les différents paramètres (évolution dynamique, présence ou absence d’espèces, taux de recouvrement, hauteur des strates et diversité spécifique). On juge généralement que l’écosystème n’a pas subi d’impacts si les variations de la surface occupée suivent une trajectoire qui n’est pas significativement pire que celles observées sur une station de référence soumise aux aléas naturels.

ESTIMATION DES COÛTS

L’obtention des critères basiques de contrôle (caractéristiques de l’eau et de la zone d’étude) implique un certain coût financier qu’il s’avère nécessaire de connaître :

- Prise des échantillons par des techniciens..... 800 € /j
- Analyse et acheminement d’un échantillon..... entre 300 et 500 €

Un suivi complet représente un coût nettement plus élevé qui varie en fonction de l’importance du suivi (durée de 5 ou 10 ans) et du possible impact sur la zone d’étude. Les estimations correspondant à un suivi plus complet sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Estimation du coût de suivi des algues

Méthodes	Coût
Sonar latéral	
Matériel (Edge Tech DF 1000 DCI 16)	1 000 € par jour
Bateau	De 3 000 à plus de 6 000 € par jour
Sonariste embarqué (1 ou 2 personnes)	De 5 000 à 8 000 € par jour
Géomorphologue (4 à 5 jours)	De 2 500 à 5 000 €
Mise en forme de la carte	De 1 000 à 2 000 €
Photographie aérienne	
Coût campagne – Km ²	De 150 € environ à 60 000 €
Cartographie	
Coût campagne	Entre 5 000 et 10 000 €
Plongée sous-marine	
Equipe de 4 plongeurs :	
Observations biocénose (Etude Prairie, Prélèvement Sédiment et Eau, Etude Faune, Analyse des données)	2 500 € par jour
Cartographie	De 5 000 à 9 000 €
Traitement des données (SIG)	Entre 4 000 et 14 000 €
Microcartographie par télémétrie acoustique	
Observation générale	Cette méthode a un coût élevé pour l’acquisition du matériel. Partie du coût général supposé par le balisage. Une grande partie des frais est représentée par l’équipe de plongeurs.

BIBLIOGRAPHIE



- FELDMANN, J., 1954. Inventaire de la flore marine de Roscoff. Travaux de la station biologique de Roscoff, 148 p.
- FELDMANN, J., MAGNE, F., 1964. Additions à l'inventaire de la flore marine de Roscoff. Travaux de la station biologique de Roscoff. 28 p.
- GAYRAL, P. COSSON, J., 1986. Connaître et reconnaître les algues marines. Ouest-France Ed., Rennes, 223p.
- MEDARD J. 2003. AQUA-METRE D100, portable underwater metrology system for dive » RSPSoc symposium, Portsmouth April 9, 2003.

Fiche n°10: Flore rivulaire

OBJECTIFS

➔ Evaluer l'incidence des opérations de dragages ou immersions sur la végétation des milieux estuariens.

REGLEMENTATION

Au niveau français, la flore rivulaire bénéficie d'un certain nombre de protections, tant au niveau national qu'international.

En France, dans tous les sites **Natura 2000** la réglementation impose une autorisation particulière si la flore rivulaire doit être impactée par les travaux (art. L.414 4 du code de l'environnement). L'**arrêté du 20 janvier 1982** modifié par l'arrêté du 30 août 1995 établit la liste des espèces végétales protégées sur l'ensemble du territoire. À celui-ci s'ajoute l'arrêté du **19 juillet 1988** qui établit la liste des espèces végétales marines protégées. Enfin, les **articles L 411-1 à 411-5, R 411-1 à 411-30 du code de l'environnement** garantissent de plus la préservation du patrimoine biologique

Par ailleurs, des arrêtés spécifiques à chaque région fixent la liste des espèces végétales protégées en complément de la liste nationale. La Gironde et les Landes font l'objet d'une liste de protection départementale (arrêté du 8 mars 2002).

Au niveau européen, la flore rivulaire est concernée par la directive « **Habitats Faune Flore** », **92/43/CE - 21 mai 1992** qui a pour objectif la protection des Habitats Naturels et par l'**Annexe I de la convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe** qui a pour objectif la conservation Faune Flore Sauvage et Habitats.

Au niveau international, certains estuaires sont concernés par la Convention RAMSAR et sont protégés en tant que zones humides.

PARAMETRES A MESURER

Si la flore rivulaire a été détruite, totalement ou en partie, et que le milieu permet une revégétalisation, il conviendra d'en suivre la restauration, tant au niveau flore proprement dite qu'au niveau faune associée (poissons, invertébrés...).

Un intérêt particulier devra être porté sur les habitats d'intérêt communautaires signalés, dans la zone de travaux et à l'aval, si des impacts indirects potentiels ont été identifiés.

Les paramètres qui seront suivis dépendront des associations phytosociologiques, des espèces identifiées et des objectifs de suivi. La vérification de la typologie des habitats en présence sera donc nécessaire préalablement aux travaux. Ainsi les paramètres les plus couramment suivis sont :

- Inventaire floristique ;
- Taux de recouvrement par espèce ou par groupe phytosociologique : surface couverte par l'espèce ou le groupe ;
- Nombre de pieds par espèce (pour les espèces à forte valeur patrimoniale) ;



- Développement, aspect général de la couverture végétale ;
- Estimation de l'abondance relative des différentes espèces ;
- État physiologique des individus et des communautés (reflet de l'état écologique).

En complément, une vérification de l'érosion de la berge et de la granulométrie peut être utile pour s'assurer que la revégétalisation est possible. Le suivi de la faune associée à la flore rivulaire sera également un indicateur du bon rétablissement de la ripisylve.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

Le suivi après les travaux consiste en un échantillonnage **annuel** au minimum, de préférence au printemps quand la plupart des espèces sont présentes et plus facilement identifiables. La durée du suivi pourra être comprise entre quelques années et dix ans selon les habitats en présence et les impacts subis.

Le plan d'échantillonnage sera établi en maillage plus ou moins serré selon les surfaces concernées, les impacts subis et le type d'habitat.

