

GUIDE CADRE EVAL_IMPACT

IMPACTS DES PROJETS D'ACTIVITÉS ET D'AMÉNAGEMENTS
EN MILIEU MARIN MÉDITERRANÉEN.
RECOMMANDATIONS DES SERVICES INSTRUCTEURS.

FASCICULE 4 : SUIVI ENVIRONNEMENTAL

JUIN 2018, actualisé en 2021

Guide cadre Eval_Impact.

Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 4 - Suivi environnemental

MOTS-CLÉS

Méditerranée, projet d'aménagements et d'activités, espèces et habitats marins, démarche Eviter Réduire Compenser, suivi environnemental, fiches méthodologiques, seuils d'alerte.

Public visé

Porteurs de projets, bureaux d'études, services de l'Etat, collectivités, associations.

Responsabilité

Aucune partie de la publication ne peut être reproduite sans autorisation préalable de la DREAL PACA.

Diffusion

Accès libre sur internet.

Référencement

Titre : Guide cadre Eval_Impact. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 4 - Suivi environnemental.

Auteurs : DREAL PACA et DREAL Occitanie.

Date : 2018

Editeur : CO2 communication

Exemple de référencement:

DREAL PACA et DREAL Occitanie, 2018. Guide cadre Eval_Impact. Impacts des projets d'activités et d'aménagements en milieu marin méditerranéen. Recommandations des services instructeurs. Fascicule 4 – Suivi environnemental. Ed. CO2 communication

REMERCIEMENTS

La DREAL PACA tient à remercier l'ensemble des contributeurs pour leur disponibilité, leur enthousiasme et la pertinence de leurs remarques.

Comité de pilotage : préfecture maritime, DIRM Méditerranée, DREAL PACA, DREAL Occitanie, DDTMs 06, 83 et 13.

Comité de rédaction :

- DREAL PACA : Frédéric Villers
- DREAL Occitanie : Fabrice Auscher
- DDTM 83 : Samuel Dijoux
- AFB : Sylvaine Ize
- MIO : Marc Verlaque
- Experts associés : Marie Christine Bertrand
- Campana, Patrick Michel.

Experts consultés pour les fiches

DREAL PACA (Alain Freytet) - DREAL Occitanie (Philippe Dufresne) - Ifremer (Bruno Andral, Marc Bouchoucha, Stéphane Sartoretto, François Galgany, Antoine Carlier et Olivia Gerigny) - CEREMA (Xavier Kergadallan, Frédéric Pons, Julie Droit) - CEDRE (Loïc Kerambrun) - AFB (Guillaume Bernard, Florence Cayocca) - CEREGE (François Sabatier) - BRGM (Alexis Stepanian) - France Energies Marines (Morgane Lejart) - Université de Nice (Alexandre Meinesz, Jean Vaugelas), Institut méditerranéen d'océanologie - MIO (Marc Verlaque, Charles François Boudouresque, Sandrine Ruitton, Thierry Thibaut, Patrick Raimbault, Andrea M. Doglioli) - IOPR (Nardo Vincente) - GIPSA-LAB (Cédric Gervaise) - LECOB (Céline Labrune) - MIRACETI (Hélène Labach), observatoire PELAGIS (Jérôme Spitz) - MARBEC (Francesca Rossi) - association Mer Terre (Isabelle Poitou)

Bureaux d'études : Egis (Patrick Michel, Camille Lequette) - Quiet Oceans (Thomas Fogelot), - Mappem geophysics (Jean François d'Eu) - Stareso (Corinne Pelapat) - Semantic (Claire Noël), Suez (Fabrice Javel) - Artelia (Regis Walther)

CRÉDITS PHOTOS

Page de couverture

Photo haut : Rémy Dubas, Ecocean

Photo centre gauche : Laurent Ballesta, Andromède Océanologie

Photo centre milieu : Sandrine Ruitton, MIO

Photo centre droit : Egis

Photo bas : Benjamin Cadville, Parc Marin de la Côte Bleue

PRÉAMBULE FASCICULE 4

Le suivi environnemental est souvent le parent pauvre des dossiers d'évaluation environnementale. Sur certains dossiers d'étude d'impact de plusieurs centaines de pages, 1 à 2 pages sont parfois seulement consacrées à cette partie. Les protocoles de suivi environnemental et le calendrier du suivi sont rarement détaillés. Les seuils d'alerte afin de prévenir en phase travaux des risques de dégradation des habitats & espèces ne sont pas suffisamment exploités. Peu de données environnementales en phase travaux et en phase après travaux sont disponibles. En phase d'exploitation, elles sont récupérées par les services instructeurs.

La rédaction d'une partie sur le suivi environnemental est pourtant essentielle. Les services instructeurs peuvent vérifier que les protocoles prévus dans le suivi environnemental sont identiques à ceux utilisés lors de l'état initial ; les stratégies d'échantillonnage et méthodes d'analyse sont conformes aux normes environnementales en vigueur ; le coût du suivi est proportionnel aux enjeux environnementaux associés au projet, les seuils d'alerte utilisés sont conformes aux dernières publications scientifiques, etc.

Le fascicule 4 a vocation à fournir un cadre sur la mise en œuvre du suivi environnemental. Différents outils d'aide à la rédaction sont présentés : des fiches de protocole de suivi sont rédigées pour chaque paramètre écologique ; l'état des connaissances sur les seuils écologiques est donné ; une matrice de synthèse précise par type de projet les différents paramètres environnementaux à suivre en phase travaux / exploitation / après travaux / démantèlement.

Fascicule 4 : Suivi environnemental

Glossaire.....	6
1. Environnement marin.....	6
2. Evaluation environnementale et démarche ERC.....	9
Acronymes.....	12
Liste des figures et tableaux.....	13
A. Rappel des bonnes pratiques	14
1. Objectifs du suivi environnemental	14
2. Le suivi environnemental dans la réglementation française	14
3. Les outils nécessaires au suivi environnemental	15
3.1 Cadrage spatial : définition de la zone témoin	15
3.2 Cadrage temporel	15
3.3 Lien entre le suivi environnemental et l'état initial.....	15
4. Les paramètres à suivre dans le cadre d'un suivi environnemental	16
5. Quelques règles à respecter dans la mise en place d'un suivi environnemental ...	17
B. Paramètres écologiques en milieu marin méditerranéen : fiches méthodologiques	18
1. Protocoles de mesures recommandés	18
1.1 Détail des fiches de protocoles terrain (évaluation et suivi)	18
1.2. Mise en garde sur l'utilisation des fiches	21
2. Fiches	22
C. Exploitation des mesures	112
1. Relation entre les fiches suivi des paramètres physiques, chimiques et biologiques et le suivi des espèces et habitats	112
1.1. Seuils d'alerte quantitatifs.....	112
1.2. Degrés de sensibilité (fort / moyen / faible) des espèces et habitats aux pressions à dire d'expert	113
2. Outils d'évaluation du suivi pendant et après les travaux	114
3. Rapport du suivi environnemental	114
4. Disponibilité des données issues du suivi	115
5. Fil rouge : suivi dans le cadre d'une opération de rechargement de plages.....	116
D. Synthèse du suivi par projet par type d'habitat / espèce.....	117
E. Bibliographie	118
1. Espèces et habitats marins, leur état de conservation et les moyens de suivi	118
2. Suivi environnemental et seuils associés	120
..	

GLOSSAIRE

Le glossaire a pour objectif de définir un certain nombre de termes environnementaux essentiels à la compréhension du guide. Il reprend la terminologie et la définition de différents glossaires de nombreux guides ou études et l'enrichit si besoin. La définition de certains termes peut varier légèrement d'un glossaire à l'autre, dépendant de l'objectif visé. Ce guide vise l'analyse environnementale des impacts des projets sur les espèces et habitats marins et littoraux. Différentes définitions peuvent exister pour un même terme. Il est important de définir dans le rapport d'évaluation les termes employés.

Pour des informations complètes sur la terminologie, le lecteur pourra se référer au lexique suivant : Cabane F., 2012. Lexique d'écologie, d'environnement et d'aménagement du littoral.

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00026/13721/10827.pdf>

SETRA, 1998. Lexique des termes d'environnement employés dans les études routières.

http://dtrf.setra.fr/pdf/pj/Dtrf/0001/Dtrf-0001885/DT1885.pdf?openerPage=notice&qid=sdx_q0

Par ailleurs, des glossaires sont disponibles en ligne :

<http://www.aires-marines.fr/Glossaire>

<http://envlit.ifremer.fr/infos/glossaire/>

<http://www.eaurmc.fr/pedageau/glossaire>

<https://inpn.mnhn.fr/informations/glossaire>

A. ENVIRONNEMENT MARIN

Abiotique : se dit d'un facteur ou processus physique ou chimique de l'environnement (ne fait par conséquent pas intervenir le vivant).

Accrétion : processus par lequel une accumulation sédimentaire existante (une plage par exemple) reçoit des matériaux supplémentaires qui l'épaississent et l'élargissent.

Bathymétrie : équivalent sous-marin de la topographie, c.-à-d. la description du relief immergé grâce aux mesures de profondeur.

Benthique : adjectif qui qualifie l'interface eau-sédiment d'un écosystème aquatique quelle que soit la profondeur. Qualifie également un organisme vivant libre sur le fond ou fixé.

Biocénose : ensemble des organismes vivants (animaux et végétaux dont micro-organismes) qui occupent un écosystème donné. Elle est caractérisée par une composition spécifique et par l'existence de phénomènes d'interdépendance. Elle occupe un espace donné appelé biotope et constitue avec lui l'écosystème. Une biocénose se modifie au cours du temps (phase pionnière, intermédiaire et d'équilibre). La biocénose est la composante vivante de l'écosystème, par opposition au biotope.

Biotique : facteur écologique d'un milieu naturel qui dépend des organismes qui y vivent. Ce terme regroupe toutes les interactions qui existent entre les êtres vivants, animaux et végétaux, présents dans un écosystème donné : compétition alimentaire et spatiale, prédation, symbiose et parasitisme entre autres.

Biotope : milieu défini par des caractéristiques physico-chimiques stables et abritant une communauté d'êtres vivants (ou biocénose).

Céphalopode : mollusque marin carnassier, très évolué, dont la tête est munie d'une couronne

de tentacules, tels que le poulpe, la seiche, les ammonites fossiles, le nautilé et le calamar.

Contamination : qualifie un apport d'éléments dans le milieu qui a pour conséquence une élévation de la concentration de cet élément.

Démersale : qualifie une espèce vivant à proximité du fond, c.-à-d. sans être véritablement liée à celui-ci de façon permanente.

Dérangement : tout événement généré par l'activité humaine qui provoque une réaction de défense ou de fuite d'un animal, ou qui induit, directement ou non, une augmentation des risques de mortalité pour les individus de la population considérée ou, en période de reproduction, une diminution du succès reproducteur.

Écosystème : ensemble des êtres vivants (biocénose) et de leur environnement qui interagissent entre eux et constituent une unité fonctionnelle de base en écologie. L'écosystème a des propriétés qui sont distinctes de la somme des propriétés de ses composantes.

Emergence : elle est définie comme la différence entre le niveau de fond d'un paramètre et le niveau suite à la mise en place de l'activité. Elle est quantifiable par une valeur.

Espèce exotique envahissante (synonyme d'espèce invasive) : espèce allochtone, dont l'introduction par l'Homme (volontaire ou fortuite), l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences écologiques ou économiques ou sanitaires négatives.

Espèce non indigène : espèce qui est arrivée dans une région où elle était absente auparavant. Il existe une discontinuité géographique entre l'aire d'origine et la nouvelle aire géographique. Cette arrivée est liée directement/indirectement à l'action de l'homme.

Etage supralittoral : espace qui n'est jamais immergé même aux grandes marées de vives eaux, mais qui est largement humecté par les

embruns ou les paquets de mer au moment des tempêtes.

Etage médiolittoral : espace littoral compris entre les niveaux des plus hautes et des plus basses mers.

Etage infralittoral : espace benthique compris entre les basses mers de vives eaux et la limite compatible avec la vie des phanérogames marines et des algues pluricellulaires photophiles (mers à marée), environ 15 - 20 mètres dans l'océan et 30 à 40 m de profondeur en Méditerranée (la profondeur peut varier légèrement entre la région PACA et Occitanie). Cet étage est colonisé par des organismes qui exigent une immersion continue.

Etage circalittoral : espace benthique qui s'étend au-delà de 40 m de profondeur environ (limite inférieure des algues photophiles) jusqu'à la limite de la zone euphotique, laquelle dépend de la plus ou moins grande transparence des eaux, en général une centaine de mètres (limite des algues les plus tolérantes aux faibles éclaircissements = sciaphiles).

Etage bathyal : zones profondes du talus continental comprises entre le seuil inférieur de la plaque continentale (600 m environ) et le début de l'étage abyssal (2000 m environ). Toutefois certains auteurs retiennent comme limite supérieure le bord du plateau continental (200 m environ) et comme limite inférieure 2000 à 2700 m de profondeur.

Etat de conservation d'un habitat naturel : effet de l'ensemble des influences agissant sur un habitat naturel ainsi que sur les espèces typiques qu'il abrite, qui peuvent affecter à long terme sa répartition naturelle, sa structure et ses fonctions, ainsi que la survie à long terme de ses espèces typiques.

Etat de conservation d'une espèce : effet de l'ensemble des influences qui, agissant sur l'espèce, peuvent affecter à long terme la répartition et l'importance de ses populations.

Euphotique : qualifie la couche superficielle des océans dans laquelle la photosynthèse est

possible grâce à l'intensité de la lumière solaire (en moyenne jusque 100 m de profondeur, 50 m dans les eaux côtières turbides).

Eutrophisation : enrichissement des eaux en éléments nutritifs, essentiellement le phosphore et l'azote qui constituent un véritable engrais pour les plantes aquatiques. Elle se manifeste par la prolifération excessive des végétaux dont la décomposition provoque une diminution de la teneur en oxygène. Il s'ensuit, entre autres, une diversité animale et végétale amoindrie et des usages perturbés.

Fonctionnalité : processus biologiques de fonctionnement et de maintien des écosystèmes qui sont à l'origine de la production des services écosystémiques.

Frayère : habitat permettant d'assurer la reproduction des organismes aquatiques qui y vivent et viennent y accomplir une partie de leur cycle vital. L'habitat doit permettre la propagation des signaux que s'échangent les mâles et femelles, être à l'abri des prédateurs (vulnérabilité au moment de l'accouplement) et offrir un endroit adapté à la ponte et à la protection des œufs contre les prédateurs.

Géomorphologie : concerne la description et l'explication des formes du relief terrestre et sous-marin.

Habitat : milieu terrestre ou aquatique qui se distingue par ses caractéristiques géographiques, abiotiques et biotiques, qu'il soit entièrement naturel ou semi-naturel. L'habitat est un ensemble indissociable associant les caractéristiques stationnelles (climatiques, physico-chimiques, édaphiques), correspondant au biotope, aux organismes vivant au sein de cet habitat, correspondant à la biocénose, et qui par leur caractère intégrateur définissent l'habitat.

Hydrodynamisme : science qui étudie le comportement physique du fluide constitué par l'eau et les matériaux qu'elle contient.

Littoral : entité géographique sinueuse où s'établit le contact entre la mer ou un lac et la terre.

Milieu : ensemble des éléments (habituellement restreint aux paramètres physiques, chimiques et à la nourriture) qui, au sein de l'environnement d'un être vivant, influent directement sur ses conditions de vie. Par extension, ce terme général peut être utilisé soit dans le sens d'habitat, soit dans celui d'écosystème.

Macrobenthos : désigne l'ensemble des animaux benthiques dont la taille est supérieure à un millimètre.

Nurserie : habitat nurserie présentant un certain nombre de caractéristiques spécifiques à la morphologie et aux besoins des espèces : une nutrition adaptée, un habitat favorable à l'installation des post larves qui les protège des prédateurs et des pressions pendant toute leur période juvénile jusqu'au statut d'adulte, un environnement dans lequel les juvéniles grandissent plus vite et ont un meilleur taux de survie que dans tous les autres habitats, une localisation qui permet un déplacement vers les habitats des adultes. (Lenfant et al, 2015).

Nutriments : ensemble des composés inorganiques et des ions (azote, phosphore, etc.) nécessaires à la nutrition des producteurs primaires (phytoplancton).

Pathogène : qualifie ce qui provoque une maladie, en particulier un germe capable de déterminer une infection.

Pélagique : qualifie une espèce vivant en pleine eau.

Pente continentale : elle est caractérisée par un réseau de vallées sous-marines (ou canyons) et leurs interfluves associés. Ce système se développe depuis la bordure de la plateforme continentale, située de 100 à 160 m jusqu'au glaciaire, situé entre 1500 et 2000 m de profondeur. La pente moyenne est mesurée au niveau des interfluves entre les isobathes 150 et 1500 m.

Plancton : ensemble des organismes animaux et végétaux, en général de très petite taille, qui flottent plus ou moins passivement dans les eaux marines ou lacustres. On distingue le zooplancton

(animal) et le phytoplancton (végétal).

Polluant : contamination qui a pour conséquence une perturbation du milieu ou de l'usage qui en est fait habituellement.

Trait de côte : courbe représentant l'intersection de la terre et de la mer dans le cas d'une marée haute de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales. Par extension, c'est la limite entre la terre et la mer, c.-à-d la côte.

Turbidité de l'eau : trouble de l'eau qui fait obstacle à la pénétration de la lumière. La turbidité est la teneur en particules solides en suspension (dites « matières en suspension »), qu'elles soient minérales (sables, argile, limon) ou d'origine organique (phyto/zooplancton, matières organiques détritiques).

B. EVALUATION ENVIRONNEMENTALE ET DÉMARCHÉ ERC

Aire d'études - d'influence : correspond à la zone géographique qui pourrait être influencée par le projet et les variantes étudiées.

Analyse environnementale : étude approfondie de deux systèmes qui interagissent l'un sur l'autre : le système anthropique (relatif à l'homme et à son existence) et le système environnemental (relatif à tous les milieux naturels). L'objectif est d'évaluer et gérer les effets d'un projet sur l'environnement pour en garantir l'acceptabilité environnementale et sociale et éclairer les décideurs.

Ecoconception : vision globale de la performance environnementale des aménagements. C'est une approche multi-étapes (sur l'ensemble du cycle de vie du projet) et multi-critères (consommations de matière et d'énergie, rejets dans les milieux naturels, effets sur le climat et la biodiversité).

Enjeu environnemental : valeur prise par une fonction ou un usage, un territoire ou un milieu au regard de préoccupations écologiques, patrimoniales, paysagères, sociologiques, de qualité de la vie et de la santé.

Etat initial (ou état zéro avant travaux) : description des milieux naturels en amont de la réalisation du projet. Il s'agit du premier volet d'une étude d'impact.

Etat de référence : état d'un milieu qui n'aurait subi aucune pression anthropique, utilisé dans la caractéristique des masses d'eaux du SDAGE.

Exposition : exercice d'une pression sur un habitat. Les niveaux d'exposition à une pression peuvent varier dans le temps (en fonction de la fréquence ou la durée selon lesquelles les pressions s'exercent) et dans l'espace (en fonction de l'étendue de la pression).

Génie écologique côtier : ensemble des connaissances techniques et scientifiques permettant la régénération d'un écosystème. En amont de la conception d'un projet, le maître d'ouvrage doit intégrer la notion de génie écologique afin d'être en mesure de l'appliquer dans la mise en œuvre du projet, de mesures d'évitement et de réduction (via l'éco-conception d'ouvrages côtiers, etc.).

Impact environnemental (= effet) : c'est la transposition de la pression sur une échelle de valeur. Il traduit la conséquence des pressions sur les caractéristiques biotiques et / ou abiotiques et peut être défini comme le croisement entre la pression et la sensibilité du milieu.

Impact potentiel : analyse de l'impact de la solution retenue sur l'environnement définie suite à la méthode DPSIR (qui s'appuie sur l'analyse du croisement entre la pression et la sensibilité du milieu concerné).

Impact prévisionnel : analyse fine de l'impact potentiel d'un projet via l'utilisation de différents outils d'analyse au niveau local (SIG, dire d'experts, modèles, etc.). L'impact prévisionnel vient préciser l'impact potentiel.

Impact réel : impact observé sur le terrain suite à la phase travaux / exploitation. L'impact réel (post travaux) est à comparer à l'impact prévisionnel (avant travaux).

Intensité : combinaison de l'amplitude, de la fréquence et de la durée d'une pression.

Occurrence : nombre de répétitions d'un événement dans le temps et / ou l'espace.

Pression anthropique : mécanisme à travers lequel une activité humaine peut avoir un effet sur un habitat. Une pression peut être physique, chimique ou biologique et peut varier en fonction de différents facteurs. Une même pression peut être causée par différentes activités.

Pression cumulative : résultat du cumul et de l'interaction de plusieurs pressions directes et indirectes provoquées par un ou plusieurs projets dans le temps et l'espace.

Pression fonctionnelle : effet direct lié à l'exploitation et à l'entretien de l'aménagement (pollution de l'eau, de l'air et du sol, production de déchets divers, modification des flux de circulation, risques technologiques).

Pression directe : traduit les conséquences immédiates du projet, dans l'espace et dans le temps.

Pression indirecte : résulte d'une relation de cause à effet ayant à l'origine un effet direct.

Pression induite : pression indirecte générée par la réalisation du projet, avec parfois un décalage de plusieurs années entre le projet initial et les projets « secondaires » qui en découlent.

Pression structurelle : effet direct dû à la construction même du projet (consommation d'espace sur l'emprise du projet et de ses dépendances, disparition d'espèces végétales ou animales et d'éléments du patrimoine culturel, modification du régime hydraulique, atteintes au paysage, nuisances au cadre de vie des riverains).

Pression synergique : désigne les résultats de l'association de plusieurs facteurs ou impacts qui concourent à un effet donné et prennent une dimension significative lorsqu'ils sont conjugués.

Pression permanente : effet sans durée limitée dans le temps.

Pression temporaire : effet limité dans le temps, soit parce qu'il disparaît immédiatement après cessation de la cause, soit parce que son intensité s'atténue progressivement jusqu'à disparaître.

Réhabilitation écologique : elle vise principalement l'amélioration des fonctions d'un écosystème endommagé sans nécessairement retourner à son état de pré-perturbation. Le processus de réhabilitation est moins ambitieux que celui de la restauration écologique, puisqu'il vise à restaurer principalement une ou plusieurs fonctions de l'habitat.

Restauration écologique : un écosystème qui a subi les effets résiduels significatifs d'un projet peut être dégradé, endommagé ou détruit, en fonction de l'ampleur des effets du projet. La restauration écologique se caractérise comme une activité intentionnelle qui initie ou accélère la récupération de l'écosystème par rapport à sa santé (processus fonctionnels), son intégrité (composition des espèces et structure de la communauté), et sa durabilité (résistance aux perturbations et résilience) ». Le processus est ambitieux et global, puisqu'il vise à réparer l'ensemble des composantes, fonctions et services rendus par le milieu.

Nota bene. La restauration écologique peut également être définie comme une action sur l'habitat marin, la faune ou la flore permettant d'améliorer le fonctionnement écologique, dans une zone côtière où les pressions à l'origine de la dégradation ont disparu ou sont maîtrisées (DRIVERS, PAMM). Dans ce cas, la réhabilitation est synonyme de restauration.

Résilience : temps nécessaire à la récupération d'un habitat / espèce, une fois que la pression impactante a cessé.

Résistance : la capacité d'un habitat / espèce à tolérer une pression sans modification notable de ses caractéristiques biotiques et abiotiques.

Sensibilité : combinaison de la capacité d'un habitat à tolérer une pression externe (résistance) et du temps nécessaire à sa récupération suite à une dégradation (résilience).

Seuil environnemental : niveau maximal d'impact qu'un enjeu écologique (espèce, habitat, écosystème) peut tolérer sans compromettre sa fonctionnalité écologique et sa capacité à fournir des biens et des services écosystémiques.

Suivi environnemental : le suivi environnemental sert à mesurer les effets (= impacts) de la réalisation d'une opération sur l'environnement et à évaluer la performance des mesures proposées pour supprimer, réduire ou compenser ces impacts. Il se caractérise par des campagnes de terrain spécifiques.

Vulnérabilité (= risque d'impact) : qualifie le degré de protection naturelle d'un territoire / écosystème. La vulnérabilité d'une espèce ou d'un habitat peut être définie comme la combinaison de la probabilité d'exposition d'un habitat à une pression et de sa sensibilité face à cette pression.

Zone témoin : zone définie dans le cadre d'un suivi environnemental post travaux qui n'est pas dans le périmètre de l'aire d'études. L'objectif est de comparer le suivi dans la zone témoin et l'aire d'études afin de différencier les effets liés au projet de ceux liés à un changement plus global.

ACRONYMES

AAMP : agence des aires marines protégées
AERM&C : agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse
AMP : aire marine protégée
AOT : autorisation d'occupation domaniale
BRGM : bureau de recherches géologiques et minières
CE : code de l'environnement
CEFREM : centre de recherche et de formation sur les environnements méditerranéens
CEREMA : centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CETMEF : centre d'études techniques maritimes et fluviales
CGDD : commissariat général au développement durable
CGEDD : conseil général de l'environnement et du développement durable
CGPPP / CG3P : code général de la propriété des personnes publiques
DCE : directive cadre sur l'eau
DCSMM : directive cadre stratégie pour le milieu marin
DDTM : direction départementale des territoires et de la mer
DDFIP : direction départementale des finances publiques
DHFF : directive habitats faune flore
DI : directive inondations
DIRM : direction interrégionale de la mer
DML : délégation à la mer et au littoral
DPSIR : drivers pressure state impacts response
DREAL : direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
DPMn : domaine public maritime naturel
DSF : document stratégique de façade
EI : étude d'impact
EP : enquête publique
ERC : éviter, réduire et compenser
GIPSA-LAB : Grenoble Images Parole Signal Automatique
IFREMER : institut français de recherche pour l'exploitation de la mer
IOPR : Institut Océanographique Paul Ricard

IOTA : installations, ouvrages, travaux et activités
MEEM : ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer
MEDDE : ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie
MEDDTL : ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement
MIO : mediterranean institute of oceanography
MNHN : museum national d'histoire naturelle
MTES : ministère de la transition écologique et solidaire
NQE : norme de qualité environnementale
OFB : office français de la biodiversité
PAMM : plan d'actions pour le milieu marin
PGRI : plan de gestion des risques d'inondation
PREMAR : préfecture maritime
SAGE : schéma d'aménagement et de gestion de l'eau
SDAGE : schéma directeur d'aménagement et de gestion de l'eau
SHOM : service hydrographique et océanographique de la marine
SIDE : système d'information du développement durable et de l'environnement
ZNIEFF : zone naturelle d'intérêt écologique faunistique et floristique

LISTE DES TABLEAUX / FIGURES

TABLEAUX

Tableau n°1. Paramètres concernés par le suivi environnemental.....	16
Tableau n°2. Exemple de grille d'évaluation du suivi environnemental prévu en amont du projet.....	17
Tableau n°3. Extrait du guide RLM.....	63
Tableau n°4. Extraits du guide Geode de 2014 (p. 89).....	69
Tableau n°5. Seuils d'alerte quantitatifs existants	111
Tableau n°6. Seuils de tolérance (valeur et durée) pour l'herbier de posidonie, la grande nacre et le corail rouge.....	112
Tableau n°7 . Sensibilité potentielle des espèces et habitats marins méditerranéens à une modification des paramètres chimiques, physiques et biologiques.....	113
Tableau n°8. Grille d'évaluation du suivi environnemental prévu en aval du projet.....	118
Tableau n°9. Modalités de mise à disposition des rapports et données de suivis en fonction des différents types d'autorisation environnementale.....	116
Tableau n°10. Aide à la lecture de la matrice « Suivi environnemental ».....	118
Tableau n°11. Suivi environnemental potentiel à mener en fonction des espèces et habitats marins présents sur l'aire d'études du projet.....	119

FIGURES

Figure n°1. Linéaire de côte artificialisée en Région PACA (source : MEDAM).....	34
Figure n°2. Exemple de modélisation de courant à Toulon et de vagues à Sète.....	44
Figure n°3. Caractéristiques des sons sous-marins et un ordre de grandeurs des portées acoustiques (bien que celles-ci soient très dépendantes du site).....	47
Figure n°4. Bruit ambiant médian, principalement composé de bruits anthropiques liés au trafic maritime - Prédiction de l'émergence sonore d'un bruit de battage au-dessus du bruit ambiant médian - Emergence sonore de l'exploitation cumulée de quatre parcs éoliens offshore au-dessus du bruit ambiant médian.....	48
Figure n°5. Seuils acoustiques pour les cétacés et pinnipèdes (NMFS, 2016).....	49
Figure n°6. Illustration de la structure de mouillage RINBIO (à droite) et des échantillonneurs passifs DGT et POCIS.....	58
Figure n°7. Extrait du cahier des procédures REPHY de 2012.....	70

A. RAPPEL DES BONNES PRATIQUES

1. OBJECTIFS DU SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Définition : dans le cadre d'un projet, le suivi environnemental est une opération à caractère analytique et scientifique qui sert à mesurer les impacts (effets) de la réalisation d'une opération sur l'environnement et à évaluer la performance des mesures proposées pour supprimer, réduire ou compenser ces impacts. Il se caractérise par des campagnes de terrain spécifiques, dont il faut pouvoir, dans certain cas, relier les résultats à ceux acquis dans l'état initial avant travaux.

Un programme de suivi environnemental vise généralement les objectifs suivants :

- **évaluer les impacts probables du projet, permettant notamment de vérifier l'efficacité des mesures prises pour atténuer les impacts négatifs prévus et le**

cas échéant, alerter les autorités administratives et les maîtres d'ouvrage sur les divergences entre impacts prévus et impacts constatés et leur permettre de réagir face à l'insuffisance ou l'inefficacité d'une ou plusieurs mesures ;

- **évaluer l'efficacité des mesures ERC ;**
- **capitaliser les connaissances à partir des retours d'expérience, notamment quand les effets du projet sont inconnus.**

Le suivi environnemental doit systématiquement faire l'objet d'un bilan environnemental transmis aux services instructeurs.

2. LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL DANS LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE

Le suivi environnemental est prévu par le code de l'environnement.

- **Procédure étude d'impact** : le maître d'ouvrage doit préciser « les modalités de suivi des mesures d'évitement, de réduction et de compensation proposées » (R. 122-5 du CE) ;
- **Procédure loi sur l'eau** : la demande d'autorisation doit indiquer les moyens de surveillance prévus et, si l'opération présente un danger, les moyens d'intervention en cas d'incident ou d'accident (R. 214-6 du CE). Lors de la demande de déclaration (R. 214-32 du CE), sont également mentionnés « les moyens de surveillance ou d'évaluation des prélèvements et des déversements prévus » ;
- **Procédure de dérogation au titre de la protection des espèces** : l'objectif du suivi est d'évaluer l'effet de la mise en place de mesures compensatoires. Le porteur de projet doit préciser « les modalités de

compte rendu des interventions » (article 2 arrêté du 19 février 2007) ;

- **Procédure ICPE** : certains projets sont soumis à étude d'impact (voir fascicule 1). Dans le cas d'un dossier soumis à enregistrement, le maître d'ouvrage doit fournir un document justifiant du respect des prescriptions applicables à l'installation (L. 512-7 du CE). Ce document présente notamment les mesures retenues et les performances attendues par le demandeur pour garantir le respect de ces prescriptions ;
- **Procédure évaluation des incidences Natura 2000, cas par cas et régime déclaratif ICPE** : le suivi environnemental n'est pas prévu réglementairement. Néanmoins, il est vivement encouragé par les services instructeurs.

3. LES OUTILS NÉCESSAIRES AU SUIVI ENVIRONNEMENTAL

3.1. CADRAGE SPATIAL : DÉFINITION DE LA ZONE TÉMOIN

L'évaluation de l'effet du suivi environnemental doit être objective : il est nécessaire de pouvoir vérifier que les impacts observés sont bien liés au projet.

Le suivi doit se faire :

- sur la zone du projet / aire d'études / aire d'emprise des travaux en fonction des impacts prévisionnels ;

3.2. CADRAGE TEMPOREL

Le suivi environnemental doit être réalisé :

- pendant les travaux pour évaluer les impacts du projet pendant les travaux ;
- après les travaux pour évaluer les impacts du projet en phase d'exploitation.

En fonction du projet, deux types de suivi peuvent être mis en place :

- le suivi qui a pour objectif d'évaluer l'impact d'un aménagement : il doit se faire pendant

3.3. LIEN ENTRE LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL ET L'ÉTAT INITIAL

L'état initial et le suivi environnemental sont deux processus différents. Le suivi environnemental découle des résultats issus de l'évaluation environnementale du projet.

Le suivi des espèces et habitats permet de connaître par rapport aux données de l'état initial :

- l'évolution de l'état de santé de l'habitat ou de l'espèce au niveau local ;
- l'évolution de la fonctionnalité des habitats ;
- l'évolution de la dynamique environnementale du milieu (dans le cas où des investigations terrain ont déjà été menées dans le passé).

- sur une zone témoin : c'est une zone en dehors de l'influence du projet mais qui reste à proximité fonctionnelle pour comparer les impacts qui sont liés au projet et ceux qui le sont par des éléments extérieurs au projet.

Une carte d'emprise spatiale indiquant la zone témoin et la zone du projet avec les points où le suivi environnemental sera mené doit être fournie.

et après les travaux pour vérifier l'impact de l'aménagement. S'il n'y a aucun impact, le suivi s'arrête ;

- le suivi qui a pour objectif d'évaluer l'impact d'activités (rechargement de plages, dragage, etc.). Il se fait régulièrement lors de la phase travaux puis pendant toute la durée de l'exploitation.

Un calendrier spécifique au suivi environnemental doit être proposé.

Dans le cas où les paramètres environnementaux mesurés sont les mêmes, il convient que les protocoles de mesures soient identiques de manière à pouvoir comparer les résultats.

4. LES PARAMÈTRES CONCERNÉS PAR LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Le suivi environnemental résulte de l'évaluation environnementale en amont qui a permis d'évaluer les impacts du projet (voir fascicule 2). Il est corrélé à la probabilité d'impact du projet.

L'évaluation environnementale a permis de :

- déterminer la liste des paramètres environnementaux qui seront modifiés par le projet ;
- identifier les espèces et habitats les plus sensibles à une modification des paramètres environnementaux.

Dans le cadre de notre étude, le suivi environnemental concerne potentiellement :

- **les différents paramètres environnementaux qui seront modifiés par le**

projet et qui impactent les espèces et habitats ;

- **les espèces et habitats à fort enjeu les plus sensibles à une modification des paramètres environnementaux.**

Nota bene. Le suivi de certains paramètres environnementaux apporte également des réponses sur d'autres éléments prévus dans l'étude d'impact / la procédure loi sur l'eau : qualité de l'eau, qualité des eaux de baignade, de l'air, paysage, érosion, etc. Cela peut être imposé par la réglementation pour certaines activités / aménagements (qualité des sédiments de dragage, des eaux de baignade, etc.).

Tableau n°1. Paramètres concernés par le suivi environnemental.

Objectifs du suivi environnemental	Paramètres environnementaux	Habitats et espèces
Pendant les travaux	<ul style="list-style-type: none"> • Servir d'alerte pour modifier si besoin les travaux • Vérifier les valeurs des paramètres environnementaux avec les valeurs issues de l'état initial et de la zone témoin • Mesurer l'efficacité des mesures ER 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparer les impacts du projet en phase travaux avec les impacts prévisionnels • Vérifier l'efficacité des mesures ER
Après les travaux En phase d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Servir d'alerte pour modifier si besoin les conditions d'exploitation • Vérifier les valeurs des paramètres environnementaux avec les valeurs issues de l'état initial et de la zone témoin • Mesurer l'efficacité des mesures ER 	<ul style="list-style-type: none"> • Vérifier les impacts du projet en phase d'exploitation avec les impacts prévisionnels • Vérifier l'efficacité des mesures ER
En phase de démantèlement	Servir de données initiales avant démantèlement du site (nouvel état initial)	Servir de données initiales avant démantèlement du site (nouvel état initial)
Dans le cas de mesures compensatoires	Vérifier l'efficacité des mesures compensatoires	

5. QUELQUES RÈGLES À RESPECTER DANS LA MISE EN PLACE D'UN SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Les modalités du suivi environnemental doivent être validées en amont par les services instructeurs. Les rapports d'analyse du suivi doivent être envoyés régulièrement aux services instructeurs, de même que les données issues du suivi.

En fonction des résultats du suivi, les différents protocoles peuvent être modifiés. Si les résultats sont positifs, le suivi mis en place peut être

allégé. A l'inverse, des campagnes de terrain complémentaires peuvent être demandées si l'impact constaté est supérieur à l'impact prévisionnel.

Le porteur de projet doit fournir une grille d'évaluation afin d'organiser le suivi environnemental de son projet.

Tableau n°2. Exemple de grille d'évaluation du suivi environnemental prévu en amont du projet.

Type de suivi
Faisabilité technique
La technique de suivi est éprouvée / opérationnelle.
Le suivi peut se faire dans les délais conformes aux échéanciers (avant, pendant et après travaux).
Les protocoles suivent les recommandations techniques en vigueur (normes, etc.).
Un calendrier spatio temporel du suivi est établi et validé.
Faisabilité juridique
La mise en place de campagnes et d'instruments est autorisée.
Le suivi ne génère pas de conflits d'usage.
Faisabilité environnementale
Le suivi est reproductible : il est possible de comparer les résultats avant travaux (état initial / zone témoin) et après travaux.
Le suivi est pertinent pour évaluer l'impact du projet.
Les protocoles de mesures sont conformes aux avancées scientifiques en la matière, approuvés par la littérature / experts, et / ou préalablement validés par les services instructeurs.
L'analyse des résultats « terrain » est confiée à des laboratoires reconnus / accrédités.
Fonctionnement
Des rapports de suivi sont prévus.
Faisabilité financière
Les coûts du suivi sont proportionnés aux enjeux environnementaux. Les coûts doivent comprendre :
<ul style="list-style-type: none"> • l'acquisition de connaissances sur le terrain pendant et après les travaux ; <ul style="list-style-type: none"> • l'analyse des résultats issus du terrain ; • la production des rapports de suivi réguliers.

B. PARAMÈTRES ÉCOLOGIQUES EN MILIEU MARIN MÉDITERRANÉEN : FICHES MÉTHODOLOGIQUES

1. PROTOCOLES DE MESURES RECOMMANDÉS

1.1. DÉTAIL DES FICHES DE PROTOCOLES TERRAIN (ÉVALUATION ET SUIVI)

Un travail a été mené pour établir des fiches de synthèse (2 à 4 pages) précisant pour chaque paramètre environnemental :

- l'objectif du suivi de ce paramètre : aide au dimensionnement du projet, des mesures d'évitement, de réduction et de compensation, évaluation environnementale du projet (phase travaux / exploitation), acquisition de connaissances au titre de mesures transversales ;
- les types de projets pour lesquels ce paramètre peut être potentiellement suivi ;
- le lien activités / aménagements – pressions – espèces / habitats ;
- la réglementation applicable à ce paramètre ;
- les différents éléments à mesurer pour définir le paramètre ;
- la stratégie d'échantillonnage / de mesures : la période préférentielle, la fréquence de mesures nécessaires, la durée du suivi, le choix des stations de mesures ;
- le protocole de terrain préconisé ;
- l'analyse et traitement des mesures / échantillons issues du terrain ;
- les seuils d'alerte potentiellement existants en lien avec les espèces et habitats ;
- les réseaux de suivi existants pour chaque paramètre ;
- les coûts associés aux mesures de terrain et analyses associées ;
- organismes ressources sur la thématique (liste non exhaustive) ;
- les références bibliographiques.

Ce travail est le fruit de la collaboration de différents organismes (services d'Etat, établissements publics, universités, associations, bureaux d'étude). La liste des experts consultés pour l'élaboration des fiches est citée p. 3 du document.

32 fiches ont été rédigées : 20 concernent les paramètres physico-chimiques et 12 fiches sont liées aux espèces et habitats méditerranéens. Les fiches P-1 à P-7 sont liées à l'étude des processus hydro-sédimentaires.

A noter que :

- Certains paramètres physico-chimiques recensés dans le tableau 10 p. 32 du fascicule 2 n'ont pas fait l'objet de fiches méthodologiques, à savoir :
 - la climatologie : la donnée s'obtient directement par consultation des différentes bases de données de météo France ;
 - l'altération mécanique : les chocs, frottements, écrasement et étouffement se mesurent à travers le suivi de l'état de conservation de l'habitat ;
 - les flux à la mer : ils ne sont pas quantifiables à l'échelle d'un projet, mais à celle du bassin versant. La surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée a fait l'objet d'un guide méthodologique publié par l'AERM&C en 2011 ;
 - les espèces introduites : le suivi se fait lors de l'inventaire des espèces et habitats.
- 4 fiches déchets (déchets posés sur le fond, déchets échoués sur la plage, déchets flottants et microparticules) ont été rédigées en lien avec les travaux de la DCSMM et sont

portées à connaissance au lecteur. Néanmoins, il est très rare de demander à un porteur de projet, en dehors de l'acquisition de connaissances, de faire un suivi des déchets, 80 % des déchets en mer ayant une origine tellurique.

- Une fiche transversale « modèles » est rédigée afin de préciser certains éléments attendus par les services instructeurs.
- Une fiche paysage (dont sous-marin) est intégrée au fascicule afin d'éclairer le porteur de projet sur une thématique nouvelle.
- Une fiche générale sur le suivi d'espèces protégées / remarquables / invasives (autres que celles indiquées dans les fiches EH-1 à EH-10) est rédigée.
- Il n'y a pas de fiches sur les habitats pro-

fonds (canyon, etc.), la plupart des projets visés par ce guide étant côtiers.

Pour plus de renseignement sur le suivi dans ces habitats, se rapprocher de l'AFB, de l'IMBE, du MIO et de l'Ifremer. Consulter également les campagnes de connaissance des canyons MED-SEACAN et CORSEACAN

<http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Ecosystemes/Exploration-des-canyons-de-Mediterranee>

Note bene. La liste des organismes ressources cités dans les fiches n'est pas exhaustive. Les services instructeurs et les bureaux d'étude ont l'expérience des suivis environnementaux, et ont contribué à la rédaction des fiches et pourraient être cités dans chaque fiche.

Numéro de la fiche	Paramètres physico-chimiques suivis	Experts consultés pour la rédaction des fiches
Fiche P-1	Houle	Xavier Kergadallan (CEREMA) et Camille Lequette (Egis)
Fiche P-2	Courant	Andrea M. Doglioli (MIO), Camille Lequette (Egis) et Fabrice Javel (Suez)
Fiche P-3	Stocks sédimentaires	Stepanian Alexis (BRGM)
Fiche P-4	Topo bathymétrie	Frédéric Pons (CEREMA), Alexis Stepanian (BRGM), François Sabatier (CEREGE) et Camille Lequette (Egis)
Fiche P-5	Trait de côte	Frédéric Pons (CEREMA), Alexis Stepanian (BRGM), François Sabatier (CEREGE), Philippe Dufresne (DREAL Occitanie) et Camille Lequette (Egis)
Fiche P-6	Turbidité et paramètres associés	Patrick Michel et Camille Lequette (Egis), Fabrice Auscher (DREAL Occitanie), Florence Cayocca (AFB) et Fabrice Javel (Suez)
Fiche P-7	Modèles hydrosédimentaires Modélisation numérique des phénomènes physiques	Camille Lequette (Egis) et Regis Walther (Artelia)
Fiche P-8	Son	Cédric Gervaise (GIPSA-LAB) et Thomas Folegot (Quiet Oceans)
Fiche P-9	Champs électromagnétiques	Jean-François d'Eu (Mappem Geophysics), Morgane Lejart (FEM) et Antoine Carlier (Ifremer)
Fiche P-10	Paramètres de qualité générale de l'eau	Bruno Andral (Ifremer), Patrick Raimbault (MIO), Patrick Michel et Camille Lequette (Egis)
Fiche P-11	Contamination chimique de l'eau	Bruno Andral (Ifremer), Patrick Raimbault (MIO), Patrick Michel (Egis), Fabrice Auscher (DREAL Occitanie) et Fabrice Javel (Suez)
Fiche P-12	Contamination chimique des sédiments	Bruno Andral (Ifremer), Patrick Raimbault (MIO), Patrick Michel (Egis), Julie Droit (CEREMA) et Fabrice Auscher (DREAL Occitanie)

Fiche P-13	Contamination chimique dans les poissons	Marc Bouchoucha (Ifremer) et Sandrine Ruitton (MIO)
Fiche P-14	Contamination microbiologique (eau, sédiments)	Bruno Andral (Ifremer), Patrick Rimbault (MIO), Patrick Michel, Camille Lequette (Egis), Julie Droit (CEREMA) et Fabrice Auscher (DREAL Occitanie)
Fiche P-15	Organismes phytoplanctoniques	Bruno Andral (Ifremer), Patrick Rimbault (MIO), Patrick Michel (Egis), Julie Droit (CEREMA) et Fabrice Auscher (DREAL Occitanie)
Fiche P-16	Paysage (sous-marin inclus)	Alain Freytet (DREAL PACA)
Fiche P-17	Déchets posés sur le fond	François Galgany - Olivia Gereny (Ifremer)
Fiche P-18	Déchets posés sur la plage	Isabelle Poitou (Association Mer-Terre) et Loic Kerambrun (CEDRE)
Fiche P-19	Déchets flottants	François Galgany (Ifremer)
Fiche P-20	Microparticules	François Galgany (Ifremer)

Numéro de la fiche	Habitats / espèces suivis	Experts consultés pour la rédaction des fiches
Fiche EH-1	Habitat herbiers de posidonies	Marc Verlaque, Charles François Boudouresque (MIO) et Claire Noël (SEMANTIC TS)
Fiche EH-2	Habitat de coralligène	Stephane Sartoretto (Ifremer), Sandrine Ruitton (MIO)
Fiche EH-3	Habitat substrats durs à algues photophiles	Thierry Thibaut (MIO)
Fiche EH-4	Habitat de substrats meubles	Céline Labrune (LECOB) et Corinne Pelaprat (Stareso)
Fiche EH-5	Herbiers de zostères	Guillaume Bernard (AFB), Francesca Rossi (CNRS – UMR Marbec) et Claire Noël (SEMANTIC TS)
Fiche EH-6	Herbiers de cymodocées	Alexandre Meinesz (Université de Nice), Francesca Rossi (CNRS – UMR Marbec) et Claire Noël (SEMANTIC TS)
Fiche EH-7	Grandes nacres	Nardo Vicente (IOPR) et Jean Vaugelas (Université de Nice)
Fiche EH-8	Poissons (et juvéniles)	Sandrine Ruitton (MIO) et Marc Bouchoucha (Ifremer)
Fiche EH-9	Mammifères marins	Hélène Labach (MIRACETI) et Jérôme Spitz (Observatoire PELAGIS)
Fiche EH-10	Patelles géantes	Alexandre Meinesz (Université de Nice)
Fiche EH-11	Autres espèces protégées / remarquables / invasives	Marc Verlaque (MIO)
Fiche EH-12	Nacres rudes	Nardo Vicente (IOPR)

1.2. MISE EN GARDE SUR L'UTILISATION DES FICHES

Certaines fiches sont plus ciblées pour le dimensionnement de projets et des mesures d'évitement et de réduction, alors que d'autres ont pour objectif d'évaluer les effets du projet sur le milieu marin. Certaines fiches concernent le suivi de paramètres encore peu connus qui pourront faire l'objet de mesures transversales.