METHODES D'ACQUISITION ET D'ANALYSE

Une **prospection aérienne** (télédétection, orthophotographie littorale, photographie aérienne) permet d'établir une cartographie des grands types de milieux et peut être réalisée **lorsque les surfaces concernées sont importantes**. Elle devra être validée par une **prospection terrain** (botanique, phytosociologie) qui assure une cartographie plus fine des aires de répartition des espèces et habitats. Celle-ci consiste uniquement en de **l'observation et de la prise de photographies** (espèces, habitats, sites, aucune plante n'est prélevée dans le milieu.

METHODES D'ACQUISITION ET D'ANALYSE

Les résultats sont rassemblés et présentés sous forme de cartes de répartition d'espèces ou d'habitats selon l'échelle. L'échelle idéale des cartes produites est 1/5 000 pour assurer la comparaison avec les données cadastrales, les PLU, les données des Conservatoires Botaniques Nationaux (CBN).

L'état des lieux initial ainsi que l'analyse des données du suivi devront s'appuyer sur les données acquises parallèlement par les organismes spécialisés que sont les CBN, les associations naturalistes locales qui ont, en général, une très bonne connaissance du milieu, les laboratoires universitaires, les DREAL et dans le cas d'espèces protégées les Conseils Scientifiques Régionaux du Patrimoine Naturel (CSRPN).

ESTIMATION DES COÛTS

La prospection de terrain, qui peut être réalisée seule pour des surfaces raisonnables, nécessite la présence de botanistes spécialisés capables d'identifier les plantes à l'espèce. Une personne peut couvrir, au cours d'une journée, une surface 0.25 km². Le coût d'une prospection terrain peut être estimé à 2 000 €/km², soit 4 jours de travail pour une personne. La réalisation de la synthèse cartographique s'élève en moyenne à 1 500 €.

La réalisation d'une reconnaissance aérienne coûte 2 000-2 500 €/h. Le coût de la prospection peut s'élever très rapidement avec la surface couverte.

Le coût du suivi de 1 km² avec une fréquence annuelle pendant 5 ans s'élèvera à 17 500 € pour une analyse de terrain seule. Le suivi couplé aérien (3h)/terrain (3j) peut être évalué à 22 500 €.



Fiche n°11 : Ichtyofaune et espèces d'intérêt halieutique

OBJECTIFS

➔ Evaluer l'incidence des dragages/immersions sur les peuplements de poissons.

REGLEMENTATION

L'actuelle réglementation se base sur plusieurs directives européennes notamment la Directive Cadre sur l'Eau et la Directive "Habitats", mais également sur plusieurs articles du Code de l'Environnement (Tableau 11). Il faut mentionner la protection spécifique de l'Anguille européenne (*Anguilla anguilla*) suite à la publication du Règlement européen (R(CE) n°1100/2007).

Tableau 11 : Réglementation en vigueur concernant la protection des peuplements piscicoles

Réglementation	Élément protégé
<p>Européenne</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Directive n°2000/60/CE ▪ Directive Cadre sur Eau ▪ Directive 92/43/CEE ▪ Directive Habitat ▪ Règlement européen (R(CE) n° 1100/2007) 	<p>Améliorer la qualité écologique des eaux de transition</p> <p>Conservation des habitats naturels de la faune et de la flore sauvage (Natura 2000)</p>
<p>Française</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Art. L211-1 et R211-1 et suivant du Code de l'Environnement. ▪ Circulaire du 26 mars 2002 ▪ Arrêté ministériel du 8 décembre 1988 fixant la liste des poissons protégés sur l'ensemble du territoire national (J.O 22/12/1988) 	<p>Protection de l'Anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>)</p> <p>Préservation de la faune piscicole et des frayères</p> <p>Prise en compte de la qualité piscicole dans le système national d'information sur l'eau.</p> <p>Liste des poissons protégés en France</p>

PARAMETRES A MESURER

Le suivi d'espèces d'intérêt halieutique s'articule autour de trois critères de base :

- **Nature des espèces**
- **Densité** : elle est définie comme le nombre d'individus capturés sur une zone déterminée avec un outil calibré sur une surface donnée ;
- **Taille** : elle peut être déterminée par la longueur totale (LT) ou la longueur standard (LS) ;
- **Poids**.



Pour les poissons, on peut par ailleurs se référer au manuel des inventaires ichtyologiques pour la DCE (Directive Cadre sur l'Eau). Il a été complété par les manuels de protocole issus des diverses campagnes d'IFREMER (Désaunay et Guérault, 2002).

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➤ **Localisation des stations** : l'IFREMER préconise pour le suivi d'incidences d'opérations en mer sur les ressources halieutiques, de considérer un minimum de 2 stations d'échantillonnage à l'intérieur des zones d'opération, et de multiplier les stations de référence spatiale à l'extérieur (10 à 15) réparties de manière homogène autour du site, en fonction des faciès sédimentaires identifiés lors de la cartographie par sonar à balayage latéral et de la présence d'autres activités marines susceptibles d'influencer les prélèvements.

Des points supplémentaires peuvent être considérés de façon à estimer des effets indirects des extractions, notamment en aval des courants dominants pour l'effet de remise en suspension de matériaux et de sédimentation associée, en prenant soin à chaque fois d'avoir au moins deux stations par zone.

Il faut également considérer la bathymétrie notamment dans les estuaires ainsi que le gradient amont-aval de salinité.

➤ **Période et fréquence d'échantillonnage** : le suivi doit prendre en compte la variabilité saisonnière des groupes d'espèces du milieu. Différentes zones géographiques se caractérisent par différentes saisons halieutiques (nombre de saisons et durée) qui conditionnent les périodes les mieux adaptées aux campagnes en mer. Elles sont généralement d'un nombre de 4 (une par saison) à 12 (une par mois). Des préconisations complémentaires de période diurne ou nocturne pourront être émises afin de s'adapter au mieux au comportement des différentes espèces visées. Pour les mers à marée, les campagnes devront être réalisées à des coefficients de marée similaires et à des moments de la marée équivalents.

➤ **Durée de suivi** : l'IFREMER préconise pour le suivi d'incidences d'opérations en mer sur les ressources halieutiques, un suivi en deux temps :

- à court terme, selon une fréquence annuelle pendant une durée de 3 à 5 ans suivant le début des extractions ;
- à long terme, selon une fréquence quinquennale à la suite du suivi à court terme, qui devra être poursuivi jusqu'à 10 années après échéance de l'utilisation du site.

METHODES DE PRELEVEMENT

Chaque prélèvement devra être réalisé avec le même matériel et, si possible, les mêmes navires de pêche. Les engins utilisés devront être adaptés aux ressources halieutiques locales, et pourront être définis en concertation avec les représentants des instances de pêche locales. Quelques préconisations générales d'équipement peuvent néanmoins être faites :

- chalut de fond classique ou chalut à perche pour les espèces benthiques ;
- chalut à grande ouverture verticale pour les espèces démersales ;

Remarque : pour ces deux techniques, un petit maillage est recommandé pour capturer à la fois les juvéniles et les adultes

- drague pour certains bivalves (coquille Saint-Jacques) ;
- benne pour la faune benthique endogée ;
- casiers pour les crustacés et les bulots.



Doivent être standardisés : la durée des opérations de pêche, la vitesse des arts traînants (généralement comprise entre 2,5 et 4 noeuds), la durée d'immersion, le positionnement et le nombre de casiers ou filets pour les arts dormants.

On privilégiera une correspondance entre les zones de pêche et les zones retenues pour l'analyse du benthos de façon à pouvoir relier les informations issues de ces deux types d'observations.

Les coordonnées des points de filage et de virage devront être relevées à chaque opération.

METHODES D'ANALYSE

Toutes les espèces doivent être identifiées, leur poids total relevé, leur longueur mesurée, et les individus dénombrés par espèces correspondantes. Le stade de maturité des espèces doit être déterminé afin de préciser les proportions de juvéniles et d'adultes dans les captures.

Les observations devront être exprimées au travers de descripteurs de diversité, d'abondance et de structure à différentes échelles biologiques (globale, par groupe d'espèces, par espèce, par taille, etc.). Le tableau suivant propose quelques indicateurs pour ces différentes échelles.

Tableau 12 : Exemple de descripteurs de l'état des peuplements halieutiques

Descripteur	Echelle			
	Communauté	Groupe fonctionnel	Taille	Espèce
Abondance	Nombre total / Biomasse totale			Nombre, biomasse
Diversité	Richesse spécifique brute / Indice de Simpson / Indice de Shannon-Wiener			Distribution des individus par stade (larvaire, juvénile, adulte), distribution (en nombre ou biomasse) des individus par classe d'âge et/ou de taille / indices de diversité par classe d'âges ou de tailles
Structure	Fréquence de distribution (en nombre ou en biomasse) des individus entre taille, courbes Abondance/Biomasse			

INTERPRETATION DES RESULTATS

L'interprétation des résultats repose sur la comparaison de l'état des ressources halieutiques de la zone perturbée à leur état avant opération sur cette même zone, tout en compte de la variabilité naturelle définie par l'état des ressources sur les zones de référence non impactée par le projet. L'état des ressources halieutiques sera décrit par les différents indicateurs proposés ci-avant. L'IFREMER préconise une comparaison sur la base de :

- Modèles linéaires généralisés à effets mixtes (GLMMs) ;
- Analyses de variance hiérarchique (nested ANOVA) en cas de nombres restreints d'échantillons ;
- Analyses multivariées descriptives.

L'ensemble des données halieutiques et les descripteurs associés pourront faire l'objet de cartes de synthèse aux différentes étapes du suivi.



ESTIMATION DES COÛTS

L'usage d'un chalutier implique manifestement le coût le plus important du suivi. Il varie en fonction des caractéristiques du navire et de la durée des travaux sur site. Il faut également tenir compte du personnel à bord qui réalisera les mesures mais également du personnel en charge de leur analyse.

Les coûts varient suivant les instituts et organismes privés et devront être calculés au cas par cas. Certaines études sont déjà menées par IFREMER ou d'autres stations biologiques. Il convient de consulter au préalable ces organismes afin de savoir si la zone prévue des travaux de dragage ou d'immersion fait l'objet d'un suivi environnemental.

Tableau 13 : Estimation des coûts d'un suivi des peuplements halieutiques

Élément à considérer	Coût estimé en €
▪ Location d'un chalutier (Equipage et combustible compris)	De 2 000 à 4 000 € par jour
▪ Personnel scientifique à bord (4 personnes avec l'équipement et le matériel nécessaire)	De 1 000 à 2 000 € par jour
▪ Analyse des données recueillies à bord du chalutier auprès d'un laboratoire spécialisé.	De 500 à 1 000 € par jour

ORGANISMES RESSOURCES

⇒ **Organisme public de référence : IFREMER**

BIBLIOGRAPHIE

Le protocole de référence de l'IFREMER pour la description de l'état initial et le suivi des ressources halieutiques dans le cadre d'une exploitation de granulats marins :

<http://www.ifremer.fr/drogm/Ressources-minerales/Materiaux-marins/Protocoles/Ressources-halieutiques>

DESAUNAY Y. ET GUERULT D., 2002. Manuel des protocoles de campagnes halieutiques. Campagnes nourriceries Gascogne. IFREMER DRV/RH/DT/2002-005, 31 p.

DESAUNAY Y. ET GUERULT D., 2003. Evolution du peuplement halieutique de la Baie de Vilaine au cours des décennies 1980 et 1990. IFREMER DRV/RH/RS/03-01, 25 p.



Fiche n°12 : Avifaune

OBJECTIFS

- ➔ Déterminer les impacts subis par les communautés avifaunistiques.
- ➔ Suivre l'état global de l'écosystème.

REGLEMENTATION

L'avifaune bénéficie de nombreuses protections réglementaires, tant au niveau des espèces elles-mêmes que des habitats. Au niveau international, la convention de Bonn (Décision 82/461/CEE du Conseil, du 24 juin 1982) a pour objectif la conservation des espèces migratrices à l'échelle mondiale.

Au niveau européen, deux directives et la convention de Berne assurent la protection des oiseaux :

- **La directive « Habitats Faune Flore », 92/43/CE - 21 mai 1992** a pour objectif la protection des habitats naturels, de la faune et de la flore.
- **La directive « Oiseaux » 79/409/CE – 2 avril 1979**: a pour objectif la conservation des oiseaux sauvages
- **La convention de Berne relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe** : a pour objectif la conservation de la faune, de la flore sauvage et des habitats.

Au niveau national : l'**arrêté du 29 octobre 2009 fixant la liste des oiseaux protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection** établit, qu'à quelques exceptions près et en dehors des oiseaux faisant l'objet d'une autorisation de chasse, tous les oiseaux rencontrés sur le territoire font l'objet d'une protection.