Les précisions suivantes doivent être apportées quant à l'utilisation des fiches :

- La réglementation évolue régulièrement : il convient donc de vérifier systématiquement les mises à jour réglementaires ;
- Les relations activités / aménagements - pressions - espèces et habitats sont potentielles. Une analyse fine est, dans tous les cas, requise ;
- Tous les seuils d'alerte ne sont pas affichés, notamment ceux renvoyant aux arrêtés DCE ;
- Les coûts donnés sont indicatifs. Ils doivent être proportionnés aux enjeux environnementaux, à l'aire d'études du projet, etc. Quand il est nécessaire de suivre plusieurs paramètres, le coût peut être mutualisé (notamment concernant les moyens nautiques et plongeurs) ;
- Les organismes cités ont été consultés pour compléter les fiches. D'autres structures référentes en la matière sont mentionnées ;
- La liste des références n'est pas exhaustive. Chaque référence renvoie à d'autres sources bibliographiques qu'il peut être nécessaire de consulter ;
- Pour les fiches habitats, le suivi de leur fonctionnalité est quelquefois détaillé. Ce type de suivi est recommandé pour les projets de taille conséquente ou à forts enjeux environnementaux.

Les fiches sont des repères pour le porteur de projet mais ne peuvent se substituer à des protocoles de suivi de projets qui dépendent du contexte local.

2. PARAMÈTRES ÉCOLOGIQUES EN MILIEU MARIN MÉDITERRANÉEN : FICHES MÉTHODOLOGIQUES

FICHE P-1 : HOULE

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet (tenue des ouvrages...)
- Evaluer l'effet de la modification de la houle sur les espèces et habitats environnants

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA HOULE

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection du littoral (endiguement, épis, brise-lames, p.ex.), récifs artificiels, énergies marines.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA HOULE

- Habitats : herbier de posidonies (si déferlement), substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocée, patelle géante

La houle régit les conditions de sédimentation et de turbulence de la masse d'eau, et donc conditionne la colonisation des milieux par la faune et la flore (notamment la cystoseire, patelle, lithophyllum...).

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

PARAMÈTRES MESURÉS

Ce sont des paramètres généraux normalisés (Paramètres des états de mer, 1986). 5 paramètres pertinents pour un projet sont :

- H_{m0} : hauteur significative des vagues
- T_{02} : période moyenne
- T_p : période au pic d'énergie
- θ_p : direction au pic d'énergie de provenance des vagues
- θ_m : direction moyenne de provenance des vagues

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : la climatologie moyenne de houle se définit sur un minimum d'une année complète (2 à 3 années de préférence) de mesure.
- *Fréquence* : mesures en continu (échantillonnage supérieur à 1 Hz). Màj des paramètres toutes les 30 minutes.
- *Durée d'une campagne de suivi* : le suivi commence minimum 1 à 2 ans avant le début des travaux pour s'affranchir de la variabilité naturelle interannuelle du climat de houle.
- *Choix des stations de mesure* : il dépend du site (enjeux écologiques et économiques) et du type d'aménagement. Les stations seront situées dans les zones

où le projet crée un risque de modifications dommageables pour l'environnement. Le nombre de stations dépend des objectifs de précision des données.

PROTOCOLE TERRAIN

Le matériel de mesures est fonction des caractéristiques du site instrumenté. Au large, pour des profondeurs supérieures à 10 m, on utilise généralement la bouée de mesure de houle (houlographe). Pour des profondeurs généralement entre 5 et 20 mètres et surtout en cas de risque de collision du matériel en surface, il peut être préféré l'Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) posé au fond de l'eau. A moindre coût pour les profondeurs inférieures à 5 mètres environ, il peut être préféré un simple capteur de pression posé sur le fond. À partir d'une plate-forme, on peut aussi utiliser le radar filoguidé ou le sondeur à ultrason. En zone de déferlement ou le long d'une structure, on privilégie la perche à houle. Cette liste est non exhaustive.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Dans le cas de mesures *in situ*, l'échantillon est une population de vagues sous forme de signaux numériques enregistrés par les capteurs. Ces signaux doivent être traités pour obtenir les valeurs des différents paramètres des états de mer. Ces paramètres sont calculés à partir de 20 à 30 minutes de mesure en continu de l'élévation de la surface de l'eau (donc une valeur toutes les 20 à 30 minutes). Deux types de traitement sont possibles :

- Analyse vague par vague : analyse statistique des vagues, définies par le passage au niveau moyen calculé sur l'ensemble du signal étudié ;
- Analyse spectrale : les paramètres sont établis à partir du spectre de variance (répartition de l'énergie des vagues en fonction de la fréquence pour un état de mer donné).

Il y a donc un jeu de paramètres issu de l'analyse vagues par vagues ($H_{1/3}$, $TH_{1/3}$, H_{max} ...) et un jeu issu de l'analyse spectrale (H_{m0} , T_{02} , T_p , θ_m , θ_p ...). Voir [AIRH, 1986]. Il existe des relations théoriques ou empiriques entre les hauteurs (H) et les périodes (T) pour retrouver un paramètre non mesuré.

Pour établir le climat de houle, les paramètres d'états de mer sont étudiés via le calcul d'histogrammes, de corrélogrammes et de rose des houles (climatologie moyenne), ou via une analyse statistique des valeurs extrêmes (climat des extrêmes). Voir [Cerema 2021].

Les observations *in situ* servent très souvent au calage et/ou à la validation des modèles numériques de propagation des vagues. Le calage permet d'améliorer la précision du

modèle en faisant coller au plus près les simulations aux observations. La validation permet de quantifier la précision du modèle en comparant les simulations aux observations. Le modèle est le seul à offrir une vision spatiale et temporelle complète des données de houle. Sa précision est de l'ordre de 10 à 15 %. La précision est généralement plus mauvaise dans les extrêmes (supérieure à 15%).

L'observation in situ est complémentaire à l'observation satellite. L'observation satellite offre une couverture spatiale importante mais n'est pas continue en un point (mesure le long d'un tracé donc la fréquence de mesure en un point donné est de l'ordre de plusieurs jours) et ne peut être effectuée en proche côtier. L'observation in situ offre une faible couverture spatiale (mesure ponctuelle) mais permet d'enregistrer les pics de tempêtes en un point donné et de s'approcher au plus près de la côte.

Les modèles numériques travaillent principalement dans le domaine spectral. C'est pourquoi les paramètres issus de l'analyse spectrale sont actuellement plus utilisés que ceux issus de l'analyse vagues par vagues. Exemple de modèle : MFWAM de Météo-France, modèle utilisé pour la vigilance vague submersion. Plus d'informations sont disponibles dans la fiche « modèles ».

La connaissance du régime de houle permet par ailleurs d'étudier les phénomènes d'érosion / accrétion, et submersion, sur le site étudié, et par suite les effets du projet sur ces risques (voir fiche P-3 à P-7).

COÛT

Les coûts de matériel et d'exploitation sont fonctions du type de technologie mesure, du nombre de stations de suivi et de leur localisation. A titre d'illustration, l'installation d'un houlographe à quelques milles des côtes peut atteindre 70 000 €HT (matériel et installation). A cela s'ajoute 5 000 à 15 000 €HT par an pour l'exploitation du matériel (matériel de maintenance, intervention sur site, calculs des paramètres d'états de mer). Si location pour la réalisation de mesures compter généralement 5 k€ à 10 k€ / mois / point selon le type de capteur et le contexte du site.

Le coût de la modélisation est indiquée dans la fiche « modèles » (P-7).

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPECES ET HABITATS

Pas de seuils existants

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT ET PRODUITS NUMÉRIQUES ASSOCIÉS

- données d'observation in situ (archives et temps réel) : Centre d'Archivage National des Données de Houle In Situ (CANDHIS) <http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>

- Données d'observation des vagues par satellites: GlobeWave (<http://globwave.ifremer.fr/>)
- Prévisions de vagues Shom Météo-France (modèles MFWAM et WW3) <https://data.shom.fr/donnees/catalogue/oceano>
- Prévision de vagues Ifremer (modèle WW3) : <http://marc.ifremer.fr/en/results/waves>
- Simulations rétrospectives des états de mer en Manche et Atlantique, la base de données HOMERE de l'Ifremer : http://marc.ifremer.fr/en/produits/hindcast_sea_states_homere
- Simulations rétrospectives des états de mer en Méditerranée, Réunion et Antilles, la base de données ANEMOC d'EDF R&D et du Cerema : anemoc.mmh.er.dtecemf.cerema@cerema.fr

ORGANISMES RESSOURCES

Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'Environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema)

Météo-France

Service hydrographique et océanographique de la Marine (Shom)

Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer (Ifremer)

RÉFÉRENCES

Association internationale de recherches hydrauliques, 1986. Paramètres des états de mer. Supplément au bulletin n°52.

CEREMA, 2021. Fiches synthétiques de mesure des états de mer - Edition Cerema (<https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/fiches-synthetiques-mesure-etats-mer-maj-2021>)



Pose d'un houlographe (© Cerema) - Vague déferlante (© R Robin Rolland, DREAL PACA)

FICHE P-2 : COURANT

OBJECTIFS DU SUIVI

- Disposer d'éléments de calibration pour les modèles numériques hydrosédimentaires mis en œuvre pour les besoins du dimensionnement et/ou de l'évaluation des impacts environnementaux (renouvellement, panache turbide, etc.)
- Évaluer l'effet du projet sur les modifications de courantologie en lien avec les espèces et habitats

En général, en Méditerranée, les courants sont essentiellement liés à l'action des vagues dans les petits fonds (inférieurs à -5m à -10m), et au vent et courants généraux plus au large. Le courant lié à la marée astronomique est généralement faible, avec un marnage inférieur à 40 cm (zone microtidale).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LE COURANT

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection du littoral (endiguement, épis, brise-lames, p.ex.), prélèvement d'eau de mer et rejets associés (rarement significatif à l'échelle d'un site donné, sauf pour les rejets de centrales, ce qui est rare en Méditerranée), canalisations sous-marines (perturbation vraiment locale), câbles électriques (négligeable), récifs artificiels, énergies marines.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DU COURANT

- Habitats : herbier de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocée, grande nacre, poissons, mammifères marins

Une modification de la courantologie peut modifier la qualité de l'eau, la turbidité, l'érosion et la sédimentation, et leurs paramètres associés (voir fiche P-6). La courantologie est un facteur clé pour l'ensemble des habitats marins.

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique.

PARAMÈTRES MESURÉS

Vitesse et direction des courants : en Méditerranée, la stratification thermique et quelquefois saline joue un rôle important. Les profils verticaux de vitesses et de direction des courants sont à privilégier (surtout ne pas moyenniser sur la verticale des courants) : le courant doit être mesuré à plusieurs niveaux le long de la colonne d'eau.

STRATÉGIE DE MESURES

La stratégie de mesures est liée au type de modèle utilisé.

- *Période préférentielle* : la marée a peu d'influence. Les courants sont principalement influencés par les conditions de vagues à la côte et/ou au vent. Il est donc souhaitable de mesurer / modéliser le courant dans les conditions de vent les plus fréquentes (mistral, tramontane, Sud-Est, temps calme, brises de mer).
- *Fréquence* : état zéro avant aménagement puis éventuellement mesures en phase d'exploitation (dépendant du projet).
- *Durée du suivi* : dépend du type du projet. Périodes de 15j à 1 mois représentatives des vents dominants en phases critiques (vents dominants annuels si l'impact est attendu à toute période de l'année).
- *Choix des stations de mesure* : il dépend du site (enjeux écologiques et économiques) et du type d'aménagement. Les stations seront situées dans les zones où le projet crée un risque de modifications dommageables pour l'environnement. Le nombre de stations est généralement faible et dépendra des objectifs de précision des données.

PROTOCOLE TERRAIN

Les mesures de profils s'effectuent à l'aide d'un profileur type ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Les ADCP peuvent être fixés / posés sur le sol marin et donner un profil de courant le long de la colonne d'eau. La donnée est enregistrée en continu. L'intervention de plongeurs est nécessaire pour poser / récupérer l'ADCP (de même que pour la mesure des vagues, il est possible d'avoir un suivi en temps réel, avec par exemple une liaison 3G en surface).

Les ADCP peuvent également être tractés par un navire pour suivre une zone plus large, mais de manière ponctuelle dans le temps.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données terrain permettent de caractériser les mouvements des masses d'eau en vue d'une exploitation directe (modèles de dispersion analytiques par exemple) ou de calage de modèles numériques 2D ou 3D (discrétisation des vitesses sur la verticale ; voir fiche modèles). Le signal brut des vitesses est généralement moyenné dans le temps sur une période caractéristique de l'ordre de 10 minutes.

Vu les spécificités de la Méditerranée (plateau continental généralement réduit, influence du vent, thermocline, etc.), les modèles en 3D sont généralement recommandés, hors problématiques littorales relatives au transport sédimentaire induit par la houle (petits fonds) pour lesquelles une approche 2D reste satisfaisante.

Pour les projets de faible ampleur sans forts enjeux environnementaux, une approche à dire d'experts peut aussi suffire.

Des données concomitantes de vent et niveau d'eau à minima, mais aussi de houle, en zone exposée, et/ou de température/salinité dans des contextes de stratification, sont souvent nécessaires pour caler les modèles numériques (p.ex. pour les lagunes, vent, niveau d'eau, courant, débits d'eau des cours d'eau sont souvent nécessaires ; des données de température / salinité sont nécessaires pour les milieux présentant des gradients horizontaux et/ou verticaux importants comme les lagunes et deltas). Plus d'informations sont disponibles dans la fiche « modèles » P-7.

La connaissance du courant sur un site donné permet de préciser les échanges hydrauliques, la dispersion d'éléments dissous ou en suspension, et de préciser les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur le site étudié (voir fiches P-3 à P-7), La houle reste néanmoins le critère principal pour caractériser l'évolution morphologique côtière en Méditerranée (via les courants induits par la houle, souvent sinon toujours estimés par modélisation, car l'instrumentation en zone de déferlement est complexe du fait des efforts sur les appareils, du risque de destabilisation, de la turbulence et bulles d'air susceptibles de fausser les mesures).

COÛT

Le coût de location d'un ADCP dépend de ses caractéristiques, mais aussi de la proximité du BE en charge du suivi et des difficultés d'accès au point de mesure. Il faut néanmoins généralement compter environ 10 k€/mois/point. Une étude courantologie complète (modèles, calage avec des données terrain, analyse des données) est généralement de l'ordre de 10 à 30k€ hors instrumentation in situ, en fonction de la complexité du site et des phénomènes à représenter, et du nombre de scénarios à étudier. Le coût de la modélisation est indiqué dans la fiche « modèles » P-7.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants. On trouve néanmoins des recommandations dans certains guides concernant les problématiques de renouvellement des plans d'eau (pour éviter le déclenchement d'une crise dystrophique), ou de vitesses maximales à l'admission des prises d'eau

en mer (pour éviter les phénomènes d'impaction et/ou entraînement de poissons).

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Le SHOM et IFREMER produisent des prévisions opérationnelles de courants marins (<http://data.shom.fr> ; <http://marc.ifremer.fr/>).

La consultation de base de données *in situ*, satellite et ou modèle tels que Copernicus MEMS <http://marine.copernicus.eu/> peut aussi être source d'informations.

Il n'y a pas de réseau de suivi du courant côtier, sauf de manière ponctuelle.

ORGANISMES RESSOURCES

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)
SHOM

RÉFÉRENCES

Millot C. et Taupier-Letage I., 2005. Circulation in the Mediterranean Sea : Updated description and schemas of the circulation of the water masses in the whole Mediterranean Sea. A.Saliot. The Mediterranean Sea, The Mediterranean Sea (5-K), pp.29-66, Hand-book of Environmental Chemistry. Ed. Springer.

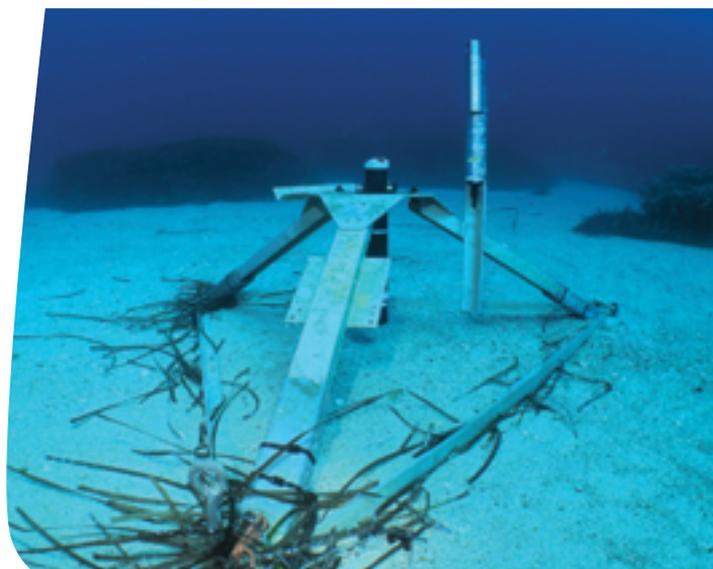
<http://link.springer.com/chapter/10.1007http://hal.ird.fr/hal01191856/document>

Doglioli A.M., 2014. Notes sur la Circulation Générale en Méditerranée pour le cours d'Océanographie Générale Université d'Aix, Marseille, France.

http://mio.pytheas.univamu.fr/~doglioli/Doglioli_Notes-Cours_CirculationGeneraleMediterrane.

<http://data.shom.fr/#donnees/oceanographie>

<https://donneespubliques.meteofrance.fr>



Courantomètre ADCP posé au fond de l'eau
(© Fabrice Javel-Suez Consulting)

FICHE P-3 : CONNAISSANCE DES STOCKS SEDIMENTAIRES LITTORAUX

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet : quantifier le volume de rechargement de plages, rechercher une zone d'extraction de sables, etc.
- Acquisition de connaissances au titre de mesures d'accompagnement : connaître la répartition des masses sédimentaires sableuses sur le littoral, l'épaisseur des sédiments sableux sur le proche avant-côte, entre le trait de côte et l'herbier de posidonies et le volume des stocks sédimentaires qui participent à la dynamique de la plage émergée (apports / pertes).

La connaissance de ces éléments permet d'avoir une estimation des stocks sédimentaires disponibles et susceptibles de contribuer au système côtier (avant-côte / plage / dune). La présence d'un stock sableux sur l'avant-côte est indispensable à la résilience d'une plage aux phénomènes érosifs ponctuels lors de tempêtes marines, pour favoriser une reconstruction naturelle du profil de plage pendant la période post-tempête, et diminuer ainsi la vulnérabilité du site à l'érosion et au recul du trait de côte.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LES STOCKS SÉDIMENTAIRES

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection contre l'érosion des plages (enrochements, épis, brise-lames, géotextiles), dragage, immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, rechargement de plages, forage.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DES STOCKS SEDIMENTAIRES

- Habitats : herbier de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocées, poissons, grande nacre

L'évolution des stocks sédimentaires n'est pas directement en lien avec les espèces et habitats.

Ce suivi est surtout utile pour les collectivités en vue d'une optimisation de gestion de leurs plages (activités de rechargement, etc.) et de la recherche de sites d'extractions de sable.

RÉGLEMENTATION

Aucune réglementation spécifique si ce n'est la réglementation liée à l'utilisation de méthodes acoustiques potentiellement nuisibles à certains mammifères marins. Une vigilance particulière doit être menée dans les zones sensibles (sanctuaire Pélagos, AMPs, etc.).

PARAMÈTRES MESURÉS

Profondeur des interfaces des différentes couches constitutives du sous-sol sous-marin. L'interface recherchée en priorité est l'interface entre les sédiments et le substratum rocheux.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : pas de période préférentielle, conditions de beau temps pour l'acquisition. A déterminer en fonction de l'historique des aménagements / rechargement du site et du comportement naturel de la plage.
- *Fréquence* : un levé géophysique est suffisant pour repérer la profondeur de l'interface roche / sédiments meubles. Un suivi ultérieur peut être réalisé par des relevés bathymétriques classiques.
- *Durée du suivi* : à déterminer en fonction des caractéristiques de l'évolution de la zone et des objectifs du suivi.
- *Choix des stations de mesure* : au sein de la même cellule hydrosédimentaire.

PROTOCOLE TERRAIN

Le principe est la mesure des vitesses des échos issus de la propagation dans le sous-sol d'une onde sismique provoquée. La profondeur est mesurée en temps de parcours « aller-retour » de l'onde acoustique entre la surface et la couche géologique. La conversion en profondeur est réalisée suivant des abaques temps / profondeur en fonction de la nature supposée des sédiments traversés et / ou en fonction de données de sondages /

carottage disponibles sur le site.

Les méthodes de géophysique pétrolière par prospection acoustique marine (sismique réflexion) sont les plus communément employées. Des méthodes directes de sondages/forages/lançages sont possibles mais donnent des indications ponctuelles. La couverture par géophysique permet de réaliser un échantillonnage spatial large dans un temps contraint.

Le dispositif embarqué est constitué d'une source sismique qui émet les ondes acoustiques et d'un système de capteurs acoustiques disposés sur une flûte qui réceptionne les ondes émises par la source qui est réfléchi par le sol et le sous-sol sous-marins. En fonction des appareillages, la source et la flûte peuvent être séparées ou associées dans un même dispositif tracté par le navire support.

La reconnaissance s'effectue selon le maillage défini au préalable à une vitesse faible (3 - 4 nœuds) avec un échantillonnage fréquentiel variable (1 - 2 tirs /seconde). A chaque tir correspond une trace qui donne une indication sur la position des différentes interfaces. La sommation des traces sur un même profil permet de suivre spatialement les interfaces, et donc ainsi les variations d'épaisseurs. Ce n'est pas une mesure directe de l'épaisseur mais une méthode indirecte qui nécessite une expertise pour interprétation. Cette méthode nécessite de bonnes conditions de mer lors de l'acquisition pour une bonne qualité des données. C'est également une méthode sensible à la présence de végétaux sur les fonds et à la présence de gaz dans les sédiments. La précision de la sismique THR (Très Haute Résolution) est de l'ordre de 0.25 à 0.5 m en fonction des différentes sources.

- *Moyens nautiques* : vedette de sondage ou navire support
- *Matériels / outils de mesure* : GPS ou matériel de positionnement (donne le t, X, Y, Zbrut), centrale d'altitude éventuelle (pour correction des mouvements de la vedette)
- *Matériel de sismique réflexion (source sismique, flûte acoustique, logiciel de traitement du signal)* : les sources sismiques THR sont mécaniques (boomer, i.e. deux plaques qui s'entrechoquent), ou électriques

(sparker, i.e. éclair électrique). Les sources mécaniques apportent plus de précision dans les zones de petits-fonds. Les sondeurs de sédiment sont des systèmes intégrés (source / flûte) qui sont plus adaptés aux zones de sédiments fins (ports, estuaires) qu'aux plages sableuses. Nécessité d'une génératrice haute-tension (4000 V pour boomer) embarquée avec un plan de prévention des risques dédié.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Réalisation d'une reconnaissance géophysique en suivant un maillage plus ou moins régulier (profils transversaux terre-mer ou longitudinaux parallèles au littoral). Une adaptation du maillage en fonction des structures sédimentaires sous-marines (bancs, barres, dune) est à prévoir pour rester autant que possible perpendiculaire aux structures. Constitution d'un semis de points de sondages (x, y, épaisseur).

Puis, analyses géostatistiques pour calculer le volume sédimentaire et comparer avec des cartes bathymétriques en vue de réaliser une carte du substratum rocheux. Des cartes peuvent également être produites afin de préciser l'épaisseur sédimentaire en relatif ou la localisation des interfaces dans les référentiels géodésiques et altimétriques convenus.

La connaissance de l'évolution des stocks dans le temps sur un site donné permet de préciser les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur le site étudié (voir fiches P-4 à P-7).

COÛT

- Prospection par géophysique réflexion : 5 000 - 6 000 € / jour d'acquisition – à moduler en fonction des coûts amenés par rapport aux replis. Linéaire de l'ordre de 10 km de profil relevés par jour ;
- Interprétation : 1 à 2 jours d'ingénieur géologue pour 1 journée d'acquisition en fonction de la qualité des données d'acquisition. Une phase de post-traitement du signal peut être nécessaire.

A titre indicatif, une opération de lancement (plusieurs points) nécessite une embarcation + 3 plongeurs (3 000 - 4 000 € / j).

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'existe pas de réseau de suivi. Les bureaux d'étude et établissements scientifiques peuvent avoir des données ponctuelles en fonction des projets locaux.

ORGANISMES RESSOURCES

BRGM

RÉFÉRENCES

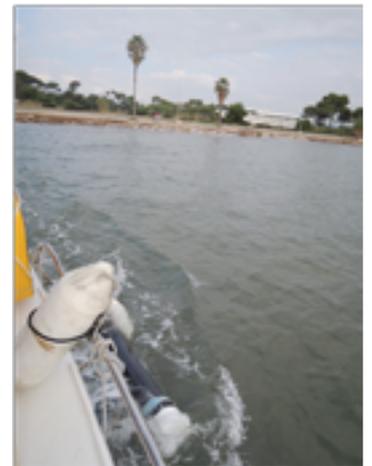
MEDDE et CGEDD, 2013. La protection des mammifères marins des eaux sous compétences juridictionnelles françaises. Suivi

des recommandations du groupe de travail 12 du Grenelle de la Mer sur la protection des mammifères marins. Rapport pour la métropole. Rapport n°- 007953-01. Inspection Générale des Affaires Maritimes.

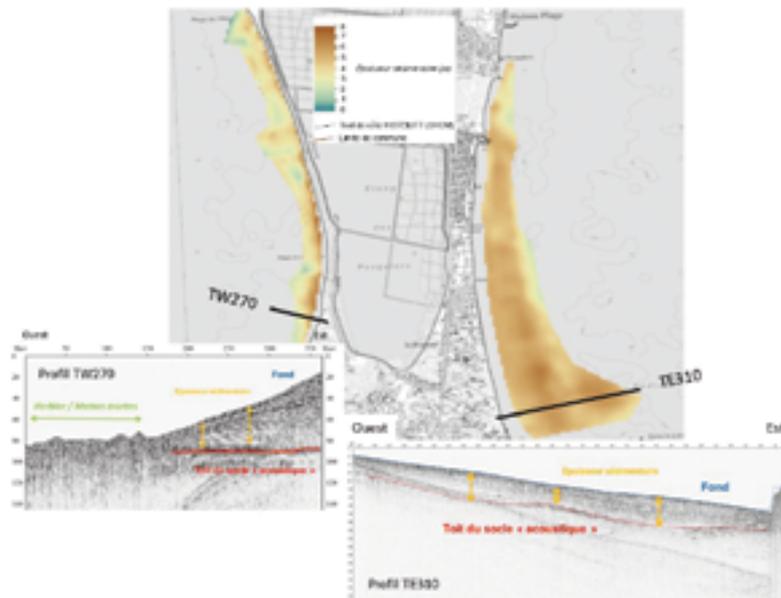
MEEDDM, 2010. Guide d'évaluation des incidences des projets d'extraction de matériaux en mer sur les sites Natura 2000. EGIS/Astérie, 91 p.

https://www.ifremer.fr/grands_fonds/Les-moyens/Les-equipements/Etude-des-fonds/Les-outils-de-sismique

Stéphanian A., 2014. Evaluation des Risques Naturels Littoraux - SCoT Provence-Méditerranée - Evaluation des stocks sédimentaires littoraux – Prospection géophysique. Rapport final. BRGM/ RP-64158-FR, p., ill., fig., tabl., ann., CD.



Etude d'un stock sédimentaire (rapport BRGM / RP-64158-FR)



FICHE P-4 : TOPOGRAPHIE / BATHYMÉTRIE

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet d'ouvrage ou d'activité
- Evaluer l'effet du projet sur la topographie / bathymétrie en lien avec les espèces et habitats
- Acquérir des connaissances au titre de mesures d'accompagnement : connaître l'altimétrie de la zone observée (état à un instant donné) et son évolution. Les variations au cours du temps éventuellement observées peuvent être inhérentes à l'évolution naturelle générale du milieu ou bien consécutives à l'aménagement.

Une corrélation de ce paramètre avec la connaissance des matériaux du milieu de la zone observée peut donner des informations sur le transport éventuel de ces matériaux (vitesse, type de matériaux transportés, zones affectées ou non par le transport (déblais, remblais, etc.) et servir de données de calage pour les modèles hydrosédimentaires (voir fiche modèles).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA TOPOGRAPHIE / BATHYMÉTRIE

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection du littoral (endiguement, épis, brise-lames, p.ex.), dragage, immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, canalisations sous-marines, câbles électriques, rechargement de plages, récifs artificiels, forage.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA TOPOGRAPHIE / BATHYMÉTRIE

- Habitats : herbier de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocées

RÉGLEMENTATION

Aucune réglementation spécifique.

PARAMÈTRES MESURÉS

Altimétrie/bathymétrie de la zone observée à un instant donné.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : la période de réalisation du levé topo-bathymétrique dépend du contexte évolutif de la zone (ex : par exemple évolution saisonnière ou épiphénoménale des profils de plage durant l'année). Il est parfois intéressant de profiter de forts anticyclones pour avoir une plus grande plage émergée. Mais le plus souvent les périodes de calme éloignées d'événements morphogènes seront les plus pertinentes pour l'évolution à moyen / long terme. En cas d'utilisation de méthodes terrestre et marine différentes, il est impératif de réaliser en même temps les levés pour assurer une continuité terre-mer et connaître réellement les stocks sédimentaires.
- *Fréquence* : avant et après travaux.
- *Durée du suivi* : dépendante de la zone. Pour un suivi à long terme (> 10 ans) 1 relevé /an sans lacune peut suffire de préférence à la fin de la saison estivale (en tout état de cause toujours à la même période). Pour connaître les variations saisonnières, 4 relevés/an (ou au moins 2 relevés/an, fin été et fin hiver) pendant 4 ans à minima sont nécessaires et les travaux (rechargement, calibrage...) sur la plage doivent être connus. Pour estimer l'impact des tempêtes, les relevés doivent encadrer l'événement et donc être espacés de quelques jours. Il existe autant de réponses morphologiques que d'événements.
- *Choix des stations de mesure* : la mesure s'effectue idéalement sur l'ensemble de la zone observée. Un suivi de quelques profils topo-bathymétriques représentatifs de la zone d'étude peut également être retenu dans certains cas, en particulier pour des plages relativement homogènes et rectilignes.

PROTOCOLE TERRAIN

Des normes hydrographiques ont été élaborées par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI) afin de définir les exigences de qualité et de précision de relevés bathymétriques. Voir la norme OHIPS44: http://www.shom.fr/fileadmin/data-www/MIP/DTI/HYDRO/S-44_Ed.5.0.1_FR.pdf

Le contrôle de la précision des travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte est défini dans l'arrêté et la circulaire du 16 septembre 2003, qui définissent les outils statistiques à employer pour évaluer un levé donné (<http://archives.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=30>).

Levés bathymétriques :

- *Moyens possibles : vedette de sondage bathymétrique, LiDAR bathymétrique embarqué sur avion, satellite (inversion optique multi-spectrale ; fonds jusqu'à -10m environ), vidéo-quantification (vues stéréo installées sur mâts ; inversion des crêtes de houles). Pour l'instant, aucun µlidar topobathymétrique civil n'est disponible sur drone (8-10m de profondeur en militaire).*
- *Matériels/outils de mesure nautiques : GPS ou matériel de positionnement (donne le t, X, Y, Zbrut), marégraphe ou matériel permettant de connaître la marée (permet avec le GPS d'avoir le Zcorrige), centrale inertielle (pour correction des mouvements de la vedette), sondeur (mono-faisceau, multi-faisceaux, multi-transducteurs).*

Levés topographiques :

- *Moyens possibles : arpentage DGPS (piéton ou quad équipé), Lidar, laser 3D (en particulier pour les ouvrages), photogrammétrie par drone, vidéo-quantification (vues stéréo installées sur mâts).*
- *Matériels/outils de mesure terrestres : DGPS, Lidar, caméras.*

A ces matériels s'ajoute le logiciel d'acquisition des données mesurées, de traitement et de modélisation numérique du terrain. Des prestataires proposent des suivis complets avec logiciels de visualisation (interface web).

- *Techniques d'échantillonnage utilisées : elle est fonction du type d'appareil utilisé. La précision des levés dépend aussi du type d'appareil utilisé et devra correspondre aux enjeux et mouvements du site, la Camargue (hors zones urbaines) demandant par exemple moins de précision que des plages de poches.*

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Réalisation d'un modèle numérique de terrain. Comparaison diachronique de levés et cartographie des écarts. Le traitement des données re-

cueillies dépend de l'objectif du levé (par exemple recherche du point le plus haut, du point bas ou de profondeurs représentatives moyennes ou encore d'effets locaux autour de certains ouvrages, voire de désordres).

Dans le cadre de l'élaboration de cartes, les références des coordonnées et des altitudes sont très importantes et doivent être clairement précisées à chaque levé. En France le système géodésique légal est le RGF93, avec les systèmes de projection associés Lambert 93 et Coniques Conformés 9 zones (remplaçant les zones Lambert historiques). Attention à bien référencer l'ensemble des données acquises au même repère altimétrique ; même si l'écart est faible en méditerranée entre le référentiel altimétrique terrestre (NGF ; historiquement représentatif du niveau moyen de la mer à Marseille), et le zéro hydrographique (représentatif du niveau de plus basse mer astronomique), un mauvais référencement peut aboutir à des erreurs d'interprétation significatives. La connaissance de l'évolution de la bathymétrie dans le temps sur un site donné permet de préciser les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur le site étudié (voir fiches P-3 à P-7).

COÛT

Topographie :

- *Lidar topographique (aéroporté) : mobilisation 5000 € et acquisition-traitement de 50 à 100 €/km². Cette technique peut nécessiter un regroupement de projets à des échelles départementales et régionales avec l'implication de l'IGN ;*
- *Méthodes traditionnelles (arpentage DGPS) : 3500 €/km (prestataire) ou coût d'acquisition 30 000 € ;*
- *Photogrammétrie drone photogrammétrie : mise en place GPS local (1500 €) + vol (400 à 1000 €) + Exploitation (~1000 €/km²). Il est possible d'utiliser le µLidar sur drone, cette technique moins répandue devrait se rapprocher à terme du coût photogrammétrie (pour info acquisition de l'appareil photo est entre 300 à 1000 € contre 10 000 à 100 000 € pour µLidar). Néanmoins, elle est moins utile en terrain dégagé sauf sur des zones très homogènes où la photogrammétrie peut être moins performante ;*

Sur des coûts de suivi tout compris, équivalent à du suivi de carrière sur plusieurs années, l'ordre de grandeur est de 10 000 €/an (mise en place, 4 vols/an, traitements et visualisation sur interface WEB).

Bathymétrie :

- Sondages bathymétriques : 1000 à 4000 €/km² ;
- Lidar bathymétrique (aéroporté) : mobilisation 100 000 € (tend à baisser) et acquisition-traitement de 1200 à 2000 €/km². La Méditerranée serait plutôt dans la tranche basse en prix du fait de ses eaux. Cette technique peut nécessiter un regroupement de projets à des échelles départementales et régionales avec l'implication du SHOM ;
- Inversion multi-spectrale d'images satellites : 20 à 150€/ km de côte ou km² (minimum 2000€ HT), dépendant de la résolution attendue, et des images disponibles (coût d'acquisition pour certaines).

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

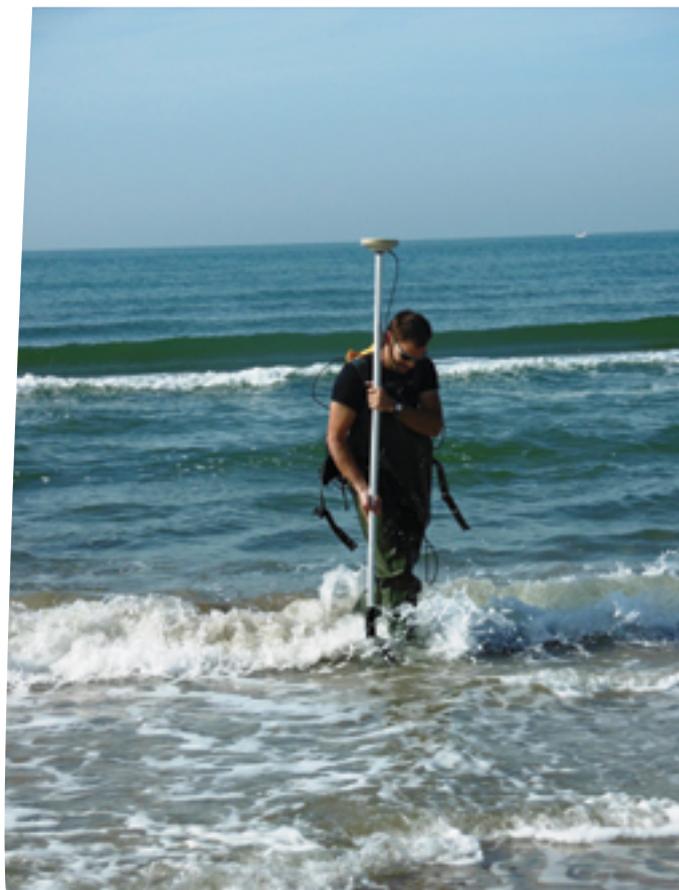
Pas de seuils existants.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT ET PRODUITS NUMÉRIQUES ASSOCIÉS

Il n'existe pas de réseau de suivi. Les bureaux d'étude et établissements scientifiques peuvent avoir des données ponctuelles en fonction des projets locaux.

ORGANISMES RESSOURCES

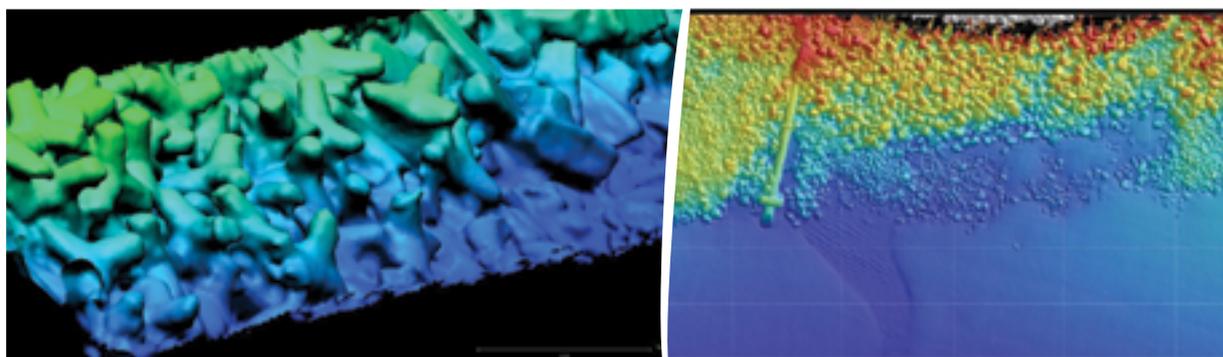
CEREMA
BRGM
CEREGE



© Semantic TS

RÉFÉRENCES

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.afhy.fr/images/pdf/Guide-RecommandationsAPHY.pdf>
Texte pour un levé topographique : <http://archives.cnig.gouv.fr/Front/index.php?RID=30>



Topobathymétrie de digue par photogrammétrie et SMF - Sondeur Multi-Faisceaux (© Semantic TS)

FICHE P-5 : TRAIT DE CÔTE

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet en vue du maintien de la dynamique naturelle du trait de côte.
- Evaluer l'effet d'une modification du trait de côte sur les espèces et habitats environnants.
- Acquisition de connaissances : avoir une meilleure connaissance de l'évolution du trait de côte, de ses évolutions naturelles et anthropiques. Cela peut inclure l'évolution passée du système littoral, le fonctionnement actuel du transit, le bilan sédimentaire, les facteurs morphogènes prépondérants tels que les tempêtes, à l'échelle de la cellule sédimentaire et de celles adjacentes, à différentes échelles temporelles.

En Méditerranée, on considérera le trait de côte comme le milieu du jet de rive qui correspond à la zone mouillée par temps calme (identifiable sur les photographies aériennes, images satellite et sur le terrain). Dans certains cas, la limite de végétation peut également s'avérer pertinente. La mobilité du trait de côte et l'évolution de la morphologie de l'avant-côte sont liées mais pas toujours corrélés, d'où l'intérêt de disposer aussi de levés de profils d'avant-côte pour l'analyse du bilan sédimentaire.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LE TRAIT DE CÔTE

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection du littoral (endiguement, épis, brise-lames, atténuateur de houle avec géotextile ou enrochement par .ex.), rechargement de plages, dragage / extraction de granulats, immersion en mer de sédiments, récifs artificiels, structures en mer.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DU TRAIT DE CÔTE

- Habitats : herbier de posidonies, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocée, poissons (zone de nurserie), patelle géante

L'habitat de substrat meuble et les espèces inféodées à ce milieu sont les plus sensibles à des évolutions brutales du trait de côte de même que

les espèces terrestres littorales.

RÉGLEMENTATION

- Le code de l'environnement (art. L. 321-13) précise : « Lorsque la région comporte des territoires littoraux, le schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires, mentionné à l'article L. 4251-1 du code des collectivités territoriales, ou le schéma d'aménagement régional valant schéma de mise en valeur de la mer, mentionné à l'article L. 4433-15 du même code, peut fixer des objectifs de moyen et long termes en matière de gestion du trait de côte. Il précise les règles générales d'un projet de territoire qui permet d'anticiper et de gérer les évolutions du trait de côte, portant notamment sur les mesures d'amélioration des connaissances, de préservation et de restauration des espaces naturels ainsi que de prévention et d'information des populations. Il détermine les modalités d'un partage équilibré et durable de la ressource sédimentaire » ;
- Pour les ouvrages de défense contre la mer, le suivi de l'évolution du trait de côte est obligatoire quand l'État subventionne le maître d'ouvrage (lettre du 18 décembre 2000). Le suivi a dans ce cas pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'ouvrage lui-même ou les impacts de l'ouvrage ;
- Dans les concessions de plage accordées par l'État, les communes ont l'obligation d'entretenir les plages (circulaire 20 juin 2012 relative à la gestion durable et intégrée du domaine public maritime naturel). A noter que l'entretien ne signifie pas forcément de maintenir la position du trait de côte, qui par essence évolue ;
- La stratégie nationale de gestion du trait de côte fixe un programme d'actions qui concerne notamment le suivi du trait de côte.
- Sur le territoire Occitanie, la Stratégie Régionale de Gestion Intégrée du Trait de Côte (SRGITC) est la déclinaison régionale de la Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de « Côte ». Cette stratégie est le résultat d'un chantier mené par la DREAL Occitanie/DRN.