PARAMETRES A MESURER

Sur la zone de dragage, il s'agit de vérifier la **présence d'aires de nidification et/ou de repos** des oiseaux. En cas de présence et de suspicion d'impact, le suivi peut consister à suivre **l'évolution du nombre de nids, du nombre d'œufs par nid et d'oisillons qui atteignent l'envol**. Pour les oiseaux hivernants, c'est-à-dire les migrateurs, le suivi peut consister à surveiller le **nombre d'oiseaux et les espèces observées** pendant la période où ils sont habituellement signalés.

Sur la zone d'immersion, située généralement au large, les enjeux concernent principalement les oiseaux marins qui se nourrissent sur la zone. Le suivi peut consister à observer les peuplements en place, mais la pertinence d'un tel suivi paraît plus limitée comme cela est rappelé dans le corps du guide (chapitre 4).

Les suivis de l'avifaune pourront s'appuyer sur les réseaux de surveillance en place sur le territoire et les structures qui les animent. La Ligue de Protection de Oiseaux dispose par exemple d'antennes régionales et s'appuie sur un vaste réseau de bénévoles ; le Groupement d'Intérêt Scientifique Oiseaux Marins est plus particulièrement concerné par les oiseaux marins. À un niveau international, le réseau Wetlands (www.wetlands.org) se charge de compiler et de diffuser des données internationales.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➤ **Période d'échantillonnage** : la période de suivi sera différente pour les oiseaux nicheurs et pour les hivernants. Pour les nicheurs, il faudra veiller à ne pas déranger les oiseaux au moment de la nidification et de la ponte ou encore au moment de la période d'envol des jeunes. Pour les hivernants, cela dépend de la région de France et de la population d'oiseaux concernée.

➤ **Fréquence des suivis** : les comptages sont conventionnellement réalisés une fois par mois pendant toute la durée des suivis (Valéry, 2010).

➤ **Durée des suivis** : si un suivi de l'avifaune doit être mis en place, il conviendra que celui-ci dure au moins le temps des travaux en zone de dragage. Si aucun dérangement n'est engendré, il ne paraît pas nécessaire de poursuivre le suivi. Dans le cas contraire, il convient d'étendre le suivi sur un nombre de période de nidification ou d'hivernage permettant de conclure pertinemment des impacts occasionnés.

METHODES D'OBSERVATION

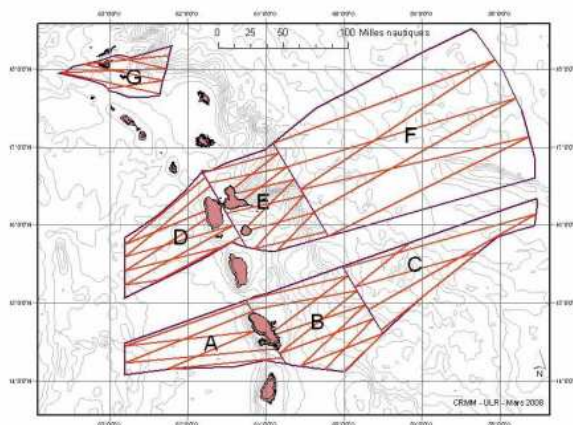


Figure 11: Exemple de plan d'échantillonnage selon la méthode REMMOA à partir d'un avion. En rouge, le tracé que doit suivre l'avion (Van Canneyt et al., 2009).

Il existe plusieurs stratégies pour assurer le suivi de l'avifaune. En zone de dragage, généralement située à proximité de la côte, le suivi peut s'effectuer à pied à partir du bord. Le périmètre de surveillance concerne l'ensemble de la zone où les oiseaux sont susceptibles d'être impactés. Pour les zones d'immersion situées en pleine mer, les observations peuvent être menées à partir d'une embarcation ou en avion. Les observations aériennes peuvent être couplées avec des observations de cétacés si ceux-ci sont prévus (Ridoux Vincent, Centre de Recherche sur les Mammifères Marins, com. pers.). Les observations peuvent être menées selon plusieurs méthodes : les transects linéaires, la méthode ROMER, le maillage REMMOA (Valéry, 2010).

Pour que les données du suivi puissent être interprétées et comparées avec les données d'autres études scientifiques il convient d'appliquer le même type de méthode. Ce type d'observations est très cadré, sans pour autant être normalisé : à partir d'une embarcation par exemple, la vitesse du bateau doit rester stable, les observateurs doivent être à une hauteur donnée par rapport à la surface de l'eau, équipés de jumelles, couvrir chacun la même zone, compter les oiseaux rencontrés pendant le même laps de temps...



METHODES D'ANALYSE

Les données récoltées sont compilées espèce par espèce et les analyses de la distribution des espèces (nombre de contacts par unité de surface) sont représentées sous formes de cartes dans un SIG.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats sont comparés avec des données de référence obtenues préalablement sur la zone, dans l'optique d'avoir un aperçu de plusieurs années du fonctionnement de la communauté dans la zone. L'avifaune est en effet un compartiment biologique naturellement soumis à des variations saisonnières importantes. Ceci rend l'interprétation des résultats d'un suivi difficile. Le lien entre les variations observées et la cause est très difficile à établir.

ESTIMATION DES COUTS

La journée d'observation avec un bateau adapté (vitesse constante de 10 nœuds, avec une taille de 5 m pour 2 observateurs) coûte environ 2 000-2 500 €. Les observateurs, ornithologues chevronnés capable d'identifier les oiseaux à l'espèce, coûtent 500 €/personne/jour. Selon la surface à couvrir, chaque campagne de suivi peut prendre 1 à 3 jours.

Dans l'hypothèse d'un suivi de 5 ans, réalisé en bateau, une fois par mois, le budget global serait d'environ 540 000 €.

Les campagnes menées en avion peuvent être préférées pour le suivi d'espaces étendus et des campagnes plus longues. Le coût d'une campagne « avion » est globalement équivalent à celui d'une campagne « bateau ».

BIBLIOGRAPHIE

Cadiou, 2011 : Cinquième recensement national des oiseaux marins nicheurs en France métropolitaine 2009-2011 1ère synthèse: bilan intermédiaire 2009-2010. 62 pp.

Valéry, 2010 : Étude de la répartition spatiale des oiseaux marins au large : Analyse synoptique de l'état de l'art pour le programme de connaissance Natura 2000 en mer. Service du Patrimoine Naturel, MNHN : 8 pp.

Van Canneyt O., Dorémus G., Certain G., Ridoux V., Jérémie S., Rinaldi R., Watremez P., 2009. Distribution et abondance des CETacés dans la zone économique exclusive des Antilles françaises par Observation aérienne Campagne EXOCET - Antilles - Rapport final : 45 pp.



Fiche n°13 : Mammifères marins

OBJECTIFS

➔ Evaluer l'incidence des opérations sur la fréquentation des milieux par les espèces de mammifères marins.

REGLEMENTATION

L'ensemble des différentes espèces de mammifères marins présentes sur le littoral et leurs habitats sont soumis à une protection issue de la réglementation internationale, européenne et française indiquée ci-dessous (Tableau 14). Il existe en Méditerranée un sanctuaire pour les mammifères marins, appelé PELAGOS, créé pour protéger les mammifères marins contre toutes les causes de perturbations provenant des activités humaines. Il couvre plus de 87 500 km² et englobe la partie maritime du bassin Corso-Liguro-Provençal.

Tableau 14 : Législation en vigueur sur la protection des mammifères marins et leur habitat

Niveau	Élément protégé	Législation
International	Plan de conservation pour les mammifères marins (Plan d'action pour la conservation de la biodiversité)	Convention de Rio (Juin 1992)
	Accords sur la conservation des petits cétacés en Mer du Nord et en Manche (possible extension en Atlantique).	ASCOBANS (Agreement on the Conservation of Small Cetaceans of the Baltic, North East Atlantic, Irish and North Seas).
	Sanctuaire des mammifères marins en Méditerranée	Liste des Aires Spécialement Protégées d'Importance Méditerranéenne (APIM) – Novembre 2001
Européen	Protection des habitats naturels	Directive 92/43CEE du 21 mai 1992 (Directive Habitats, Faune, Flore)
	Convention sur la conservation de la nature et des habitats	Convention de Berne (Annexes II et III)
	Convention sur la conservation des espèces migratrices.	Convention de Bonn
Français		Sites Natura 2000 - Autorisation particulière si impacté par le projet (art. L414-4 du Code de l'Environnement).
	Liste des espèces de mammifères marins protégées sur le territoire.	Arrêté ministériel du 27 juillet 1995 fixant la liste des mammifères marins protégés sur le territoire national (J.O 01/10/1995) modifié par l'arrêté du 29/07/2005 (J.O 08/11/2005)

PARAMETRES A MESURER



Lorsqu'un suivi est mis en place, il convient tout d'abord de contacter les institutions compétentes afin de connaître les informations issues des suivis qu'elles réalisent sur la zone de travaux ou à proximité. Les équipes scientifiques des stations biologiques ou d'autres institutions citées précédemment étudient :

- le nombre d'individus par espèces ;
- le degré de sédentarité par moyen visuel ou auditif (photographies ou sons) : il détermine si les individus sont présents sur la zone d'étude sur une période donnée ;
- le taux de fréquentation et de fidélisation sur la zone de travaux sur le plan spatial et temporel, en réalisant un suivi des déplacements par GPS ou télémétrie et une détection acoustique (Koschinski et al., 2002) par POD (POrpoise Detector) (Henriksen et al. 2003). Le taux de fréquentation permet de savoir combien de fois ces mêmes individus sont présents sur la zone d'étude sur une période donnée. Le taux de fidélisation indique si cette fréquentation s'effectue tous les ans ou si elle n'est qu'occasionnelle ;
- enfin, il sera nécessaire de connaître l'utilisation de l'habitat par les individus observés en effectuant un suivi comportemental. Le suivi doit être réalisé par des biologistes spécialisés en mammifères marins.

STRATEGIE DE SUIVI

La méthode d'observation des mammifères marins par les scientifiques dépend du site et de ses caractéristiques géographiques, des espèces présentes ou qui fréquentent la zone d'étude. Le suivi s'étendra non seulement durant la période des travaux mais également de 6 mois à un an après, lorsque les zones impactées ou susceptibles de l'être comptent la présence de certaines espèces.

La durée du suivi sera de 6 mois dans le cas où les scientifiques confirment la présence d'espèces côtières (pinnipèdes), qui y demeurent en permanence. Et pour les espèces qui y vivent durant une longue période de l'année, le suivi s'étendra au moins jusqu'à la période d'une nouvelle observation des individus après leur migration.

Un suivi continu d'un an après la réalisation des travaux sera nécessaire pour d'autres espèces qui ne sont que de passage telles que les cétacés. Le suivi permettra de constater ou pas des incidences sur leur migration et les zones qu'ils avaient l'habitude de fréquenter. Les sites suivis sont déterminés en fonction du nombre d'individus identifiés, lors de la réalisation de l'état initial et en fonction du risque d'impact causé par les différentes opérations prévues par le dragage ou les immersions.

METHODES D'OBSERVATION

Les méthodes d'observation varient selon divers éléments tels que le site, les espèces présentes, et le type de données à obtenir (Van Canneyt et al., 2003). En principe, les biologistes spécialisés effectuent le suivi par le moyen d'une embarcation (type semi-rigide). En ce qui concerne les pinnipèdes, il y a la possibilité de réaliser le suivi de façon pédestre à marée basse ou par observation aérienne lorsque les sites sont plus difficiles d'accès (Beigüe et al., 2000). Dans le cadre du programme ROMER par exemple, l'observation aérienne a été utilisée pour le suivi des cétacés (Certain, 2007).

Le matériel nécessaire dans le cadre d'observations classiques consiste en un appareil-photo numérique avec téléobjectif et de jumelles. La localisation des individus s'effectue par GPS et cartographie marine. Enfin, l'enregistrement des vocalisations des individus et leur localisation peut être effectué par un hydrophone.



Les moyens en personnel dépendent de la nature du projet et des sites à étudier. L'équipe scientifique devra être constituée au cas par cas. Cependant, le réseau de personnes bénévoles ou salariées qui se consacrent au suivi des mammifères marins est très développé en France.