Elle a été validée en comité d'action régionale le 29 juin 2018 (<http://www.littoral-occitanie.fr/Strategie-Regionale-de-Gestion-Integree-du-Trait-de-Cote-SRGITC>).

- Sur le territoire du Var, la SNGITC est déclinée en Stratégie départementale de gestion des côtes sableuses en érosion dans le Var, résultat d'un chantier mené par la DDTM83. Cette stratégie a été adoptée en comité de pilotage le 18 janvier 2019 (http://www.var.gouv.fr/IMG/pdf/strategie_erosion_2019_signe.pdf).

PARAMÈTRES MESURÉS

Position du trait de côte.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : pour un suivi classique de relevés de trait de côte au GPS / DGPS, il est habituel de demander un levé en hiver et en été hors conditions météorologiques exceptionnelles (forts anticyclones ou dépressions). Il peut être demandé soit uniquement un levé fin été (septembre), soit en plus un levé fin hiver (avril) afin d'avoir des analyses saisonnières (l'un et l'autre par temps calme). Pour un suivi à long terme (> 10 ans) 1 relevé / an sans lacune peut suffire. Pour connaître les variations saisonnières, 4 relevés / an pendant 4 ans a minima sont nécessaires et les travaux (rechargement, calibrage...) sur la plage doivent être connus. Pour estimer l'impact des tempêtes, les relevés doivent encadrer l'événement et donc être espacés de quelques jours. Il existe autant de réponses morphologiques que d'événements donc le nombre de campagnes est difficilement quantifiable. Il peut être envisagé un suivi avec des sciences participatives (application RIVAGES du CEREMA p.ex.) comprenant beaucoup plus de relevés de position de trait de côte, la qualité découlant de l'occurrence d'informations.
- *Fréquence* : avant travaux et en phase d'exploitation. 2 traits de côte / an + 1 après tempête (conditions météorologiques exceptionnelles).
- *Durée d'une campagne de suivi* : 3 ans minimum pour les aménagements de faible ampleur, et jusqu'à 10 ans pour les ouvrages importants.
- *Choix des stations de mesure* : les profils ne sont effectués que sur les plages mobiles susceptibles d'être modifiées par l'aménagement (en phase travaux et à long terme).

PROTOCOLE TERRAIN

Le choix dépend des objectifs de suivi (évolution moyenne) ou évolutions événementielles qui peuvent impacter les habitats marins. Une précision plus grande pourra être demandée pour une plage de poche de quelques mètres de largeur que pour des plages larges.

Le plus souvent, les opérations de levé physique local (vidéos, GPS / DGPS, smartphones, drones, ballons) sont à privilégier.

Les analyses, de cartes anciennes, d'images aérienne, d'orthophotographies littorales ou de satellites sont plutôt à privilégier au niveau de grands secteurs par des observatoires de traits de côte de niveau départemental ou régional. Ces jeux de données peuvent néanmoins avantageusement compléter les données disponibles.

Le dispositif par caméra permet la mise en œuvre d'un suivi quantitatif adapté à l'analyse technique des aménagements de lutte contre l'érosion littorale, en particulier lors des phases de tempêtes pendant lesquelles les mesures *in situ* classiques sont impossibles. Il comprend plusieurs mâts comportant des caméras d'observation. Un traitement par photogrammétrie des images obliques instantanées et moyennées sur 10 minutes permet d'obtenir une image en plan de la plage.

Il est important d'avoir le même mode opératoire sur les différentes périodes d'observation et sur le long terme. Les marges d'erreurs définies sont à inclure dans les métadonnées (méthode, précision, dates, marée, conditions, etc. sont à consigner dans les données attributaires ou métadonnées).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Analyses diachroniques des positions du trait de côte : cette analyse peut être réalisée « manuellement » mais il est proposé des outils type MobiTC (CEREMA) disponibles gratuitement pour évaluer les évolutions du trait de côte sur de nombreux transects de plage. Il est utile d'analyser la situation d'évolution historique (avant mise en place de l'aménagement) et de la comparer avec l'évolution après aménagement. Un recul du trait de côte peut être un phénomène à long-terme. Pour les acquisitions de données historiques, on utilisera les cartes anciennes, photographies aériennes verticales, images satellites et lidar. Pour l'acquisition de

données in situ, on utilisera un DGPS ou l'application smartphone « Rivages » du CEREMA (solution moins précise mais participative et gratuite).

La connaissance de l'évolution du trait de côte dans le temps sur un site donné permet de préciser les phénomènes d'érosion et d'accrétion sur le site étudié (voir fiches P-3 à P-7).

COÛT

- Installation et suivi vidéo sur 3 ans : 130 000 €
- Acquisition DGPS précis : 10 000 €
- Arpentage jusqu'à 10km/j environ
- Digitalisation de trait de côte :
 - Données :
 - Prises de vue aériennes : gratuit si

orthophotographies littorales, sinon dépend du territoire et de la technique (avions, hélicoptères, ballons, drones)

- Photos satellites : prix divers, parfois gratuit (voir accord Ign Espace, geosud)
- Traitement : environ 1h/20km/cliché ; détection automatisée possible, intéressante pour de grands linéaires (> 100 km).

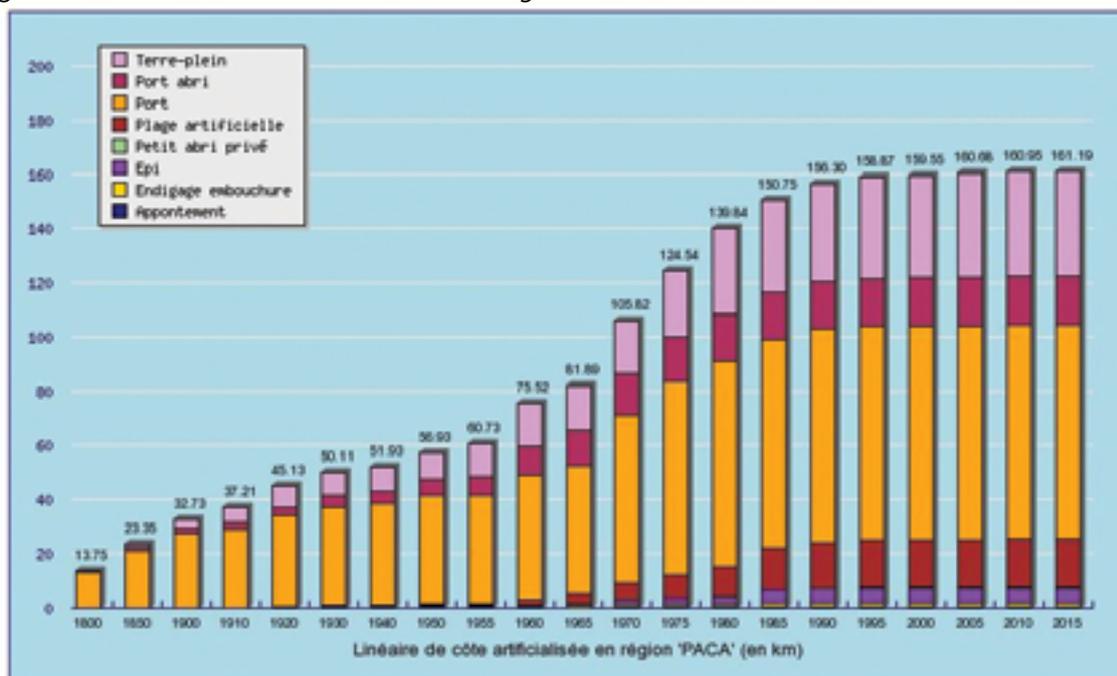
SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Différents réseaux de suivi existent sur le trait de côte :

Figure n°1. Linéaire de côte artificialisée en Région PACA (source : MEDAM).



- Campagnes aériennes ortholittorales menées ponctuellement par le Ministère en charge de l'Environnement.

<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/ortho-littorale-r181.html>

- Observatoire national de gestion du trait de côte est en cours de création avec la mise en place d'un indicateur national d'érosion côtière.

<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/strategie-nationale-de-gestion-integree-du-trait-r434.html>

- La base de données régionale Tempête fait l'inventaire des tempêtes historiques ayant affecté le littoral et donne des informations sur l'érosion côtière. Il sera bientôt disponible sur l'observatoire régional des risques majeurs (ORRM PACA).
- Suivi du trait de côte par smartphone :

application rivages

<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/suivi-du-trait-de-cote-par-smartphone-r489.html>

- La base de données MEDAM évalue l'impact du cumul des ouvrages gagnés sur la mer. (www.medam.org/). L'artificialisation du trait de côte est prononcée dans certains départements.
- Réseau d'Observation du Littoral de Corse (ROL Corse) : <http://www.littoral-corse.fr>
- Plateforme ' Mon Littoral : <https://www.mon-littoral.fr/>

ORGANISMES RESSOURCES

BRGM
CEREGE
CEREMA

RÉFÉRENCES

Suivi par vidéo : <http://www.brgm.fr/projet/suivi-video-numerique-experimentation-techniques-protection-littoral-lido-sete>

Bulteau T., Garcin M., avec la participation de Oliveros C., Lenôtre N., 2011. Synthèse des travaux menés sur l'observation de l'évolution du trait de côte. Rapport BRGM/RP-59396-FR, 152 p., 27 fig., 5 tab., 1 ann.

<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59396-FR.pdf>

Cerema, 2015. Analyse du fonctionnement hydro-sédimentaire du littoral. Cahier technique.

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/analyse-du-fonctionnement-hydro-sedimentaire-du-a1436.html>

MEDDE, 2010. La gestion du trait de côte. Ed. Quae. Isbn : 978-2-7592-0360-4.

MEDDE, 2014. Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux.

<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Guide%20PPRL%20-%20version%20finale%20mai%202014.pdf>

MTES, 2017.

Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de

côte. Vers la relocalisation des activités et des biens. Programme d'actions 2017 – 2019.

https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/12004-1_Strat%C3%A9gie%20gestion%20trait%20de%20c%C3%B4te%202017_light.pdf

MIMEL, Fiche technique n° 3b Lignes de référence sur le littoral. Quel trait de côte choisir ?

http://www.donnees.normandie.developpement-durable.gouv.fr/pdf/MIMEL/FT3b_MIMEL.pdf



Traits de côte Saintes Maries de la Mer (© Camille Moirenc)

FICHE P-6 : PÉNÉTRATION LUMINEUSE / TURBIDITÉ / MATIÈRES EN SUSPENSION (MES) / SÉDIMENTATION / GRANULOMÉTRIE

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet par la mise en place de mesures d'évitement et de réduction (barrages anti turbidité, etc.)
- Évaluer l'effet du projet sur la pénétration lumineuse / turbidité / matières en suspension / granulométrie / sédimentation en lien avec les espèces et habitats
- Mener des opérations d'acquisition de connaissances dans le cadre de mesures d'accompagnement

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA TURBIDITÉ ET PARAMÈTRES ASSOCIÉS

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection contre l'érosion des plages (enrochements, épis, brise-lames, géotextiles), entretien et grosses réparations portuaires, entretien et grosses réparations d'ouvrages de protection du littoral (endiguement, épis, brise-lames, p.ex.), entretien et grosses réparation d'ouvrages portuaires, de structures en mer et/ou de protection du littoral, dragage / extraction de granulats, immersion en mer de sédiments, rejets en mer, mise en œuvre de canalisations sous-marines ou câbles électriques, rechargement de plages, récifs artificiels, énergies marines, forage, champ aquacole piscicole.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA TURBIDITÉ ET PARAMÈTRES ASSOCIÉS

- Habitats : herbier de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbiers de zostère, cymodocée, grande nacre

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique, excepté les seuils de concentration en MES pour certains rejets en mer (STEP p.ex.).

Dans le cadre des opérations de rechargement de

plage, il est préconisé que la fraction fine soit très faible dans les matériaux d'apport ; ceci pouvant être réalisé en retenant un gisement de sédiments répondant à ce besoin et/ou en autorisant la surverse par la drague s'il s'agit d'une DAM, auquel cas l'impact sur la turbidité sera reporté plus au large, sur la zone de prélèvement, plutôt qu'à la côte et dans les petits fonds.

Pour toutes interventions relatives à des ouvrages, il est intéressant de prévoir la mise en œuvre d'un écran géotextile, lorsque les conditions le permettent, pour confiner le nuage turbide induit par les travaux.

PARAMÈTRES MESURÉS

La pénétration lumineuse est un facteur clé pour les espèces et habitats marins et correspond à l'intensité lumineuse reçue / la surface. La capacité de la masse d'eau à laisser pénétrer la lumière peut être mesurée directement / indirectement via plusieurs paramètres :

- la transparence de l'eau (il s'agit de la propriété qu'a l'eau de laisser passer les rayons lumineux, de laisser voir ce qui se trouve derrière) ;
- la quantité de matières en suspension (qui s'exprime en mg/L et varie entre 0.5 et 5 mg/L en zones côtières en PACA, et > 5 mg/L en Occitanie et le delta du Rhône. On distingue en hydrologie le « matériel en suspension » (ou « matériel particulaire ») des substances dissoutes, la distinction étant faite par une coupure arbitraire de taille à environ 0,5 micromètres ;
- et la turbidité, qui correspond à la propriété optique de l'eau qui fait que la lumière incidente est diffusée ou absorbée. Celle-ci est liée à la présence de matières en suspension (MES) ou de matière organique et peut y être corrélée. Elle correspond à une certaine « opacité » de l'eau, mesurée classiquement en référence à l'opacité d'une solution de formazine dont on connaît la turbidité en fonction de la concentration. L'unité utilisée est l'unité de turbidité néphélométrique (NTU), variable de 0.5 à 5 NTU en milieu côtier.

Par ailleurs, les paramètres suivants peuvent servir également à la qualification du milieu et à l'appréciation des impacts d'un projet :

- *Sédimentation* : elle correspond à la quantité de sédiments en suspension qui se déposent sur le fond marin pendant une durée donnée. Ce paramètre est utile pour la compréhension des phénomènes d'accrétion / érosion.

- *Granulométrie des matériaux in situ et apportés* : elle caractérise les dimensions et la forme du grain de sable.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition normale et dans les conditions les plus défavorables au projet. La période d'échantillonnage doit idéalement permettre de définir la variabilité naturelle des paramètres, afin de pouvoir évaluer les parts respectives liées au projet et à la variabilité hydro-météorologique. Cela nécessite idéalement de faire des suivis haute fréquence pendant un temps suffisamment long, ou de récupérer l'information indirectement (images satellites par exemple).
- *Fréquence* : état zéro avant aménagement, en phase travaux et en phase d'exploitation
- *Durée du suivi* : dépend du type du projet. C'est surtout en phase travaux que le suivi de ces paramètres est important.
- *Choix des stations de mesure* : il dépend du site et du type d'aménagement. Les stations sont situées au sein de l'aire d'études du projet. Des mesures en simultané en zone témoin sont importantes, la turbidité évoluant naturellement avec la météo, la présence de phytoplancton...

PROTOCOLE TERRAIN

- *Matière en suspension* : la méthode consiste à prélever puis filtrer l'eau de mer sur une membrane filtrante afin de retenir toutes les particules de taille supérieure à 0,5 µm.
- *Sédimentation* : Des pièges à sédiments sont placés sur le fond et recueillent les particules qui se sont déposées sur une période donnée. Les résultats sont exprimés en unité d'épaisseur par unité de temps. Ce type de mesures nécessite des relevés par plongée.

D'autres types d'appareils de mesures existent, notamment des altimètres de précision (type ALTUS).

- *Granulométrie* : celle-ci peut se mesurer en laboratoire par tamis ou par laser pour plus de précisions (pour les sédiments fins). Elle peut quelquefois être mesurée in situ (LISST p.ex.).

Ces mesures permettent néanmoins rarement un suivi en temps réel des paramètres du milieu.

Les mesures qui suivent sont davantage destinées au suivi en temps réel de la qualité du milieu :

- *Intensité lumineuse* : capteurs submersibles de lumière (luxmètres). Les capteurs actuels présentent l'avantage de cumuler des données d'intensité lumineuse sur de longues périodes. L'intensité lumineuse s'exprime en lux (par unité de surface). Un capteur posé au fond et un en surface permettent de mesurer le % de lumière de surface qui atteint le fond (en l'occurrence les herbiers de posidonies).
- *Transparence de l'eau* : mesures par disque de Secchi. C'est la seule mesure dont on dispose actuellement pour prendre en compte à la fois les caractéristiques optiques de l'eau (teneur en particules), la pénétration de la lumière du jour, le contraste et la perception de l'œil. L'unité utilisée est la profondeur à partir de laquelle le disque disparaît. Les mesures peuvent se faire à la côte ou embarquées.
- *Turbidimètre* : généralement par sondes immergées. Il existe des capteurs optiques type OBS ou acoustiques (chacun étant performant à des granulométries différentes). Les turbidimètres peuvent également être rattachés à des sondes multi paramètres CTD. Le turbidimètre mesure l'intensité de la lumière dispersée à un angle de 90 degrés par rapport au trajet de la lumière incidente. Des profileurs acoustiques type ADCP (basé sur l'effet doppler) peuvent également être utilisés pour estimer en temps réel la charge de matériaux en suspension. Ils offrent l'avantage d'un échantillonnage à haute résolution spatiale et temporelle de l'ensemble de la colonne d'eau sur de larges distances. Quelquefois des turbidimètres portatifs peuvent être utilisés (mesures ponctuelles). Les mesures se font en continu *in situ*. Un navire embarqué et des plongeurs sont nécessaires. Quel que soit l'instrument utilisé, la mesure

étant indirecte, elle doit être calibrée par des prélèvements et analyses d'eau préalables si on souhaite l'exprimer en quantité de matière en suspension. L'étalonnage des capteurs est important.

D'autres mesures sont également envisageables, par suivi de traceurs ou par télédétection par exemple (turbidité de surface).

- *Traitement de données satellite* : la couverture actuelle permet un suivi rapproché de l'évolution de panaches turbides en phase travaux. Cette méthode offre l'avantage d'avoir une vision globale, spatialisée, de la turbidité, permettant ainsi de mieux identifier l'origine de certains dépassements de seuils, le cas échéant. A nouveau, la calibration sur la base de mesures de MES in situ est importante pour fiabiliser le suivi.



Turbidimètre

(© Fabrice Javel-Suez Consulting)

Ce type

d'information permet une transmission en continu des données vers le centre de gestion en charge du suivi des effets du chantier.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

- *Transparence de l'eau* : les données liées au disque de Secchi sont analysées par rapport à une valeur référence avant travaux. L'intérêt de cette mesure est sa facilité de mise en œuvre et son coût modique. Adaptée à des petits chantiers, elle donne une mesure en instantané (ce qui en fait une donnée limitée).
- *Turbidité* : les mesures in situ ou déportées (satellite) doivent être analysées pour mettre en valeur les pics de turbidité corrélés aux travaux. Une corrélation avec les MES (qui dépend de

l'appareil et du milieu) est recommandée s'il n'existe pas de valeurs pour la partie littorale concernée et nécessite alors une campagne d'étalonnage préalable.

- *Matières en suspension* : les échantillons sont conservés, filtrés puis analysés. Un protocole national a été mis en place dans le cadre de SOMLIT. *In situ*, les capteurs de turbidité doivent être conformes aux spécifications de la norme NF EN ISO 7027 (1999).
- *Sédimentation* : les échantillons doivent être filtrés, normalisés puis pesés afin de déterminer la quantité de MES déposés sur le fond au cours du temps.
- *Granulométrie* : les sédiments sont classés selon la typologie en vigueur.

COÛT

- Mesures de l'intensité lumineuse : l'achat de capteurs PAR est de l'ordre de la centaine d'euros. Compter 500 – 1 000 € par campagne en mer.
- Mesures de la turbidité : l'achat d'une sonde CTD est de l'ordre 3 000 - 20 000 €. Sonde ADCP : 10 000 - 15 000 €.
- Mesures de la transparence de l'eau avec disque de secchi : le coût d'un disque de secchi est de l'ordre de la centaine d'euros.
- Mesures de la sédimentation : le coût d'un piège à sédiment est de l'ordre de la centaine d'euros (ou peut être artisanal).
- Mesures de la granulométrie : le coût d'analyse en laboratoire est de l'ordre de 100 €.
- Suivi satellite : ND / se rapprocher de I-Sea par exemple.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Dans le cadre de la DCE, des valeurs en MES sont fixées dans l'arrêté du 25 janvier 2010.

<https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021865356&categorieLien=cid>

De nombreuses espèces et habitats marins sont sensibles aux variations de turbidité / MES. Les données doivent donc être corrélées aux seuils de sensibilité environnementaux connus. L'herbier de posidonies et la grande nacre ont des seuils d'alerte par rapport au taux de MES, lumière et sédimentation connus (voir fiches habitats / espèces correspondantes).

Par défaut, lorsque la turbidité générée par des travaux est à surveiller au niveau d'un habitat sensible, on peut se référer à un pourcentage de dépassement de turbidité par rapport à une station témoin hors influence, afin de tenir compte des apports de turbidité naturels. Ce pourcentage devra être validé par les services instructeurs. Plus la durée des travaux est longue, plus le seuil devra être bas. Une mesure en début de journée avant le démarrage des travaux sur le site doit également être prévue.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

En Méditerranée, le réseau SOMLIT donne des valeurs moyennes de turbidité et de MES. Le traitement de données satellites proposé par IFREMER (<http://marc.ifremer.fr>) apporte également des informations.

ORGANISMES RESSOURCES

SHOM

Ifremer

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)

RÉFÉRENCES

Aminot A. et Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins - Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Bastide G., 2012. Analyse comparative multi-capteurs de la mesure de la turbidité en milieu marin. Rapport de stage de fin d'études.

<https://www.iuem.univ-brest.fr/epure/documents-publics/memoires-et-theses/memoire-de-master-de-guillaume-bastide>

DREAL LR, 2011. Document de cadrage préalable des études d'impact relatives aux opérations côtières de protection du littoral sableux du Languedoc-

Roussillon.

<http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/protection-du-littoral-sableux-document-de-cadrage-a2456.html>

France Energies Marines, 2013. Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer. GHYDRO.

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/27456.pdf>

Geode, 2018. Dragages et immersions en mer et en estuaire. Revue des bonnes pratiques environnementales. En cours de publication.

Manzanera M., Perez M. and Romero J., 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation : an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation* 4 : 67-70.

Ruiz J.M. et Romero J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin* 46 : 1523-1533.

Ville de Mauguio – SIVOM des communes littorales de la Baie d'Aigues-Mortes. Suivi environnemental de la luminosité au niveau des herbiers de Posidonies. Synthèse des douze campagnes de suivi. CREOCEAN, juillet 2008.

http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/protocole_national_MES.pdf

<http://www.shom.fr/les-activites/activites-scientifiques/oceanographie/la-turbidite-oceanique/techniques-de-mesure>



Tripode équipé de multiples appareils (© Nortek)

FICHE P-7: MODÉLISATION NUMÉRIQUE DES PHÉNOMÈNES PHYSIQUES

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionner le projet d'aménagement (ouvrages ou activités)
- Evaluer l'effet du projet sur le régime hydrosédimentaire de la zone d'étude (agitation, courant, transport sédimentaire) et l'impact sur les zones et usages sensibles
- Acquérir des connaissances au titre de mesures d'accompagnement : préciser le fonctionnement de la zone, et notamment la variabilité spatio-temporelle du transport sédimentaire passé et actuel au niveau de la zone du projet, en différenciant la part liée à la variabilité naturelle des conditions météoro-océaniques du milieu, de celle qui serait consécutive à des aménagements ou activités passés sur la zone.

Les éléments modélisés dans le cadre de projets concernent :

- pour les ports / digues : le plus souvent les phénomènes de génération / propagation de la houle, d'agitation portuaire, de seiche, de courantologie, et plus rarement de franchissement, de sédimentologie (évolution des fonds), et de qualité d'eau (renouvellement, dispersion de rejet, turbidité induite par des travaux de dragage) ;
- pour les plages / littoraux sableux : le plus souvent les phénomènes hydrosédimentaires (houle, courant, transport sédimentaire, évolution des fonds et de la position du trait de côte), et parfois de qualité d'eau (renouvellement, dispersion de rejets et / ou de sédiments).

UTILITÉ DES MODÈLES EN LIEN AVEC LES ACTIVITÉS – PRESSION – ESPÈCES / HABITAT

- Des travaux en mer (dragages, construction de digue, rechargement de plage p.ex.) peuvent impacter les zones écologiques et / ou usages sensibles à une augmentation de la turbidité et / ou à un recouvrement par des fines (habitats de substrat meuble et herbiers de posidonies, élevages piscicoles, prises d'eau en mer). Dans le cadre de ce type d'opérations et impacts pressentis, les modèles de dispersion de panache turbide peuvent être pertinents.
- L'évolution du transport sédimentaire lié à l'im-

plantation de nouveaux ouvrages ou à leur extension par exemple, est susceptible d'impacter les zones ou usages qui seraient sensibles à un recouvrement sableux (posidonies) ou plus généralement à une évolution des fonds marins à la hausse ou à la baisse. Selon les cas, des modèles d'agitation et / ou de courantologie et/ou de sédimentologie peuvent être mis en œuvre.

- L'évolution de la courantologie liée à l'implantation de nouveaux ouvrages ou à leur extension par exemple, est susceptible d'impacter la qualité de l'eau du fait d'un possible confinement de la masse d'eau (diminution du renouvellement) ou d'un dévoiement d'émissaires en mer rendu nécessaire.
- Dans le cadre des opérations de rechargement de plages, les modèles de dispersion de panache turbide peuvent être pertinents.

DIMENSIONS DU MODÈLE

La modélisation repose sur la résolution d'équations de processus plus ou moins complexes. Ces équations peuvent être différentielles ou analytiques, et sont résolues sur des domaines à 1, 2 ou 3 dimensions, selon la complexité des phénomènes et du site étudiés :

- *1 dimension* : modèles simplifiés mais suffisants pour représenter par exemple l'hydrodynamique d'un cours d'eau, de la partie amont d'un estuaire, ou l'évolution d'un trait de côte sableux. Ce type de modèle suppose des hypothèses fortes et nécessite une certaine homogénéité du domaine modélisé.
- *2 dimensions* : modèles plus élaborés permettant de décrire la topo-bathymétrie et les phénomènes hydrosédimentaires de manière plus réaliste. Il existe deux types de modèles 2D, 2DH ou 2DV, selon que le modèle est intégré respectivement sur la verticale (cas où le paramètre, par exemple la vitesse du courant, est considéré avoir la même valeur sur l'ensemble de la colonne d'eau, mais varie dans le plan) ou l'horizontale (dans le cas où le paramètre, p.ex. la vitesse du courant, est considéré avoir la même valeur sur l'ensemble de la section littorale étudiée, mais varie sur la verticale).
- *3 dimensions* : permet de représenter la variabilité spatiale complète des phénomènes modélisés.

TYPES D'ÉQUATIONS À RÉSOUDRE

- *Solution analytique / empirique* : cas où les équations peuvent être résolues directement. Principalement utilisé pour les calculs de franchissements et de dispersion d'effluents ou sédiments en mer ; rare pour ce qui concerne les processus hydrosédimentaires, mais néanmoins utilisé pour estimer un transit littoral et définir des formes de plage en équilibre (tomboles à l'arrière de brise-lames par exemple).
- *Solution différentielle / approchée* : nécessité de discrétiser spatialement le domaine modélisé et de résoudre les équations selon une méthode numérique appropriée, type éléments, différences ou volumes finis p.ex., à adapter selon les échelles spatiales et temporelles envisagées (la méthode aux éléments finis est la plus communément retenue pour les modélisations 2D car elle permet de réduire la taille des mailles sur les zones d'intérêt sans avoir recours à des emboitements de plusieurs domaines, d'emprise et résolution croissantes). Les méthodes VOF (Volume Of Fluid) et plus généralement de CFD (Computational Fluid Dynamics) peuvent également être envisagées, mais sont encore coûteuses en temps de calcul (en particulier pour le 3D) et restent de ce fait dédiés à des cas particuliers.

VALIDATION DU MODÈLE

Le bureau d'études en charge de la partie modélisation doit indiquer dans le rapport à destination des services instructeurs :

- *Les paramètres d'entrée utilisés* :
 - o les données topo-bathymétriques compilées : leurs source, date, emprise et résolution de la donnée source et de la donnée compilée ;
 - o les données relatives à la position du trait de côte : source, emprise, indicateur retenu, précision avec les dates et les événements anthropiques et particuliers observés ;
 - o les conditions météo-océaniques : description des données d'états de mer, niveaux d'eau, conditions de vent et courant en conditions usuelles et extrêmes (tempêtes exceptionnelles) ;
 - o les conditions de sol : granulométrie des sables en place, éventuellement cohésion du sol, zones non érodables, épaisseur de la couche meuble ;
 - o prise en compte des habitats à travers un

coefficient de rugosité variable ou de modèles particuliers (substrat meuble, rocheux, recouvert de posidonies).

- *Les limites de la modélisation* (en justifiant autant que possible les hypothèses, coefficients et paramètres retenus) :
 - o les phénomènes pris en compte ou non (déferlement de la houle, courant de marée, lié au vent, etc.) et les interactions entre eux ;
 - o les caractéristiques du modèle utilisé (méthode numérique, nombre de dimensions, résolution, emprise, etc.) ;
 - o les données d'entrée utilisées et / ou nécessaires pour affiner le modèle (données de calage/validation notamment) ;
 - o les résultats du calage et de la validation du modèle lorsque cela a été demandé et / ou possible. Les modélisations morphosédimentaires en particulier ne peuvent conduire à des résultats exploitables que si on dispose de données historiques et de calage, Les données de calage pour la partie trait de côte sont des informations (photos passées, récentes, satellites) sur l'évolution historique du trait de côte, associées aux opérations anthropiques et aux événements météorologiques remarquables. Pour les paramètres hydrodynamiques, il faut des mesures, et idéalement pas seulement de courant mais aussi houles et vent synchrones.

PARAMÈTRES MODELISÉS

Selon les besoins et modèles utilisés, les paramètres suivants peuvent être simulés :

- Evolution du niveau d'eau : hauteur de houle / agitation, niveau moyen (seiche, marées astronomique et météorologique, waves runup et setup, tsunami...)
- Composantes du courant induit par les mouvements du plan d'eau et les apports d'eau à la côte (fleuves, rejets)
- Température / salinité (cas de modèles hydrodynamiques 3D)
- Concentration en substances dissoutes / traceurs conservatifs ou non (rejets industriels, STEP, etc.) ou particulières (rejets de sédiments dragués p.ex.)
- Evolution des fonds et intensité du transit sédimentaire
- Evolution de la position du trait de côte

COÛT

Les coûts des études de modélisation numérique fournis ci-après sont purement indicatifs et ne tiennent pas compte, ou peu, des coûts liés à la rédaction des rapports, aux réunions, déplacements et frais logistiques.

Ils dépendent par ailleurs énormément des outils et données existant déjà sur la zone d'étude, de l'étendue de celle-ci et des enjeux liés au projet. Il est donc assez difficile de généraliser. Voici néanmoins quelques fourchettes de prix indicatives, susceptibles de varier au-delà en fonction de la localisation et de l'étendue de la zone d'étude, de la typologie et complexité des ouvrages / aménagements à représenter, du type de phénomènes à modéliser...

- Ports :
 - Etude d'agitation portuaire : 8 - 40 000 € HT (selon que l'on va d'une simple caractérisation des conditions générales d'agitation à une optimisation de plans masse avec calculs de temps de disponibilité des quais ; en supposant que les données de houle sont déjà disponibles à l'entrée du modèle d'agitation) ;
 - Dimensionnement d'une digue / houle centennale : 2 - 20 000 € HT pour la propagation des houles du large à la côte et définition des conditions extrêmes (en fonction des données déjà disponibles et de la résolution

spatio-temporelle attendue, qui va elle-même dépendre du contexte du projet et des enjeux identifiés ; cela ne tient pas compte de la modélisation de surcôtes météorologiques, ni de la modélisation de la génération des houles en zones cycloniques nécessitant des outils particuliers).

- Plage :
 - Compréhension des phénomènes hydro-sédimentaires à l'échelle d'une baie : 5 - 100 000 € HT (selon la complexité des phénomènes en jeu, de l'étendue de la zone, de la nature du projet et donc des enjeux, et des données disponibles) ;
 - Evolution du transport sédimentaire côtier : entre 5 et 30 000 € HT (selon la précision attendue, l'étendue de la zone d'étude et les données disponibles) ;
 - Evolution du trait de côte : 5-50k€ HT (selon la précision attendue, l'étendue de la zone d'étude et les données disponibles) ;
 - Dispersion du panache turbide lié à une opération de rechargement de plage : 5 - 50 000€ HT (selon les outils utilisés en lien avec les enjeux et échelle spatio-temporelle de l'opération, la prise en compte de la turbidité induite sur la zone de prélèvement et / ou de dépôt, l'existence préalable ou non d'un modèle courantologique).

PRINCIPAUX MODELES EXISTANTS

Processus / Système logiciel	CEDAS	DELTARES SOFTWARES	MIKE	Open TELEMAC-MASCARET	Autres	Paramètres nécessaires pour la calibration
Houle / agitation	RCPWAVE / STWAVE : approche	SWAN : approche PHAROS : agitation portuaire	MIKE21 NSW et SW : approche MIKE 21 EMS, PMS et BW : zones côtières et portuaires	TOMAWAC : approche ARTEMIS : zones côtières et portuaires	WW3 : approche REFONDE : zones côtières et portuaires DIVINE : agitation portuaire BOUSS 2D : Propagation zones côtières et portuaires en instationnaire	Bathymétrie, niveau d'eau, Hs, Tp, Dir Selon les zones : vent (qui génère la houle) et courants (pour les interactions houle/courant)
Hydro-dynamique et transport dissous	DYNLET (1D)	DELFT3D-FLOW : courants bi ou tri dimensionnels	MIKE 21 HD : courants	TELEMAC 2D : courants bidimensionnels TELEMAC 3D : courants tri dimensionnels	MARS2D/3D : courants bi/tridimensionnels	Bathymétrie, niveau d'eau, U, V, W Selon les zones, vent, courant, concentration des traceurs, salinité, etc.

Transport sédimentaire et morpho dynamique (couple houle - courant)	NMLONG-CW : transport littoral GENESIS : évolution du trait de côte SBEACH : évolution du profil de plage	DELFT3D-MOR : transport de sédiments et morphodynamique (2DH, 2DV, 3D) XBEACH : transport de sédiments et morphodynamique 2D pour les plages UNIBEST CL+ : trait de côte ShorelineS : trait de côte	MIKE 21 ST : transport de sédiments non cohésifs et évolutions initiales MIKE 21 CAMS : morphodynamique à moyen terme LITPACK : transport littoral et évolution du trait de côte	SISYPHE / GAIA : transport de sédiments et morpho dynamique bidimensionnels SEDI-3D (TELEMAC3D) : transport solide tridimensionnel	MARS3D/ SIAM3D : transport de sédiments et morpho dynamique bidimensionnels SMC : transport de sédiments et morpho dynamique 2D	Granulométrie des sédiments, positions du trait de côte et bathymétries à différentes dates, épaisseurs de sédiments idéalement
Qualité d'eau / dispersion de rejets en mer		DELFT3D, DELWAQ	MIKE21/3	TELEMAC2D / 3D, couplage possible avec DELWAQ	CORMIX (dispersion 3D paramétrique de rejets dissous ou particulaires), VISJET, VISUAL-PLUME (dispersion 3D paramétrique) ST-FATE : devenir à court terme de matériaux dragués clapés en mer	Concentration (rejet et milieu récepteur) et débit, si possible Caractérisation des sédiments rejetés (granulométrie, contamination en polluants) le cas échéant
Avantages/ inconvénients de chaque système	Adapté aux études d'évolution du trait de côte. Logiciels payants mais coût raisonnable	Spectre d'application très large. Essentiellement open source sauf interface graphique notamment	Spectre d'application très large. logiciels payants (coût important)	Spectre d'application très large. Logiciel open Source	Modèles opensource essentiellement (sauf Cormix et VISJET)	

RÉSEAU DE SUIVI

- Réseaux de suivi
 - Niveaux d'eau : Réseau marégraphique côtier REFMAR (SHOM)
 - Etats de mer : mesures satellite (au large), Réseau CANDHIS (CEREMA) et METEO-France
 - Géomorphologie : Suivis réalisés par le BRGM, observatoires régionaux (Observatoire du littoral Corse, de la côte aquitaine, du littoral Normand et Picard p.ex.)
 - Site Geolittoral
- Produits numériques
 - Niveaux d'eau : Prédications de la marée astronomique dans les ports français (SHOMAR) Modèles opérationnels de prévision de surcote PREVIMER (n'est plus maintenu actuellement) et SHOM.
 - Etats de mer : Atlas Numérique d'Etats de mer Océanique et Côtier (ANEMOC) : base de données associée des conditions d'états de mer obtenues le long des côtes françaises. Elle a été construite à partir de simulations rétrospectives (hindcast) sur une période de 30 ans, du 01/01/1979 au 31/12/2008, pour la façade Méditerranée. Les simulations ont

été effectuées avec le logiciel de modélisation des états de mer TOMAWAC, développé par EDF - LNHE avec le soutien du CEREMA. TOMAWAC est un modèle dit de « troisième génération » qui résout l'équation d'évolution en espace et en temps de la densité spectro-angulaire d'action d'onde. Une nouvelle base de données, ANEMOC-2, plus précise et étendue dans le temps, est également disponible.

■ Courants : Modèles opérationnels hydrodynamiques 2D/3D IFREMER (<http://marc.ifremer.fr/resultats/courants>), MERCATOR, Atlas des courants de marée (SHOM).

■ Géomorphologie : MNTs Litto3D (SHOM-IGN), nature des fonds (SHOM).

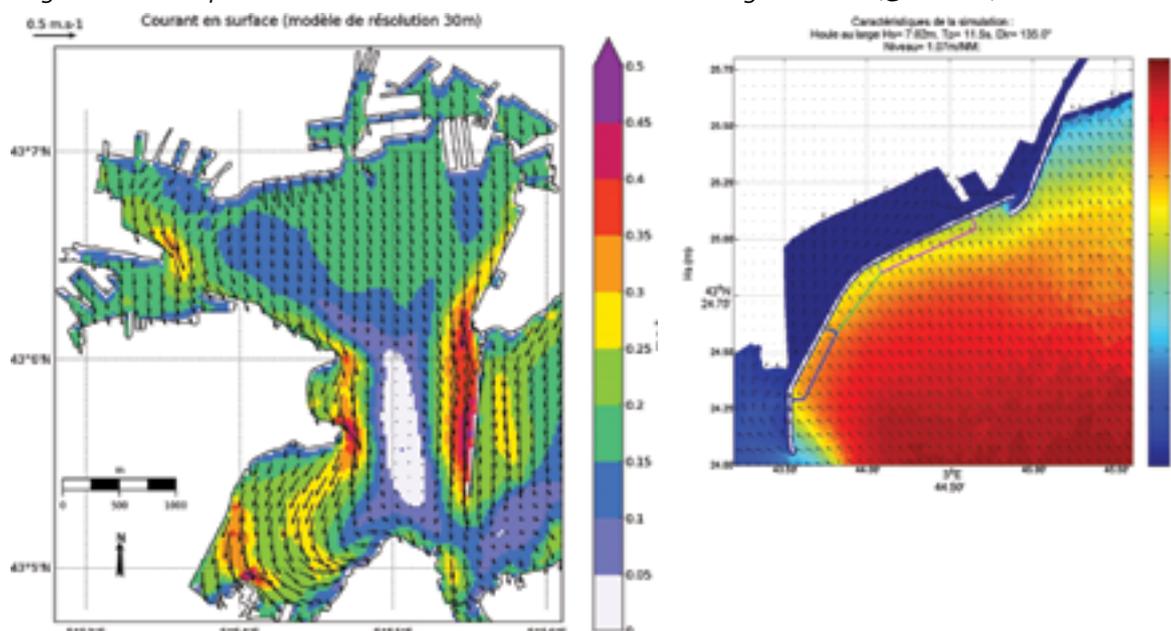
ORGANISMES RESSOURCES

SHOM
Ifremer
CEREMA
CEREGE
BRGM
Universités
Bureaux d'études

RÉFÉRENCES

MEDDM, 2010. La gestion du trait de cote. ISBN-13 978-2-7592-0360-4. 290 p.
<http://www.quae.com/fr/r1123-la-gestion-du-trait-de-cote.html>

Figure n°2. Exemple de modélisation de courant à Toulon et de vagues à Sète (@ actimar).



FICHE P-8 : SON

OBJECTIFS

- Evaluer l'impact du bruit anthropique sur les espèces et habitats marins
- Acquisition de connaissances : avoir une meilleure connaissance du bruit sous-marin présent naturellement et généré par le projet
- Dimensionner les mesures d'évitement et de réduction éventuelles (techniques de chantier, mise en place de rideaux de bulles, etc.)

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LE BRUIT AMBIANT

Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées, etc.), récupération de territoires en mer (terre-plein, routes, etc.), construction de nouveaux ouvrages de protection contre l'érosion des plages (enrochements, épis, brise-lames, géotextiles), entretien et grosses réparation portuaires, entretien et grosses réparations d'ouvrages de protection contre l'érosion, dragage, immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, émissaires – rejets en mer, prélèvement d'eau de mer et rejet associé, canalisations sous-marines, câbles électriques, rechargement de plage (bruit terrestre), énergies marines, prospection sismique, forage, manifestations nautiques, établissements balnéaires autorisés dans les concessions de plage (bruit terrestre), champ aquacole piscicole.

La phase travaux génère automatiquement des émissions sonores qui s'ajoutent au bruit ambiant.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DU BRUIT AMBIANT

- Habitats
- Espèces : tout espèce animale présente, notamment les poissons et mammifères marins

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation nationale spécifique au bruit. Néanmoins la limitation des bruits anthropiques est une mesure ciblée du programme de mesures du PAMM (M021-Nat2). Un certain nombre de mesures pour limiter les sources de bruit (vis-à-vis

des cétacés) sont préconisées au sein du sanctuaire PELAGOS.

Par ailleurs, toute mise en œuvre d'un dispositif d'écoute passive en mer nécessite une autorisation de la DDTM / PREMAR. (<http://www.sanctuaire-pelagos.org/fr/documents/textes-reglementaires/france-1>)

CAHIER DES CHARGES

- Caractérisation du chorus sonore
- Cartographie statistique du bruit ambiant initial sur l'aire d'étude large
- Cartographie statistique des émergences sonores sur l'aire d'études large
- Caractérisation des bruits introduits dans le milieu marin par le projet seul et cumulé avec d'autres projets
- Caractérisation des risques du projet : dommage physiologique permanent (irréversible) et temporaire (réversible), modification du comportement et du masquage (réduction des performances de communication et de chasse)
- Estimation du nombre d'individus affectés
- Evaluation des effets et des impacts
- Stratégie et mesures ERC (Evitement, Réduction, Compensation) éventuelles
- Plan de suivi

PARAMÈTRES MESURÉS

- Fréquence : la fréquence se définit en Herz. Pour chaque espèce, il y a une bande de fréquence qui définit le domaine audible de l'espèce. Pour chaque émission sonore humaine, il y a une bande fréquentielle sur laquelle elle est présente.
- Niveau sonore : les niveaux sonores sont exprimés selon une échelle logarithmique, les décibels (dB), qui recouvrent plusieurs grandeurs quantifiant la puissance sonore du bruit naturel ou des émissions sonores dues à une activité humaine :
 - Niveau d'amplitude large bande SPL (Sound Pressure Level) exprimé en dB re. 1µPa dans une bande fréquentielle à renseigner et avec ou sans une fonction de pondération (à

renseigner) en fréquence utilisée pour simuler l'appareil auditif des espèces animales.

■ La dose d'énergie acoustique SEL (dB re. 1µPa2s) pendant une durée donnée (à renseigner) et avec ou sans une fonction de pondération (à renseigner) en fréquence utilisée pour simuler l'appareil auditif des espèces animales.

■ Le spectre en octave ou 1/3 d'octave, représentant le niveau sonore dans les octaves et tiers d'octave en fonction de la fréquence centrale de l'octave et le tiers d'octave, en dB re. 1Pa.

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : il faut distinguer le bruit ambiant (état zéro qui est composé de bruits biologiques, naturels et anthropique), du bruit du projet (en phase travaux et phase exploitation). Le bruit ambiant doit se mesurer avant travaux sur une période suffisamment longue pour avoir une bonne représentativité des différentes conditions météorologiques et anthropiques.
- *Fréquence d'échantillonnage* : avant travaux, pendant les travaux (en concomitance avec les phases de travaux effectifs) et en phase d'exploitation. Exemple des EMRs : mesures effectuées tous les trimestres pour les années N, N+1, N+5 et N+10. (voir page 86 guide GHYDRO).
- *Choix des stations de prélèvement* : le nombre de stations dépend de la variabilité spatiale du bruit. Généralement, des mesures sont effectuées dans la zone du projet (aire immédiate) et d'autres à plus grandes distances pour valider le modèle de propagation du champ sonore.