METHODES D'ANALYSE DES DONNEES

Les méthodes d'analyse des données obtenues du suivi sont diverses. On cherchera à décrire :

- l'indice de densité ;
- l'analyse de la distribution spatiale ;
- l'indice de fréquentation (analyse de Kernel) ;
- la relation avec les variables environnementales.

Mise à part l'observation d'individus vivants, il existe également une série de données sur des mammifères marins échoués et ce sur plus de 30 ans. Ces données sont également accessibles auprès du Centre de Recherche sur les Mammifères Marins de La Rochelle.

Dans le cas de colonies sédentaires de phoques, comme en Baie de Somme, il peut être utile de vérifier l'exposition des animaux à d'éventuels contaminants relargués pendant les travaux. Pour ce faire, les scientifiques peuvent procéder à une série de prélèvements consistant à extraire un échantillon de tissus cutanés de l'animal (vivant ou mort) afin de procéder à son analyse.

INTERPRETATION DES RESULTATS

Le suivi réalisé permettra de connaître l'évolution de plusieurs paramètres indiqués précédemment. Il correspondra aux mesures relatives à l'indice de densité, à la distribution spatiale, à l'indice de fréquentation et à la relation avec les variables environnementales.

Il est à noter que ces animaux, comme les poissons, répondent aux stress par un réflexe de fuite qui peut être temporaire ou définitif vis-à-vis de la zone de travaux. Et que les effets synergiques avec d'autres nuisances doivent être étudiés.

Les travaux, principalement les immersions, dans le cas de la présence avérée de ces mammifères, seront réalisés au cours des périodes hors frais. Le suivi devra permettre d'établir si les impacts affectent leur mode de vie dans leur ensemble ou s'ils représentent une gêne occasionnelle.

ESTIMATION DES COUTS

L'usage d'une embarcation et du personnel scientifique à bord implique manifestement le coût le plus important du suivi. Il varie en fonction des caractéristiques de l'embarcation et de la durée des travaux sur site. Il faut également tenir compte du personnel en charge des analyses des données obtenues par le suivi).

Les coûts varient suivant les instituts et organismes privés et devront être calculés au cas par cas. Certaines études sont déjà menées par des Centres de recherche spécialisés ou d'autres stations biologiques. Il convient de consulter au préalable ces organismes afin de savoir si la zone prévue des travaux de dragage ou d'immersion fait l'objet d'un suivi environnemental.

Tableau 15 : Estimation des coûts de suivi de l'avifaune

Méthodes	Coût
<u>Moyens matériels et humains</u>	
Embarcation semi-rigide	De 1 000 à 2 000 € par jour
Équipe scientifique (4 personnes avec l'équipement et le matériel nécessaire)	De 1 000 à 2 000 € par jour
<u>Photographie aérienne</u>	
Coût campagne par km ²	De 150 à 60 000 €

BIBLIOGRAPHIE

Beigue, D. & Froissart, A., 2000. Enrichissement des données concernant les mammifères marins : les phoques veaux-marins. Etudes en environnement – Volume 4 du projet de « Rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel », Syndicat mixte pour le rétablissement du caractère maritime du Mont-Saint-Michel, Mission Mont-Saint-Michel DDE de la Manche, GMN, 56 p.

Certain G. 2007. Distribution, abondance et stratégie de recherche alimenté chez les prédateurs supérieurs du Golfe de Gascogne : une étude spatialisée. Thèse de doctorat de l'Université de La Rochelle, La Rochelle, 202 p.

Henriksen, O. D., J. Teilmann, S. Edrén, J. Carstensen, H. Skrov., 2003. Use of passive porpoise detectors (T-pods) in large scale environmental impacts on harbor porpoises from offshore windturbines. 17th Annual Conference of European Cetacean Society. March 9-13, Las palmas.

Koschinski S., Culik B., Damsgaard O. 2002. Reactions of harbour porpoises (*Phocoena phocoena*) and harbor seals (*Phoca vitulina*) to underwater sound produced by simulated 2 MW offshore windpower generator. 16th Annual Conference of European Cetacean Society. April 7-11, Liège.

Van Canneyt, O., Doremus, G. Ridoux V. 2003. Etude et conservation des cétacés en Région Poitou-Charente. Rapport CRMM pour la DIREN Poitou-Charentes. 42 p. protocoles et suivi.

Vincent, 2001. Bases écologiques de la conservation du phoque gris (*Halichoerus grypus*) en Mer d'Iroise. Thèse de Doctorat d'Université. Université de Bretagne Occidentale, 221 p.



Fiche n°14A : Qualité microbiologique de coquillages d'élevage

PREAMBULE

Les analyses effectuées dans le cadre du réseau de contrôle microbiologique REMI opéré par l'IFREMER reposent sur un protocole qui répond aux exigences réglementaires existantes. Le cahier des spécifications techniques et méthodologiques du réseau fournit les principes généraux de la mise en œuvre opérationnelle de ce réseau de contrôle. Ses principales orientations sont reprises ici.

OBJECTIFS

➤ Analyse de l'évolution de la qualité microbiologique des coquillages d'élevage ou de pêche en marge des opérations de dragage et d'immersion.

REGLEMENTATION

- Arrêté du 2 juillet 1996 fixant les critères sanitaires auxquels doivent satisfaire les coquillages vivants destinés à la consommation humaine immédiate, modifié par l'Arrêté du 25 novembre 1999.
- Règlement européen du 8 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

PARAMETRES A MESURER

Ce suivi repose sur l'évaluation de la teneur des animaux en contaminants microbiologiques : l'indicateur prédominant est *Escherichia coli*. La contamination est exprimée par le nombre d'*E. coli* cultivables dans 100 g de chair de coquillage et de liquide intervalvaire.

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➤ **Période d'échantillonnage** : la contamination microbiologique de coquillages est un processus direct et rapide. Les suivis microbiologiques interviennent donc en phase travaux et peuvent s'étendre au-delà, jusqu'à ce que le risque de contamination par les opérations soit jugé négligeable. Afin d'optimiser la comparabilité des prélèvements successifs d'une même zone, il est indispensable de maintenir constant le plus grand nombre de facteurs d'environnement d'un prélèvement à un autre. L'heure ou la hauteur de la marée sont des facteurs à prendre en compte. En Manche et en Atlantique, on privilégiera des périodes de basses mers où l'usage professionnel maximum est possible.