PROTOCOLE

La mesure acoustique est locale et ponctuelle. Aussi, des méthodes d'extrapolation spatiale doivent être mises en place pour caractériser l'empreinte sonore du projet. Une empreinte sonore représente la distribution du niveau sonore d'une ou plusieurs sources de bruit qui émerge au-dessus du bruit existant lorsque cette source est absente. La propagation des bruits étant très dépendante de l'environnement marin, ces méthodes doivent prendre en compte la

variabilité de la température et de la salinité, de la bathymétrie, des sédiments et la variabilité de l'état de mer.

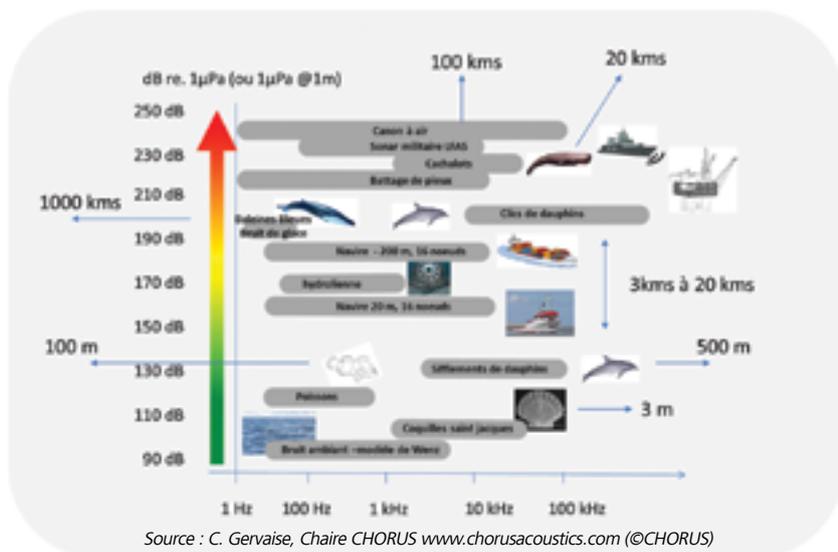
La mesure du son se fait par l'utilisation d'hydrophones (passifs) couplés à des enregistreurs qui mesurent sur une période donnée le son (champs de pression) de la zone. Les caractéristiques de l'hydrophone et de l'enregistreur déterminent la bande fréquentielle écoutée et le niveau sonore minimal mesurable. Ils doivent être cohérents avec les quantités à mesurer. Les sons sous-marins se répartissent sur la bande fréquentielle [5 Hz, 200 kHz] et le niveau de bruit minimal est souvent défini comme le bruit présent dans une mer calme sans trafic maritime (Wenz, 1962). Les hydrophones peuvent être fixes, ou embarqués. Ils doivent être impérativement calibrés avant leur mise en œuvre.

Il existe un certain nombre d'enregistreurs sous-marins autonomes d'acoustique passive (EA SDA 14 RTSYS <http://www.rtsys.eu/fr/>, Aural <http://www.multi-electronique.com>, DSGOcean SM3M Wildlife <https://www.wildlifeacoustics.com/>, etc.). Ils sont à distinguer des CPods ou TPods qui ne mesurent pas le bruit et qui ne peuvent pas caractériser le bruit ambiant.

Le dispositif de mouillage des instruments ne doit pas générer le moindre bruit, ce qui nécessite une grande expérience et une expertise. Les opérations en mer doivent être réalisées en conformité avec les attentes des autorités maritimes par des navires professionnels adaptés et équipés aux opérations de déploiement de mouillage et de récupération et aux conditions marines des zones de déploiements.

Exemple de protocole pour la construction d'une digue: niveau de bruit «intermédiaire (enrochement) à fort (pieux, pétardage) », empreinte sonore de ~ 3 kilomètres à 20 kilomètres, 2 enregistreurs l'un à proximité de la source sonore 100 mètres et l'autre à 2 ou 10 kilomètres (en limite de la zone de portée estimée).

Figure n°3. Caractéristiques des sons sous-marins et un ordre de grandeurs des portées acoustiques (bien que celles-ci soient très dépendantes du site).



ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Le bruit mesuré est filtré et son analyse statistique permet d'extraire du signal sonore mesuré les différentes sources de bruit (bruit biologique, bruit physique, bruit lié à des activités anthropiques). Les traitements doivent permettre :

- de calibrer les cartes de bruit ambiant et prédictives obtenues par modélisation ;
- d'informer sur la nature des bruits ;
- de caractériser la fréquentation biologique du site par des algorithmes bioacoustiques.

L'analyse des données acoustiques doit être corrélée avec des données physiques (T, S, Vent, pluie, etc), biologiques (présence des espèces, etc.) et les activités humaines (trafic maritime, etc.).

Il n'existe pas de normes. L'analyse des données acoustiques sous-marines est un domaine en évolution. Dans ce contexte, les précautions suivantes sont préconisées :

- Mode de représentation et de rendu des mesures : la répartition statistique des quantités doit être renseignée sous la forme d'une densité de probabilité, d'une fonction de répartition ou par quantiles ;
- L'utilité et la validité des mesures sont liées au bon renseignement des quantités utilisées et de leurs unités. Elle est liée à une bonne description des instruments de mesure et des paramètres utilisés pour calculer les mesures ;

- Les niveaux sonores mesurés et caractérisés par les grandeurs acoustiques citées précédemment peuvent / doivent être associés à la nature des sources sonores les ayant générées (anthropique, biologique, météo...) ;
- Les traitements réalisés doivent reposer sur des outils bien détaillés (pour éviter l'effet boîte noire) et au mieux publiés ;
- Il est indispensable de programmer des campagnes de calibration des rayons de détection des capteurs lors de la mise en place des systèmes de mesure ;
- Il est indispensable de quantifier les distances de détection des instruments de façon statistique avec une résolution minimale de 15 minutes ;
- Il est indispensable de réaliser un contrôle qualité des algorithmes bioacoustiques par une expertise humaine qualifiée sur au moins 10 % des données.

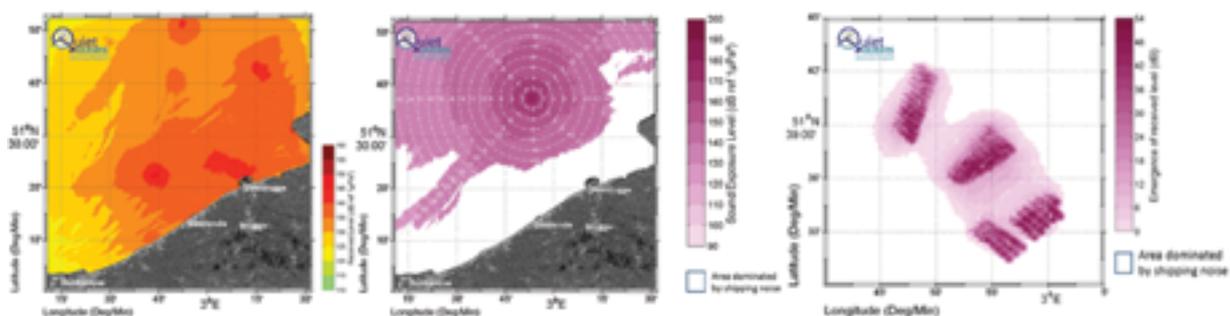
CARTOGRAPHIE

Les mesures acoustiques donnent un témoignage sur les niveaux sonores autour du capteur, pour évaluer les niveaux sonores sur une aire plus large, la mesure est spatialisée via des modèles de propagation basés sur des modèles de propagation acoustique 2D ou 3D prenant en considération, à minima, (a) la variabilité spatiale

et temporelle de la température, la salinité et l'état de mer, (b) la variabilité spatiale de la bathymétrie et des sédiments marins, (c) la variabilité spatiale et temporelle des sources de bruit anthropique (navires, extraction granulat, etc.) et (d) les bruits naturels issus des mesures in-situ. Les modèles de prédiction doivent être calibrés avec des mesures in situ de bruit actives et passives : l'émission de signaux acoustiques de référence sur le site

permet de quantifier les pertes subies par les ondes acoustiques lorsqu'elles se propagent dans le milieu marin ; la mesure du bruit ambiant par acoustique passive, sans générer de bruit parasite qui permet de recueillir les bruits existants et les signaux actifs. Doivent être précisés les incertitudes, les données d'entrées et les paramètres de réglages utilisés dans la simulation.

Figure n°4. Gauche : bruit ambiant médian, principalement composé de bruits anthropiques lié au trafic maritime. Centre : prédiction de l'émergence sonore d'un bruit de battage au-dessus du bruit ambiant médian. Droite : émergence sonore de l'exploitation cumulée de quatre parcs éoliens offshore au-dessus du bruit ambiant médian. Source : Quiet-Oceans, projet MaRVEN pour la Commission Européenne.



COÛT

- Coût moyen achat d'un enregistreur : environ de 10 à 15 000 €
- Coût d'un mouillage silencieux longue durée : environ de 2 à 5 000 € selon les dispositifs et la profondeur
- Coût des moyens nautiques : spécifique au site, 2 jours par 3 mois, environ de 2 à 3 000 € par jour (hors plongeurs)
- Analyse des données acoustiques pour 3 mois de données pour un enregistreur : paysage acoustique & bruit ambiant : 3 à 5 000 €, présence absence faune marine ~ 5 000 €
- Contrôle qualité des traitements bioacoustiques : ~ 4 000 € cartographie acoustique du bruit ambiant : 8 à 10 000 €
- Analyse des impacts et rédaction de la part acoustique des études réglementaires : à partir de 15 000 € en fonction des enjeux de la zone et de l'ampleur du projet

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Les données acoustiques doivent être corrélées avec les seuils de sensibilité des espèces marines

situées dans l'aire d'études du projet. Les seuils acoustiques concernant les cétacés et les poissons et les impacts physiologiques forts des émissions sonores intenses et courtes (battages de pieux, sismique, explosion) sont de mieux en mieux documentés par la littérature (Southall et al, 2000, Popper et al, 2014, NMFS, 2016). Les données sur les poissons sont plus parcellaires (Thomsen et al, 2006).

Les impacts comportementaux sont mal connus tout comme le sont l'impact sonore des sons continus (durée > 4 heures, trafic maritime, forage, bruit des énergies marines durant la phase de production). Les impacts non physiologiques sont souvent jugés peu importants au niveau individuel mais peuvent avoir un impact important au niveau populationnel. Un suivi bibliographique actualisé tous les 6 mois doit être réalisé pour les seuils d'impact car ce domaine est en constante évolution. Le site <http://chorusacoustics.com/> donne de nombreuses informations.

Figure n°5. Seuils acoustiques pour les cétacés et pinnipèdes (NMFS, 2016).

Table 4: Summary of PTS onset acoustic thresholds.

Hearing Group	PTS Onset Thresholds* (Received Level)	
	Impulsive	Non-impulsive
Low-Frequency (LF) Cetaceans	<i>Call 1</i> $L_{pk,flat}$: 219 dB $L_{E,LF,24h}$: 183 dB	<i>Call 2</i> $L_{E,LF,24h}$: 199 dB
Mid-Frequency (MF) Cetaceans	<i>Call 3</i> $L_{pk,flat}$: 230 dB $L_{E,MF,24h}$: 185 dB	<i>Call 4</i> $L_{E,MF,24h}$: 198 dB
High-Frequency (HF) Cetaceans	<i>Call 5</i> $L_{pk,flat}$: 202 dB $L_{E,HF,24h}$: 155 dB	<i>Call 6</i> $L_{E,HF,24h}$: 173 dB
Phocid Pinnipeds (PW) (Underwater)	<i>Call 7</i> $L_{pk,flat}$: 218 dB $L_{E,PW,24h}$: 185 dB	<i>Call 8</i> $L_{E,PW,24h}$: 201 dB
Otariid Pinnipeds (OW) (Underwater)	<i>Call 9</i> $L_{pk,flat}$: 232 dB $L_{E,OW,24h}$: 203 dB	<i>Call 10</i> $L_{E,OW,24h}$: 219 dB

* Dual metric acoustic thresholds for impulsive sounds: Use whichever results in the largest isopleth for calculating PTS onset. If a non-impulsive sound has the potential of exceeding the peak sound pressure level thresholds associated with impulsive sounds, these thresholds should also be considered.

Note: Peak sound pressure (L_{pk}) has a reference value of 1 μ Pa, and cumulative sound exposure level (L_E) has a reference value of 1 μ Pa²s. In this Table, thresholds are abbreviated to reflect American National Standards Institute standards (ANSI 2013). However, peak sound pressure is defined by ANSI as incorporating frequency weighting, which is not the intent for this Technical Guidance. Hence, the subscript "flat" is being included to indicate peak sound pressure should be flat weighted or unweighted within the generalized hearing range. The subscript associated with cumulative sound exposure level thresholds indicates the designated marine mammal auditory weighting function (LF, MF, and HF cetaceans, and PW and OW pinnipeds) and that the recommended accumulation period is 24 hours. The cumulative sound exposure level thresholds could be exceeded in a multitude of ways (i.e., varying exposure levels and durations, duty cycle). When possible, it is valuable for action proponents to indicate the conditions under which these acoustic thresholds will be exceeded.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Les données de bruit ambiant peuvent être corrélées avec les données issues de réseaux existants :

- Le réseau « CALME » mis en place sur la façade Méditerranée (<http://medtrix.fr>, partenariat Chaire CHORUS Agence de l'Eau RMC)
- Le réseau « Listen to the Deep Ocean » (<http://www.listentothedeep.com/>, laboratoire d'applications bioacoustiques de Barcelone)
- L'observatoire ANTARES à 40 km au large de La Seyne-sur-Mer (CEA/DSM-DAPNIA, CNRS/IN2P3, CNRS/INSU)

ORGANISMES RESSOURCES

Chaire de recherche en écologie des paysages acoustiques marins (CHORUS)

France Energies Marines
Parc National de Port Cros

RÉFÉRENCES

Accobams permanent secretariat. Lignes directrices pour faire face à l'impact du bruit d'origine anthropique sur les cétacés dans la zone de l'accobams. www.accobams.org

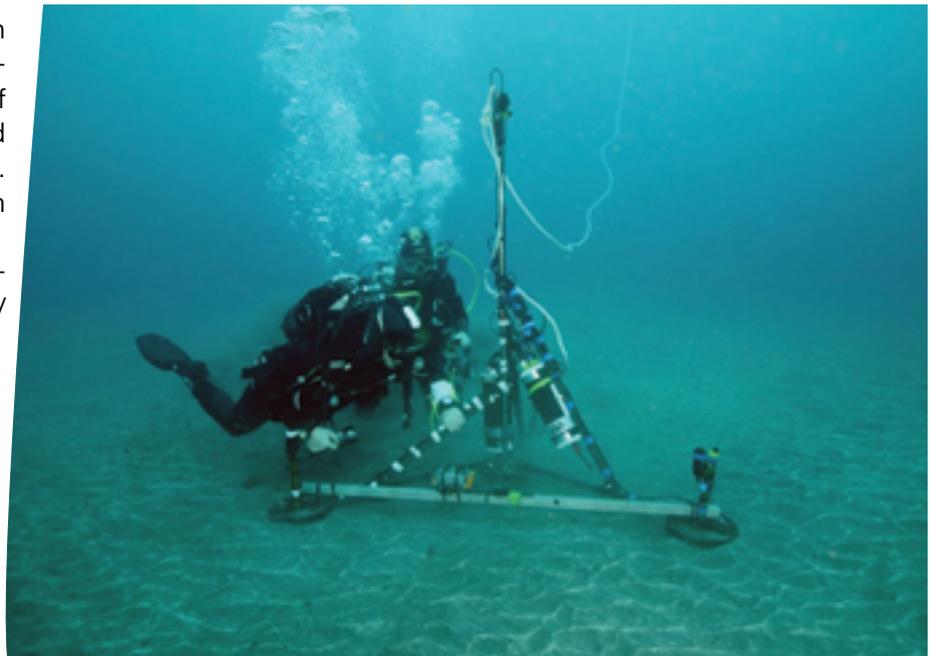
Folegot T., Clorennec D., Norro A., Gill A. et Thomsen F., 2016. Modelling the risk of noise exposure to marine life during offshore wind farms construction and operation. 4th International Conference on the Effects of Noise on Aquatic Life. Dublin, Ireland.

France Energies Marines, 2013. Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer. GHYDRO. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/27456.pdf>

Gannier A., 2014. L'impact des nuisances acoustiques sur les cétacés du Sanctuaire et de la Méditerranée nord-occidentale. Klymene Recherche Marine et Sanctuaire Pelagos (Partie française) : 182 p. <http://www.sanctuaire-pelagos.org/en/scientific-research/completed-or-on-going-studies>

Jolivet A., Kinda B., Mathias D., Gervaise C. et Chauvaud L., 2015. Synthèse des connaissances de la communauté scientifique sur l'impact acoustique des projets éoliens offshore sur la faune marine, réalisée à la demande de la commission nationale du débat public, <https://eolienmer-pdlit.debatpublic.fr/lexpertise-complementaire-cndp>
<http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=CALME>
National Research Council, 2005. Marine Mammal Populations and Ocean Noise : determining When Noise Causes Biologically Significant Effects. Washington DC: The National Academies Press.
Popper A. N., Hawkins A. D., Fay R. R., Mann D., Bartol S., Carlson T. J. et Tavolga W., 2014. Sound exposure Guidelines for fishes and sea turtles. https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-319-06659-2_7
National Marine Fisheries Service, 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55, 178 p.
<http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/Acoustic%20Guidance%20Files/>

[opr-55_acoustic_guidance_tech_memo.pdf](#)
Southall B., Bowles A., Ellison W., Finneran J., Gentry R., Greene C., Tyack P., 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. *Aquatic Mammals*, 33: 411-521. http://sea-inc.net/assets/pdf/mmnoise_aquatic-mammals.pdf
Thomsen F., Lüdemann K., Kafemann R. et Piper W., 2006. Effects of offshore wind farm noise on marine mammals and fish, biola, Hamburg, Germany on behalf of COWRIE Ltd. http://users.ece.utexas.edu/~ling/2A_EU3.pdf
Wenz G. M., 1962. Acoustic ambient noise in the ocean : spectra and sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 34(12), 1936-1956.



Hydrophones et enregistreurs acoustiques, projet de suivi environnemental par acoustique passive au cap Sicié, Veolia, Ecocean, CHORUS (Source : CHORUS - © Rémy Dubas, Ecocean)

FICHE P-9 : CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

OBJECTIFS

- Évaluer l'impact des champs électromagnétiques générés par le fonctionnement de câbles électriques et autres infrastructures de puissance (hub, boîtes de jonction) sur les espèces marines
- Acquisition de connaissances : avoir une meilleure connaissance des champs électromagnétiques présents et générés par le projet

Les champs électriques et magnétiques sont présents de manière naturelle dans le milieu marin. Le champ magnétique terrestre est utilisé par certaines espèces marines. Le champ électrique est induit par le mouvement de la masse d'eau dans le champ magnétique terrestre. Enfin, certains champs électriques très locaux sont directement produits par les organismes marins (raies, etc.) : on parle de champ bioélectrique. Les intensités de champ électrique et magnétique est respectivement de l'ordre de 25 $\mu\text{V}/\text{m}$ (dépend de l'environnement) et de 50 μT (dépend de la position géographique). Les activités humaines et les infrastructures marines viennent rajouter des signaux électromagnétiques, à l'instar des perturbations sonores de l'environnement marin, essentiellement induits par la consommation électrique.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Câbles électriques sous-marins ; tunnels sous-marins ; ponts, toute structure susceptible de créer des champs électriques ou magnétiques (dont protection cathodique).

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DU CHAMP ÉLECTROMAGNÉTIQUE

- Habitats
- Espèces : crustacés, poissons cartilagineux (requins, raies), poissons migrateurs, mammifères marins, reptiles (tortues marines)

RÉGLEMENTATION

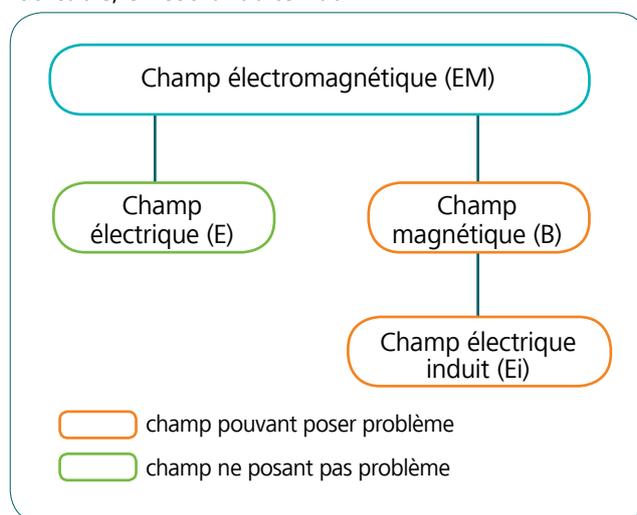
Pas de réglementation spécifique aux champs électromagnétiques. Un certain nombre de préconisations sont indiquées dans certains rapports (cf. rapport de synthèse du projet SPECIES <https://www.france-energies-marines.org/nos-actualites/articles/rapport-public-issu-du-projet-species/>).

Néanmoins, certaines espèces marines protégées sont sensibles aux champs électromagnétiques, qui doivent donc être pris en compte dans les évaluations environnementales des projets.

PARAMÈTRES MESURÉS

- *Champ électrique* : le paramètre mesuré est la différence de potentiel et la fréquence. Les champs électriques (E) augmentent en amplitude avec la tension et la distance entre les électrodes de mesure. Il s'agit avant tout d'un gradient de potentiel entre deux points.
- *Champ magnétique* : le paramètre mesuré est l'induction magnétique exprimée en Tesla. Les champs (B) sont générés par la circulation du courant électrique et augmentent avec l'intensité du courant électrique.

Les câbles les plus employés pour la transmission d'énergie à travers les océans sont les câbles triphasés fonctionnant en courant alternatif : ils sont constitués de trois conducteurs distincts protégés par des écrans isolants. Les champs EM générés par ces câbles se décomposent comme suit : on distingue le champ électrique E du champ magnétique B. Le champ E généré par le câble reste confiné à l'intérieur du câble. Ce blindage ne permet cependant pas de retenir le champ B généré, qui est de ce fait diffusé à la périphérie du câble (Huang, 2005). Ce champ induit un champ électrique secondaire ou induit (E_i) à l'extérieur du câble, en courant alternatif.



Certains câbles peuvent fonctionner en courant continu, notamment pour les transports d'énergie sur de longues distances : dans ce cas le champ magnétique généré est continu. En courant continu, il n'y a pas de champ magnétique induit, sauf si des particules chargées sont en mouvement à travers le champ magnétique continu. Il y a toujours des variations et des bruits (notamment induits par la conversion continu-alternatif). Ce qui induit de ce fait des champs électriques également. Les champs varient également avec la charge (variations lentes).

STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

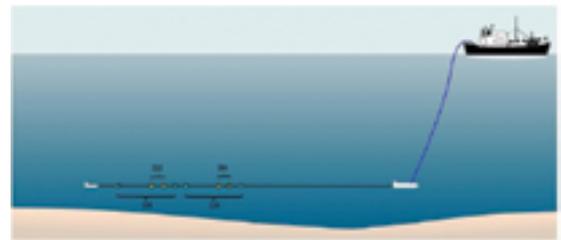
- *Période d'échantillonnage* : pas de contraintes si ce n'est l'état de la mer. Les contraintes se situent plutôt au niveau des champs à mesurer (période de fonctionnement des infrastructures).
- *Fréquence d'échantillonnage* : mesure de l'état zéro électromagnétique de la zone concernée, avant la phase d'installation, pour mesurer les niveaux de champ électrique et magnétique ambiant sur une large bande de fréquence. Mais la bande de fréquence intéressante reste basse. Du continu jusqu'à environ 1kHz on a l'essentiel des bruits. A plus haute fréquence, les signaux sont vite dissipés par la couche d'eau (conductrice). En eau douce, des fréquences plus haute pourraient être observées (selon la salinité).
Mesure en phase d'exploitation : il s'agit d'effectuer des mesures des signaux électromagnétiques ambiants pendant le fonctionnement des infrastructures. Il faut d'abord caractériser l'environnement. Ensuite il faut mesurer dans différentes conditions de fonctionnement pour déterminer les cycles d'utilisation et les signaux présents. En particulier pour les générateurs, il sera judicieux de mesurer les champs électromagnétiques dans différentes conditions de charge, et en particulier en condition de pleine puissance de production électrique.
(intéressant pour les impacts et la mesure des niveaux maximums, mais aussi la mesure des variations (cycles pour les hydroliennes, différent pour les éoliennes ou d'autres engins (houlomoteur))).
- *Durée du suivi* : il n'est pas nécessaire d'avoir une mesure régulière si les conditions électromagnétiques restent constantes. Les signaux électromagnétiques dépendent essentiellement des conditions des courants passant dans les câbles et dépendent donc de la charge des dispositifs électriques. Tout changement de charge (modification des instruments ou dispositifs installés sur la plateforme instrumentée) peut engendrer des modifications de charges. Il peut alors être nécessaire de renouveler les mesures.
- *Choix des stations de prélèvement* : les mesures peuvent être de deux types : en mouvement ou fixes. Pour les mesures en mouvement dans la colonne d'eau, le dispositif est tracté par un navire (ou un AUV). L'outil tracté permet d'effectuer des mesures rapides avec un bon niveau de bruit (de l'ordre du nV/m/ $\sqrt{\text{Hz}}$ en champ électrique), et de couvrir rapidement une zone. Ce dispositif permet notamment de mesurer les variations spatiales des champs électromagnétiques dans une zone (parc éolien par exemple avec de nombreux câbles interconnectés). Ces mesures sont limitées par la hauteur d'eau (max 100 m environ), et par la distance minimale de sécurité à garder par rapport au fond (minimum 5 m, selon la bathymétrie

de la zone à étudier). Les mesures ponctuelles fixes permettent de compléter les relevés par des données plus précises (les capteurs sont sensibles aux mouvements de l'eau dans le champ magnétique terrestre), et de suivre les évolutions des champs électromagnétiques dans des zones particulières en enregistrant les variations temporelles (par exemple à proximité d'un câble, d'une machine ou d'une boîte de jonction).

PROTOCOLE TERRAIN

Voici un exemple de protocole :

- *Mesures tractées par un navire* : le système PASSEM permet de mesurer avec un niveau de bruit très faible les signaux électromagnétiques (de l'ordre du nV/m/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pour les champs électriques et de 10 pT/ $\sqrt{\text{Hz}}$ pour les champs magnétiques).



Sont utilisés 4 dipôles électriques simultanés de 2 longueurs différentes (typiquement 2m et 4m), un magnétomètre fluxgate 3 axes, haute résolution 24bits avec un taux d'échantillonnage 2kHz, des capteurs de navigation, et les outils de visualisation en temps réel.

- *Mesures sur une station fixe* : mesure simultanée des champs électriques et magnétiques en fond de mer. Fréquence de l'ordre de 1 kHz, dipôles électriques d'une longueur de quelques mètres. Durée des mesures selon les conditions d'exploitation de l'infrastructure.

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les mesures de terrain permettent d'analyser certains paramètres des champs produits :

- amplitude des champs
- le contenu fréquentiel
- la décroissance en fonction de la distance

EXPLOITATION DES DONNÉES

Un certain nombre d'espèces marines sont potentiellement sensibles aux champs E et B. La connaissance sur le sujet est encore balbutiante. Le projet SPECIES piloté par France Energies Marines a permis d'apporter des précisions (cf. rapport de synthèse du projet SPECIES <https://www.france-energies-marines.org/nos-actualites/articles/rapport-public-issu-du-projet-species/>).

CARTOGRAPHIE

La mesure des champs sur différentes zones permet d'obtenir une carte représentant le « bruit électromagnétique » sur l'aire du projet considérée.

COÛTS

Coût des campagnes d'acquisition (location du navire, instrument, mise à disposition du personnel, traitement de la donnée et rapport) :

- navires tractés : autour de 10-15k la journée par campagne, analyse des données comprise
- mesures ponctuelles : à l'aide d'un capteur qui mesure en continu (moins cher, généralement mais tout dépend de la durée de l'acquisition, du nombre d'instruments mis en œuvre etc.)

La plupart des techniques d'acquisition sont encore en phase d'expérimentation. Les coûts devraient diminuer dans le futur.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

(ISSU DE DAM HIEU C., 2013)

Les connaissances actuelles sur la sensibilité des espèces marines aux champs électromagnétiques ont fait l'objet de plusieurs travaux de synthèse bibliographiques récents (Taormina et al., 2018 ; Carlier et al., 2019 ; Albert et al., 2020).

- *Champs électriques* : les élasmobranches sont très sensibles aux champs électriques AC à basses fréquences comprises entre 0,13 et 8 Hz. Certaines espèces d'élasmobranches sont sensibles à des champs E faibles de l'ordre de 1 nV/m. Les poissons téléostéens, notamment les salmonidés, sont aussi, dans des proportions moindres, sensibles aux champs électriques. Les espèces aquatiques électro sensibles comportent un appareil sensoriel spécifique qui leur permet de détecter des amplitudes de champ électrique allant jusqu'à 0,5 μ V/m (Fisher et al., 2010). Ces espèces utilisent leur appareil sensoriel pour détecter leur proie et se déplacer dans l'océan.
- *Champs magnétiques* : il existe peu d'informations concernant la sensibilité des espèces marines aux champs magnétiques. La sensibilité des élasmobranches au champ magnétique B n'est pas bien connue (Fisher et al., 2010).

Les espèces benthiques et certains mammifères marins semblent plus ou moins sensibles aux champs magnétiques. L'anguille présente une sensibilité aux champs magnétiques de l'ordre de quelques μ T. Quelques études ont montré que plusieurs espèces benthiques sont affectées par des champs B plus importants. Peu de recherches sont effectuées sur le sujet.

La sensibilité des invertébrés au champ magnétique a été mise en évidence pour les espèces suivantes :

- Décapodes (*Crangon crangon*)
- Isopodes (*Idotea baltica*)
- Amphipodes (*Talorchestia martensii* et *Talitrus saltator*)

Cette liste est à ce jour non exhaustive mais voir les publications récentes (cf ci-dessous en références).

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'existe pas à ce stade de réseau de suivi des champs électromagnétiques en France.

ORGANISMES RESSOURCES

France Energies Marines

Institut Universitaire Européen de la Mer / Laboratoire Geoscience Oceans

MAPPEM Geophysics (TPE)

RÉFÉRENCES

- BERR, 2008. Review of cabling techniques and environmental effects applicable to the offshore wind farm industry. Rapport technique. En association avec Defra.
- CETMEF, 2010. Canalisations et câbles sous-marins. Etat des connaissances. Préconisations relatives à la pose, au suivi et à la dépose de ces ouvrages sur le Domaine Public Maritime Français. <http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/canalisation-et-cables-sous-a317.html>
- Dam Hieu C., 2013. Impacts environnementaux des champs électromagnétiques générés par des installations EMR. Travail de synthèse bibliographique. Rapport de Master.
- D'Eu J.F., 2015. Note sur les environnements électromagnétiques marins et leur suivi suite à la construction d'infrastructures marines. IUEM, Note de travail.
- MEDDTL, 2012. Etude méthodologique des impacts environnementaux et socio-économiques des énergies marines renouvelables. Rapport final. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/guide_etude_impact_eolien_mer_2017_complet.pdf
- France Energies Marines, 2013. Guide d'évaluation des impacts environnementaux pour les technologies hydroliennes en mer : GHYDRO. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00179/29025/>
- Fisher C. et Slater M., 2010. Effects of electromagnetic fields on marine species : A literature review. Electromagnetic Field Study. Oregon Wave Energy Trust.
- OSPAR, 2009. Draft JAMP assessment on environmental impacts of cables (BDC work programme, product 55)
- Taormina B., Bald J., Want A., Thouzeau G., Lejart M., Desroy N. & Carlier, A. (2018) A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 96, pp. 380–391, doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026
- Carlier A., Vogel C. & Alemany J. (2019) Synthèse des connaissances sur les impacts des câbles électriques sous-marins : phases de travaux et d'exploitation. Rapport Ifremer, 102 p.
- Albert L., Deschamps F., Jolivet A., Olivier F., Chauvaud L. & Chauvaud S. (2020) A current synthesis on the effects of electric and magnetic fields emitted by submarine power cables on invertebrates. Marine Environmental Research, Vol. 159, 104958, doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.104958).

FICHE P-10 : QUALITÉ GÉNÉRALE DE L'EAU

OBJECTIFS DU SUIVI

- Dimensionnement de projet : captages et rejets en mer pour pompes à chaleur (PAC), thalasso, dessalement, etc.
- Evaluation environnementale du projet en phase travaux et exploitation (notamment pour les projets de rejets urbains et prises d'eau)

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA QUALITÉ DE L'EAU GÉNÉRALE

Rejets en mer (industriels ou réseaux d'assainissement), aménagements portuaires ou littoraux limitant le renouvellement d'un plan d'eau, dragage / extraction de granulats, immersion

en mer de sédiments, prélèvement d'eau de mer, câbles électriques, rechargement de plages, zone de mouillages et d'équipements légers, champ aquacole piscicole ou conchylicole.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA QUALITÉ DE L'EAU GÉNÉRALE

- Habitats : herbier de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocées, grande nacre, poissons, mammifères marins, patelle géante

RÉGLEMENTATION

Contenu	Législation	
	Européenne	Française / Méditerranéenne
Obligation de mise en place d'un programme de surveillance de la qualité chimique et écologique par les Etats membres pour la sous région marine Méditerranée occidentale	Directive 2000/60/CE dite Directive Cadre sur l'Eau Directive n°2008/56/CE Dite Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin	Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement

PARAMÈTRES MESURÉS

- Température et salinité : paramètres basiques pour la caractérisation du milieu. Ils sont indispensables pour l'interprétation d'autres paramètres.
- Oxygène (O₂) dissous : les teneurs en oxygène dissous dans l'eau de mer sont influencées par des facteurs physiques (température, salinité), mécaniques (vent, brassage) et biologiques (photosynthèse, respiration, dégradation des matières organiques).
- Nutriments : azote, phosphore et silice. Les nutriments peuvent être sous forme dissoute et particulaire, minérale (inorganique) / organique. Les nutriments minéraux dissous sont souvent appelés sels nutritifs.
- La Chlorophylle a et les phéopigments : ces paramètres sont également utiles pour la caractérisation de certains sites sensibles au risque d'eutrophisation (cf. grille RSL).

Le suivi des paramètres turbidité et paramètres associés (pénétration lumineuse / turbidité / matières en suspension (MES) / sédimentation / granulométrie) font l'objet d'une autre fiche.

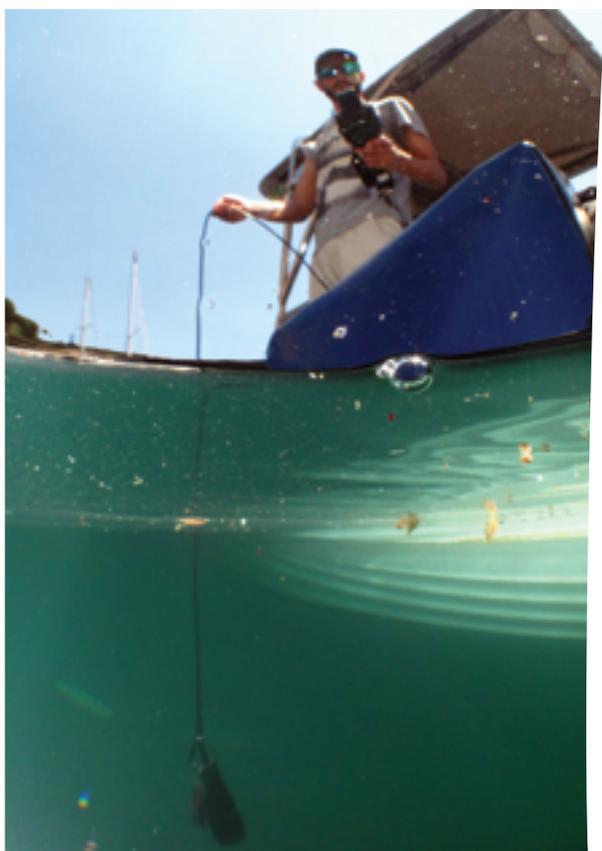
STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : la période d'échantillonnage doit prendre en compte les caractéristiques naturelles du milieu. L'idéal est un cycle saisonnier (2 échantillonnages / mois sur un an) pour prendre en compte la variabilité temporelle. Il est pertinent de mesurer dans les conditions météo les plus fréquentes (Idéalement en temps sec, temps de pluie ou mistral). La mesure est à faire de préférence dans la matinée ou en milieu de journée, et hors influence directe de sources de perturbation. Il est important de faire les mesures toujours à la même période.
- *Fréquence* : les mesures doivent être faites à l'état zéro avant travaux, en phase travaux et en phase d'exploitation. Les techniques de collecte, de conservation et d'analyse sont suffisamment fiables pour s'affranchir de répliques. Par exemple, mesures juste après travaux, puis N + 7 jours et N + 1 mois, dépendant des conditions locales.
- *Choix des stations de prélèvement* : 4 à 6 points de mesures minimum répartis dans la zone du projet et l'aire d'études globale.

PROTOCOLE TERRAIN

Les paramètres peuvent être mesurés in situ ou en laboratoire sur échantillon.

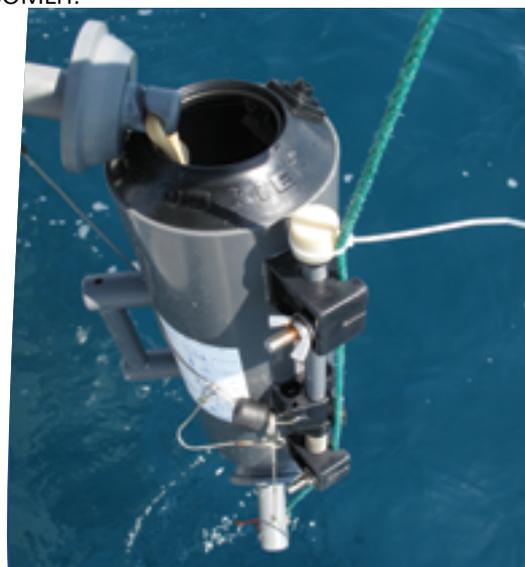
- *Température et salinité* : les mesures de température et salinité sont effectuées en subsurface (0-1 m) de préférence in situ. Les mesures de température et salinité sont effectuées à l'aide de sondes (CTD, SBE, etc.). La précision minimale demandée pour la température est le centième de degré et pour la salinité le centième d'unité (ou au minimum 0.5 % de la mesure). Les mesures de salinité et de turbidité peuvent être toutefois effectuées sur échantillon au laboratoire dans des délais acceptables. Les sondes doivent faire l'objet d'opérations rigoureuses de métrologie (contrôle, vérification, étalonnage). Pour de nombreux projets, la connaissance de ces paramètres en plusieurs points de la colonne d'eau est nécessaire (pour les prises d'eau, rejets, calage de modèles 3D p.ex.).



Sonde YSI (© IXblue) et utilisation d'une sonde CTD (© Fabrice Javel - Suez Consulting)



- *Oxygène dissous* : ce paramètre peut être mesuré via une sonde in situ. Les mesures d'oxygène dissous effectuées au fond de la colonne d'eau sont obligatoirement associées à des mesures de température et de salinité. Lorsque le matériel le permet, il est souhaitable d'effectuer un profil de ces trois paramètres sur l'ensemble de la colonne d'eau. La mesure peut également être effectuée en laboratoire sur échantillon (méthode de Winkler utilisée pour le réseau SOMLIT).
- *Nutriments* : les nutriments sont dosés en flux continu ou de façon « manuelle ». L'ensemble des méthodes ont fait l'objet de fiches méthodes AQUAREF. Par ailleurs différents protocoles nationaux ont été élaborés dans le cadre de SOMLIT.



Prélèvement d'eau avec une bouteille Niskin (© Fabrice Javel - Suez Consulting)

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données doivent permettre d'établir des profils verticaux adaptés à la problématique. Les échantillons doivent être analysés par des laboratoires agréés et accrédités (liste disponible au lien suivant <http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/default/liste-labo-agrees.php#>).

COÛT

- Sondes in situ multiparamètres : le coût varie entre 1 000 et 5 000 € ;
- 1 journée en mer sur un zodiac varie entre 500 et 1 000 € la journée ;
- L'analyse en laboratoire sur échantillon est de

l'ordre de quelques dizaines voire centaines d'euros par échantillon.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPECES ET HABITATS

Les valeurs mesurées peuvent être comparées avec les valeurs seuils indiquées par l'arrêté du 27 juillet 2015. <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/7/27/DEVL1513989A/jo/texte>

Paramètres de la qualité de l'eau générale	Valeurs moyennes en Méditerranée	Valeurs réglementaires
Température, salinité, oxygène dissous, nutriments	Voir réseau SOMLIT	Grille DCE

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Le réseau SOMLIT sert de référence en Méditerranée. En PACA, des stations sont présentes à Marseille et Villefranche-sur-Mer.

Le réseau CALOR depuis 2016 fait le suivi de la température en Méditerranée.

Le traitement de données satellite proposé par IFREMER (<http://marc.ifremer.fr>) apporte également des informations.

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)

RÉFÉRENCES

AFNOR, 2001. Qualité de l'Eau.

Tome 1 : Réglementation, Terminologie, Contrôle qualité, Analyseurs. (627 p.)

Tome 2 : Analyses organoleptiques, Mesures physico-chimiques, Paramètres globaux – Composés organiques. (636 p.)

Tome 3 : Eléments majeurs – Autres éléments et composés minéraux. (642 p.)

Tome 4 : Analyses biochimiques et biologiques. (702 p.)

Aminot A. et Kérouel R., 2004. Hydrologie des écosystèmes marins - Paramètres et analyses. Ed. Ifremer, 336 p.

Aminot A. et Kérouel R., 2007. Dosage automatique des nutriments dans les eaux marines : méthodes en flux continu. Ed. Ifremer, 188 p.

Daniel A., 2009. Techniques de prélèvement hydrologique en milieu marin <http://envlit.ifremer.fr/surveil->

[lance/hydrologie/methodologie](#)

Guigues N., Lepot B., Behro C. et Salvétat F., 2013.

Panorama de l'existant et retour d'expérience sur les capteurs et analyseurs en ligne pour la mesure des paramètres physico-chimiques dans l'eau – 74 pages.

Oxygène dissous : http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/protocole_national_O2.pdf

Nutriments : http://www.aquaref.fr/system/files/MA41_Ammonium_VF.pdf

http://www.aquaref.eu/system/files/MA-42_Nitrate_Nitrite_VF.pdf

http://www.aquaref.fr/system/files/MA-43_nitrites_VF.pdf

http://www.aquaref.fr/system/files/MA-44_Phosphate_VF.pdf

http://www.aquaref.fr/system/files/Fiche_MA-45_VF.pdf

http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/Protocole_national_NH4_fluorimetrie.pdf

http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/Protocole_national_NH4_colorimetrie.pdf

http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/Protocole_Dosage_automatique_sels_nutritifs.pdf

http://somlit.epoc.u-bordeaux1.fr/fr/IMG/pdf/Protocole_national_COP-NOP.pdf

Température: <http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Calor>

<https://marc.ifremer.fr/resultats>

FICHE P-11 : CONTAMINATION CHIMIQUE DE L'EAU

OBJECTIFS DU SUIVI

- Connaître l'état de la contamination chimique de l'eau et rejets associés (comme les eaux de lessivage de sédiments) sur l'aire d'études du projet
- Vérifier les impacts prévus et évaluer l'efficacité des mesures ERC éventuelles

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA CONTAMINATION CHIMIQUE DE L'EAU

Dragage, immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, émissaires – rejets en mer, prélèvement d'eau de mer et rejets associés, rechargement de plage, mouillage, zone de mouillage et d'équipements légers énergies marines, forage, champ aquacole piscicole.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE DE L'EAU

- Habitats : herbiers de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : herbiers de zostère, cymodocée, grande nacre, poissons, mammifères marins, patelle géante

RÉGLEMENTATION

- Directive n°2013/39/UE modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique concernant le domaine de l'eau
- Arrêté du 7 août 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement
- Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement
- L214-1 et suivants du code de l'environnement portant sur le régime autorisation – déclaration des installations non classées, ouvrages, travaux

et activités (IOTA) en contact avec le milieu marin

- Agrément et accréditation des laboratoires pour l'analyse des échantillons (<http://www.labeau.ecologie.gouv.fr/default/liste-labo-agrees.php#>)

PARAMÈTRES MESURÉS

- 33 substances prioritaires : métaux (Cd, Hg, Pb, Ni), les hydrocarbures polycycliques aromatiques (HAP), le lindane, DDT (annexe 10 de la directive de 2000)
- 8 substances figurant dans l'annexe IX, issues de la liste I de la Directive «Substances dangereuses» (76/464/CEE)
- Liste de nouvelles substances ajoutées à l'annexe 1 de la directive du 12 août 2013

Dans le cadre des rejets, les traceurs de l'activité doivent être suivis préférentiellement. Ces « traceurs » sont généralement identifiés lors de l'étude d'impact, et leur présence peut être vérifiée au travers des auto-surveillances.

STRATÉGIE DE MESURES

Cages à moules

- *Période préférentielle* : une immersion entre mars et juillet est recommandée pour obtenir un compromis entre plusieurs exigences : immerger des individus avec suffisamment de réserves énergétiques pour éviter des différences importantes de composition biochimique chez les individus à l'échelle du réseau et opérer pendant la phase de repos sexuel où le métabolisme des individus est le plus stable.
- *Fréquence* : utile pour l'état zéro et l'impact en phase d'exploitation.
- *Durée du suivi* : minimum de 2,5 mois pour fournir des résultats pertinents.
- *Choix des stations de prélèvement* : une station à proximité immédiate du projet, une autre sur l'aire d'études du projet et une dernière sur un site témoin.

Echantillonneurs passifs

- *Période préférentielle* : pas de période particulière.
- *Fréquence* : en phase travaux. État zéro et phase d'exploitation également pour les composés hydrophiles.
- *Durée du suivi* : quelques jours suffisent (2 jours pour les DGT – 3 semaines pour POCIS).

- *Choix des stations de prélèvement* : une station à proximité immédiate du projet, une autre sur l'aire d'études du projet et une dernière sur un site témoin. 3 échantillonneurs passifs pour un point de mesure.

PROTOCOLE TERRAIN

Prélèvement ponctuel dans l'eau

La mesure directe des contaminants dans l'eau fait appel à des techniques analytiques sophistiquées et coûteuses, difficilement applicables et pertinentes à l'échelle d'un projet en milieu marin. Par ailleurs, la variabilité temporelle du milieu littoral ne confère que peu de représentativité à une mesure ponctuelle dans la colonne d'eau. De plus, les limites de quantification disponibles ne permettent que très rarement d'atteindre les concentrations présentes dans le milieu.

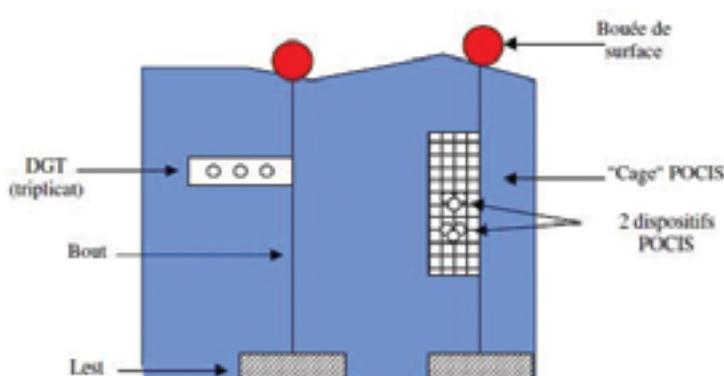
Dans le biote : utilisation de cages à moule

Les mollusques sont communément utilisés comme biointégrateurs, car ils ont la capacité d'accumuler les micropolluants jusqu'à atteindre un pseudo-

équilibre avec le milieu. Après un séjour de plusieurs mois dans l'eau, les niveaux mesurés dans les organismes sont le reflet de l'état chronique du milieu.

La moule de Méditerranée, *Mytilus galloprovincialis*, est le modèle biologique utilisé en raison des facilités d'approvisionnement, de sa robustesse et de la bonne connaissance de cette espèce. Le lot de moules doit obligatoirement provenir d'une zone reconnue pour être peu contaminée. Pour garantir l'homogénéité des lots, une taille de 50 mm est respectée, à plus ou moins 5 mm, et correspond à de jeunes adultes d'environ 18 mois. Chaque échantillon est composé d'un lot de 2,5 kg de moules calibrées, stockées dans une poche ostréicole. La pose et l'enlèvement se fait principalement par plongée. Les bio intégrateurs ne sont recommandés que pour le suivi de contaminants hydrophobes et les métaux ($\log P > 3$). Par ailleurs, leur temps d'immersion dans l'eau permet de s'assurer que l'équilibre avec le milieu marin est assuré. Les données récoltées peuvent également être comparées au réseau RINBIO.

Figure n°6. Illustration de la structure de mouillage RINBIO (à droite) et des échantillonneurs passifs DGT et POCIS.



Analyse in situ dans l'eau : échantillonneurs passifs

L'utilisation d'échantillonneurs passifs permet, pour certains composés, de les extraire et de les concentrer in situ réduisant ainsi une partie des difficultés, et du coût lié à l'analyse des contaminants à l'état de traces dans l'eau et facilitant ensuite leur détection analytique en laboratoire. Ces techniques permettent de perturber au minimum la spéciation des contaminants échantillonnés et présentent l'avantage de pouvoir être mis en œuvre rapidement. De plus, ces systèmes permettent aussi une mesure de la concentration en contaminant dissous « biodisponible », alors que souvent les tech-

niques classiques ne le permettent pas (mesure de la concentration dissoute « totale »). Les échantillonneurs passifs sont immergés sous l'eau retenus par un mouillage. La pose et l'enlèvement se font souvent par plongée. Ils doivent être positionnés en fonction des usages (dans le cas inverse, risque de pertes, enlèvements par filet, ancrages, etc.).

Certains ont été conçus pour les éléments métalliques (DGT) ; d'autres sont utilisés pour les contaminants organiques hydrophobes (SPME, SPMD, SBSE) et pour les molécules polaires (SBSE, POCIS) qui ne sont pas bio accumulés par les coquillages. Les échantillonneurs passifs sont

pertinents notamment pour mesurer l'impact en phase travaux (2 jours à 3 semaines), alors que les cages à moules peuvent servir pour mesurer l'impact en phase d'exploitation.



Echantillonneur POCIS (© DDTM 13)

Dans le cadre des rejets, le protocole d'échantillonnage doit permettre de mettre en évidence un gradient d'éloignement par rapport au projet ; sinon on ne peut pas affirmer que l'activité est à l'origine de la contamination (notamment quand y a plusieurs sources de pollution possibles dans le champ d'études).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Cage à moules

Sur site, et par station, les moules sont lavées à l'eau de mer, dégrappées, triées en séparant les individus morts des individus vivants. La mortalité de chaque poche est déterminée. Un lot de 15 individus est constitué pour le suivi biométrique des échantillons et un lot d'environ 120 individus pour la mesure des contaminants. Des procédures standardisées sont utilisées pour estimer, pour chaque échantillon, la mortalité du lot, la taille de la coquille, les poids humides et secs de chair, le poids sec de coquille et l'indice de condition. Sur les 29 stations retenues au titre de la DCE, les contaminants appartenant aux annexes IX et X de la directive sont sélectionnés en fonction de leur potentiel de bioaccumulation. Les critères retenus sont une valeur du coefficient de partage octanol / eau (logKow) supérieure à 3 pour un composé susceptible de se bioaccumuler et la disponibilité d'une méthode analytique opérationnelle dans la matière vivante. Puis un modèle de conversion biote – eau est appliqué pour déterminer la concentration chimique dans l'eau. Le résultat est comparé aux NQE biote (coquillages) disponibles dans l'arrêté du 27 juillet 2015. Pour les substances hydrophobes ne disposant pas de NQE biote, un facteur de conversion (facteur de bioaccumulation) est appliqué

pour déterminer à partir de la NQE Eau (arrêté 2015) une VGE (valeur guide environnementale) mollusque. La détermination de ces VGE mollusque est en cours de réalisation sur la base d'une étude réalisée par l'Ifremer. Les résultats seront disponibles dans la prochaine version du guide relatif aux Règles d'Evaluation de l'Etat des Lieux des Eaux Littorale en cours de finalisation pour l'état des lieux 2019.

Echantillonneurs passifs

L'analyse dépend du type d'échantillonneurs utilisés. Voir page 31 - 32 et 33 du rapport de la campagne DCE d'Ifremer de 2013. Les résultats obtenus peuvent être comparés aux NQE Eau disponibles mais n'ont à ce jour aucune valeur réglementaire et doivent être utilisés à dire d'expert.

COÛT

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 (Voir fiche GEODE).

- Equipe de plongeurs pour mise en place et prélèvement : 1 500 € / jour
- Matériel biologique / échantillonneurs passifs et mouillage : quelques centaines d'euros

Le montant des analyses varie en fonction des paramètres demandés : compter 1000 € par cage, quelques centaines d'euros pour les échantillonneurs.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Les valeurs mesurées peuvent être comparées avec les valeurs seuils indiquées par les arrêtés du 27.07.2015.

<https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2015/7/27/DEV1513989A/jo/texte>

Type de mesure	Seuils
Echantillonneurs Passifs	NQE eau
Cage à moules	NQE eau des valeurs guides environnementales (VGE) concernant les mollusques seront bientôt disponibles

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

L'AERM&C a mis en place un réseau spécifique Chimie-Med pour caractériser la pollution des eaux côtières.

- Le réseau RINBIO utilise le caging de moules pour

évaluer la contamination chimique biodisponible d'une masse d'eau (opéré par Ifremer).

- Le volet RADIOELEMENTS de RINBIO permet de suivre la radioactivité et notamment le Césium 137. Il est opéré par l'IRSN.
- Le réseau ECHANTILLONNEURS PASSIFS permet d'évaluer la présence de molécules chimiques dissoutes dans la masse d'eau (opéré par Ifremer).
- Le réseau Flux à la mer permet de faire le lien entre l'évaluation des flux de cours d'eau côtiers et leur devenir en mer mais aussi d'apprécier les niveaux de contaminants au droit des principaux rejets urbains. Il est opéré par Ifremer.

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

Services instructeurs (DDTM, DREAL)

RÉFÉRENCES

Ifremer, 2014. Bulletin de la Surveillance de la Qualité du Milieu Marin Littoral. 78 p. LER/PAC.

CEREMA, 2012. Suivi environnemental des aménagements portuaires et littoraux. Guide de recommandations. Fiche 6.

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/suivi-environnemental-des-a1073.html>

Geode, 2012. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Guide méthodologique. Fiche 4.

http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/Guide_methodologique_Suivi_Dragage_Immersion_cle51f711.pdf

Ifremer, 2013. Réseaux de Surveillance DCE Campagne 2012. District « RHÔNE ET CÔTIERS MEDITERRANEENS ».

<http://archimer.ifremer.fr/doc/00170/28133/26353.pdf>

Marchand M., Tissier C., Tixier C. et Tronczynski J., 2004. Les contaminants chimiques dans la DCE. [http://](http://archimer.ifremer.fr/doc/00326/43757/43301.pdf)

archimer.ifremer.fr/doc/00326/43757/43301.pdf

Cages à moules

Ifremer, 2002. Guide méthodologique : Le réseau Intégrateurs Biologiques (RINBIO) en Méditerranée : Evaluation de la contamination chimique basée sur l'utilisation de stations artificielles de moules.

http://www.rhonemediterranee.eaufrance.fr/docs/dce/prog_surveillance/IFREMER_Guide_methodo_RINBIO.pdf

http://www.aquaref.fr/system/files/FicheMethodeAnalyse>Ifremer_PBDE_biote.pdf

http://www.aquaref.fr/system/files/MA47_PCB_biote_Vf.pdf

Sire A. et Amouroux I., 2016. Détermination de Valeurs Guides Environnementales (VGE) mollusques alternatives aux Normes de Qualité Environnementale (NQE) définies dans la DCE. ONEMA, Ref. RBE/BE/ARC/16.01, 82p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44378/>

Echantillonneurs passifs

Gonzalez, J. L., 2012. Formation à l'utilisation des techniques d'échantillonnage passif – Rapport AQUAREF 2011 – 31 p. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00083/19458/17072.pdf>

Fiche méthode Aquaref

<http://www.aquaref.fr/system/files/Fiche%20ME1%20-%20Echantillonneurs%20passifs%20DGT%20M%C3%A9taux.pdf>

RINBIO

http://www.ifremer.fr/surval2/consultation.jsp?produit=resultats_par_parametre&carte=Resultats_par_parametre&emprise=93#

http://envlit.ifremer.fr/surveillance/directive_cadre_sur_l_eau_dce/la_dce_par_bassin/bassins_rhone_mediterranee_et_corse/fr/atlas_interactif

CHIMIE-MED

http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Contamination_chimique



Emissaire Cortiou (© Sandrine Ruitton, MIO)



FICHE P-12 : CONTAMINATION CHIMIQUE DES SÉDIMENTS

OBJECTIFS DU SUIVI

- Connaître l'état de la contamination des sédiments sur l'aire d'études du projet
- Vérifier les impacts prévus et évaluer l'efficacité des mesures ERC éventuelles

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA CONTAMINATION CHIMIQUE DES SÉDIMENTS

Dragage, immersion en mer de sédiments, émissaires – rejets en mer, prélèvement d'eau de mer et rejets associés, rechargement de plage, énergies marines, forage, champ aquacole / piscicole

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE DES SÉDIMENTS

- Habitats : substrat meuble
- Espèces : herbier de zostère, cymodocée, grande nacre, poissons

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation spécifique au suivi de la qualité des sédiments en dehors des opérations de dragage et immersion (Arrêtés du 09/08/2006 et 23/12/2009).

Sont à privilégier les laboratoires :

- qui ont la pratique de la matrice sédiment « salé » ;
- qui sont accrédités sur le maximum de paramètres étudiés pour la matrice sédiment, et a minima sur un paramètre (accréditation COFRAC sur au moins un couple paramètre / sédiment).

Pour les substances à suivre, des préconisations en termes de limites de quantification à exiger des laboratoires sont proposées (voir références).

PARAMÈTRES MESURÉS

- Granulométrie, % de matières sèches, densité, teneur en aluminium (constituant naturel des argiles et donc représentatif des sédiments fins) ;
- Carbone organique total (COT) : la concentra-

tion est généralement corrélée à la capacité d'adsorption du sédiment des contaminants organiques.

Dans les sédiments, est mesurée la concentration totale d'un contaminant. Il faut différencier la concentration totale dans le sédiment et la concentration biodisponible qui indique la capacité d'un contaminant à être relargué sous une ou des formes assimilables par la faune et la flore. Si elle est la plus pertinente à mesurer, elle est la plus complexe et plus onéreuse.

- Métaux lourds : arsenic, cadmium, chrome, cuivre, mercure, nickel, plomb, zinc
- Polychlorobiphényles (PCB) : totaux, congénères 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180
- Tributylétains (TBT) et produits de sa dégradation
- Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Dans le cas des opérations de dragage, des tests écotoxicologiques sont parfois nécessaires, en fonction des concentrations totales rencontrées. Plus de détails disponibles dans les guides Géode.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer par temps calme, sur les zones où la couche de sédiments est stabilisée.
- *Fréquence* : avant travaux pour établir l'état initial et quelquefois après travaux pour connaître la contamination de la nouvelle surface de sédiments (ex : après un dragage dans une zone contaminée).
- *Durée du suivi* : mesure ponctuelle.
- *Choix des stations de prélèvement* : doit être représentatif de la zone du projet. Le nombre de points doit être en adéquation avec la surface de l'aire du projet.

PROTOCOLE TERRAIN

Dans un objectif de suivi temporel de la contamination de l'environnement aquatique au moyen du sédiment, il est nécessaire de prélever

un échantillon du sédiment « récemment » déposé. La couche à prélever est fonction du taux de sédimentation de l'endroit (de quelques millimètres à plusieurs cm par an). Un échantillon représente en masse un infime pourcentage de la zone à étudier. Il doit donc être prélevé dans la zone la plus caractéristique du site et, en cas de suivi temporel, toujours au même endroit.

Si la sédimentation est importante (qq cm / an), des prélèvements à l'aide de bennes preneuses sont suffisants pour réaliser un suivi et évaluer les éventuels impacts. Cela présente l'avantage d'être rapide, facile à mettre en œuvre et de prélever de grandes quantités d'échantillons. Il est toutefois nécessaire d'homogénéiser le prélèvement avant le sous-échantillonnage. De nombreuses bennes existent sur le marché : Van Veen (la plus utilisée), Eckmann (sédiments non cohésifs) et Schipek (sédiments cohésifs).

Si la sédimentation est faible, ce qui est souvent le cas en Méditerranée (qq mm / an), le carottage est à privilégier (dépendant de la profondeur) : ce type de prélèvement ne remanie pas le sédiment, les couches successives se retrouvant dans la boîte de carottier dans le même ordre que dans la colonne sédimentaire. Le matériel à privilégier est un carottier de type Reineck ou carottier tube.

Dans certains cas (profondeur importante, sédiment très compact, etc.), le carottier ne semble pas approprié puisqu'il ne pénètre pas correctement dans le substrat. Il convient alors de privilégier un autre mode de prélèvement qui garantisse de prélever uniquement la couche superficielle de sédiment (par exemple le prélèvement en plongée sous-marine si ce n'est pas trop profond).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Granulométrie : les sédiments sont tout d'abord caractérisés par les répartitions des fractions granulométriques. Ces données sont importantes pour apprécier la charge en contaminants (capacités d'adsorption dépendantes des surfaces spécifiques). Les granulométries sont mesurées en laboratoire. Si plusieurs techniques sont disponibles pour les réaliser, les retours d'expériences indiquent que l'utilisation d'un

granulomètre laser par voie humide après un dégrillage des fractions supérieures à 2 mm puis à 1 mm ou à 500 µm donne les résultats les plus fiables. La coupure à 2 mm est imposée par les textes. Il est usuel de mesurer les pourcentages suivant des tailles qui sont : > 2 mm, et dans la partie inférieure à 2 mm, celles qui sont < 1 mm, < 500 µm, < 250 µm, < 125 µm, < 63 µm et enfin < 2 µm. Si les résultats donnent moins de 20 % de particules < 63 µm, alors il est considéré que la contamination dans les sédiments sera faible (pas de mesures supplémentaires).

Concentration totale de chaque contaminant (mg/kg) : les échantillons peuvent être séchés et traités de manière identique aux échantillons de sols. On veillera notamment à ne pas utiliser des flacons en plastique si les contaminants organiques sont visés. De manière générale, les modalités de conservation et de transport sont très importantes. Consulter la référence Geode, 2016.

COÛT

- Les prélèvements par benne doivent être réalisés à partir d'une embarcation présentant les conditions de sécurité et de confort nécessaires. 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 peuvent être réduits si est utilisée une embarcation légère type zodiac avec plongeurs (1 500 €).
- Les coûts d'analyses considérant l'ensemble des paramètres des deux arrêtés 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.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Il n'existe pas de NQE sédiments. Des seuils de déclenchement de procédures réglementaires (déclaration / autorisation) ont été étudiés et proposés par Geode (seuils N1 et N2). Néanmoins il est possible de se servir de la Grille sédiment réalisée dans le cadre du RLM, grille établie pour des sédiments fins composés d'au moins de 20 % de particule dont le diamètre est inférieur à 63 µm.

Tableau n°3. Extrait du guide RLM.

http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dce/prog_surveillance/IFREMER_Guide_methodo_Contamination_Sediments.pdf

	Plomb	Zinc	Mercur	Cuivre	Cadmium
Etat 1	≤25	≤90	≤0.05	≤15	≤0.15
Etat 2	25 < ≤50	90 < ≤200	0.05 < ≤0.4	15 < ≤60	0.15 < ≤0.6
Etat 3	> 50	> 200	> 0.4	> 60	> 0.6

Tableau 15 : Etats de référence pour les métaux traces (en µg/g de poids sec de sédiment) applicables en Méditerranée pour l'interprétation des niveaux de contamination chimique dans les sédiments fins en milieu côtier naturel (à l'exception des matériaux assujettis à l'arrêté du 14 juin 2000).

	CB 138	CB 153	DDT	DDD	DDE	TBT
Etat 1	≤0.5	≤0.2	≤0.2	≤1.2	≤1.2	≤40
Etat 2	0.5 < ≤4	0.2 < ≤5	0.2 < ≤4	1.2 < ≤5	1.2 < ≤5	40 < ≤100
Etat 3	> 4	> 5	> 4	> 5	> 5	>100

Tableau 16 : Etats de référence pour les organochlorés (en µg/kg de poids sec de sédiment) applicables en Méditerranée pour l'interprétation des niveaux de contamination chimique dans les sédiments fins en milieu côtier naturel (à l'exception des matériaux assujettis à l'arrêté du 14 juin 2000).

	Fluoranthène	Benzo (a) pyrène	Benzo (b) fluoranthène	Benzo (ghi) pérylène	Benzo (k) fluoranthène	Indéno(1,2,3) pyrène
Etat 1	≤40	≤100	≤200	≤100	≤100	≤100
Etat 2	40 < ≤200	100 < ≤500	200 < ≤500	100 < ≤250	100 < ≤250	100 < ≤250
Etat 3	> 200	> 500	> 500	> 250	> 250	> 250

Tableau 17 : Etats de référence pour les HAP (en µg/kg de poids sec de sédiment) applicables en Méditerranée pour l'interprétation des niveaux de contamination chimique dans les sédiments fins en milieu côtier naturel (à l'exception des matériaux assujettis à l'arrêté du 14 juin 2000).

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Le REPOM permet de connaître la contamination chimique dans les sédiments dans les ports français. Les grosses stations d'épuration avec rejet en mer sont soumises, via leur arrêté d'autorisation, à un suivi régulier de la contamination chimique autour de leur point de rejet.

L'AERM&C a mis en place un réseau spécifique CHIMIE-Med pour caractériser la pollution des eaux côtières qui inclut, pour la matrice sédiments, les réseaux suivants :

- Le réseau REMTOX évalue la toxicité des sédiments marins et notamment des sédiments portuaires. Il est opéré par Ifremer ;
- Le réseau Sédiments qui évalue les niveaux de contamination chimique dans la matrice sédimentaire.

ORGANISMES RESSOURCES

Services instructeurs (DDTM, DREAL)

Ifremer

CEREMA

RÉFÉRENCES

Aquaref, 2015. Recommandations techniques. Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiments et biote)

CEREMA, 2010. Bilan national du REPOM - Réseau national de surveillance de la qualité des eaux et des sédiments des ports maritimes.

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/bilan-national-du-repom-reseau-national-de-a323.html>

CEREMA, 2012. Suivi environnemental des aménagements portuaires et littoraux. Guide de recommandations.

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/suivi-environnemental-des-a1073.html>

Geode, 2012. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Annexe 3 : critères d'évaluation des contextes de projet. Annexe 4 : Méthodes de suivi - Propositions de protocoles détaillés et de liens vers d'autres sources méthodologiques.

http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/Guide_methodologique_Suivi_Dragage_

Immersion_cle51f711.pdf

Geode, 2017. Bonnes pratiques pour la caractérisation des matériaux en vue d'une opération de dragage et d'immersion en milieu marin et estuarien. http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/guide_geode_bonnes_pratiques_analyse_sediments_14112016-1_cle21a618.pdf

Marchand M. et Tissier C., 2005. Analyse du risque chimique en milieu marin. L'approche méthodologique européenne. <http://hal-ineris.ccsd.cnrs.fr/ineris-00969529/>

Les guides méthodologiques du RLM. Evaluation de la contamination chimique et radiologique du sédiment. http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dce/prog_surveillance/IFREMER_Guide_methodo_Contamination_Sediments.pdf



Benne à sédiments (© Semantic TS)

CHIMIE-MED

http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Contamination_chimique

FICHE P-13 : CONTAMINATION CHIMIQUE DANS LES POISSONS

OBJECTIFS DU SUIVI

- Connaître l'état de la contamination des poissons sur l'aire d'études du projet
- Vérifier les impacts prévus et évaluer l'efficacité des mesures ERC éventuelles

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA CONTAMINATION CHIMIQUE DES POISSONS

Dragage - émissaires / rejets en mer.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA CONTAMINATION CHIMIQUE DES POISSONS

Poissons

RÉGLEMENTATION

Niveau de consommation dans les produits de la mer
<https://www.anses.fr>

PARAMÈTRES MESURÉS

- (Milli)gramme de contaminants / (kilo)gramme de poisson (poids sec ou humide)
- Contaminants : métaux bioaccumulables, PCB, PDBE, molécules émergentes, etc.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : éviter les périodes de reproduction des poissons (surtout pour les éléments hydrophobes) qui peuvent modifier les résultats.
- *Fréquence* : avant travaux pour établir l'état initial et en phase d'exploitation (1 an – 3 ans). A moduler en fonction du type de poisson. Plus bas est le niveau trophique, plus rapide sera la contamination.
- *Durée du suivi* : une pêche par suivi. A réaliser pendant la durée de la phase d'exploitation, à moduler en fonction des résultats du suivi.
- *Choix des stations de prélèvement* : les poissons pêchés doivent être représentatifs de la zone du projet. Compter environ 30 poissons par station. La prise en compte d'une zone témoin est nécessaire.

PROTOCOLE TERRAIN

- *Type de poissons prélevés* : organismes sentinelles (rouget, merlu, rascasse, cébaste (profond), petite roussette) qui ont des valeurs de référence.

- *Pêche* : collaboration avec les pêcheurs professionnels. Demande d'autorisation de prélèvement à la DIRM.

Les poissons doivent être transportés, stockés et séchés en respectant les protocoles OSPAR.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

- Disséquant de la chair animale en laboratoire ;
- En fonction du contaminant recherché, dosage : dans le muscle blanc dorsal (partie consommée) ou le foie et les reins (organismes hydrophiles) ou les gonades (organismes hydrophobes). Le laboratoire doit être accrédité pour les dosages.

COÛT

Hors pêche, prix d'une analyse par poisson - métaux : 170 à 250 € - PCB et HAB : 600 € - molécules DCE : 400 € - molécules émergentes (R&D) : plus onéreux.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Seuils OSPAR disponibles pour certains poissons et contaminants : Environment Assessment Criteria (EAC) et Background Assessment Concentrations (BAC).

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Le réseau CHAÎNE TROPHIQUE apprécie le niveau de contaminants dans les poissons (CONTAMED - Ifremer) et dans les cétacés (WWF).

ORGANISMES RESSOURCES

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)
Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer (Ifremer) – Centre Méditerranée.

RÉFÉRENCES

JAMP Guidelines for Monitoring Contaminants in Biota (OSPAR Agreement 19992).

<https://www.ospar.org/work-areas/cross-cutting-issues/cemp>

Bouchoucha M., Brach-Papa C., Gonzalez J.-L., Lenfant P. and Darnaude A.M., 2018. Growth, condition and metal concentration in juveniles of two Diplodus species in ports. Mar. Poll. Bull. 126, 31-42.

https://www.researchgate.net/publication/320870617_Growth_condition_and_metal_concentration_in_juveniles_of_two_Diplodus_species_in_ports

FICHE P-14 : CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE (EAU, SÉDIMENT)

OBJECTIFS DU SUIVI

- Connaître l'évolution de la contamination microbiologique du milieu marin et les apports du bassin versant
- Vérifier les impacts prévus et évaluer l'efficacité des mesures ERC éventuelles

Les effets de la contamination microbiologique sont généralement étudiés par rapport à la santé humaine (baignade et ingestion de produits de mer).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LA CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE (EAU, SÉDIMENT)

Immersion en mer de sédiments, émissaire – rejets en mer, prélèvement d'eau de mer et rejet associé, rechargement de plages, forage, champ aquacole piscicole.

Quelquefois, la construction d'ouvrages peut modifier la courantologie du site, et in fine limiter le renouvellement des eaux.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE (EAU, SÉDIMENT)

- Habitats : coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : zostère, grande nacre, poissons, mammifères marins

RÉGLEMENTATION

Niveau de qualité des eaux de baignade	Directive n° 76/160/CE + Directive 2006/7/CE	Art. D.1332-2 et D.1332-3 du code de la santé publique
Niveau de qualité des eaux conchylicoles	Directive n°79/923/CE + directive 2006/113/CE	Art. D.211-10 du code de l'environnement

PARAMÈTRES MESURÉS

Sont potentiellement concernés les organismes suivants :

- Bactéries : Salmonella, Escherichia coli, Streptocoques fécaux, Shigella dysenteriae, Clostridium perfringens, Clostridium botulinum de type E, Vibrio parahaemolyticus, Vibrio vulnifi-

cus, Vibrio cholerae, Aeromonas spp, etc.

- Virus : entérovirus, virus de l'Hépatite A, norovirus, calcivirus humains, rotavirus, astrovirus, etc.
- Parasites (protozoaires pathogènes) : Giardia, Cryptosporidium, etc.

Il n'est pas possible de mesurer l'ensemble des germes présents dans la colonne d'eau et les sédiments. Des indicateurs de contamination microbiologique sont utilisés. Ils sont appelés germes témoins de contamination fécale (GTCF). Ils sont utilisés principalement :

pour les eaux de baignade : coliformes fécaux (Escherichia Coli) et entérocoques : les entérocoques intestinaux et les Escherichia coli sont mesurés en unités formant colonie (UFC) dans 100 mL d'eau.

pour l'évaluation de la teneur du biote en contaminants : coliformes fécaux (Escherichia Coli) : exprimés par le nombre d'E.Coli cultivables dans 100 g de chair de coquillage et de liquide intervalvaire.

pour les sédiments : analyse des GTCF et de certains germes pathogènes dans le cas de rejets spécifiques (STEP par exemple). E.coli et entérocoques en UFC / 100 g de sédiments.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : dans les conditions météo les plus fréquentes (hors pollution)
- *Fréquence* : suivi (pluri) hebdomadaire dans les zones à risques
- *Durée du suivi* : état zéro avant le projet, en phase travaux et phase d'exploitation
- *Choix des stations de prélèvement* : dans les zones proches du projet (aire du projet, aire d'études et site témoin)

PROTOCOLE TERRAIN

Eaux de baignade

- Arrêté du 23/09/08 (article 2) relatif aux règles de traitement des échantillons et aux méthodes de référence pour les analyses d'eau dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux de baignade.
- Annexe 5 de la Directive 2006/7/CE relative à la gestion de la qualité des eaux de baignade.

Eaux conchylicoles

Protocole Aquaref (page 15 et 16)

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Eaux de baignade : analyses réalisées par des laboratoires agréés par le Ministère de la Santé, selon des méthodes miniaturisées de dénombrement prévues par la réglementation européenne : norme NF EN 9308-3 (*Escherichia coli*) et norme NF EN 7899-1 (entérocoques intestinaux).

Eaux conchylicoles : la méthode de référence est la méthode XP ISO/TS 16649-33 de décembre 2005.

Il est également possible de faire un suivi ADN de la microbiologie pour déterminer l'origine bactérienne (contamination humaine, animale). Voir références.

COÛT

- Eaux de baignade : quelques centaines d'euros par station
- Eaux conchylicoles : idem suivi RINBIO (fiche contamination chimique de l'eau). Seule l'analyse diffère : Le montant d'une analyse bactériologique en laboratoire est de l'ordre de 130 € en comptant le conditionnement des échantillons.
- Suivi ADN : 1 000 €

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Les valeurs mesurées peuvent être comparées avec les valeurs seuils indiquées par la réglementation en vigueur.

Tableau n°4. Extraits du guide Geode de 2014 (p. 89).

Tableau 18: Réglementation sanitaire microbiologique des eaux de baignade (intérieures, côtières, et de transition) selon la directive européenne 76/160/CE, en vigueur depuis 1975.

Paramètres	Guide ^a	Impérative ^b	Fréquence d'échantillonnage
Coliformes totaux UFC/100ml	500	10 000	Bimensuelle
Coliformes thermotolérants UFC/100ml	100	2 000	Bimensuelle
Entérocoques UFC/100ml	100	-	Bimensuelle
Salmonelles UFC/1L	-	0	(1)
Entérovirus PFU/10L	-	0	(1)

^a : Valeur guide : caractérise une eau de bonne qualité pour la baignade;

^b : Valeur impérative : constitue la limite supérieure au-delà de laquelle l'eau est considérée de mauvaise qualité

- : norme non définie

(1) : concentration à vérifier lorsqu'une enquête effectuée dans la zone de baignade en révèle la présence possible ou une détérioration possible de la qualité des eaux

Tableau 19 : Réglementation sanitaire microbiologique des eaux côtières et eaux de transition selon la directive européenne 2006/7/CE, en vigueur au plus tard fin 2014.

Paramètres (UFC/100 mL)	Excellente qualité	Bonne qualité	Qualité suffisante	Méthodes de références pour l'analyse
<i>E. coli</i>	250 ^a	500 ^a	500 ^b	ISO 9308-3 ou ISO 9308-1
Entérocoques	100 ^a	200 ^a	185 ^b	ISO 7899-1 ou ISO 7899-2

^a : Evaluation au 95^{ème} percentile ;

^b : évaluation au 90^{ème} percentile

Tableau 20 : Réglementation sanitaire des zones de production conchylicole et usages associés selon la réglementation européenne 854/2004/CE.

Classe	Seuils (<i>E. coli</i> /100 g de chair et liquide intervalvaire)	Usage professionnel	Usage récréatif
A	100% des analyses < 230 <i>E. coli</i>	Elevage et pêche autorisés, vente sans traitement préalable	Pêche autorisée
B	90% des analyses < 4 600 <i>E. coli</i> Et 100% des analyses < 46 000 <i>E. coli</i>	Elevage et pêche autorisés, traitement de purification avant vente	Pêche tolérée
C	100% des résultats < 46 000 <i>E. coli</i>	Elevage et pêche interdits, sauf dérogation préfectorale	Pêche interdite

Par ailleurs, les seuils indicatifs suivants constituent des critères décisionnels au-delà desquels la contamination des sédiments est jugée importante et nécessite de réaliser des analyses complémentaires :

- 10 000 E. coli / 100 g de sédiment sec
- 4 000 entérocoques / 100 g de sédiment sec

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

- suivi qualité des eaux de baignade : <http://www.ars.paca.sante.fr/Eaux-de-baignade.173475.0.html>
- réseau de contrôle microbiologique des zones de production de coquillages (REMI) porté par Ifremer
- <https://wwz.ifremer.fr/lerpc/Activites-et-Missions/Surveillance/REMI>

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

Services instructeurs (DDTM, DREAL)

Agences Régionales de la Santé

RÉFÉRENCES

Alzieu C., 2004. Logiciel d'évaluation des risques liés à l'immersion des déblais de dragage des ports maritimes (Géodrisk). Ed. QUAE. Isbn : 9782844330499.

Amouroux I. et Claisse D., 2016. AQUAREF - Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote) - Recommandations techniques – Edition 2015. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44380/>

Arrêté du 23/09/08 relatif aux règles de traitement

des échantillons et aux méthodes de référence pour les analyses d'eau dans le cadre de la surveillance de la qualité des eaux de baignade. http://www.ineris.fr/aida/consultation_document/4451

Geode, 2012. Suivis environnementaux des opérations de dragage et d'immersion. Annexe 4. http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/Guide_methodologique_Suivi_Dragage_Immersion_cle51f711.pdf

Geode, 2014. Rédaction des études d'impact d'opérations de dragage et d'immersion en milieu estuarien et marin. Guide méthodologique + ANNEXES.

http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/IMG/pdf/Guide_GEODE_Etude_Impact_cle51a3aa.pdf

Ifremer, 2011. Document de prescription « surveillance microbiologique ». Cahier des spécifications techniques et méthodologiques REMI.

http://baignades.sante.gouv.fr/baignades/editorial/fr/controle/realisation_s.html#t1



Rejet d'eaux usées (© DDTM13)



FICHE P-15 : ORGANISMES PHYTOPLANCTONIQUES

OBJECTIFS DU SUIVI

- Connaître l'évolution de la productivité du phytoplancton (acquisition de connaissances)
- Vérifier les impacts prévus et l'efficacité des mesures ERC éventuelles
- Surveiller l'apparition d'efflorescences toxiques (zones aquacoles)

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI MODIFIENT POTENTIELLEMENT LES ORGANISMES PHYTOPLANCTONIQUES

Dragage, immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, émissaires – rejets en mer, prélèvement d'eau de mer et rejets associés, forage, champ aquacole piscicole

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DES ORGANISMES PHYTOPLANCTONIQUES

- Habitats : substrat meuble (faible profondeur)
- Espèces : grande nacre, poissons

RÉGLEMENTATION

Arrêtés de surveillance et d'évaluation des 27 juillet 2015 et 7 août 2015 (DCE).

PARAMÈTRES MESURÉS

- Chlorophylle a : bon indicateur de la biomasse phytoplanctonique. Le paramètre mesuré est l'abondance.
- En fonction des résultats, un suivi de la flore phytoplanctonique peut être demandé.
- Suivi des espèces toxiques.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : dans les conditions météo les plus fréquentes (hors pollution)
- *Fréquence* : suivi (pluri) mensuel dans les zones à risques
- *Durée du suivi* : état zéro avant le projet, en phase travaux et phase d'exploitation
- *Choix des stations de prélèvement* : dans les zones proches d'enjeux sanitaires, rejet centrales énergétiques, etc.

PROTOCOLE TERRAIN

- *Chlorophylle a* : utilisation de sondes multi paramètres (voir fiche qualité eau)
- *Flore phytoplanctonique* :
 - Protocole flore totale : identification et dénombrement de toutes les espèces phytoplanctoniques pouvant être identifiées dans les conditions d'observation (utilisé pour la DCE)
 - Protocole flore indicatrice : identification et dénombrement de toutes les espèces présentes à une concentration supérieure à 100 individus, des genres auxquels sont rattachées des espèces avérées toxiques sur nos côtes et des espèces suivantes connues pour produire des toxines lipophiles
 - Protocole flore partielle : liées à celles produisant les toxines ayant déclenché une alerte (enjeu sanitaire)

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Voir protocole REPHY d'Ifremer. Pour la chlorophylle a, une estimation rapide de la composition d'une communauté phytoplanctonique peut être faite par l'analyse du spectre pigmentaire obtenue par la technique HPLC, chaque groupe de phytoplancton ayant une composition pigmentaire spécifique. Depuis peu, en fonction des pigments de chlorophylle, il est possible de déterminer les espèces potentiellement présentes dans le milieu (cf. suivi environnemental de l'étang de Thau – Ifremer, 2011).

COÛT

- Le coût du suivi de la chlorophylle est le même que le coût du suivi des paramètres de qualité de l'eau. Une analyse en laboratoire par HPLC coûte quelques dizaines d'euros.
- Un suivi phytoplanctonique complet comprenant l'étude de la diversité phytoplanctonique et nécessitant un suivi saisonnier coûte en moyenne 900 € l'échantillon.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Figure n°7. Extrait du cahier des procédures REPHY de 2012.

http://envlit.ifremer.fr/content/download/81386/558742/file/Cahier_REPHY_2012_version_finale_12_sep_%202012.pdf

8 SEUILS D'ALERTE ET SEUILS REGLEMENTAIRES

8.1 SEUILS D'ALERTE PHYTOPLANCTON

Un seuil d'alerte est défini pour chaque groupe d'espèces phytoplanctoniques toxiques actuellement présentes sur les côtes françaises. La mise en évidence d'espèces toxiques à partir et au delà des seuils préconisés ci dessous, doit déclencher la recherche des toxines concernées dans les coquillages, si cette recherche n'est pas déjà effective (comme c'est le cas en période à risque toxines lipophiles).

Ces seuils d'alerte sont déterminés à partir de l'analyse des données acquises antérieurement sur l'ensemble du littoral, et sont, si besoin, revus annuellement. Ils sont définis de façon suffisamment sécuritaire pour que les prélèvements de coquillages puissent être réalisés la semaine suivant l'observation du dépassement du seuil phytoplancton.

8.1.1 ESPECES PRODUCTRICES DE TOXINES LIPOPHILES (INCLUANT LES TOXINES DIARRHEIQUES)

Les seuils retenus pour déclencher des analyses chimiques pour les toxines lipophiles sont les suivants :

- pour toutes les espèces de *Dinophysis* : **dès présence** (avec l'exception suivante : pour les zones dans lesquelles des toxicités n'ont jamais été observées avec des concentrations < 500 cellules par litre, le seuil de 500 pourra être utilisé)
- pour les espèces suivantes, connues pour produire certaines toxines lipophiles : *Gonyaulax spinifera*, *Lingulodinium polyedra*, *Protoceratium reticulatum*, *Prorocentrum lima*, le seuil provisoirement retenu est de **10 000** cellules par litre⁴³

La surveillance des toxines lipophiles étant assurée de façon systématique en période à risque pour ces toxines, les seuils décrits ci-dessus sont sans objet dans les zones à risque toxines lipophiles pendant les périodes à risque.

8.1.2 ESPECES PRODUCTRICES DE TOXINES PARALYSANTES (DU GROUPE DE LA SAXITOXINE)

Les seuils retenus pour déclencher des bio-essais pour les toxines paralysantes (PSP) sont les suivants :

- pour *Alexandrium minutum* : **10 000** cellules par litre
- pour *Alexandrium catenella / tamarense* : **5000** cellules par litre, à l'exception de l'étang de Thau pour lequel le seuil est de **1000** cellules par litre

8.1.3 ESPECES PRODUCTRICES DE TOXINES AMNESIANTES (DU GROUPE DE L'ACIDE DOMOÏQUE)

Les seuils retenus pour déclencher des analyses chimiques pour les toxines amnésiantes (ASP) sont les suivants :

- pour *Pseudo-nitzschia* (groupe des fines) : **300 000** cellules par litre
- pour *Pseudo-nitzschia* (autres groupes) : **100 000** cellules par litre

8.1.4 ESPECES PRODUCTRICES DE Palytoxines

Le seuil retenu pour déclencher des analyses chimiques pour les palytoxines est le suivant :

- *Ostreopsis* : **4000** cellules par litre

8.1.5 AUTRES ESPECES TOXIQUES OU SUPPOSEES TOXIQUES

L'observation de concentrations supérieures à quelques centaines ou milliers de cellules par litre pour toute espèce douteuse⁴⁴, doit faire l'objet d'une procédure d'alerte atypique (cf. chapitre 9.1).

Dans le cas particulier d'espèces épi-benthiques telles qu'*Ostreopsis* ou *Prorocentrum lima*, il peut être nécessaire d'estimer la concentration de cellules phytoplanctoniques sur les supports sur lesquels ces cellules s'accumulent : macro-algues, sédiment, etc. Il convient dans ce cas de se référer au mode opératoire pour les modalités de prélèvement des espèces épi-benthiques (Grossel, décembre 2007).

8.2 SEUILS REGLEMENTAIRES POUR LES PHYCOTOXINES

Pour mémoire, les seuils de sécurité sanitaire définis dans les textes réglementaires communautaires pour les phycotoxines, sont :

- pour les toxines lipophiles :
 - AO+DTXs+PTXs : **160 µg** d'équivalent AO par kg de chair de coquillages
 - AZAs : **160 µg** d'équivalent AZA1 par kg de chair de coquillages
 - YTXs : **1000 µg** d'équivalent YTX par kg de chair de coquillage
- pour les toxines PSP du groupe de la saxitoxine : **800 µg** d'équivalent saxitoxine par kg de chair de coquillages
- pour les toxines ASP du groupe de l'acide domoïque : **20 mg** d'acide domoïque par kg de chair de coquillages

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Réseau d'Observation et de Surveillance du Phytoplancton et des Phycotoxines (REPHY)

<https://wwz.ifremer.fr/lerpc/Activites-et-Missions/Surveillance/REPHY>

Le réseau OSCREEN concerne la recherche du phytoplancton *Ostreopsis ovata*. Il n'a été opéré à ce jour par Ifremer qu'en 2011. Les images satellite de PREVIMER apportent également des informations (<https://marc.ifremer.fr>).

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

Services instructeurs (DDTM, DREAL)

RÉFÉRENCES

Amouroux I. et Claisse D., 2016. AQUAREF - Opérations d'échantillonnage en milieu marin dans le cadre des programmes de surveillance DCE (matrices : eau, sédiment et biote) - Recommandations techniques – Edition 2015. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00333/44380/>

Asconit consultants, 2013. Etat Initial du milieu marin sur les secteurs Espiguette, Sète et Frontignan. Campagnes été-automne-hiver-printemps 2012-2013. rapport final.

Ifremer, 2012. Cahier de procédures REPHY 2012 – 2013.

Ifremer, 2015. Test d'un indice de composition pigmentaire pour les secteurs Atlantique et Manche (DCE). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00254/36556/35101.pdf>

Ifremer, 2011. Définition de nouveaux indices de composition phytoplanctonique pour les masses d'eau de transition méditerranéennes dans le cadre de la DCE- Rapport final Partenariat 2010-2011 - Qualité des masses d'eau de transition - Développement et optimisation des indicateurs de qualité - Domaine Action 1

OSCREEN

http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Contamination_chimique



Bloom phytoplanctonique dans un port (© DDTM13)

FICHE P-16 : PAYSAGE (SOUS-MARIN INCLUS)

OBJECTIFS DU SUIVI

Evaluer l'effet du projet sur le paysage de l'aire d'études du projet.