➤ **Fréquence d'échantillonnage** : dans le cadre de suivis d'opérations à risque, les suivis microbiologiques sont le plus souvent réalisés à une fréquence hebdomadaire voire pluri-hebdomadaire.

➤ **Répartition spatiale des points de suivis** : elle est à déterminer en fonction de l'étendue des zones surveillées et de l'amplitude de la zone d'influence potentielle des opérations de dragage et d'immersion. Les points retenus doivent correspondre à des zones pour lesquelles le risque d'altération par les opérations de dragage ou d'immersion est homogène. Des points existants au sein du réseau REMI pourront ainsi être réutilisés dans la mesure où leur localisation est cohérente avec la localisation des impacts attendus du projet. Ces points pourront aussi être exploités en complément de stations spécifiquement mises en œuvre pour le suivi des opérations de dragage et d'immersion.

Des modèles de simulation du transport et de la dispersion des germes tests de contamination fécale pourront éventuellement être utilisés comme outils d'aide au positionnement des points de prélèvement.

METHODES D'ACQUISITION

Comme pour les facteurs de marée, la précision des zones de prélèvement doit être respectée (poche ou pieux pour l'élevage et surface pour les gisements naturels).

La quantité de coquillages prélevée doit être légèrement supérieure à la quantité nécessaire pour la préparation de l'échantillon pour essai (75 à 100 g de produit avec 5 individus minimum).

METHODES D'ANALYSE

La méthode de référence est la méthode XP ISO/TS 16649-33 de décembre 2005 (*Microbiologie des aliments - Méthode horizontale pour le dénombrement des Escherichia coli beta-glucuronidase-positives - Partie 3 : technique du nombre le plus probable utilisant le bromo-5-chloro-4-indolyl-3 beta-D-glucuronate*).

Le recours à d'autres méthodes d'analyse est autorisé lorsqu'elles sont validées par rapport à la méthode de référence et s'il s'agit de méthodes commercialisées, certifiées par une tierce partie, conformément au protocole défini dans la norme EN/ISO 16 140 ou à d'autres protocoles analogues reconnus au niveau international. (*article 5 du Règlement (CE) n°2073/2005*).

INTERPRETATION DES RESULTATS

Comme pour l'ensemble des composantes environnementales faisant état de fluctuations naturelles, l'interprétation des résultats d'un suivi microbiologique est un point complexe. Le problème majeur est de pouvoir associer des fluctuations observées pendant les suivis de travaux à une source particulière (en l'occurrence les travaux de dragage ou d'immersion) au regard de l'ensemble des sources de contamination existantes et entraînant des fluctuations ambiantes.

Chaque zone de conchyliculture classée est suivie dans le cadre du réseau REMI et possède à ce titre un historique de suivi. Cette référence est utile pour pouvoir replacer et analyser des résultats plus ponctuels obtenus dans le cadre d'une surveillance de travaux de dragage ou d'immersion. Des références similaires sont disponibles par le biais de l'ARS pour certains gisements de coquillages de pêche à pied récréative.

En l'absence de données de référence de ce type, l'interprétation est plus difficile. Pour apprécier l'état de contamination sanitaire des animaux, les résultats peuvent être comparés aux seuils microbiologiques fixés par la réglementation (Règlement (CE) n°854/2004 et Code rural, arrêté du 21 mai 1999) fixant les prescriptions de commercialisation des produits.

Classes	Seuils microbiologiques	Mesures de gestion avant mise sur le marché
A	100% des résultats < 230 <i>E. coli</i> /100 g C.L.I.	Aucune
B	90% des résultats < 4 600 et 100% < 46 000 <i>E. coli</i> /100 g C.L.I.	Purification ou reparcage
C	100% des résultats < 46 000 <i>E. coli</i> /100 g C.L.I.	Reparcage longue durée
D	si les critères du C ne sont pas respectés	Exploitation des coquillages interdite

Figure 12 : Seuils microbiologiques fixés par la réglementation fixant les prescriptions de commercialisation des produits conchyliques



ESTIMATION DES COÛTS

Le budget de tels suivis dépend des populations observées. Pour des zones de conchyliculture à la côte, accessibles à pied à marée basse, les prélèvements ne constituent en général pas un poste financier trop important. Dès que les investigations impliquent l'utilisation de moyens à la mer plus lourds, les coûts augmentent.

- Embarcation pour mesures et intervention en haute mer avec équipage : entre 2 000 et 4 000 € par jour.
- Embarcation pour mesures et intervention dans la bande littorale avec équipage : environ 2 000 € par jour.
- Equipe plongeurs pour mise en place et prélèvement : 1 500 €/jour.
- Matériel biologique : quelques centaines d'euros en comptant le déplacement à partir d'un centre de cultures marines.

Le montant d'une analyse bactériologique en laboratoire est de l'ordre de 130 € en comptant le conditionnement des échantillons.

ORGANISMES RESSOURCES

↻ **Organisme public de référence** : IFREMER, ARS

REFERENCES UTILES

Document de prescription « Surveillance microbiologique » - Cahier des spécifications techniques et méthodologiques REMI

http://envlit.ifremer.fr/content/download/80821/552097/version/1/file/Cahier_REMI_dpminsM_2011.pdf



Fiche n°14B : Qualité chimique de coquillages d'élevage

PREAMBULE

Les analyses effectuées dans le cadre Réseau d'Observation de la Contamination CHimique du littoral (ROCCH) opéré par l'IFREMER reposent sur un protocole qui répond aux exigences réglementaires existantes. Le cahier des spécifications techniques et méthodologiques du réseau fournit les principes généraux de la mise en œuvre opérationnelle de ce réseau de contrôle. Ses principales orientations sont reprises ici.

OBJECTIFS

➔ Analyse de l'évolution de la qualité chimique des coquillages d'élevage en marge des opérations de dragage et d'immersion.

REGLEMENTATION

- Arrêté du 2 juillet 1996 fixant les critères sanitaires auxquels doivent satisfaire les coquillages vivants destinés à la consommation humaine immédiate, modifié par l'Arrêté du 25 novembre 1999.
- Règlement européen du 8 mars 2001 portant fixation de teneurs maximales pour certains contaminants dans les denrées alimentaires.