RÉGLEMENTATION

- Convention européenne du paysage
- Réglementation liée à la protection des sites inscrits / classés
- Réglementation spécifique aux aires marines protégées

PARAMÈTRES APPRÉCIÉS

- Unités paysagères : il s'agit de préciser le nom géographique (rade, massif, baie, etc.). Une enquête toponymique auprès des usagers (pêcheurs, plongeurs, plaisanciers) peut être pertinente.
 - Motifs - éléments de paysage : il s'agit de préciser au niveau de l'unité paysagère les éléments de type tombants, grottes, rochers isolés, plage sableuse, faune et flore présentes...
 - Structures paysagères : ce paramètre relie les motifs et les unités paysagères. Y est précisé la nature des structures, le gradient de profondeur...
 - Sites remarquables : il peut s'agir d'un site de plongée, d'un haut fond prisé des pêcheurs, etc.
- L'ambiance sonore mesurée par les hydrophones peut compléter les autres paramètres.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : privilégier les jours où la pénétration lumineuse et la visibilité sont maximales.
- *Fréquence et durée du suivi* : état initial et suivi après travaux. S'il y a modification de l'habitat dans le temps ou si le projet est dans une zone proche d'un site remarquable, un suivi de 10 ans après travaux peut être nécessaire.
- *Choix des stations de suivi* : une image globale de l'aire d'études est nécessaire à l'échelle macro. Au niveau micro, les sites remarquables doivent être privilégiés.

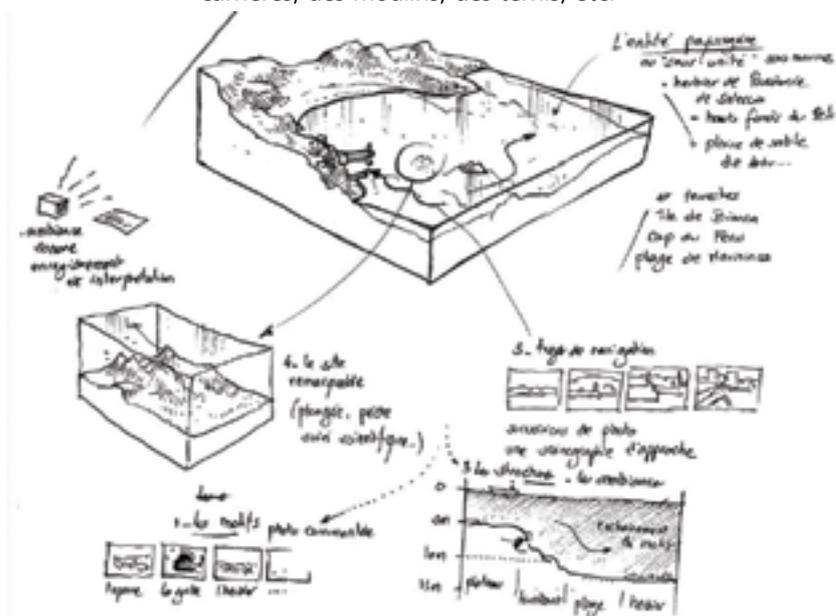
PROTOCOLE ET ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

- Récolter les éléments bibliographiques (carte SHOM, DONIA, observatoire vu de la mer) pour établir une cartographie précise.
- Rencontre des usagers (pêcheurs et plongeurs) pour préciser les sites remarquables et unités paysagères.
- Protocole terrain : en surface / sous l'eau, navigation / plongée sur zone avec prise de photos / croquis. Une première plongée permet de s'imprégner du site et de réaliser une maquette. Celle-ci est complétée par le point de vue des usagers. Une deuxième plongée permet de finaliser le rendu. La photogrammétrie peut également être une méthode utile pour rendre compte des paysages sous-marins.

Le rendu se fait communément sous format de bloc diagramme, qui permet une représentation 3D.

EXPLOITATION DES DONNÉES

Le paysage doit être comparé à l'état initial. Le paysage peut être apprécié in situ (observé en plongée) ou in visu (photos – vidéos). Les 2 éléments touchent des publics différents. Par ailleurs, l'analyse doit être réalisée de manière prospective. Les enjeux paysagers peuvent être faibles à un moment donné, mais la perception d'un élément paysager évolue avec le temps comme le prouvent l'exemple des carrières, des moulins, des terrils, etc.



Exemple de bloc diagramme (Alain Freyret)

COÛT

De 10 à 30 000 € en fonction de l'ampleur du projet pour une étude paysagère sous-marine comprenant les mesures terrain, l'analyse et le rendu du rapport.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Un indice paysager a été mis en place en 2011 par le CPIE et l'AERM&C dans le cadre du programme Medobs-Sub.

Le lien entre la biodiversité et l'esthétique du récif coralligène permet de donner des scores esthétiques disponibles pour une centaine de sites de coralligène dans le cadre du projet Mer-Veille. Des paysages suivis à long terme sont également disponibles. Consulter medtrix.fr.

ORGANISMES RESSOURCES

Agence française pour la biodiversité
Unité sites et paysage des DREAL
Parc national de Port Cros
Université de Montpellier

RÉFÉRENCES

MEDOBS-SUB : http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=medobs_sub
Observatoire photographique du paysage littoral vu de la mer

http://www.arpe-paca.org/environnement/observatoire-photographique-du-paysage-littoral-vu-depuis-la-mer-opplm_i5865.html

Atlas départementaux de paysages

<http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/atlas-de-paysages-r179.html>

Freytet A., 2013. Les paysages du Conservatoire du Littoral : de la reconnaissance au projet.

Edition : Paris – Conservatoire du littoral, 2013.

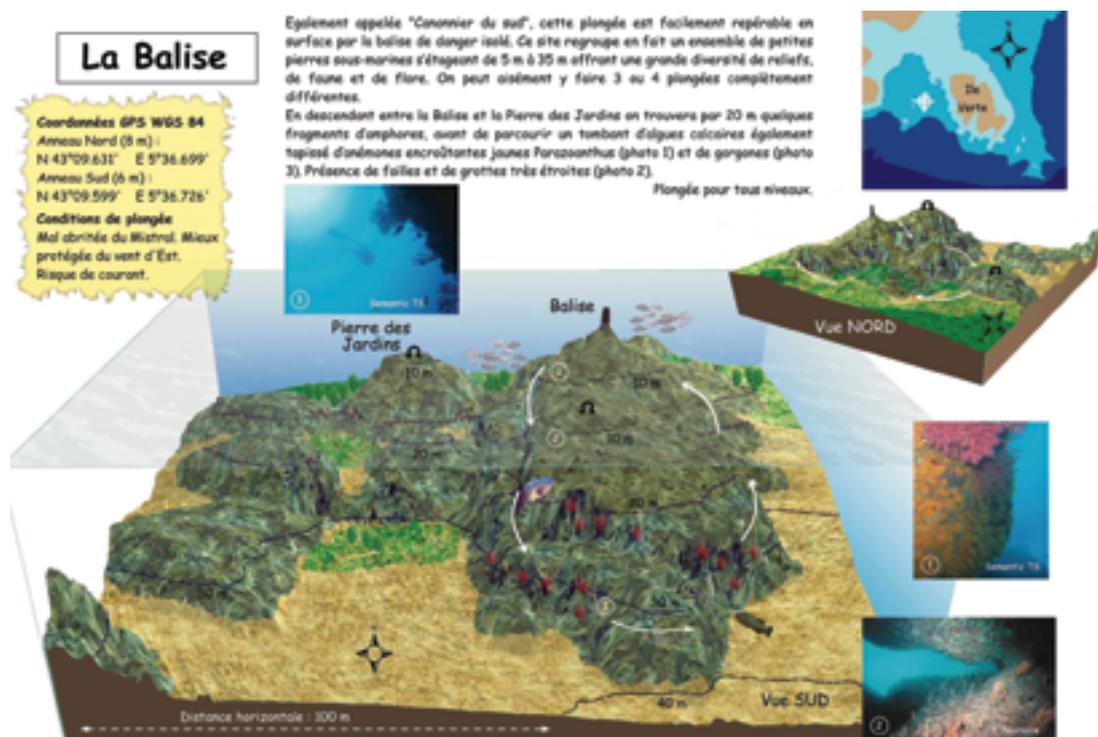
http://www.side.developpement-durable.gouv.fr/EXPLOITATION/DRACAL/doc/IFD/IFD_REFDOC_0520425

AAMP, 2011. Colloque sur les paysages sous marins.

<http://www.aires-marines.fr/Connaitre/Paysages-sous-marins>

Projet Mer-Veille : http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=MER_VEILLE

Tribot A.-S., Mouquet N., Villéger S., Raymond M., Hoff F., Boissery P., Holon F. and Deter J., 2016. Taxonomic and functional diversity increase the aesthetic value of coralligenous reefs. Scientific reports | 6:34229 | DOI: 10.1038/sre <https://www.nature.com/articles/srep34229>



FICHE P-17 : DÉCHETS POSES SUR LE FOND

OBJECTIFS

Évaluer l'impact du projet sur le niveau de présence des macro-déchets posés sur le fond

La liste des catégories et des intitulés à utiliser est celle de l'annexe 5.1 du document « Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas » et le document « A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring » (cf. références).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI GÉNÈRENT POTENTIELLEMENT DES DÉCHETS POSES AU FOND

Emissaires – rejets en mer, le mouillage et zones de mouillage et d'équipements légers et les manifestations nautiques

Il est complexe de déterminer la source des déchets. 80 % des déchets en mer sont issus du bassin versant. L'ensemble des projets d'activités et aménagements peuvent en cas d'accident générer des déchets en phase travaux.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA HOULE

- Habitats : herbiers de posidonies, coralligène, substrat dur à algues photophiles, substrat meuble
- Espèces : zostère, cymodocée, grande nacre

RÉGLEMENTATION

/

PARAMÈTRES MESURÉS

- Typologie des différents déchets et les informations concernant : densité et taille des déchets observés.
- En parallèle noter la présence de faune et flore benthiques.

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : temps calme. Éviter les lendemains d'inondations, et tempête afin d'obtenir des résultats en condition normale
- *Fréquence* : une campagne avant travaux (état zéro), pendant les travaux et après travaux
- *Durée du suivi* : le suivi est opportuniste et peut se faire en corrélation avec d'autres

campagnes de plongée.

- *Choix des stations de prélèvement* : il n'y a pas de prélèvement, mais des observations menées à partir d'un navire. Le transect étudié doit être proche de la zone du projet et susceptible de recevoir des déchets (ex : à la sortie d'un émissaire ou exutoire d'orage).

PROTOCOLE

- *Suivi par plongée* : transect de longueur 20 – 200 m (marqués tous les 5 m dépendant de la densité de déchets, de la turbidité) et de largeur 4 m.
- *Suivi par chalutage* : lors des campagnes d'évaluation des stocks de poissons démersaux. Récolte des déchets sur le fond par chalutage où le début du leg se fait durant la phase de filage et la fin du leg se fait au virage de l'engin. Chalut de type GOC 73.
- *Suivi par imagerie vidéo* : à grande profondeur où la plongée est impossible.

L'unité utilisée est le nombre de déchets observés / km² classé par type de déchets. La position des déchets doit être notée.

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les déchets déposés sur le fond sont observés mais ne sont pas collectés. La position des déchets se fait par imagerie vidéo.

Dans le cas où une collecte serait menée par chalutage, l'analyse serait la même que pour les déchets présents sur les plages, c'est à dire les déchets sont collectés, comptabilisés, catégorisés, mesurés (taille) et pesés.

EXPLOITATION DES DONNÉES

Les données (Identification des zones de hot spot et en parallèle les zones les moins impactées. Essayer d'identifier les sources de ces déchets) peuvent être corrélées avec le suivi benthique mené en parallèle. La présence de déchets posés sur le fond peut perturber les habitats (diminution de la lumière incidente, emprisonnement des espèces, etc.).

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il existe un réseau structuré de suivi des déchets déposés sur le fonds basé sur la collecte annuelle d'information d'abondance.

- Campagnes annuelles du programme de chalutage MEDITS : présence de déchets dans les zones chalutables (maille de 30 mm)
- Campagnes à l'aide du submersibles (type ROV) MEDSEACAN/CORSEACN (AAMP) en 2009 et 2010
- Campagnes Ifremer pour les plus grandes profondeurs, notamment la campagne RAMOGE en 2015 et 2018 : exploration à 450 m de profondeur puis entre 2 000 et 3 000 m de profondeur. Observation des zones d'accumulation de macrodéchets.

COÛTS

Le coût principal est lié à l'utilisation de navires embarqués et de plongeurs. Le suivi des déchets déposé sur le fonds doit être corrélé avec d'autres suivis terrain afin de ne pas engendrer un surcoût supplémentaire. Le coût varie également en fonction de la participation de bénévoles pour le ramassage des déchets.

L'imagerie vidéo est beaucoup plus coûteuse et non pertinente à l'échelle d'un projet (à moins d'être mutualisée avec d'autres suivis biologiques). L'acquisition des données par chalutage se fait sur une approche opportuniste pour limiter les coûts. Elle utilise les programmes annuels de surveillance des stocks de poissons démersaux entrepris dans le cadre des enquêtes internationales par chalutage de fond pour fournir des informations sur la quantité et la composition des déchets de fond..

ORGANISME RESSOURCE

Ifremer



RÉFÉRENCES

DIRM Med, 2015. Plan d'actions pour le milieu marin sous région marine Méditerranée Occidentale. Programme de surveillance. P 353 – 355.

European Union, 2013. Guidance on monitoring of Marine Litter in European Seas. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Framework Directive. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. (p 56 à 66) <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/lb-na-26113-en-n.pdf>

<http://campagnes.flotteoceanographique.fr/campagnes/15006300/fr/>

European Union, 2021. A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring. Manual for the application of the classification system. <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/202103260511.pdf>

Rapport IFREMER & CEDRE, 2018. Évaluation du descripteur 10 « Déchets marins » en France métropolitaine.

Rapport scientifique pour l'évaluation 2018 au titre de la DCSMM.



A gauche - Pneus (© Semantic TS)

A droite en haut - Déchets plastiques (© Fabrice Javel-Suez Consulting)



FICHE P-18 : DÉCHETS POSÉS SUR LA PLAGE

OBJECTIFS

Évaluer l'impact du projet sur le niveau de présence des déchets sur les plages

La liste des catégories et des intitulés à utiliser est celle de l'annexe 8.1 du document « Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas », pages 117 à 123. Une traduction est disponible dans l'annexe 2 du document RAMOGE de 2013 (voir références).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI GÈNERENT POTENTIELLEMENT DES DÉCHETS POSÉS SUR LA PLAGE

Emissaire - rejet en mer, mouillage, zone de mouillage et d'équipements légers, établissements balnéaires autorisés dans les concessions de plage

Il est complexe de déterminer la source des déchets. 80 % des déchets en mer sont issus du bassin versant. L'ensemble des projets d'activités et aménagements peuvent en cas d'accident générer des déchets en phase travaux.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES À UNE MODIFICATION DE LA HOULE

Habitats : substrat meuble

RÈGLEMENTATION

- Compétence du maire en termes de salubrité publique
- Obligation du concessionnaire de plages d'assurer l'entretien et le nettoyage des plages

PARAMÈTRES MESURÉS

- Typologie des différents déchets et les informations concernant : nombre de déchets présents (paramètre mesuré dans le cadre de la DCSMM), poids, volume, densité.
- A corrélérer avec les données climatologiques (pluie, vent)

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : Temps calme. Éviter les journées de mistral, lendemains d'inondations, et tempête afin d'obtenir des résultats en

condition normale.

- *Fréquence* : une campagne avant travaux (état zéro), pendant les travaux et après travaux
- *Durée du suivi* : au minimum 4 relevés par an (1 par saison). Si plusieurs plages sont suivies, les campagnes doivent se faire au même moment. Une campagne dure au maximum 1/2 journée.
- *Choix des stations de prélèvement* : plages proches dans l'aire d'études du projet. Il peut y avoir un ou plusieurs sites.

Les transects doivent avoir un linéaire minimum de 100 m. La pente doit être faible à modérée (15° à 45°). Par ailleurs, il faut un accès libre à la mer (non bloqué par des brise-lames ou des débarcadères) afin que les déchets marins ne soient pas retenus par des structures artificielles. Le site doit être accessible toute l'année par les équipes de relevé des déchets. Idéalement, le site ne doit pas être un lieu où d'autres ramassages sont effectués, cependant les zones choisies sont souvent touristiques et très fréquentées par le public toute l'année. Dans ce cas, la durée de non-nettoyage avant le relevé effectué sur ces sites est connue. Le choix du transect doit être justifié, la présence de déchets marins étant fortement liée au vent, aux courants marins et l'exposition de la plage.

PROTOCOLE

Le suivi des déchets se fait par observation visuelle des agents sur le terrain et le ramassage effectué en faisant un « râteau » en longeant la mer. Chaque participant assure le ramassage des déchets présents devant lui et sur une largeur d'environ deux mètres. Il n'y a pas de taille maximale pour les objets échoués. La taille minimale à prendre en compte est de 0.5 cm.

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les sacs contenant les déchets sont vidés et les déchets triés et comptés en fonction du protocole choisi (DCSMM, local, etc.). Les déchets ramassés doivent ensuite être pris en charge par les collectivités locales concernées.

Tous les objets trouvés sont notés sur les fiches de relevé, chaque objet a un numéro d'identification unique. L'objectif est d'analyser la source des

déchets présents sur la plage et savoir si certains déchets sont liés à la mise en place du projet. Fréquentation touristique et données climatologiques peuvent être corrélées.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

- ODEMA : Observatoire des Déchets En Milieux Aquatiques - <http://www.resodema.org/analyses-des-resultats.php>
- Agence européenne de l'environnement : http://www.eea.europa.eu/themes/coast_sea/marine-litterwatch/data-and-results/marine-litterwatch-data-viewer-1
- Base de données surveillance DCSMM : Cedre

COÛT

Coût de l'échantillonnage d'une plage (1 km), analyse des données compris : 1 000 €. Le coût varie en fonction de la participation de bénévoles pour le ramassage des déchets.

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

CEDRE

Associations (Mer Terre / Surfrider)

RÉFÉRENCES

DIRM Med, 2015. Plan d'actions pour le milieu marin sous région marine Méditerranée Occidentale. Programme de surveillance. P 346 -349.

European Union, 2013. Guidance on monitoring of Marine Litter in European Seas. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Framework Directive. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. (p 38 à 46) <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/lb-na-26113-en-n.pdf>

RAMOGE, 2014. Bilan des relevés « déchets marins sur les plages » en France dans le cadre de la DCSMM pour l'accord RAMOGE. http://www.ramoge.org/Documents/BilanDCSMM_Relev%C3%A9s_02.pdf

Galgani F., Poitou I. et Colasse L., 2013. Une mer propre, mission impossible ? 70 clés pour comprendre les déchets en mer. Ed. Quae. Isbn : 9782759220311



Déchets posés sur les plages
(© Fabrice Javel-Suez Consulting)

FICHE P-19 : DÉCHETS FLOTTANTS

OBJECTIFS

Évaluer l'impact du projet sur le niveau de présence des macrodéchets flottants

La liste des catégories et des intitulés de déchets à utiliser est celle de l'annexe 8 du document « Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas » et le document « A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring » (cf. références).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI GÉNÈRENT POTENTIELLEMENT DES DÉCHETS FLOTTANTS

Emissaire – rejet en mer, mouillage, zone de mouillage et d'équipements légers, établissements balnéaires autorisés dans les concessions de plage

Il est complexe de déterminer la source des déchets. 80 % des déchets en mer sont issus du bassin versant. L'ensemble des projets d'activités et aménagements peuvent en cas d'accident générer des déchets en phase travaux.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES

- Habitats : substrat dur à algues photophiles
- Espèces : poissons, mammifères marins, tortues marines et oiseaux marins.

RÉGLEMENTATION

Hauteur du point d'observation où sont observés les déchets flottants	Vitesse du navire : 2 nœuds	Vitesse du navire : 6 nœuds	Vitesse du navire : 10 nœuds
1 m	6	4	3
3 m	8	6	4
6 m	10	8	6
10 m	15	10	5

Le choix du transect doit être justifié, la présence de déchets marins étant fortement liée au vent, aux courants marins et activités anthropiques autour.

PROTOCOLE

Observations humaines à partir d'un navire. Transect d'1 h maximum par observateur sur quelques kms. Report des informations sur papier ou tablette. L'unité utilisée est le nombre de déchets observés par km², par type de déchets. La position GPS et la force du vent doivent être notés.

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Les déchets flottants sont observés à partir d'un navire et ne sont pas collectés. Dans le cas où une collecte serait menée, l'analyse serait la même

PARAMÈTRES MESURÉS

- Typologie des différents déchets et les informations concernant : taille des déchets (différentes classes : 2,5 – 5 cm / 5 – 10 cm / 10 – 20 cm / 20 – 30 cm / 30 – 50 cm) et densité des déchets observés à l'œil nu
- Catégories/matières des déchets : identification des sources
- Enregistrer les conditions environnementales en parallèle (vent, état de la mer, visibilité...)

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : temps calme. Eviter les journées de mistral, lendemains d'inondations, et de tempête afin d'obtenir des résultats en condition normale.
- *Fréquence* : une campagne avant travaux (état zéro), pendant les travaux et après travaux.
- *Durée du suivi* : le suivi peut se faire en corrélation avec d'autres campagnes terrain (suivi biologique, etc.).
- *Choix des stations de prélèvement* : il n'y a pas de prélèvement imposé, mais des observations menées à partir d'un navire.

L'aire d'observation dépend du point d'observation. Des transects doivent être menés à partir des navires. Un couloir de 10 m de diamètre peut être proposé, mais cela dépend de la hauteur où l'observation est réalisée et la vitesse du navire.

que pour les déchets présents sur les plages. Les résultats doivent être corrélés avec les données environnementales (courant, vent) et la présence d'activités / aménagements côtiers. Les tortues, poissons, oiseaux et mammifères sont susceptibles d'ingérer un certain nombre de déchets flottants.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il existe un réseau de suivi des déchets flottants mis en oeuvre dans le cadre de la DCSMM. Ce réseau est opéré lors des campagnes halieutiques de l'Ifremer par l'UMS Pelagis, campagne PELMED (PELagiques

MEDiterranée), menée par le Laboratoire Ressources Halieutiques de la station Ifremer de Sète et par le CEFE en Méditerranée.

Par ailleurs, des données sont collectées dans le cadre des observations effectuées lors des campagnes annuelles MEDOBS menées par l'AERM&C et moins régulièrement lors des campagnes SAMM (Suivi Aérien de la Mégafaune Marine) du programme PACOMM du ministère de l'environnement (déchets flottants > 30 cm). L'observatoire citoyen des usages et pressions en mer donne également des informations sur les macro déchets.

COÛT

Le coût principal est lié à l'utilisation de navires embarqués. Le suivi des déchets peut être corrélé avec d'autres suivis terrain pour éviter un surcoût supplémentaire. Le coût varie également en fonction de la participation de bénévoles pour le ramassage des déchets. En matériel, une tablette est nécessaire.

Exemple de coût global : Temps agent pour un observateur (nombre de jours d'embarquement) + 1 000 € de matériel si observations opportunistes (sorties bateaux programmées par ailleurs).

D'autres méthodes telles que le suivi aérien ou par imagerie vidéo sont beaucoup plus coûteuses et non pertinentes à l'échelle d'un projet. L'utilisation des drones est prometteuse (diminution les coûts).

ORGANISME RESSOURCE

Ifremer, UMS Pelagis, Association EcoOcean, Association Participe Futur

RÉFÉRENCES

DIRM Med, 2015. Plan d'actions pour le milieu marin sous région marine Méditerranée Occidentale. Programme de surveillance. P 350 -352.

European Union, 2013. Guidance on monitoring of Marine Litter in European Seas. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine Framework Directive. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. (p 47 à 55) <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/lb-na-26113-en-n.pdf>

European Union, 2021. A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring. Manual for the application of the classification system. <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/202103260511.pdf>

PACOMM – Campagnes aériennes SAMM (Suivi Aérien de la Mégafaune Marine) – France métropolitaine – 2011/2014 [http://sextant.ifremer.fr/record/a436c152-b4ba-41ee-9890-e32204cd5c65/Observatoire citoyen des usages et pressions en mer](http://sextant.ifremer.fr/record/a436c152-b4ba-41ee-9890-e32204cd5c65/Observatoire%20citoyen%20des%20usages%20et%20pressions%20en%20mer) : http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=medobs_sub
Suivi MEDOBS : www.medtrix.fr

FICHE P-20 : MICRO-PARTICULES

OBJECTIFS

Évaluer l'impact du projet sur le niveau de présence des microparticules

On entend par microparticules les déchets compris entre 20 µm et 5 mm (et jusque 300 µm dans le cadre de la DCSMM). Les micro plastiques sont la partie la plus importante retrouvée dans les microparticules. Ils peuvent se retrouver en surface dans la colonne d'eau, la plage, les sédiments et le biote. La liste des catégories et des intitulés de déchets à utiliser est celle de l'annexe 8 du document « Guidance on Monitoring of Marine Litter in European Seas » et le document « A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring » (cf. références).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS QUI GÉNÈRENT POTENTIELLEMENT DES MICRO-PARTICULES

Emissaire – rejet en mer

Il est complexe de déterminer la source des déchets. 80 % des déchets en mer sont issus du bassin versant. L'ensemble des projets d'activités et aménagements peuvent en cas d'accident générer des déchets en phase travaux.

ESPÈCES ET HABITATS POTENTIELLEMENT SENSIBLES AUX MICRO PARTICULES

- Habitats : /
- Espèces : tous les animaux filtreurs et plus particulièrement la grande nacre, les poissons et mammifères marins et tortues marines

RÉGLEMENTATION

/

PARAMÈTRES MESURÉS

Typologie des différents déchets et les informations concernant : densité et taille, type, forme et couleur des microplastiques observées.

STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : temps calme. Eviter les lendemains d'inondations et tempête afin d'obtenir des résultats en condition normale.
- *Fréquence* : surface : durée de 20 min par

transect.

- *Durée du suivi* : avant, pendant et après travaux.
- *Choix des stations de prélèvement* : le transect de la zone étudiée doit être proche de la zone du projet et susceptible de recevoir des microparticules (ex : à la sortie d'un émissaire ou exutoire d'orage).

PROTOCOLE

- *Surface* : à bord de navires embarqués, collecte des micro plastiques avec l'utilisation de filets de surface (de type Manta, bongo, etc.) de maille comprise entre 20 µm et 5 mm. Utilisation de CTR (Continuous Plankton Recorder) tracté réservé pour les mesures au large (> 10 m de profondeur).
- *Sédiments* : échantillons pris sur une surface non perturbée. Utilisation de bennes type Van Veen et/ou Ekman.
- *Biote* : il n'y a pas de recommandations concernant les espèces indicatrices clés à reporter. Pour les protocoles concernant les poissons, oiseaux et invertébrés, se reporter pages 68 – 94 du document référence de l'union européenne. Beaucoup de protocoles sont encore en expérimentation.
- *Sur la plage* : collecte de 5 échantillons de sable de surface (jusque 5 cm de profondeur) représentatifs de la plage (séparés d'au moins 5 m).

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

- *Surface* : les échantillons récupérés peuvent être triés pour les plus grossiers à l'œil nu puis microscope. La méthode la plus fiable pour les échantillons < 100 µm est basée sur la spectrophotométrie infra rouge (FT-IR) de manière à connaître les familles de micro-plastiques marins dominantes. L'unité de mesure sera le nombre d'éléments par m² ou ha.
- *Sédiments* : séparer les micro plastiques du sédiment par une solution de chlorure de sodium. Puis analyse visu, microscope et par FT-IR. L'unité de mesure sera le nombre d'éléments / g de sédiment collecté.
- *Biote* : l'unité de mesure sera le nombre

d'éléments / individu collecté.

- *Sur la plage* : l'analyse pourra se faire à l'œil nu / microscope / FT-IR. L'unité de mesure sera le nombre d'éléments / ml de sédiment collecté.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Pas de seuils existants

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

- Le programme de surveillance de la DCSMM MICROPLASTIQUES opéré par Ifremer donne des informations sur la densité de microplastiques / ha en mer.
- Le suivi des polluants (dont microplastiques) ingérés par les oiseaux marins se fait via le réseau ROMPOM.
- Certaines campagnes sont menées par des laboratoires de recherche dont IFREMER ou par des associations.

COÛT

Le coût principal est la mise à disposition de navires embarqués, le matériel (filet Manta, matériel de conditionnement, microscope pour environ 5 000 €) et le temps de comptage (2 à 10 échantillons par jour) au microscope. L'achat d'un spectrophotométrie infra rouge (FT-IR) en vue d'analyses plus sophistiquées n'est pas recommandé en dehors des programmes de recherche.

ORGANISME RESSOURCE

Ifremer

RÉFÉRENCES

Borghesi F., 2016. Developing sampling protocols for biomonitoring contaminants in Mediterranean seabirds. http://medtrix.fr/index.php/view/media/getMedia?repository=rep1&project=rompom&path=/media/Medmaravis-FBorghesi_2016_Contaminants_Seabirds_Developing%20protocols.pdf

DIRM Med, 2015. Plan d'actions pour le milieu marin sous région marine Méditerranée Occidentale. Programme de surveillance. P 356 -358.

European Union, 2013. Guidance on monitoring of Marine Litter in European Seas. A guidance document within the Common Implementation Strategy for the Marine

Framework Directive. MSFD Technical Subgroup on Marine Litter. (p 94 à 112) <https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/lb-na-26113-en-n.pdf>
European Union, 2021. A Joint List of Litter Categories for Marine Macrolitter Monitoring. Manual for the application of the classification system. <https://mcc.jrc.ec.europa.eu/documents/202103260511.pdf>



Microplastiques collectés en surface
(© François Galgani, Ifremer)

Campagnes menées par les laboratoires de recherche :

Ifremer, campagne suchi med <https://wwwz.ifremer.fr/littoral/Laboratoires-Environnement-Ressources/LER-Provence-Azur-Corse-La-Seyne-sur-Mer-Bastia/Actualites/Campagne-SUCHI-Med>
Campagne PELMED
<https://campagnes.flotteoceanographique.fr/series/19/fr/>

Campagnes menées par les associations :

<http://www.expeditionmed.eu>
<http://oceans.taraexpeditions.org/m/qui-est-tara/les-expeditions/tara-mediterranee/>
Réseau MICRO PLASTIQUES
http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Contamination_chimique

FICHE EH-1 : HABITAT HERBIERS DE POSIDONIES

OBJECTIFS DU SUIVI

- Évaluer l'impact du projet sur l'herbier de posidonie
- Évaluer l'impact du projet sur les différentes fonctionnalités de l'habitat herbier de posidonie

L'herbier de posidonie est protégé en tant qu'espèce. Depuis peu, des méthodes de suivi se développent pour caractériser les différentes fonctionnalités de l'habitat herbier de posidonie. Ce type de suivi est particulièrement adapté pour des projets de taille conséquente ou à forts enjeux environnementaux.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HERBIER DE POSIDONIE

Altération mécanique (frottements, écrasements, chocs et arrachages), houle / vagues, courant, stocks sédimentaires, topo-bathymétrie, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, flux à la mer (apport eau douce), espèces introduites, bruits générés par l'homme et explosions (dynamite, pétardages).

L'herbier de posidonie (hors impact direct lié à l'arrachage ou à l'enfouissement) est sensible à ces pressions : matières en suspension (Manzanera et al, 1998), bruit (Solé et al., 2021), ombrage par les bateaux et pontons (Ruiz et Romero, 2001) et lumière (Ruiz et Romero, 2003). Les modifications hydro-sédimentaires liées à un aménagement / usage sont donc à étudier en amont en priorité.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'HABITAT EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activités / aménagements

RÉGLEMENTATION

Réglementation	Remarques
Arrêté ministériel du 19 juillet 1988	Il est interdit « de détruire, de colporter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter tout ou partie » de la plante
Directive Habitats Faune et Flore du 21 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE)	Annexe 1. Habitat d'intérêt communautaire de type prioritaire

Convention de Berne du 19 septembre 1979	Annexe 1 de la convention
Convention de Barcelone de 1976 – révisée en 1995	Annexe 2. Protocole relatif à la conservation des aires spécialement protégées – Décembre 2002

PARAMÈTRES MESURÉS

Suivi de l'« herbier de posidonie »

- Répartition de l'herbier de posidonie (approche surfacique et linéaire)
- État de vitalité de l'herbier de posidonie (approche ponctuelle) : cela peut concerner le recouvrement, la densité de faisceaux, la longueur maximale des feuilles, le nombre moyen de feuilles par faisceau, le déchaussement des rhizomes, la compacité de la matte, etc.

Parmi ces paramètres, le recouvrement, la densité de faisceaux, l'épiphytisme (longueur des feuilles) et le déchaussement sont les paramètres les plus pertinents à suivre pour comprendre l'état de vitalité de la posidonie dans le cadre d'un projet.

Pour plus de précisions, se référer au guide CartOcean (Noël et al, 2012).

Suivi de l'habitat herbiers de posidonies

Différents compartiments sont à suivre pour caractériser la fonctionnalité de l'habitat (EBQI, Personnic et al. 2014) :

- Suivi de la densité de l'herbier, du recouvrement et du taux de broutage
- Croissance de la posidonie (lepidochronologie)
- Dénombrement des grandes nacres et des macroinvertébrés par compartiments (détritviores, brouteurs, carnivores, etc.)
- Dénombrement des poissons présents dans l'herbier (brouteurs, invertivores, piscivores)

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est le printemps.
- *Fréquence* : Point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- *Choix des stations de mesure* : principalement à proximité immédiate de la zone du projet. Eventuellement au cœur du projet si le projet se situe sur l'herbier (ce qui est normalement exclu et ne peut être qu'exceptionnel). Si l'herbier est

suffisamment éloigné, un suivi au niveau de ses limites supérieures et inférieures est suffisant. La profondeur intermédiaire (15 m) est également quelquefois suivie.

- *Durée du suivi* : Pour les aménagements : T0 et T+0.5 +1 +3 +5 +10 ans. Pour les activités : T0 et T+1 +3 +5 +10 +15 ans (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).

PROTOCOLE TERRAIN, ANALYSE ET COÛTS ASSOCIÉS

Protocole suivi espèces : Dans le cadre d'un suivi de l'herbier au niveau d'une digue portuaire ou aux abords d'une zone de rechargement de plage, il est pertinent de suivre l'évolution de la limite supérieure et l'état de vitalité à proximité immédiate de la limite supérieure : recouvrement (30 répliqués), densité (20 répliqués), suivi du déchaussement ou de l'ensablement à la limite de l'herbier et au sein de l'herbier.

Coûts associés au suivi surfacique : consulter le rapport Noël et al (2012) pour plus de détails.

- Lever par drone aérien (1 000 – 1 500 €/ km²) -> si très petits fonds (visible depuis la surface) ;
- Lever au sonar latéral de coque (avec Méthode de monitoring RTK - contient DIVA) (1 200 - 2 000 €/ km²) -> si profond (pas visible depuis la surface) ;
- Lever sonar latéral tracté (2 000 – 3 000 €/ km²) -> si très profond ;
- Lever linéaire SACLAF DIVA (présence / absence de posidonies) : permet de traiter des petites zones ou de réduire les besoins en vérité terrain (40 €/km).

En général la méthode monitoring RTK est la plus adaptée car elle permet de lever depuis les très petits fonds jusqu'à 40 m, et a été spécifiquement développée pour ce besoin de connaissance. Elle diminue les besoins en vérité terrain.

Coûts associés au suivi ponctuel : une plongée permet de faire quelques stations (dépend de la profondeur) et coûte environ 1 000 € la plongée. Il est souvent nécessaire de faire plusieurs plongées. Pour une journée, compter 2 plongées avec 3 plongeurs : environ 2 000 €.

Protocole suivi habitats : les mesures se font à

15 m de profondeur environ. 4 plongeurs se répartissent les différents compartiments à suivre, sur 2 plongées. Ces protocoles sont adaptés en complément des suivis espèces aux projets de grande ampleur (énergies marines, récifs, etc.) ou à fort enjeux environnementaux. Cela nécessite 2 plongées à 4 plongeurs, soit un coût de 3 000 €, traitement des données. Consulter la publication Personnic et al (2014) pour plus de détails.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Sédimentation / matières en suspension et lumière (Manzanera et al, 1998, Ruiz et Romero, 2003, Erftmeijer et al, 2006, 2012) NB : Quelle que soit la profondeur, toute réduction de la luminosité (ombrage par bateaux et cages aquacole) a un impact fort et durable sur la densité des faisceaux (Ruiz et Romero, 2001).

Seuils d'alerte	Luminosité (% de RS - Radiation à la surface)	Concentration de MES (mg/L)	Sédimentation
<i>Posidonia oceanica</i>	Sub-létal : 4,4 - 16,7 % RS Létal : 4,4 % RS Moyenne glissante sur 60 jours	n.a.	Létal : 50 mm / an Sub-létal : 40 mm / an En cumulé, sur un an

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Pressions physiques : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf

RÉSEAUX DE SUIVIS EXISTANTS

- *Réseau Surveillance de la Posidonie* : suivi des limites inférieures et supérieures de l'herbier de posidonie entre 1982 et 2002. (Boudouresque et al., 2000). Données disponibles auprès du GIS Posidonie ;
- *Réseau Surfstat* : créé en 2013, le réseau SURFSTAT s'intègre dans le volet biologie du réseau DCE. Il a pour principal objectif d'apprécier par une approche statistique

l'hétérogénéité écologique des fonds sous-marins dans l'espace et le temps entre 0 et 80 m de profondeur sur le littoral méditerranéen français. Indicateurs surfaciques (= spatiaux) de la qualité des eaux côtières à partir de ces cartographies des habitats marins. Données disponibles sur medtrix.fr ;

- *Réseau Tempo* : c'est le réseau de suivi micro surfacique de l'herbier de posidonie en limite inférieure. Depuis 2014 un autre objectif a été ajouté au réseau TEMPO : caractériser l'état de vitalité des herbiers de *Posidonia oceanica* via différents indicateurs : PREI (Gobert et al, 2009) et BIPO (Lopez y Royo et al, 2010) indicateurs espèce et l'EBQI (Personnic et al, 2014) indicateur habitat. Données et détails des indicateurs disponibles sur medtrix.fr.

ORGANISMES RESSOURCE

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)
Université de Nice
Universita di Corsica Pasquale Paoli

RÉFÉRENCES

Blouet S., Lenfant P., Dupuy de la Grandrive R., Laffon J.-F., Chéré E., Courp T., Gruselle M.-C., Ferrari B. et Payrot J., 2011. Mise en cohérence des méthodes de suivis des herbiers de posidonies des sites Natura 2000 marins du Languedoc-Roussillon. Rapport ADENA-CNRS/EPHE/UPVD/CEFREM-CG66-AAMP,Fr 48p.

Boudouresque C.F. et Jeudy de Grissac A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée : les interactions entre la plante et le sédiment. *J. Rech. Océanogr.*, 8 (2-3) : 99-122.

BOUDOURESQUE C.F., CHARBONNEL E., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., CADIOU G., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., RICO-RAIMONDINO V., 2000. A monitoring network based on the seagrass *Posidonia oceanica* in the northwestern Mediterranean Sea. *Biol. mar. mediterr.*, 7 (2) 328-331.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S. et Tunesi L., 2006. Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. RAMOGE publ. : 1-202. ISBN : 2-905540-30-3.

http://www.ramoge.org/Documents/documents%20ramoge/Posidonia_ramoge.pdf

Boudouresque C.F., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Thibaut T. et Verlaque M., 2015. The necromass of the *Posidonia oceanica* seagrass meadow : fate, role, ecosystem services and vulnerability. *Hydrobiologia*. 781 (1) : 25-42. DOI : 10.1007/s10750-015-2333-y.

BOUDOURESQUE C.F., BLANFUNÉ A., PERGENT G., THIBAUT, T., 2021. Restoration of seagrass meadows in the Mediterranean Sea: a critical review of effectiveness and ethical issues. *Water*, 13 (1034) : 1-35.

Charbonnel E. et Boudouresque C.F., 2002. Le Réseau de Surveillance Posidonies à l'aube de ses 20 ans. <http://www.mio.univ-amu.fr/gisposidonie/>

Deter J., Lozuponea X., Inacio A., Boissery P. et Holon F., 2017. Boat anchoring pressure on coastal seabed: Quantification and bias estimation using AIS data. *Marine Pollution Bulletin* 123, 175-181.

Erftemeijer P.L.A. et Lewis R.R., 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1553-1572.

Erftemeijer P. L.A., Riegl B., Hoeksema B.W. et Todd P.A., 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals : A review. *Marine Pollution Bulletin* 64, 1737-1765.

Giakoumi S., Halpern B.S., Michel L.N., Gobert S., Sini M., Boudouresque C.F., Gambi M.C., Katsanevakis S., Lejeune P., Montefalcone M., Pergent G., Pergent-Martini C., Sanchez-Jerez P., Velimirov B., Vizzini S., Abadie A., Coll M., Guidetti P., Micheli F. et Possingham H.P., 2015. Towards a framework for assessment and management of cumulative human impacts on marine food webs. *Conservation Biology*, 29 (4) : 1228 – 1234. DOI : 10.1111/cobi.12468.

Gobert S., Sartoretto S., Rico-Raimondino V., Andral B. et Chery A., Lejeune P., Boissery P., 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin* 58, 1727-1733.

Holon F., Mouquet N., Boissery P., Bouchoucha M., Delaruelle G., Tribot A.-S. et Deter J., 2015. Fine-scale cartography of human impacts along French Mediterranean coasts : a relevant map for the management of marine ecosystems. *PLoS ONE* 10 (8) : e0135473. Doc:10.1371/journal.pone.0135473.

Erftemeijer P.L.A. et Lewis R.R., 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin* 52 : 1553–1572.

Leredde Y., Michaud H., Berthebaud E., Lauer-Leredde C., Marsaleix P., Estournel C., Guerinel B., Thorin S., Schvartz T. et Richard C., 2013. Beach nourishment and sedimentary plumes in the bay of Aigues-Mortes. Storm impacts on sedimentary hydrodynamics and consequences on *Posidonia Oceanica* seagrass health. *Coastal Dynamics 2013, 7th International Conference on Coastal Dynamics*, Arcachon France, June 24-28. Poster.

Lopez y Royo C., Casazza G., Pergent-Martini C. et Pergent G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators* 10, 380–389.

Manzanera M., Perez M. et Romero J., 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation : an experimental approach. *Journal of Coastal Conservation* 4 : 67-70.

Noël C., Boissery P., Quelin N. et Raimondino V., 2012. Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96P CartOcean, AERM&C, DREAL PACA, Région PACA.

http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm

Pergent G., Bazairi H., Bianchi C.N., Boudouresque C.F., Buia M.C., Clabaut P., Harmelin-Vivien M., Mateo M.A., Montefalcone M., Morri C., Orfanidis S., Pergent-Martini C., Semroud R.,

Serrano O. et Verlaque M., 2012. Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée. Résilience et contribution à l'atténuation des changements climatiques. Gland, Suisse et Málaga, Espagne. IUCN. 80 pages.

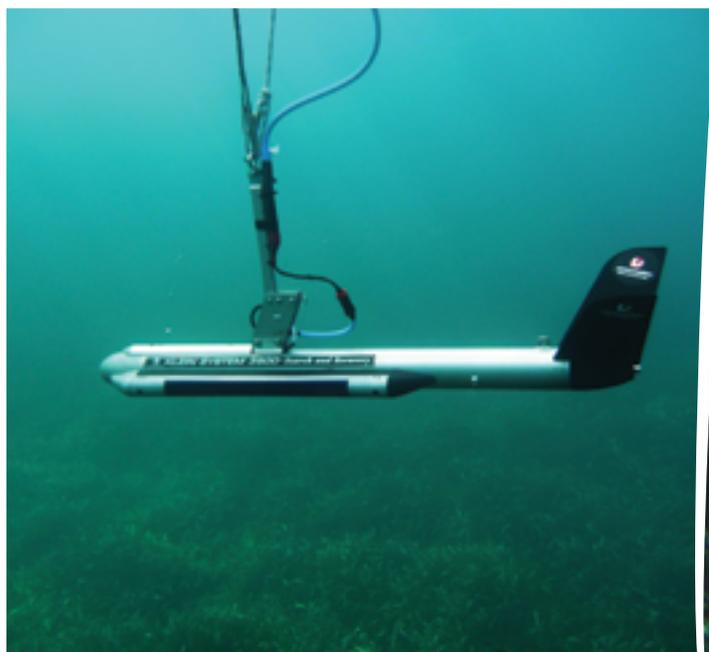
https://cmsdata.iucn.org/downloads/les_herbiers_de_magnoliophytes_marines_de_mediterranee_pdf_version_in_French_3.pdf

Personnic S., Boudouresque C.F., Astruch P., Ballesteros E., Blouet S., Bellan-Santini D., Bonhomme P., Thibault-Botha D., Feunteun E., Harmelin-Vivien M., Pergent G., Pergent-Martini C., Pastor J., Poggiale J-C., Renaud F., Thibaut T. et Ruitton S., 2014. An ecosystem-based approach to assess the status of a Mediterranean ecosystem, the *Posidonia oceanica* seagrass meadow. *PLoS ONE* 9 (6): e98994. doi:10.1371/journal.pone.0098994.

RUIZ J.M., ROMERO J., 2001. Effects of in situ experimental shading on the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*. *Mar. Ecol. Progr. Ser.*, 215 : 107-120.

SOLÉ M., LENOIR M., DURFORT M., FORTUÑO J.M., VAN DER SHAAR M., DE VREESE S., ANDRÉ M., 2021. Seagrass *Posidonia* is impaired by human-generated noise. *Communications Biology*, 4 (743) : 1-11.

Ruiz J.M. et Romero J., 2003. Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin* 46 : 1523–1533.



Sonar tracté et mesure ponctuelle (© Semantic TS)



FICHE EH-2 : HABITAT CORALLIGÈNE

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur les différentes fonctionnalités de l'habitat coralligène

Le coralligène est un habitat de l'étage circalittoral endémique de Méditerranée. Contrairement à l'herbier de posidonie, cet habitat n'est pas façonné par une seule espèce ingénier mais plusieurs espèces. La structure de l'habitat est constituée de bioconcrétionnement édifié principalement par des algues calcaires (Corallinacées et Peyssonneliacées). Les assemblages coralligènes forment une mosaïque complexe de micro habitats et d'espèces dont la richesse, la biomasse et la productivité sont équivalentes à celles des assemblages de récifs tropicaux.

Depuis peu, des méthodes de suivi se développent pour caractériser les différentes fonctionnalités de l'habitat coralligène. Ce type de suivi est particulièrement adapté pour des projets de taille conséquente ou à forts enjeux environnementaux.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HABITAT CORALLIGÈNE

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, stocks sédimentaires, topo-bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, qualité générale de l'eau (pH inclus), substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, flux à la mer (apport eau douce), microbiologie, espèces introduites.

En dehors de l'impact direct lié à l'arrachage et le recouvrement physique de l'habitat, le coralligène est sensible aux pressions suivantes : matières organiques, turbidité, température, courantologie. Beaucoup d'inconnues subsistent (contaminants chimiques...).

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'HABITAT EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement situés dans l'aire d'études du projet.

RÉGLEMENTATION

Le coralligène n'est pas protégé en droit français, mais certaines espèces qui lui sont liées sont protégées ou réglementées.

Réglementation	Remarques
Directive Habitats Faune et Flore du 21 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE)	Annexe 1. Habitat d'intérêt communautaire de type prioritaire
Règlement (CE) 2847/93 concernant l'exploitation durable des ressources halieutiques en mer Méditerranée	« Au-dessus des habitats coralligènes et des bancs de maërl, il est interdit de pêcher en utilisant des chaluts, dragues, sennes de plage ou filets similaires »
Convention de Barcelone de 1976	Plan d'actions pour la conservation du coralligène et autres bioconstructions en Méditerranée

PARAMÈTRES MESURÉS

- Structure de l'habitat : concrétionnement (algues calcifiées, etc.)
- Espèces présentes : espèces bio-constructrices (algues, cnidaires, bryozoaires, etc.), espèces associées sessiles (éponges,..) et vagiles (poissons, crustacés...)

Le suivi optimum préconisé pour cet habitat est l'évaluation écosystémique qui permet une approche fonctionnelle avec l'indice EBQI (Ecosystem Based Quality Index). Cette méthode est développée dans le guide méthodologique Ruitton et al. (2018).

Le suivi concerne :

- les bio-constructeurs
- les macrophytes non-bioconstructeurs
- les filtreurs et suspensivores
- les bio-érodeurs
- les invertébrés racleurs et brouteurs
- les poissons
- la matière organique benthique
- les détritivores benthiques

D'autres indices existent et peuvent permettre un suivi à minima.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale.

La période d'acquisition des données préconisée est la fin du printemps et l'été (permet de mesurer la richesse spécifique). Idéalement, une mesure en hiver permet de suivre les espèces pérennes (coraux, gorgones). Certains paramètres sont particulièrement sensibles aux variations saisonnières (comme les poissons ou les macrophytes) et le non-respect de cette période risque d'entraîner un biais dans l'évaluation de l'état de ces compartiments.

- *Fréquence* : état zéro avant usage et suivi en phase d'exploitation.
- *Choix des stations de mesure* : zone de projet et proximité.
- *Durée du suivi* : T+1 +3 +5 +10 (identique au suivi de l'herbier de posidonies).

PROTOCOLE TERRAIN

Suivi habitat : L'acquisition des données sur le terrain est effectuée en plongées en scaphandre autonome. Sur la base moyenne de 20 minutes de travail en plongée entre 30 et 40 mètres de profondeur (voir moins si le site est plus profond), il faut environ 12 plongées pour réaliser la totalité des mesures dans un site. Ainsi, en respectant les règles de sécurité pour la plongée hyperbare professionnelle (i.e. 2 plongées maximum par jours par personne), il faudra 3 jours de travail à 2 plongeurs professionnels ou 1,5 journée de travail à 4 plongeurs.

Au total, 4 protocoles sont mis en œuvre pour étudier le coralligène et acquérir les données nécessaires pour estimer l'indice EBQI :

1. Observations *in situ*, photographie et vidéo qui serviront à lister les espèces de bio-constructeurs, de macrophytes non constructeurs, des filtreurs et suspensivores et de racleurs et brouteurs ;
2. 30 quadrats photo 0,5 m x 0,5 m pris le long d'un transect de 40 m qui seront analysés pour le recouvrement des macrophytes non constructeurs, le recouvrement des filtreurs et suspensivores, les *Cliona* spp. et le recouvrement de la matière organique benthique ;
3. 10 transects de 25 m x 1 m, comptages de *Sphaerechinus granularis*, d'*Holothuria* spp. et *Bonellia viridis* ;
4. Comptages de poissons sur 10 transects de

25 m x 4 m de large.

La pose d'un thermographe (afin de suivre les évolutions liées au changement climatique) peut être pertinente tout comme la mesure de sédiments en suspension.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Analyse des données photographiques via l'utilisation d'un logiciel adéquat (voir réseau RECOR).

Un outil de calcul de l'indice EBQI sera disponible prochainement (en développement dans le cadre du projet LIFE MARHA). Une base de données de références sera également prochainement disponible.

COÛT

1,5 journée de travail à 4 plongeurs coûte environ 3 000 €. Prévoir l'exploitation des photos + analyses.

Au total le coût approximatif est de 4 000 €.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Pressions physiques : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

RECOR : ce réseau recueille des données descriptives de l'état et du fonctionnement de l'habitat Coralligène selon une méthodologie adaptée et standardisée afin de suivre son évolution dans le temps et au niveau de la façade Méditerranée. Sont indiqués une description générale du site et la mesure de facteurs abiotiques, les pourcentages de recouvrement par station du non vivant (vase, sable, débris, etc.) et du vivant (macro espèces visibles fixées ou peu mobiles), et la démographie des espèces érigées par site. www.medtrix.fr

Différents indicateurs existent pour suivre l'état du coralligène (Coarse, CAI, IndexCor, Esca, EBQI). Le Coarse présente l'avantage d'être le plus simple, Esca étant le plus complexe. Concernant le CAI utilisé dans RECOR, le logiciel

gratuit CpCe coralligène est utilisé. Un autre logiciel gratuit, PhotoQuad, a été également mis au point spécifiquement pour l'étude des fonds coralligènes et peut être utilisé pour le traitement photographique.

ORGANISME RESSOURCE

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)
Ifremer

RÉFÉRENCES

Andromède Oceanologie, 2013. Plaquette de présentation de RECOR, un réseau de surveillance des peuplements du coralligène en mer Méditerranée. Andromède – Agence de l'eau RMC publ. 12p.

Ballesteros E., 2006. Mediterranean coralligenous assemblages : a synthesis of present knowledge. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* 44 : 123-195.

Cecchi E., Gennaro P., Piazzì L., Ricevuto E. et Serena F., 2014. Development of a new biotic index for ecological status assessment of Italian coastal waters based on coralligenous macroalgal assemblages. *European Journal of Phycology*, 49 (3), 298-312.

Deter J., Descamp P., Ballesta L., Boissery P. et Holon F., 2012. A preliminary study toward an index based on coralligenous assemblages for the ecological status assessment of Mediterranean French coastal waters. *Ecological Indicators* 20, 345-352.

Doxa A., Holon F., Deter J., Villéger S., Boissery P. et Mouquet N., 2015. Mapping biodiversity in 3-dimensions challenges marine conservation strategies : the example of coralligenous assemblages in North-Western Mediterranean Sea. *Ecological Indicators*, xxx-xxx. In press.

Gatti G., Bianchi C.N., Morri C., Montefalcone M. et Sartoretto S., 2015. Coralligenous reefs state along anthropized coasts : application and validation of the COARSE index, based on a rapid visual assessment (RVA) approach. *Ecological indicators*, vol. 52, Pages 567–576.

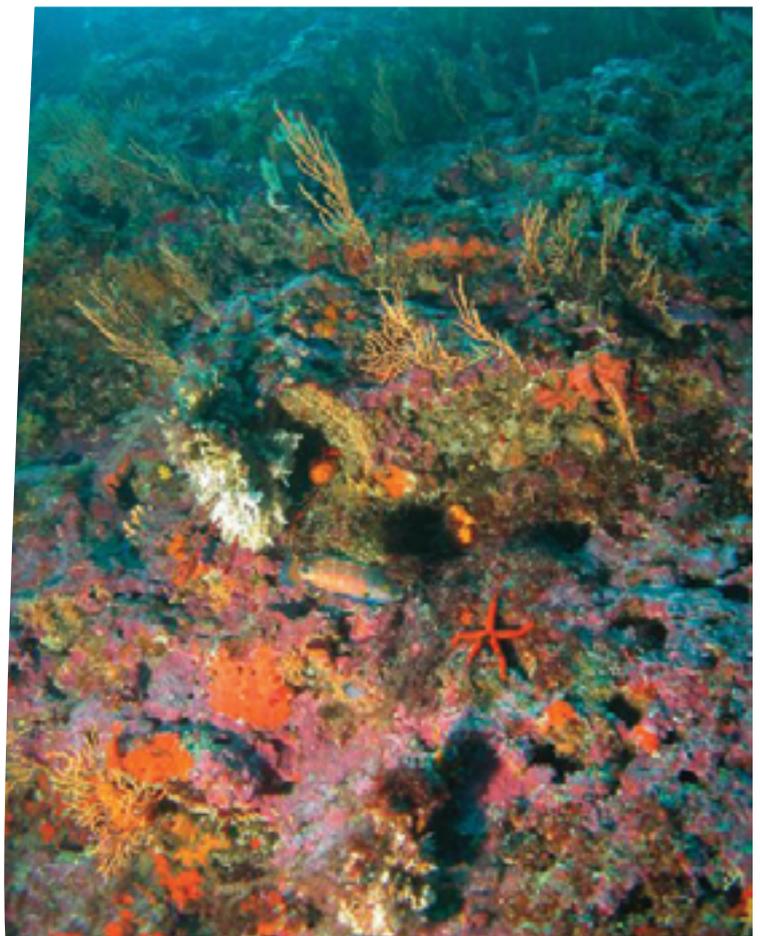
Gatti G., Piazzì L., Schohn T., David R., Montefalcone M., Feral J-P. et Sartoretto S., 2016. A comparison among coralligenous-based indices for the assessment of the marine ecological quality. *International Conference on Ecological Science*. <https://sfecologie2016.sciencesconf.org/107742>

Holon F., 2015. Interactions entre écosystèmes

marins et pressions anthropiques. Applications au suivi et à la gestion des eaux côtières de la mer Méditerranée. *Ecosystemes*. Université de Montpellier. Thèse. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01279487/document>

Ruitton S., Personnic S., Ballesteros E., Bellansantini D., Boudouresque C.F., Chevalloné P., Bianchi C.N., David R., Feral J.P., Guidetti P., Harmelin J.G., Montefalcone M., Morri C., Pergent G., Pergent-Martini C., Sartoretto S., Tanoue H., Thibaut T., Vacelet J. et Verlaque M., 2014. An ecosystem-based approach to assess the status of the mediterranean coralligenous habitat. *Proceedings of the 2nd Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous & other Calcareous Bio-Concretions* (Portorož, Slovenia, 29-30 October 2014). publ., Tunis : 153-158.

Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.A., Personnic S., Boissery P. et Daniel B., 2018. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. En cours de correction.



(© Fabrice Javel-Suez Consulting)

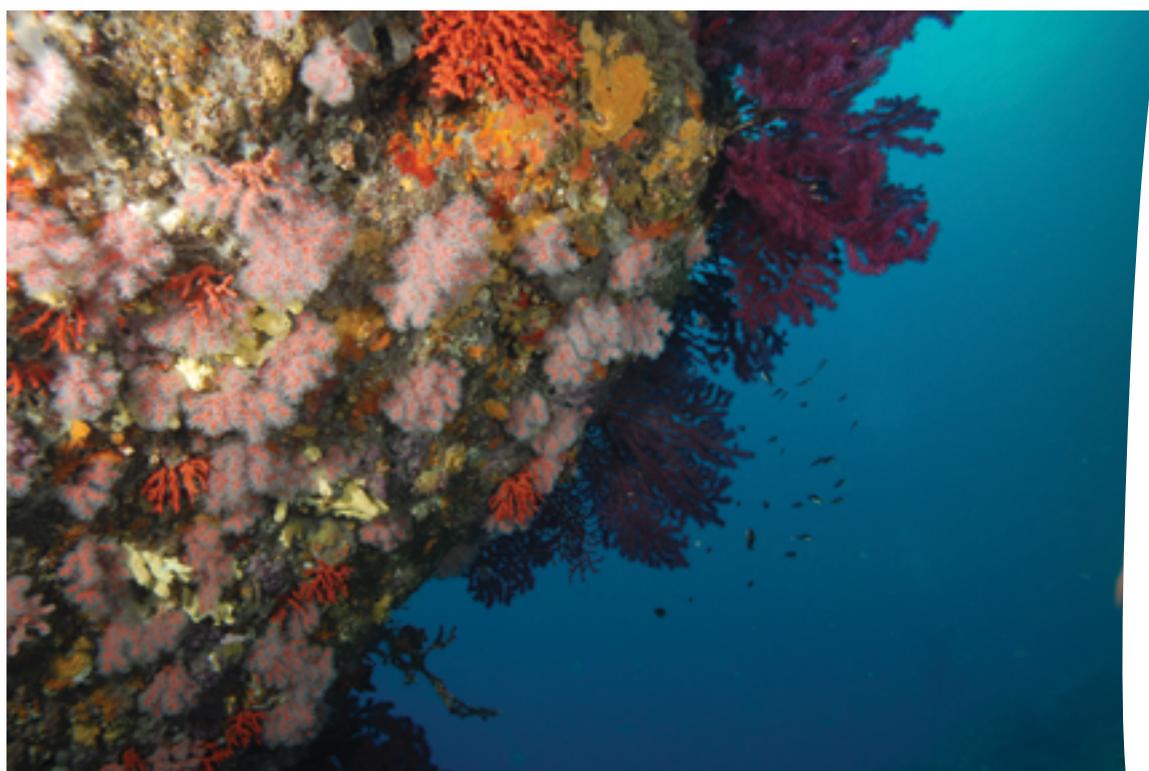
Sartoretto S., David R., Aurelle D., Chenuil A., Guillemain D., Thierry De Ville D'avray L., Féral J.P., Çinar M.E., Kipson S., Arvanitidis C., Schohn T., Daniel B., Sakher S., Garrabou J., Gatti G. et Ballesteros E. 2014. An integrated approach to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous bottoms : the INDEX-COR method. In : Bouafif C., Langar H. and Ouerghi A. (Eds), Proceedings of the second Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous and other Calcareous Bio-Concretions (Portorož, Slovenia, 29-30 October 2014). UNEP/MAP – RAC/SPA, Tunis : pp. 159-165.

Sartoretto S., Schohn T., Bianchi C.N., Morri C., Garrabou J., Ballesteros E., Ruitton S., Verlaque M., Daniel B., Charbonnel E. et Blouet S., 2017. An integrated method to evaluate and monitor the conservation state of coralligenous habitats: The INDEX-COR approach. *Marine Pollution Bulletin* 120: 222-231.

Trygonis V. et Sini M., 2012. PhotoQuad : A dedicated seabed image processing software, and a comparative error analysis of four photoquadrat methods. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 424-425 : 99-108.

UNEP-MAP-RAC/SPA. 2008. Action plan for the conservation of the coralligenous and other calcareous bio-concretions in the Mediterranean Sea. Ed. RAC/SPA, Tunis : 21 pp.

<https://www.sfecologie.org/regard/r66-recifs-coralligenes-habitat-marin-riche-biodiversite-vulnerable-f-holon-j-deter/>



Tombant à coralligène (AFB/GIS Posidonie)
(© Fabrice Javel-Suez Consulting)

FICHE EH-3 : HABITAT DE SUBSTRAT DUR À ALGUES PHOTOPHILES

OBJECTIFS DU SUIVI

- Évaluer l'impact du projet sur les macrophytes
- Évaluer l'impact du projet sur les différentes fonctionnalités de l'habitat du compartiment macro algues

Au sein des macrophytes, les macro algues structurent l'habitat des roches photophiles en différentes strates : la strate arborescente (cystoseire, sargasse, etc.), la strate arbustive (padine, etc.), la strate gazonnante (coralline, algues rouges, etc.) et la strate encroûtante (lithophyllum, oursins, etc.). Seules les espèces sont habituellement suivies.

Depuis peu, des méthodes de suivi se développent pour caractériser les différentes fonctionnalités des espèces ou des communautés. Ce type de suivi est particulièrement adapté pour des projets de taille conséquente ou à forts enjeux environnementaux.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HABITAT SUBSTRAT DUR À MACRO ALGUES

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), houle / vagues, courant, trait de côte, stocks sédimentaires, topobathymétrie, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets flottants, déchets posés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, flux à la mer (apport eau douce), microbiologie, espèces introduites.

Les communautés algales sont sensibles aux pressions suivantes : recouvrement, écrasement, diminution de la lumière, sédimentation, surpâturage par des herbivores, compétition avec des espèces invasives, changement de salinité, eutrophisation.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'HABITAT EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation nationale
Convention de Berne du 19 septembre 1979 (certaines espèces)
Convention de Barcelone 1976 (certaines espèces)

PARAMÈTRES MESURÉS

Suivi des différentes espèces de macro algues

- Identification
- Recouvrement des macro algues par unité de surface
- L'état de vitalité des macro algues n'est pas étudié

Suivi de l'habitat des communautés algales des roches photophiles

Différents compartiments sont à suivre pour caractériser la fonctionnalité de l'habitat :

- Recouvrement des différentes strates
- Dénombrement des poissons (quantitatif et qualitatif)
- Dénombrement d'espèces cibles pour les algues, invertébrés : filtreurs, ascidies, oursins...
- Structure physique de l'habitat rocheux (types de blocs, pente du substrat, présence de faille, crevasses, trous...)

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est le printemps.
- *Fréquence* : état zéro avant usage et suivi en phase d'exploitation.
- *Durée du suivi* : aménagements : T+1 +3 +5 +10 / activités : T+1 +3 +5 +10 +15 (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).
- *Choix des stations de mesure* : zone de projet et proximité (rayon de 50 m).

PROTOCOLE TERRAIN, ANALYSE ET COÛT

Protocole suivi espèces

Suivi par plongée. Recouvrement avec des quadras de 1 m². Réaliser 30 répliqués à différents étages bathymétriques.

Moyens nautiques : 1 plongée avec 2 plongeurs.

Coût : 1 000 €, traitement des données compris.

Protocole suivi habitats

Les mesures se font entre 5 et 10 m de profondeur.
Moyens nautiques : 4 plongeurs se répartissent les différents compartiments à suivre, sur 2 plongées.
Coût : 3 000 €, traitement des données compris.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Pressions physiques : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Réseau Carlit : dans le cadre du contrôle de surveillance DCE-Bassin Rhône côtier Méditerranée, la mise en œuvre du descripteur Macroalgues a été faite depuis le printemps 2007 en utilisant la méthode CARLIT (Blanfuné et al, 2017). Un indice de qualité écologique (Il s'agit de L'EBQI (Reef-EBQI) voir Thibaut et al., 2017) est calculé en fonction de la distribution et l'abondance des communautés et espèces des littoraux rocheux rocheuses des étages médio et infralittoraux (frange supérieure de l'étage infralittoral souvent émergée) ainsi que de la géomorphologie de la côte. Un niveau de sensibilité écologique face aux perturbations sur une échelle de 1 (peu sensible) à 20 (très sensible) est attribué à chaque communauté. Les communautés ayant les niveaux de sensibilité les plus forts représentent les communautés climax de la zone littorale. Données disponibles sur medtrix.fr.

ORGANISME RESSOURCE

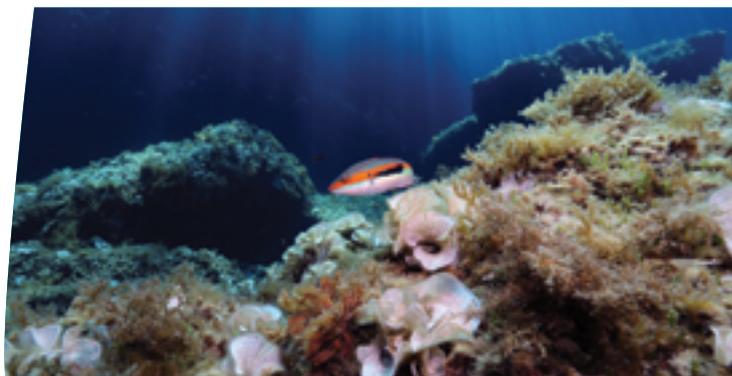
Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)

RÉFÉRENCES

Blanfuné A., Thibaut T., Boudouresque C.F., Macic V., Markovic L., Palomba L., Verlaque M. et Boissery P., 2017. The CARLIT method for the assessment of the ecological quality of European Mediterranean waters: relevance, robustness and possible improvements. *Ecological Indicators*, 72, 249-259

Cabioc'h J., Floc'h J.Y., Le Toquin A., Boudouresque C.F., Meinesz A. et Verlaque M., 2014. *Algues des mers d'Europe*. Editeur : Delachaux et Niestlé. ISBN-13: 978-2603020562.

La Rivière M., Michez M., Aish A., Bellan-Santini D., Bellan G., Chevaldonné P., Dauvin J.-C., Derrien-Courtel S., Grall J., Guérin L., Janson A.-L., Labrune C., Sartoretto S., Thibaut T., Thiébaud E. et Verlaque M., 2016. *Evaluation de la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée aux pressions physiques*. Rapport SPN 2015-70. MNHN. Paris, 101 pp



Rocheux à algues photophiles (En haut : © Sandrine Ruitton, Mio - A gauche : © Semantic TS
A droite : © Robin Rolland, DREAL PACA)

FICHE EH-4 : HABITAT SUBSTRAT MEUBLE

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur l'habitat de substrat meuble

L'habitat substrat meuble est un habitat qui doit être pris en considération dans l'évaluation environnementale de projets. Cet habitat constitue une zone d'alimentation et de nurserie pour les poissons. Il abrite une diversité invisible et insoupçonnée. Les invertébrés de la macrofaune benthique qui y vivent ont une mobilité réduite (elles ne peuvent donc pas s'échapper en cas d'impact), une durée de vie assez longue (de quelques semaines à plusieurs années) et traversent des stades sensibles. Ces caractéristiques leur confèrent des propriétés d'intégration des variations du milieu.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HABITAT SUBSTRAT MEUBLE

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), houle, courant, topo-bathymétrie, trait de côte, stocks sédimentaires, modifications hydro sédimentaires et notamment : granulométrie, turbidité avec paramètres associés et enrichissement en matière organique. Il est également sensible aux déchets posés sur le fond, échoués sur la plage, qualité générale de l'eau, contamination chimique avec substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (apport eau douce), microbiologie, organismes phytoplanctoniques, espèces introduites.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'HABITAT EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat. La connaissance étant plus faible sur cet habitat, ce suivi peut faire partie de mesures d'accompagnement.

RÉGLEMENTATION

Pas de réglementation nationale

Directive Habitats Faune et Flore du 22 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE)

PARAMÈTRES MESURÉS

- Nombre d'individus au sein de chaque espèce
- Biomasse par groupe trophique et embranchement a minima. Biomasse par espèce si possible.
- Paramètres complémentaires : granulométrie et contenu organique du sédiment (Poids Sec Sans Cendre, en %)

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesures en conditions météorologiques normales. La meilleure période est la fin de l'hiver (période de stabilité des peuplements, hors période de recrutement). Idéalement, une mesure à l'automne permet d'évaluer l'efficacité de la reproduction. Mesurer toujours à la même période.
- *Fréquence* : Point zéro avant chantier et suivi après travaux, tous les 6 mois pour les fonds à dynamique rapide et 1 an pour les autres jusqu'au retour du bon état écologique.
- *Choix des stations de mesure* : principalement à proximité immédiate de la zone du projet. Avoir plusieurs stations impactées à des degrés différents est idéal. Avoir des sites témoins servant de référence.
- *Durée du suivi* : tous les ans jusqu'au retour du bon état écologique.

PROTOCOLE TERRAIN

Moyens nautiques : le milieu subtidal n'étant accessible que par la mer, il faut un bateau disposant d'une localisation précise (GPS différentiel), d'un portique ou d'un treuil permettant la mise à l'eau et la remontée des engins de prélèvements, d'une manche à eau permettant le tamisage des prélèvements et d'une surface de pont permettant le travail en mer notamment manipulation des engins et tamisage. Le tamisage peut se faire également à terre si nécessaire (moins confortable).

Engin d'échantillonnage : le choix de l'engin, de la surface échantillonnée et du nombre de réplicats dépendent des objectifs du suivi et du milieu.

- Les carottiers (Holme et MacIntyre, 1971) : boîte métallique ou en PVC, Ø = 10 à 20cm, permettant le prélèvement d'une carotte de

sédiments. La pénétration varie en fonction de la densité du substrat (pénétration plus importante dans les vases). Ex : carottier Reineck. Les organismes peuvent être endommagés lors de la pénétration du tube dans le sédiment, mais l'échantillonnage ne perturbe pas l'interface eau / sédiment. Toutefois, la manipulation à bord du bateau peut être difficile.

- Les bennes : l'engin le plus fréquemment utilisé en Méditerranée est la benne Van Veen (Surface échantillonnée 0,1 m²). Elle a une bonne pénétration, présente une sécurité d'utilisation et est peu encombrante donc facile à transporter. La benne Smith McIntyre (plus lourde que la benne van Veen, plus pénétrante mais moins facile à transporter et à utiliser que la benne Van Veen) peut également être utilisée. Dans le cadre de la DCE Méditerranée, la benne Van Veen a été retenue. Le plus important est d'utiliser la même benne tout au long du suivi.

Nombre de réplcats : 3 minimum pour la benne Van Veen ou Smith-MacIntyre. La surface totale échantillonnée doit être d'au moins 0,3 m².

Tamisage : il est préférable de laver le sédiment dans un tamis à bord, avant de fixer le résidu (faune et sédiment) pour le tri au laboratoire. S'agissant de la macrofaune (taille > 1mm), le tamis doit avoir un maillage de 1 mm (la maille carrée est utilisé pour la DCE).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Conservation des échantillons : les échantillons doivent être placés dans un liquide fixateur et conservateur le plus tôt possible après le prélèvement, de préférence après tamisage (la faune est difficile à séparer d'un substrat mou après fixation). Une solution d'eau de mer formolée à 5 % suffit pendant plusieurs jours / mois en attendant le tri. La conservation de la faune triée à long terme s'effectue dans l'alcool (éthanol à 70 %). Attention : l'alcool étant un mauvais fixateur, il ne doit pas être utilisé pour la fixation initiale des échantillons terrain, mais pour la conservation des espèces.

Tri : la faune est triée (séparée du sédiment), sous loupes ou à l'œil nu à l'aide de pinces, et conservée dans de l'alcool à 70°.

Identification : la faune est identifiée au niveau spécifique dans la mesure du possible et les individus

de chaque espèce / groupe sont dénombrés (Utilisation de WORMS comme référence).

Biomasse : la biomasse de chaque espèce / groupe est évaluée en poids sec et poids sec sans cendre. La pesée est effectuée à 0,1 mg près minimum avec une balance de précision. Cette analyse étant destructive pour l'échantillon, il est également possible de peser les poids humides et de les convertir en poids secs sans cendres à partir d'abaques existants dans la littérature. Ceci permettra de conserver les spécimens pour vérification ultérieure. Il faudra dans ce cas préciser les références utilisées. Les données brutes doivent être présentées dans une matrice d'abondance / biomasse (ci-dessous), présentant pour chaque station de prélèvement et par prélèvement : les différentes espèces présentes, la biomasse correspondante (B) et le nombre d'individus par espèce (Ni) par réplcat.

Espèces	Ni	B	Ni/m ²	B/m ²

Si les biomasses ont été calculées par embranchement et groupe trophique, il sera possible de les présenter dans un tableau séparé. L'analyse des résultats (calcul d'indices de diversité, Indices biotiques, méthodes graphiques, similarité...) est au choix des experts scientifiques. Il s'agira de comparer les résultats obtenus aux stations impactées avec ceux obtenus aux stations de référence à chaque date d'échantillonnage afin d'intégrer les variations saisonnières.

COÛT

Propre à chaque laboratoire : cela varie en fonction de la granulométrie et suivant si on s'adresse à une société privée ou à une université ; si les prélèvements sont compris ou pas. Quelques milliers d'euros pour l'ensemble prélèvements + analyse + rapport.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Pressions physiques : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

L'habitat de substrat meuble est suivi dans le cadre du suivi DCE. L'indice AMBI apporte des éléments sur la sensibilité des espèces et habitats par rapport à la présence de matière organique. (<http://ambi.azti.es/>). Pour l'utilisation de l'indice M-AMBI, il est important d'avoir une valeur référence consistante. Données disponibles sur medtrix.fr.

ORGANISMES RESSOURCES

Laboratoire D'Ecogéochimie des Environnements Benthiques (LECOB)
Stareso

RÉFÉRENCES

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

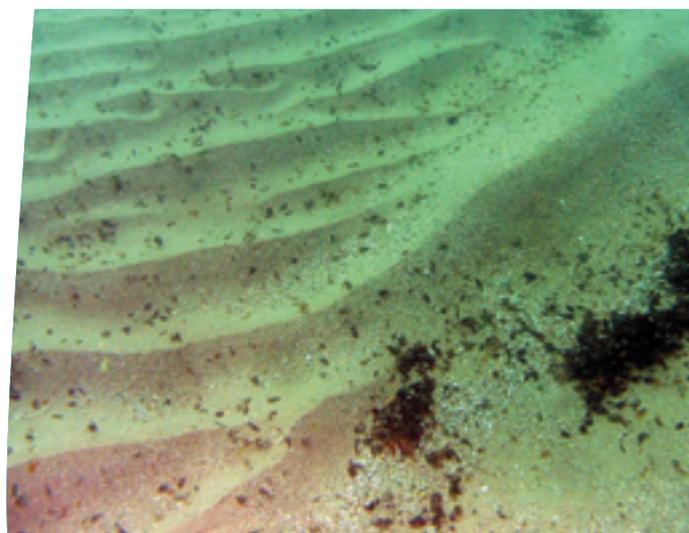
Labrune C., Romero-ramirez A., Amourouxa J.M., Duchêneb J.C., Desmaladesa M., Escoubeyrouc K., Buscaild R. et Grémareb A., 2012. Comparison of ecological quality indices based on benthic macrofauna and sediment profile images: a case study along an organic enrichment gradient off the Rhône river. *Ecological indicators* 12 : 133-142.

Muxika I., Borja A. et Bonne W., 2005. The suitability of the marine biotic index (AMBI) to impact sources along european coasts. *Ecological Indicators*, 5 : 19-31.

Muxika I., Borja N. et Bald J., 2007. Using historical data, expert judgement and multivariate analysis in assessing reference conditions and benthic ecological status, according to the european water framework directive. *Marine Pollution Bulletin* 55 :16-29.

Pearson T.H. et Rosenberg R., 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and marine biology annual revue*, 16 : 229-311.

Romero-Ramirez A., Bonifácio P., Labrune C., Sardá R., Amouroux J.M., Bellan G., Duchêne J.C., Hermand R., Karakassis J., Dounas C. et Grémare A., 2016. Long-term (1998-2010) large-scale comparison of the ecological quality status of gulf of Lions (NWmediterranean) benthic habitats. *Marine Pollution Bulletin* 102 : 102-113



En haut à gauche : Banyuls, *Melinna palmata* (© Céline Labrune, CNRS LECOB)

En haut à droite : habitat sableux (© Fabrice Javel - Suez Consulting)

En bas : Exemple de protocole terrain (© Céline Labrune, CNRS LECOB)

FICHE EH-5 : HERBIER DE ZOSTÈRES

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur l'herbier de zostères

2 espèces de zostères sont présentes en Méditerranée : la *Zostera noltei* Hornemann et la *Zostera marina* L. Les zostères se trouvent généralement dans les estuaires et les lagunes.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE L'HERBIER DE ZOSTÈRES

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, houle, topobathymétrie, stocks sédimentaires, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (débit au douce), microbiologie, espèces introduites.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat. La rareté de l'espèce en Méditerranée rend d'autant plus important ce suivi.

RÈGLEMENTATION

Arrêté préfectoral du 9 mai 1994 relatif à la liste des espèces végétales protégées en région PACA
--

Directive Habitats Faune et Flore du 21 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE)

Convention de Berne du 19 septembre 1979
--

Convention de Barcelone de 1976

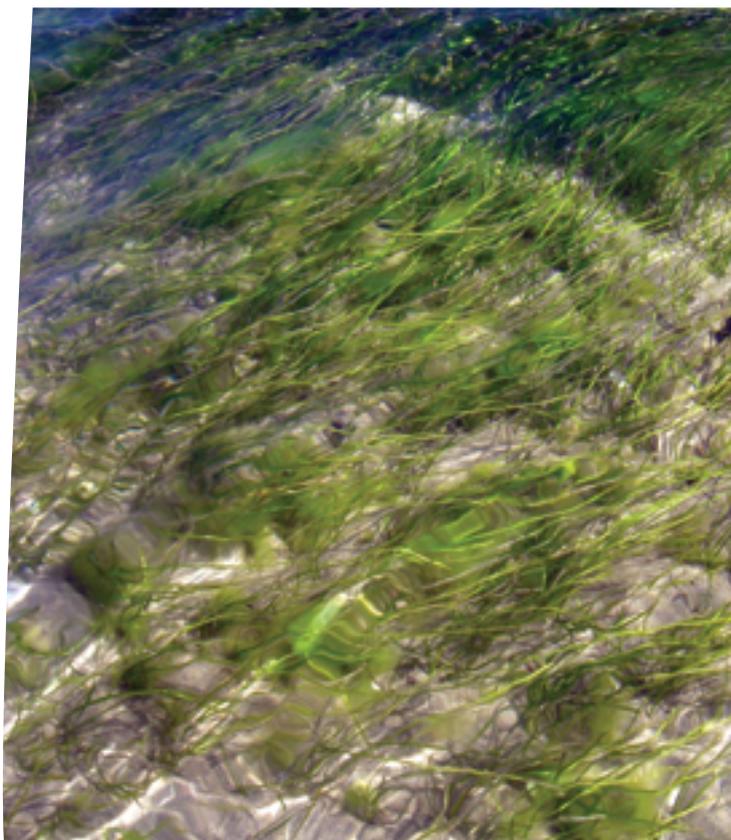
PARAMÈTRES MESURÉS

- Répartition de l'herbier de zostères (surfacique et linéaire)
- Etat de vitalité de l'herbier de zostères : cela peut concerner le recouvrement, la densité de faisceaux, la longueur maximale des feuilles, les surfaces et biomasses foliaires, les biomasses racinaires, présence d'inflorescences, biomasse des épiphytes, etc.
- Des paramètres complémentaires peuvent être

suivis : T, S, NTU et pénétration de la lumière au niveau des limites inférieures d'herbier

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est la fin du printemps jusque l'automne. Dans les lagunes, il est pertinent de suivre avant et après l'été, où le risque d'anoxie est le plus fort.
- *Fréquence* : point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- *Choix des stations de mesure* : zone de projet et proximité.
- *Durée du suivi : aménagements* : T0 et T+1 +5 +10 / *activités* : T0 et T+1 +5 +10 +15 (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).



Herbier à zostères naine
(© Robin Rolland, DREAL PACA)

PROTOCOLE TERRAIN

Paramètres	Mode d'observation	Type de données	Moyen d'observation	Unités de mesure
Estimation des surfaces couvertes				
Photographies aériennes	Clichés résolution inframétrique	Pavés numérique	SIG	m ²
Relevés terrain	Observations in situ	Relevés d'observations	Plongée sous-marine	Présence / absence
Paramètres de vitalité et dynamique				
Densités	Comptages in situ quadrats 0.2m X 0.2m	Relevés d'observations	Plongée sous-marine	Nb faisceaux / m ² ; nb faisceaux florifères / m ²
Biomasses ; Surfaces foliaires LAI (Leaf area index)	Prélèvements	Carottes	Plongée sous-marine	g épigé / m ² ; g endogé / m ² , g épibiontes / m ² ; m ² feuilles / m ²
Progression des marges	Balisage / photos aériennes	Observation in situ	Plongée sous-marine	cm / jour
Paramètres complémentaires				
Physico-chimie de la masse d'eau	Observation in situ	Paramètres physico-chimiques	Instrumentation	T °C, S, Cond, NTU
Pénétration de la lumière au niveau des limites inférieures d'herbier	Observation en continu	Relevés d'intensité lumineuse surface / fond	Instrumentation (type capteur HOBO)	% de lumière incidente

Paramètres	Programmation	Fréquence d'échantillonnage
Surfaces couvertes	Annuel / tri annuel	Campagne ponctuelle en saison estivale (plus forte végétation)
Etat de vitalité	Annuel	Relevés mensuels d'avril à octobre
Dynamique	Annuel	Relevés mensuels d'avril à octobre
Paramètres complémentaires	Annuel	Relevés mensuels d'avril à octobre

Les méthodes surfaciques utilisées pour le suivi de l'herbier de posidonie peuvent aussi être utilisées (sonar latéral – DIVA en très faible profondeur). Se référer au guide CartOcean (Noël et al, 2012).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Analyse cartographique, à comparer avec les données locales et les usages.

COÛT

Pour un suivi plongée : 2 plongeurs embarqués, soit un coût de 1 000 €, analyse des données compris.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/>

substances.fr/page/9

- Pressions physiques : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf
- Turbidité / lumière / sédimentation : pour la sédimentation, il est possible d'utiliser les seuils fixés pour l'herbier de posidonies. Il n'existe pas de seuils pour la lumière.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

- Réseau REBENT <http://www.rebent.org/>
- Suivi de l'étang de Berre : <http://www.etangdeberre.org/suivi-ecologique,6>
- Réseau de suivi lagunaire <http://rsl.cepralmar.com/telecharger.html>

ORGANISMES RESSOURCES

Ifremer

Agence française pour la biodiversité

GIPREB Syndicat Mixte

Mediterranean Institute of Oceanology (MIO)

CNRS – UMR MARBEC

RÉFÉRENCES

Bernard G., Boudouresque C.-F. et Picon P., 2007. Long term changes of *Zostera* meadows in the Berre lagoon (Provence, Southern France). *Estuarine, coastal and Shelf Sciences*, 73:617-629.

Boudouresque C.-F., Ruitton S et Verlaque M., 2006. Anthropogenic impacts on marine vegetation in the Mediterranean. In : PNUE-PAM-RACSPA (Eds). *Proceedings of the 2nd Mediterranean symposium on marine vegetation*, (Athènes, 12-13 décembre 2003), pp 34-54.

Boudouresque C.F., Ponel P., Astruch A., Barcelo A., Blanfuné A., Geoffroy D. et Thibaut T., 2017. The high heritage value of the Mediterranean sandy beaches, with a particular focus on the *Posidonia oceanica* 'banquettes': a review. *Sci. Rep. Port-Cros Natl. Park*, 31 : 23-70.

Bowen J.L. et Valiela I., 2001. The ecological effects of urbanization of coastal watersheds: Historical increases in nitrogen loads and eutrophication of Waquoit Bay estuaries. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 58: 1489–1500.

Brun F.G., Pérez-Pastor A., Hernández I., Vergara J.J. et Pérez-Lloréns J.L., 2006. Ecological implications of shoot organization in the seagrass *Zostera noltii*. *Helgoland Marine Research*, 60: 59-69.

Buia M.C., Gambi M.C. et Dappiano M., 2004. Seagrass systems. In: Gambi M.C., Dappiano M. (Eds). *Mediterranean marine benthos: a manual of methods for its sampling and study*. *Biologia Marina Mediterranea*, 11(suppl. 1), pp 133-183.

Dennison W.C., 1987. Effects of light on seagrass photosynthesis, growth and depth distribution. *Aquatic Botany*, 27: 15-26.

Duarte C.M. et Kirkman H., 2001. Methods for the measurement of seagrass abundance and depth distribution. In: Short F.T., Coles R.G. (Eds). *Global seagrass research methods*. Elsevier Scientific publ., Amsterdam. pp 141-153.

Duarte C.M., Marbà N. et Santos R., 2004. What may cause loss of seagrass ? In: *European seagrasses-an introduction to monitoring and management*. Borum J., Duarte C.M., Krause-Jensen D. and Greve T. (Eds). Publication by EU Monitoring and Managing of European Seagrasses EVK3-CT-2000-00044, pp 25-32.

Laugier T., Rigollet V. et De Casabianca M.L., 1999. Sea-

sonal dynamics in mixed eelgrass beds, *Zostera marina* L. and *Z. noltii* Hornem., in a Mediterranean coastal lagoon (Thau lagoon, France). *Aquatic Botany*, 63: 51-69.

Leriche A., Boudouresque C.-F., Bernard G., Bonhomme P. et Denis J., 2004. A one century suite of seagrass bed maps: can we trust ancient maps? *Estuarine Coastal and Shelf Sciences*, 59: 353-362.

Loquès F., Caye G., Meinesz A., 1990. Germination in the marine phanerogam *Zostera noltii* Hornemann at Golfe Juan, French Mediterranean. *Aquatic Botany*, 38(2-3): 249-260.

Marcos-Diego C., Bernard G., Garcia-Charton J.A. et Perez-Ruzafa A., 2000. Methods for studying impact on *Posidonia oceanica* meadows. in *Introductory guide of methods for selected ecological studies in marine reserves*, Goñi R., Harmelin-Vivien M., Badalamenti F., Le Direach L., Bernard G., GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. Pp 1-112.

Noël C., Boissery P., Quelin N. et Raimondino V., 2012. *Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies*. 96P CartOcean, AERMC, DREAL PACA, Région PACA.

http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm

Pasqualini V., Pergent-Martini C., Fernandez C., Ferrat L., Tomaszewski J.-E. et Pergent G., 2006. Wetland monitoring: aquatic plant changes in two Corsican coastal lagoons (Western Mediterranean Sea). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 16: 43–60.

Peralta G., Pérez-Lloréns J.L., Hernández I. et Vergara J.J., 2002. Effects of light availability on growth, architecture and nutrient content of the seagrass *Zostera noltii* Hornem. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 269: 9–26.

Pickerell C.H., Schott S., Wyllie-Echeverria S., 2005. Buoy-deployed seeding: Demonstration of a new eelgrass (*Zostera marina* L.) planting method. *Ecological Engineering*, 25: 127-136.

Plus M., Deslous-Paoli J.M., Auby I. et Dagault F., 2001. Factors influencing primary production of seagrass beds (*Zostera noltii* Hornem.) in the Thau lagoon (French Mediterranean coast). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 259: 63–84.

Short F.T., Koch E.W., Creed J.C., Magalhães K.M., Fernandez E. et Gaeckle J.L., 2006. SeagrassNet monitoring across the Americas: case studies of seagrass decline. *Marine Ecology*, 27: 277–289.

Van Katwijk M.M. et al., 2016. Global analysis of seagrass restoration: the importance of large-scale planting. *Journal of applied ecology*

FICHE EH-6 : HERBIER DE CYMODOCÉE

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur l'herbier de cymodocée

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE LA CYMODOCÉE

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, houle, topo-bathymétrie, stocks sédimentaires, trait de côte, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (débit au douce), espèces introduites.

L'herbier de cymodocée est principalement sensible à la présence d'eau douce dans le sous-sol marin, qui permet la germination des graines. Les infiltrations d'eau douce / modification des nappes phréatiques ont un impact potentiel important. Ce critère est important à prendre en compte dans le cas du choix de la zone témoin ou de la zone choisie pour mener une opération de transplantation.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat. La probabilité d'infiltration d'eau douce rend d'autant plus important ce suivi.