PARAMETRES A MESURER

Ce suivi repose sur l'évaluation de la teneur des animaux en trois contaminants chimiques réglementés (plomb (Pb), cadmium (Cd) et mercure (Hg)), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP représentés par le benzo(a)pyrène), les dioxines et PCB de type dioxine (PCBdl).

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

➔ **Période d'échantillonnage** : l'intégration de polluants chimiques éventuels est un processus relativement lent en comparaison à la contamination bactériologique et résultant de la bioaccumulation par filtration. Le suivi de contaminants chimiques intervient donc en amont, pour déterminer le taux de contamination de référence de la matière vivante, puis après les travaux. Les prélèvements doivent être réalisés à une période correspondant à un niveau moyen entre les hautes et les basses mers pour la façade Manche-Atlantique, et au même niveau bathymétrique pour la Méditerranée. Cette position dans la zone intertidale, ou ce niveau bathymétrique, ne doivent pas varier au cours du temps.

D'importantes variations physiologiques entraînent une variabilité importante des teneurs en métaux dans les coquillages selon les saisons : le maximum se situe autour de février et le minimum autour de novembre. Lorsque cela est possible, ces périodes seront privilégiées pour les prélèvements. En pratique, la nécessité de réaliser les prélèvements dans des délais courts avant et après les travaux limitent les marges de manœuvre.

➔ **Fréquence d'échantillonnage** : la fréquence des prélèvements est généralement d'ordre pluri-mensuelle voire annuelle.



➤ **Répartition spatiale des points de suivis** : elle est à déterminer en fonction de l'étendue des zones surveillées et de l'amplitude de la zone d'influence potentielle des opérations de dragage et d'immersion. Les points retenus doivent correspondre à des zones pour lesquelles le risque d'altération par les opérations de dragage ou d'immersion est homogène. Des points existant au sein du réseau ROCCH pourront ainsi être réutilisés dans la mesure où leur localisation est cohérente avec la localisation des impacts attendus du projet. Ils fournissent par ailleurs un historique de référence qui peut s'avérer utile pour l'interprétation des résultats. Ces points pourront aussi être exploités en complément de stations spécifiquement mises en œuvre pour le suivi des opérations de dragage et d'immersion.

METHODES D'ACQUISITION

Comme pour les facteurs de marée, la précision des zones de prélèvement doit être respectée (poche ou pieux pour l'élevage et surface pour les gisements naturels). La précision du positionnement préconisée par l'IFREMER est de ± 180 m. Sur les points où sont prélevés des animaux de culture (parc à huîtres, filière à moules, etc.), il faudra impérativement s'assurer que les coquillages ont au moins six mois de présence sur le site. Pour chaque échantillon, le nombre d'individus devra être suffisant pour remplir de chair égouttée deux piluliers de 90 ml aux 3/4 de leur volume.

Des préconisations sur le prélèvement des individus, leur transport, l'épuration, le décoquillage, le broyage et la lyophilisation des échantillons sont fournis dans le document de référence de l'IFREMER cité en fin de fiche.

INTERPRETATION DES RESULTATS

La variabilité saisonnière importante des teneurs en métaux dans les coquillages selon les saisons doit être prise en compte dans l'interprétation des résultats. Cette variabilité rend la comparaison de prélèvements sur une même zone réalisés à différentes saisons difficile.

L'interprétation de l'évolution de la qualité chimique de la matière vivante doit donc également reposer sur la comparaison avec une zone de référence dont les évolutions naturelles sont *a priori* similaires à la zone de suivi (à identifier à partir de banques de données existantes lorsqu'elles sont disponibles). On notera à ce titre que le réseau ROCCH constitue une banque de données de référence utile pour replacer les observations de suivi dans le cadre de fluctuations saisonnières et annuelles.

Enfin, dans une logique de suivi des impacts d'une opération sur une activité de culture marine, une comparaison des résultats aux valeurs seuils réglementaires existantes pour l'autorisation de la commercialisation des produits semble pertinente. Seuls deux classements sont possibles : consommation autorisée ou consommation interdite. Les limites réglementaires sont les suivantes :

Tableau 16 : Seuils réglementaires de contamination de produits conchylicoles à destination de la consommation humaine

Métal	Seuil (mg/kg, poids frais)	
	Bivalves fouisseurs et bivalves non fouisseurs (Règlement CE 1881/2006)	Gastéropodes, échinodermes et tuniciers (Arrêté du 21 mai 1999)
Plomb	1,5	2,0
Cadmium	1,0	2,0
Mercure	0,5	0,5

HAP	Seuil (ng/kg, poids frais)	
	Bivalves fouisseurs et bivalves non fouisseurs (Règlement CE 1881/2006)	
Benzo(a)pyrène	10	

Substances	Seuil (ng/kg, poids frais)	
	Produits de la pêche (Règlement CE 1881/2006)	
Equivalents toxiques (TEQ) OMS de la somme des dioxines (PCDD + PCDF)	3,5	
Equivalents toxiques (TEQ) OMS de la somme des dioxines et des PDBdl (PCDD + PCDF + PCBdl)	6,5	
Equivalents toxiques (TEQ) OMS de la somme des PCB28, PCB52, PCB101, PCB138, PCB153 ET PCB180	75	



ESTIMATION DES COUTS

Le budget de tels suivis dépend des populations observées. Pour des zones de conchyliculture à la côte, accessibles à pied à marée basse, les prélèvements ne constituent en général pas un poste financier trop important. Dès que les investigations impliquent l'utilisation de moyens à la mer plus lourds, les coûts augmentent.

- Embarcation pour mesures et intervention en haute mer avec équipage : entre 2 000 et 4 000 € par jour.
- Embarcation pour mesures et intervention dans la bande littorale avec équipage : environ 2 000 € par jour.
- Equipe plongeurs pour mise en place et prélèvement : 1 500 €/jour.
- Matériel biologique : quelques centaines d'euro en comptant le déplacement à partir d'un centre de cultures marines.

Le montant des analyses chimique en laboratoire est de l'ordre de 450 € en comptant le conditionnement.

ORGANISMES RESSOURCES

- IFREMER – Unité biogéochimie et écotoxicologie
- DGAL

REFERENCES UTILES

- Cahier de procédures et de programmation du ROCCH sanitaire

geode

Nous contacter

courriel : ***geode@nantes.port.fr***

téléphone contact : **02 40 44 20 99**

Site internet : **<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/club-geode-r65.html>**