RÉGLEMENTATION

Réglementation	Remarques
Arrêté ministériel du 19 juillet 1988	Il est interdit « de détruire, de colporter, de mettre en vente, de vendre ou d'acheter tout ou partie » de la plante.
Convention de Berne du 19 septembre 1979	Annexe 1 de la convention

PARAMÈTRES MESURÉS

Répartition de l'herbier de cymodocée (surfactive et linéaire), densité de faisceaux, longueurs des feuilles.

L'état de vitalité de l'herbier de cymodocée est peu étudié.

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période est la fin du printemps. Cette espèce a un cycle saisonnier marqué, puisque les feuilles tombent en hiver et repoussent au printemps. Les végétations sont bien observables depuis la fin du printemps, jusqu'au début de l'automne.
- *Fréquence* : point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- *Choix des stations de mesure* : zone de projet et proximité.
- *Durée du suivi* : aménagements : T0 et T + 1 + 5 + 10 / activités : T0 et T + 1 + 5 + 10 + 15 (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).

PROTOCOLE TERRAIN

Transects à mener de la limite supérieure à la limite inférieure de l'herbier.

Les méthodes surfaciques utilisées pour le suivi de l'herbier de posidonies peuvent également être utilisées (sonar latéral). Se référer au guide CartOcean (Noël et al, 2012).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Analyse cartographique, à comparer avec les données locales et les usages.

COÛT

2 plongeurs embarqués, soit un coût de 1 000 €, analyse des données compris.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- *Contamination chimique de l'eau* : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- *Pressions physiques* : https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_70_La_Riviere_et_al_2016_Eval_sensibilite_Mediterranee_Pressions_physiques.pdf
- *Turbidité / lumière / sédimentation* : pas de seuils. La cymodocée est plus résistante (dans une certaine mesure) aux apports de sédiments.

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'existe pas de réseaux de suivi de l'herbier de cymodocée hormis sur certaines zones particulières (lagunes, etc.).

ORGANISMES RESSOURCES

Université de Nice – Laboratoire ECOMERS
CNRS – UMR MARBEC

RÉFÉRENCES

Feugas M-P., Lamare V., Pergent G., in : DORIS, 20/5/2013 : *Cymodocea nodosa* (Ucria) Asch., <http://doris.ffesm.fr>

Meinesz A., Molenaar H. et Caye G., 1993. Transplantations de phanérogames marines en Méditerranée. *Bolletino di oceanologia teorica ed applicata*, 11 (3-4) : 183-190.

Caye G., Bulard C., Meinesz A. et Loques F., 1992. Dominant role of sea water osmotic pressure on germination in *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany*, 42 : 187-193.

Caye G. et Meinesz A., 1990. Facteurs agissant sur la germination de *Cymodocea nodosa*. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 32(1) : BII 1 p.14.s.

Caye G. et Meinesz A., 1986. Experimental study of seed germination in the seagrass *Cymodocea nodosa*. *Aquatic Botany*, 26 : 75-87.

Caye G. et Meinesz A., 1985. Observations on the végétative development, flowering and seeding of *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson, on the Mediterranean coast of France. *Proceedings 5 th International Coral Reefs Symposium, Tahiti, French Polynesia*, 22 : 277-289.

Caye G. et Meinesz A., 1985. Evaluation de la

longévité des rhizomes de *Cymodocea nodosa* d'après les variations cycliques de la longueur des entre noeuds. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 29 (5) : 187-188.

Caye G. et Meinesz A., 1984. Floraison et fructification des phanérogames marines *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson et *Zostera noltii* Hornemann à Port Cros. *Travaux scientifiques du Parc National de Port-Cros*, 10: 153-156.

Meinesz A., 1978. Etude expérimentale de bouturage de certains végétaux sous marins dans les ports et les plages artificielles. *Revue de la Société Hydrotechnique de France*, XV ème journée de l'Hydraulique, V : 9-14.

Meinesz A., 1977. Note préliminaire concernant le repiquage de végétaux marins, en particulier de l'algue *Caulerpa prolifera*. Rapports et PV des réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Méditerranée, 24 (4) : 169-170 (<http://www.alexandre-meinesz.com/fra/index.php?p=sc&s=46>)

Noël C., Boissery P., Quelin N. et Raimondino V., 2012. Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96P CartOcean, AERMC, DREAL PACA, Région PACA.

http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm



(© Semantic TS)

FICHE EH-7 : GRANDE NACRE (PINNA NOBILIS)

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'incidence du projet sur les grandes nacres et leurs habitats

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE LA GRANDE NACRE

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, micro particules, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, microbiologie, organismes planctoniques, espèces introduites.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activité / aménagement dont l'aire d'études intègre cet habitat. Les ancrages et les arts traînants sont particulièrement impactants.

Le suivi est d'autant plus important que les travaux peuvent faire incliner à l'horizontale par accident la grande nacre transplantée. Le suivi permet également de vérifier l'efficacité de la transplantation.

Décimées par un parasite *Haplosporidium pinnae* sur l'ensemble du littoral méditerranéen, les populations persistent dans les étangs et lagunes où doivent être conduites les études actuellement.

RÉGLEMENTATION

Directive Habitats Faune et Flore du 21 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE) annexe 4

Convention de Barcelone 1976

Arrêté ministériel du 20 décembre 2004

PARAMÈTRES MESURÉS

- Dénombrement des individus par espèce
- Taille (adulte, juvénile), largeur de l'individu et sa hauteur au-dessus du sédiment pour établir un modèle de croissance
- Analyses génétiques réalisées

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : décembre – avril (quand

la posidonie est la plus courte).

- *Fréquence* : suivi avant et après travaux.
- *Durée minimale du suivi* : T + 1 T + 3 T + 5 T + 10 (corrélé avec le suivi des herbiers à posidonies, cymodocées et zostères).
- *Choix des stations d'échantillonnage* : zone de projet et proximité.

PROTOCOLE TERRAIN

Suivi par transect de 50 m avec recensement de part et d'autre du ruban gradué de manière à couvrir une surface de référence de 100 m² ou cercle permanent de 10 m de diamètre à une profondeur donnée. Chaque individu est recensé et marqué. Voir publication Trigo et Vicente (2016) pour plus de détails et des travaux plus récents en lagunes (Foulquié et al. 2020).

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données terrain permettent de déduire l'abondance la fécondité, la distribution spatiale de la population. L'analyse génétique permet de connaître les possibles liens de parenté entre individus et la connectivité entre divers secteurs de la Méditerranée.

COÛT

2 plongeurs embarqués, soit un coût de 1 000 €, analyse des données compris. Souvent intégré au coût du suivi de l'herbier.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Concentration en MES : 80 mg/L pendant 3 jours (sub-létal)
- Sédimentation : sub-létal : 50 mm - létal : 150 mm pendant 14 jours
- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'y a pas de réseau officiel suivant la population de *Pinna Nobilis* en Méditerranée française. Un réseau informel a été créé en 1990 par N. Vicente : le RE.M.O.E.P.P.

Au début de l'épizootie un réseau d'observation a été créé sous forme d'un tableau excel par N. Vicente et J. de Vaugelas sur l'ensemble des côtes méditerranéennes françaises.

ORGANISMES RESSOURCES

Institut Océanographique Paul Ricard
Université de Nice – Laboratoire ECOMERS

RÉFÉRENCES

Mémoires de l'Institut Océanographique Paul Ricard - premier séminaire international sur la grande nacre de méditerranée : pinna nobilis. 10 – 12 octobre 2002, île des Embiez. <http://www.institut-paul-ricard.org/IMG/pdf/SEMINAIRE-PINNA-2.pdf>

García-March J.R., Jose R. et Vicente N., 2006. Protocole d'étude et de surveillance des populations de pinna nobilis dans des aires marines protégées. projet MedPAN – Interreg IIIC. <http://www.institut-paul-ricard.org/IMG/pdf/medpan.pdf>

Basso L., Vasquez-Luis M., Garcia-March J.R., Deudero S., Alvarez E., Vicente N., Duarte C.M. et Hendriks I.E., 2015. The Pen Shell, Pinna nobilis: A Review of Population Status and Recommended Research Priorities in the Mediterranean Sea. *Adv Mar Biol.* 71 : 109-60.

Erftemeijer P. L.A. et Robin Lewis R.R., 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. *Marine Pollution Bulletin*, 52, 1553–1572.
Erftemeijer P. L.A., Riegl B., Hoeksema B.W. et Todd P.A., 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. *Marine Pollution Bulletin* 64, 1737–1765.

Trigos S. et Vicente N., 2016. Protocole pour la transplantation des nacres Pinna nobilis dans divers substrats. *Marine Life Vol.* 18 : 55-61.

Rouanet E., Trigos S. et Vicente N., 2015. From youth to death of old age : the 50-year story of a Pinna nobilis fan mussel population at Port-Cros Island (Port-Cros National Park, Provence, Mediterranean Sea).

Trigos S., Garcia-March J.R., Vicente N. , Tena J. et Torres J., 2014. Utilization of muddy detritus as organic matter source by the fan mussel Pinna nobilis. *Medit. Mar. Sci.*, 15 (3) : 667-674.

Trigos S., Garcia-March J.R., Vicente N. , Tena J. et Torres J., 2014. Respiration rates of the fan mussel Pinna nobilis at different temperatures. *Journal of Molluscan Studies* 1-6.

Trigos S., Vicente N., Garcia-March J.R., Torres J. et Tena J., 2015. Embryological Development of Pinna nobilis in Controlled Conditions. In : *Marine Productivity : Perturbations and Resilience of Socio-ecosystems*. H-J. Ceccaldi and al. (eds.). Springer International Publishing Switzerland 2015, pp. 369-371.

Trigos Santos S., Garcia-March J.R., Vicente N., Torres

Gavila J. et Tena Medialdea J., 2015. Phytoplankton Profitability and Use as Organic Matter Source by Pinna nobilis. *Nereis* 7 : 77-82.

Trigos S., Vicente N., Prado P. et Espinos F.J., 2018. Adult spawning and early larval development of the endangered bivalve Pinna nobilis. *Aquaculture*, 483 : 102-110.

Vicente N., 1991. Estudio ecológico y protección del molusco lamelibranquio Pinna nobilis L., 1758 en la costa mediterránea. *Iberus*, 9 (1-2) : 269-279.

Vicente, N., Kirchhofer D. et Trigos S., 2016. Etat des populations du Mollusque bivalve Pinna nobilis, la Grande Nacre de Méditerranée sur les côtes de Provence de 2009 à 2016. Institut Océanographique Paul Ricard, 62 p.

https://www.researchgate.net/publication/315656729_Etat_des_populations_du_Mollusque_bivalve_Pinna_nobilis_la_Grande_Nacre_de_Mediterranee_sur_les_cotes_de_Provence_de_2009_a_2016

<http://pinnanobilis.free.fr/>



En haut : © Sandrine Ruitton, Mio
En bas : © Semantic TS

FICHE EH-8 : POISSONS

OBJECTIFS DU SUIVI

Analyser l'incidence éventuelle de l'aménagement / activité sur toutes les espèces de poissons, en particulier les espèces protégées et sensibles.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE LE POISSON

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, stocks sédimentaires, trait de côte, son, champs électromagnétiques, déchets flottants, micro particules, qualité générale de l'eau, contamination chimique de l'eau, les sédiments et le biote, flux à la mer (apport eau douce), microbiologie, organismes phytoplanctoniques et espèces introduites.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

- Tout projet d'activité / aménagement sauf canalisations marines, câbles électriques, prélèvement d'eau de mer, mouillage, ZMEL, manifestations nautiques.
- Le suivi des poissons peut se faire dans le cadre du suivi de la fonctionnalité des habitats.

RÉGLEMENTATION

(HORS RÉGLEMENTATION ESPÈCES COMMERCIALES)

Conventions de Berne et Barcelone (annexes 2 et 3)
Directive Habitats Faune et Flore du 22 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE) (annexe 2)
Arrêté ministériel du 8 décembre 1988 fixant la liste des poissons protégés sur l'ensemble du territoire national (J.O 22/12/1988)
Arrêtés préfectoraux PACA et Corse du 23 décembre 2013 (Corb et mérout)
Plan de gestion des poissons migrateurs
Plan national d'actions « anguille »
Réglementation de la pêche de loisirs et professionnelles
Réglementations locales dans les aires marines protégées

PARAMÈTRES MESURÉS

- Dénombrement d'individus et d'espèces différentes
- Longueur des individus de poissons
- Si capture : biomasses, analyses génétiques, structure trophique, contamination, etc.

STRATEGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

- *Période d'échantillonnage* : les variations saisonnières des populations de poissons sont très importantes. La meilleure période est l'automne en septembre – octobre (idéalement une mesure à l'automne et une au printemps pour les variations saisonnières). Les mesures doivent se faire en condition diurne (10h – 16h).
- *Fréquence* : avant travaux et en phase d'exploitation.
- *Durée du suivi* : sur 10 ans chaque année pour un aménagement, ou sur la durée de l'exploitation d'une activité et après son arrêt.
- *Choix des stations de prélèvement* : zone de projet et proximité et comparer avec une zone témoin.

PROTOCOLE

Suivi par plongée : Moyens nautiques => bateau + 3 personnes embarquées (2 plongeurs minimum). Mise en place de transects (digues : 25 m ~ 4 m - herbiers : 50 m ~ 2 m – plages : 50 m ~ 2 m). Environ 10 transects sur la zone immédiate autour du projet (selon un gradient de profondeur s'il y a lieu, tous les 3 - 5 m de profondeur par exemple). Pour les juvéniles : bord des plages entre 0 et 1 m de fond.

Les méthodes de points fixes (utilisés dans le cas des suivis de juvéniles dans les ports par exemple), de points circulaires ou de parcours aléatoires sont quelquefois aussi utilisés et valables.

A noter que le protocole FAST (Fish Assemblage Sampling Technique) est un protocole participatif qui permet de manière simplifiée de faire un suivi de poissons (Seytre et Francour, 2008) et qui permet la mise en évidence de l'effet réserve.

Suivi par vidéo : adapté seulement pour les projets de taille conséquente offshore, zones très profondes ou très polluées. La vidéo regroupe un très grand nombre de méthodes différentes : du point fixe rotatif ou non, de la vidéo remorquée, de la stéréo-vidéo, de la vidéo appâtée, etc. Certaines ont montré leur efficacité dans des suivis, y compris à petite échelle spatiale, en particulier pour des espèces planctonophages ou particulièrement craintives.

Suivi par méthode acoustique : prometteur, encore en développement. Il faut distinguer les méthodes passives des méthodes actives utilisées pour le suivi des stocks dans les campagnes PELMED ou en zone côtières. Plus de détail dans la fiche son.

Suivi par capture : utile pour une vision plus grande échelle. Capture par chalut de fond lors des campagnes MEDITS. Capture à la perche dans le cadre de la DCE au droit du Rhône.

Permet, en plus de l'identification des poissons, de mesurer le poids des individus, mener une analyse des tissus, etc. Souvent réalisé avec l'aide de la pêche professionnelle. Utilisation de filet maillant (longueur du filet : 500 m). Cela peut être pertinent pour des projets comme le suivi de récifs artificiels et au droit des émissaires. L'idéal est de réaliser des pêches scientifiques standardisées.

ANALYSE / TRAITEMENT DES ÉCHANTILLONS

Le dénombrement visuel des espèces et individus permet d'obtenir des informations sur :

- l'abondance : nombre d'individus par espèce
- la densité de poissons : nombre de poissons par unité de surface
- la biomasse : l'évaluation de la taille permet de calculer les biomasses grâce aux relations taille / masse existantes.
- la diversité : diversité spécifique, indice de Simpson, Shannon, etc.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Seuils acoustiques www.chorusacoustics.com

RÉSEAUX DE SUIVI EXISTANTS

- Pas de réseaux sur la population de poissons benthiques côtiers hormis les données sur les poissons des pêches commerciales (données Ifremer et FAO) ;
- Données locales et ponctuelles disponibles au sein des universités (MIO, Nice, Perpignan), aires marines protégées et bureaux d'études ;
- Réseau RESPIRE : il fait le suivi des juvéniles de poissons dans des zones aménagées. Données disponibles sur medtrix.fr ;
- Les bancs de thons sont suivis dans le cadre du réseau MEDOBS.

COÛT

Suivi plongée : 10 transects à 2 plongeurs moyens nautiques compris avec post analyse des données 1 000 - 2 000 € (1/2 journée à deux plongeurs scientifiques et 1/2 journée de saisie et traitement données).

Suivi par méthode acoustique : voir fiche son

ORGANISMES RESSOURCES

Mediterranean Institute of Oceanography (MIO)
Université de Nice – Laboratoire ECOMERS
Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Marins (Cefrem)
Ifremer

RÉFÉRENCES

Bouchoucha M., Darnaude A.M., Gudelin A., Neveu R., Verdoit-Jarraya M., Boissery P. et Lenfant P., 2016. Potential use of marinas as nursery grounds by rocky fishes: insights from four *Diplodus* species in the Mediterranean. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* Vol. 547: 193–209. doi: 10.3354/meps11641.

Seytre C. et Francour P., 2008. Is the Cape Roux marine protected area (Saint-Raphaël, Mediterranean Sea) an efficient tool to sustain artisanal fisheries ? First indication from visual censuses and trammel net sampling. *Aquat. Living Resour.*, 21, 297-305.

Protocole subaquatique : Suivi des poissons côtiers Méthode F.A.S.T. (Fish Assemblage Sampling Technique). Appliqué aux poissons côtiers. <http://www.cybellemediterranee.org>

Letourneur Y., Ruitton S. et Sartoretto S., 2003. Environmental and benthic habitats factors

structuring the spatial distribution of a summer infralittoral fish assemblage in the Mediterranean Sea. J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 83: 193-20.

Harmelin-Vivien M. et Harmelin J.G., 2013. How to assess the effects of protection on fish? The Port-Cros National Park and the first underwater visual censuses in the Mediterranean Sea. Sci. Rep. Port-Cros natl Park, 27 : 369-375.

Geode, 2012. 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

MEDOBS: http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=medobs_26



Saupes, mérou brun, rascasse brune (© Robin Rolland, DREAL PACA), juvéniles (© Semantic TS)

FICHE EH-9 : MAMMIFÈRES MARINS

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'incidence du projet sur les mammifères marins et leurs habitats. Le type de suivi réalisé dépend du type d'activité et de la période concernée.

En Méditerranée française, les mammifères marins les plus fréquemment rencontrés sont : le rorqual commun, le dauphin commun à bec court, le globicéphale noir, le dauphin de Risso, le grand cachalot, le dauphin bleu et blanc, le grand dauphin et le Ziphius (ou Baleine à bec de Cuvier). L'aire de répartition des mammifères marins est vaste.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS SONT POTENTIELLEMENT SENSIBLES LES MAMMIFÈRES MARINS

Courant, son, champs électromagnétiques, déchets flottants, micro particules, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, microbiologie, organismes planctoniques, présence humaine.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

- Immersion en mer de sédiments, extraction de granulats, énergies marines, prospection sismique
- Sont concernés les projets au large / sur des zones à fort enjeu environnemental (parcs...)

RÉGLEMENTATION

Conventions de Barcelone et Berne (annexe 2)
Convention internationale de Washington (CITES)
Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 Directive Habitats, Faune, Flore
Accord du 25 novembre 1999 relatif à la création d'un sanctuaire pour les mammifères marins en Méditerranée (sanctuaire PELAGOS)
Arrêté ministériel du 1er juillet 2011

PARAMÈTRES MESURÉS

- Présence et nombres d'observations et d'individus par espèce (taux de rencontre, abondance relative, densité, nombre de jeunes

et de nouveau-nés).

- Emissions sonores des mammifères marins

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : il n'y a pas de période de l'année particulièrement propice pour les observations. La présence de cétacés peut être observée toute l'année, dépendamment des espèces.
- *Fréquence* : Idéalement, tout au long de l'année pour évaluer les variations saisonnières.
- *Durée minimale du suivi* : dans le cas d'un aménagement, le suivi avant, pendant et juste après travaux est pertinent. Dans le cas d'une activité, le suivi peut se faire pendant la durée de la phase d'exploitation.
- *Choix des stations d'échantillonnage* : Le périmètre de la zone à suivre dépend de l'étendue de la zone de propagation des pressions induites par le projet.

PROTOCOLE TERRAIN/METHODOLOGIE

Il dépend du site, de l'espèce, du type de données que l'on souhaite collecter, etc. S'il s'agit de connaître l'abondance, alors un suivi par transect linéaire est pertinent. Des observateurs notent la présence d'espèces de part et d'autre du transect. Si l'objectif est d'avoir des données sur la démographie, alors un suivi par photo identification est nécessaire.

Moyens nautiques : embarcation type semi-rigide / voilier par exemple. Plus la hauteur du navire est importante, plus la surface des observations pourra être étendue.

Matériel / outils de mesure : dépend du protocole :

- Observation : appareil photo avec téléobjectif, lunette ou jumelles
- Localisation : GPS
- Suivi des individus : par balises satellites fixées sur le pelage. Ce type de fixation n'est pas forcément intrusif (ventouses), cela dépend de l'objectif du suivi et également des espèces.
- Recensement par enregistrement des vocalisations : hydrophone (voir fiche son pour

plus de paramètres)

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

(L'analyse dépend des objectifs, indicateurs et paramètres définis). L'observation dans le temps des individus permet d'en déduire via une approche statistique certains paramètres :

- Démographie : abondance, survie, fécondité, émigration, immigration, densité
- Aire vitale d'un individu par photo-identification successive (nécessite un suivi long-terme, peut-être pas forcément pertinent et réalisable dans le cadre d'un suivi environnemental ou d'étude d'impacts).

Possibilité de faire des analyses sur des prélèvements issus d'animaux échoués. Cela apporte des informations complémentaires comme le régime alimentaire ou les concentrations en polluants. Des études génétiques sont également possibles.

L'approche acoustique (mesures par hydrophones) permet de déduire les taux de rencontre acoustique par espèce, sa distribution spatiale. Il permet en parallèle de mesurer les pressions (bruit ambiant, trafic maritime, fréquentation des plaisanciers, etc.).

COÛT

Difficile à prévoir, tout dépendant de la distance de propagation du son, la durée des travaux et de la zone concernée. Comme indication, le coût d'une sortie en mer sur un semi-rigide, analyse des données compris est de l'ordre d'environ 1 000 € / jour.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

- Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>
- Seuils acoustiques www.chorusacoustics.com
- http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/Acoustic%20Guidance%20Files/opr-55_acoustic_guidance_tech_memo.pdf

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

- *Base de données PELAGIS* : l'observatoire PELAGIS rassemble les programmes d'observation et d'expertise sur la conservation des populations de mammifères et oiseaux marins ainsi que la gestion des

bases de données associées <http://www.observatoire-pelagis.cnrs.fr/les-donnees/>

- *Base de données intercet* : accessible à toute la communauté scientifique pour le partage et la gestion en ligne de données géo-référencées concernant les populations de cétacés et de tortues marines en Méditerranée <http://www.intercet.it/>
- *Données suite à la campagne PACOMM* <http://cartographie.aires-marines.fr/?q=node/45>
- Les mammifères marins sont suivis dans le cadre du *réseau MEDOBS*
- Programme de surveillance de la DCSMM

ORGANISMES RESSOURCES

Observatoire Pelagis
MIRACETI

RÉFÉRENCES

Accobams permanent secretariat. Lignes directrices pour faire face à l'impact du bruit d'origine anthropique sur les cétacés dans la zone de l'accobams. www.accobams.org

Bompar J.M., 2000. Les cétacés de Méditerranée. Edisud, 186 p.

Dhermain F., Astruc G., Cesarini C., Dupont L., Dupraz F., Godenir J., Keck N., Labach H. et Wafo E., 2015. Recensement des échouages de cétacés sur les côtes françaises de Méditerranée, entre 2010 et 2012. Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, 29 : 103-126.

Di Iorio L. et Gervaise C., 2015. Suivi des Grands Dauphins au sein d'une AMP méditerranéenne (PNPC). Projet GDEGeM Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée 2013-2015. Rapport SOMME pour le GIS3M, 28 p.

Jourdan J., Chambellant M., Dhermain F., Barbier M., Gimenez O. et Labach H., 2015. Abondance, répartition spatio-temporelle et comportements du Grand Dauphin en Provence. Projet GDEGeM Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée 2013-2015. Rapport pour le GIS3M. 64 p. + annexes.

Gannier A., 2014. L'impact des nuisances acoustiques sur les cétacés du Sanctuaire et de la Méditerranée nord-occidentale. Klymene Recherche Marine et Sanctuaire Pelagos (Partie française). 182 p.

Labach H., Dhermain F. et Dupraz F., 2015. Suivi de la population de grands dauphins *Tursiops truncatus* le long des côtes provençales (Méditerranée nord-occidentale). Sci. Rep. Port-Cros natl. Park,

29: 267-272.

Labach H., Gimenez O., Barbier M., Jourdan J., David L., Di-Méglio N., Roul M., Azzinari C., Robert N. et Tomasi N. 2015. Etude de la population et de la conservation du Grand Dauphin en Méditerranée française. Projet GDEGeM Grand Dauphin Etude et Gestion en Méditerranée 2013-2015. Rapport GIS3M. 55 p. + annexes.

Laran S., Delacourtie F., Di Fulvio T., David L., Di-Méglio N. et Monestiez P., 2012. Synthèse sur la distribution des cétacés dans le Sanctuaire PELAGOS et les eaux adjacentes, mise en relation avec leur environnement. Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, 26 : 119-147.

Lurton X., 2013. Contrôle des risques sonores pour les mammifères marins. Protocole Ifremer pour les émissions sismiques. Rapport Ifremer. AS-2013-46. http://www.ifremer.fr/umsflotte-data/documentsmodeles/informations_appel_offre/AS-2013-46-ProtocoleIfremer-sismique-MMs.pdf

National Marine Fisheries Service. 2016. Technical Guidance for Assessing the Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammal Hearing: Underwater Acoustic Thresholds for Onset of Permanent and Temporary Threshold Shifts. U.S. Dept. of Commer., NOAA. NOAA Technical Memorandum NMFS-OPR-55, 178 p.

http://www.nmfs.noaa.gov/pr/acoustics/Acoustic%20Guidance%20Files/opr-55_acoustic_guidance_tech_memo.pdf

Southall B., Bowles A., Ellison W., Finneran J., Gentry R., Greene C. et Tyack P., 2007. Marine Mammal Noise Exposure Criteria: Initial Scientific Recommendations. Aquatic Mammals, 33 : 411-521.

Van Canneyt O., Authier M., Caurant F., Peltier H., Spitz J. et Ridoux V., 2014. Aide à la mise en œuvre d'une stratégie de surveillance pour les mammifères marins et tortues marines dans les eaux de France métropolitaine. Cahier technique de l'observatoire PELAGIS – UMS 3462, Université de La Rochelle / CNRS, 75p.

Van Canneyt O., Dars C., Authier M., Dabin W., Demaret F., Dorémus G., Peltier H. et Spitz J., 2016. Les échouages de mammifères marins sur le littoral français en 2015. Rapport scientifique de l'observatoire PELAGIS : 48 p.

MEDOBS : http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=medobs_26

France Energies Marines, « Comment évaluer



Rorqual commun au large de Toulon
et dauphin bleu et blanc
(© Robin Rolland, DREAL PACA)

les impacts d'un parc éolien opérationnel sur les mammifères marins ? » A paraître

FICHE EH-10 : PATELLE FERRUGINEUSE (PATELLE GÉANTE)

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur les populations de patelle géante

La patelle est une espèce endémique de Méditerranée. Elle est située sur le substrat rocheux au niveau de l'interface eau air. Les milieux ouverts en milieu agité sont propices à son développement. Sa présence est confirmée en Corse et plus rarement en PACA (îles d'Hyères, Toulon).

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS EST POTENTIELLEMENT SENSIBLE LA PATELLE GÉANTE

Altération mécanique (chocs, frottements, écrasements et arrachages), houle / vagues, trait de côte, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et le biote, espèces introduites.

La patelle ferrugineuse est particulièrement sensible aux modifications de houle et oxygène. Elle a besoin d'un substrat rocheux lisse pour se poser. Sa transplantation est difficile.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

Tout projet affectant le trait de côte

RÉGLEMENTATION

Convention de Barcelone 1976 – Annexe 2
Convention de Berne du 19 septembre 1979 – Annexe 2
Directive Habitats Faune Flore – Annexe 4
Arrêté ministériel du 20 décembre 2004

PARAMÈTRES MESURÉS

- Répartition de la population de patelles (nombre d'individus)
- Diamètre de chaque individu

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en conditions météorologiques normales. La meilleure période est le printemps.
- *Fréquence* : point zéro avant chantier et suivi en phase d'exploitation.
- *Choix des stations de mesure* : à proximité immédiate de la zone du projet.
- *Durée du suivi* : aménagements : T0 T + 1 + 5 + 10 / activités : T0 T + 1 + 5 + 10 + 15 (suivi tous les 5 ans durant la durée d'autorisation d'exploitation).

PROTOCOLE TERRAIN

Suivi en surface (à pied ou en PMT) sur une zone de 1 km. Dénombrement de la population et de la taille des individus, afin d'obtenir des informations sur la démographie de la population.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données terrain permettent de déduire :

- la démographie
- la distribution spatiale de la population

COÛT

500 - 1 000 €, analyse des données comprise.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27 juillet 2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'y a pas de réseau officiel suivant la population de patelles géantes en Méditerranée française sauf dans certaines zones (réserve de Scandola).

ORGANISME RESSOURCE

Université de Nice – Laboratoire ECOMERS

RÉFÉRENCES

Meinesz A., 2011. Etude de la croissance et de la longévité de *Patella ferruginea* dans la réserve naturelle de Scandola. Rapport Laboratoire ECOMERS Université de Nice Sophia Antipolis – GIS Posidonie, 157 pp.

2014 Croissance et longévité de *Patella ferruginea* à Scandola Meinesz A. et Dominici J.M. Université de Nice-Sophia Antipolis /GIS Posidonie 33

Meinesz A. et Authosserre A., 2012. Etude de la croissance, de la longévité et du comportement de *Patella ferruginea* dans la réserve naturelle de Scandola. Rapport Université Nice Sophia Antipolis/GIS Posidonie, 213 pp.

Rivera-Ingraham G.A., Espinosa F. et García-Gómez J.C., 2011. Conservation status and updated sensus of *Patella ferruginea* (Gastropoda : Patellidae) in Ceuta : distribution patterns and new evidence of the effects of environmental parameters

Meinesz A. et Dominici J.M., 2015. Etude de la croissance, de la longévité et du comportement de *Patella ferruginea* dans la réserve naturelle de Scandola. Mission 2014. Rapport ECOMERS/ Université Nice Sophia Antipolis/GIS Posidonie, 305 pp.

FICHE EH-11 : AUTRES ESPÈCES (REMARQUABLES, INVASIVES)

OBJECTIFS DU SUIVI

Évaluer l'impact du projet sur les populations des autres espèces remarquables

Les autres espèces remarquables sont les espèces protégées non traitées dans les fiches précédentes (patelle, oursin, corail rouge, habitat banquettes / dunes, etc.), les espèces reconnues par les organismes internationaux comme étant en danger ou menacées en Méditerranée et les espèces invasives ou potentiellement invasives.

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS SONT POTENTIELLEMENT SENSIBLES LES ESPÈCES

Potentiellement tout paramètre environnemental

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

Potentiellement tout projet d'aménagements / activités

RÉGLEMENTATION

Convention de Barcelone 1976 et Berne 1979
Convention internationale de Washington (CITES)
Directive 92/43/CEE du 21 mai 1992 (Directive Habitats, Faune, Flore)
Arrêtés ministériels et préfectoraux

PARAMÈTRES MESURÉS

- Inventaire et distribution des espèces protégées et autres espèces remarquables
- Inventaire et distribution des espèces invasives ou potentiellement invasives (cf. les références sur l'atlas et les bases de données correspondantes)

En fonction des espèces, suivre :

- le dénombrement (nombre, position, diamètre...)
- la densité
- l'état de conservation

STRATÉGIE DE MESURES

- *Période préférentielle* : mesurer les paramètres en condition météorologique normale. La meilleure période varie en fonction du cycle des espèces.
- *Fréquence* : point zéro avant chantier et suivi en

phase d'exploitation.

- *Choix des stations de mesure* : zone de projet et proximité.
- *Durée du suivi* : aménagements : T0 T + 1 + 5 + 10 / activités : T0 T + 1 + 5 + 10 + 15 (suivi tous les 5 ans le temps de la durée d'autorisation d'exploitation).

PROTOCOLE TERRAIN

Méthodes variables suivant les espèces identifiées et la profondeur donnée : prospection à pied, plongée / PMA, sonar, ROVE.

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données terrain permettent de déduire :

- la démographie
- la distribution spatiale de la population

COÛT

Variable selon l'espèce suivie, la fréquence du suivi et la technologie utilisée.

SEUILS D'ALERTE EN LIEN AVEC LES ESPÈCES ET HABITATS

Contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 27.07.2015) <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9>

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Pour la plupart des espèces, il n'existe pas de réseau de suivi officiel.

L'observatoire citoyen des usages et pressions en mer indique la présence d'espèces exotiques.

ORGANISMES RESSOURCE

Université de Nice – Laboratoire ECOMERS
Aix-Marseille Université - MIO

RÉFÉRENCES

Espèces invasives :

Boudouresque C.-F., 2012. Les invasions et transferts biologiques avec une attention spéciale au milieu marin. http://www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque/Documents_enseignement/Especies_introduites_2012.pdf

Boudouresque C.-F., Blanfuné A., Fernandez C., Lejeune C., Pérez T., Ruitton S., Thibault D., Thibaut T. et Verlaque M., 2017. Marine Biodiversity - Warming vs.

biological invasions and overfishing in the Mediterranean Sea: Take care, 'One train can hide another'. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 2 (4) : 1-13.

Boudouresque C.-F., Ponel P., Astruch P., Barcelo A., Blanfuné A., Geoffroy D. et Thibaut T., 2017. The high heritage value of the Mediterranean sandy beaches, with a particular focus on the *Posidonia oceanica* "banquettes": a review. 23 —*Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 31: 23-70.

Galil B., Froggia C. et Noël P., 2002. Vol. 2. Crustaceans: Decapods and Stomatopods. In: Briand F. (ed.), *CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean.*, 192 p., CIESM Publishers, Monaco.

Golani D., Orsi-Relini L., Massuti E. et Quignard J.P., 2002. Vol. 1. Fishes. In: Briand F. (ed.), *CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean*, 256 p. CIESM Publishers, Monaco.

Meinesz A., Chancollon O. et Cattalorda J.-M., 2010. Observatoire sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et *Caulerpa racemosa* en Méditerranée : campagne janvier 2008-juin 2010. Université Nice Sophia Antipolis, E.A. ECOMERS publ., 50 pp.

http://www.institut-paul-ricard.org/IMG/pdf/Rapport_2010_Observatoire_TaxRac.pdf

Otero M., Cebrian, E. Francour P., Galil, B. et Savini D., 2013. Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à

l'attention des gestionnaires. UICN. 136 pages.

<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2013-008-Fr.pdf>

Verlaque M., Ruitton S., Mineur F. et Boudouresque C.-F., 2015. Vol. 4. Macrophytes. In: F. BRIAND (ed.), *CIESM Atlas of exotic species in the Mediterranean* - CIESM Publishers, Monaco, 364 p.

Zenetos A., Gofas S., Russo G. and Templado J., 2003. Vol. 3. Molluscs. In: Briand F. (ed.), *CIESM Atlas of Exotic Species in the Mediterranean*, 376 p. CIESM Publishers, Monaco.

Sites internet des espèces introduites :

DAISIE - Delivering Alien Invasive Species Inventories for Europe - <http://www.europe-aliens.org/>

EASIN - European Alien Species Information Network - <https://easin.jrc.ec.europa.eu/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

ESENIAS – East and South European network for invasive alien species - <http://www.esenias.org/>

ISSG – Invasive Species Specialist Group - Global invasive species database <http://www.iucngisd.org/gisd/>

WRIMS -World Register of Introduced Marine Species - <http://www.marinespecies.org/introduced/>

Observatoire citoyen des usages et pressions en mer http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep7&project=medobs_sub



Caulerpa Taxifolia (© Robin Rolland, DREAL PACA) cystoseire, cysgale de mer, corail rouge (© Seaboost)

FICHE EH-12 : NACRE RUDE (PINNA RUDIS L.1758)

OBJECTIFS DU SUIVI

Evaluer l'incidence du projet sur les nacres rudes et leurs habitats

PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES AUXQUELS SONT POTENTIELLEMENT SENSIBLES LES ESPÈCES

Altérations mécaniques (chocs, frottements, écrasements et arrachages), courant, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, micro particules, qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, les sédiments et le biote, microbiologie, organismes planctoniques, espèces introduites.

ACTIVITÉS / AMÉNAGEMENTS POUR LESQUELS UN SUIVI DE L'ESPÈCE EST PRÉCONISÉ

L'ensemble des projets d'activités / aménagements littoraux dont l'aire d'étude intègre cet habitat. (roche littorale).

RÈGLEMENTATION

Directive Habitats Faune et Flore du 22 mai 1992 (DHFF : 92/43/CEE) annexe 4
--

Convention de Barcelone 1976

Arrêté ministériel du 20 décembre 2004
--

PARAMÈTRES MESURÉS

- Dénombrement des individus sur le littoral méditerranéen
- Taille (adulte, juvénile), largeur de l'individu et sa hauteur au-dessus du sédiment pour établir un modèle de croissance
- Analyses génétiques réalisées ou à effectuer (observation d'hybrides *Pinna nobilis*/*Pinna.rudis*)

STRATÉGIE DE MESURES

- Pas de Période préférentielle : l'espèce se rencontre rarement dans les herbiers
- Fréquence : suivi avant et après travaux
- Durée minimale du suivi : T+1 T+3 T+5 T+10
- Choix des stations d'échantillonnage : zone de projet et proximité. L'espèce est très dispersée sur le littoral immédiat depuis la surface jusqu'à 40 m de profondeur.

PROTOCOLE TERRAIN

Observations ponctuelles sur le littoral rocheux par petits fonds (0 à 10m). Chaque individu est recensé mesuré et marqué. Voir publication (Vicente, N., 2021) pour plus de détails et tablette La Pinna rude par Aurélie Vion, Robert Bunet et Nardo Vicente (Ed. IOPR)

ANALYSE DES DONNÉES TERRAIN

Les données terrain permettent de déduire la rareté de l'espèce et sa distribution spatiale sur le littoral méditerranéen français.

Installée de préférence sur substrat dur, (roche) elle peut occasionnellement se rencontrer dans l'herbier à posidonie sur cailloutis, et même sur substrat meuble (rare).

L'analyse génétique permet de connaître les possibles liens de parenté entre les deux espèces et l'existence d'hybrides (observés en Espagne). Résistance au parasite *Haplosporidium pinnae*, qui décime les populations de *Pinna nobilis*

RÉSEAU DE SUIVI EXISTANT

Il n'y a pas de réseau officiel pour le suivi de l'espèce en Méditerranée française. Un réseau informel existe sous forme d'un tableau excel pour le suivi des deux espèces. Distribué aux laboratoires, associations environnementales, clubs de plongée, gestionnaires des AMP.

ORGANISMES RESSOURCE

Institut Océanographique Paul Ricard

RÉFÉRENCES

Vicente N., 2020- *La grande nacre de Méditerranée Pinna nobilis, un coquillage bivalve plein de noblesse. Sciences Technologies Santé. Ed. PUP, 152 p.*

Vicente N., 2021- *Présence de Pinna rudis sur les côtes méditerranéennes françaises. Marinelife-revue. fr, 1-10 (on line)*

OPR : *La Pinne rude : Pinna rudis (Linné, 1758), 2021. Plaquette en trois volets recto-verso, en français et en anglais (rough pen shell), établie par Aurélie Vion, Robert Bunet et Nardo Vicente.*

C. EXPLOITATION DES MESURES

1. RELATION ENTRE LE SUIVI DES PARAMÈTRES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET BIOLOGIQUES ET LE SUIVI DES ESPÈCES ET HABITATS

Le suivi des paramètres physiques, chimiques et biologiques peut servir d'alerte pour les espèces et habitats sensibles à leurs modifications.

La connaissance de ces seuils d'alerte est importante : l'objectif du suivi est de vérifier si l'impact réel (mesuré) correspond à l'impact prévisionnel du projet une fois les mesures d'évitement et de réduction mises en place. Il ne doit pas y avoir dépassement sous peine de risque de dégradation du milieu marin (sauf si l'impact est anticipé via des mesures de compensation).

Il faut distinguer 3 types de seuils d'alerte :

- les seuils qui permettent de relier une valeur limite : au-delà, les espèces ou les habitats sont en danger ;
- les seuils qui sont liés à des objectifs de qualité fixés par la réglementation : il peut s'agir des arrêtés DCE, ou relatifs aux eaux de baignade et conchylicoles ;
- les seuils dont le dépassement entraîne une réglementation différente (exemples des seuils Géode N1 et N2).

1.1. SEUILS D'ALERTE QUANTITATIFS

La sensibilité des espèces et habitats à des pressions environnementales est encore peu connue. A ce stade, il n'existe que peu de données

quantifiables validées scientifiquement. Les tableaux ci-dessous recensent l'existant.

Tableau n° 5. Seuils d'alerte quantitatifs existants

Lien pression – espèce / habitat	Lien pression – qualité de l'eau	Lien pression – seuil réglementaire
Mammifères marins / poissons : seuils acoustiques (www.chorusacoustics.com)	Articles de loi liés aux eaux de baignade (art. D.1332-2 et D.1332-3 du code de la santé publique) et conchylicoles (art. D.211-10 du code de l'environnement) : niveaux d'entérocoques et coliformes totaux	Seuils de déclaration / autorisation IOTA dont les seuils Géode N1 et N2 sur la contamination chimique des sédiments (Arrêtés du 09/08/2006 et 23/12/2009)
Posidonies / zostères / cymodocées / grandes nacres : seuils en lien avec la sédimentation / matières en suspension et lumière (Manzanera et al, 1998, Ruiz et Romero, 2003, Erftemeijer et Robin Lewis, 2006)	Arrêté 25 janvier 2010 DCE en vue d'une bonne qualité de l'eau : •contamination chimique de l'eau •matière organique, nutriments, O ₂ dissous •phytoplancton	Seuils cas par cas / étude d'impact (R.122 du CE)
Ensemble des espèces et habitats et contamination chimique de l'eau : seuils NQE (arrêté 25 janvier 2010)* http://www.ineris.fr/substances/fr/page/9		Seuils de déclaration / enregistrement / autorisation ICPE http://www.ineris.fr/aida/liste_documents/1/18023/1

* Les Normes de Qualité Environnementales dans l'eau sont établies de telle manière à viser une bonne qualité de l'eau, du biote et des sédiments. Ces valeurs peuvent donc être reprises pour l'ensemble des espèces et habitats marins.

Tableau n°6. Seuils de tolérance (valeur et durée) pour l'herbier de posidonie, la grande nacre et le corail rouge (issu de Erftemeijer, 2012 et Erftemeijer and Lewis, 2006).

Seuils de tolérance (amplitude et durée)	Luminosité (% de RS – Radiation à la surface)	Concentration de MES (mg/L)	Sédimentation
<i>Posidonia oceanica</i>	Sub-létal : 4,4 – 16,7 % RS Létal : 4,4 % RS Moyenne glissante sur 60 j.	n.a.	Létal : 50 mm Sub-létal : 40 mm En cumulé sur un an
<i>Pinna nobilis</i>	n.a.	Maximum : 80 mg/L Sub-létal : moyenne glissante sur 3 j. Létal : moyenne glissante sur 14 j.	Sub-létal : 50 mm Létal : 150 mm Moyenne glissante sur 14 j.
<i>Corallim rubrum</i>	Minimum : 3 % RS Maximum : 0,05 % RS Sub-létal : moyenne glissante sur 14 j. Létal : moyenne glissante sur 28 j.	Maximum : 4 mg/L Sub-létal : moyenne glissante sur 14 j. Létal : moyenne glissante sur 28 j.	Maximum : 10 mg / cm ² / jour ou 0,2mm / jour Sub-létal : moyenne glissante sur 14 j. Létal : moyenne glissante sur 28 j.

1.2. DEGRÉS DE SENSIBILITÉ (FORT / MOYEN / FAIBLE) DES ESPÈCES ET HABITATS AUX PRESSIONS À DIRE D'EXPERTS

En dehors des éléments vus ci-dessus, la connaissance de la sensibilité des espèces et habitats aux pressions physico-chimiques est qualitative (à dire d'experts).

Dans le cadre du guide, un travail a été mené afin de lister les paramètres physico-chimiques auxquels les espèces et habitats sont potentiellement sensibles. Les résultats présentés dans ce paragraphe doivent être pris avec précaution et servir d'indication au porteur de projet (voir tableau page suivante).

Différents experts ont été consultés pour répondre de manière qualitative à la question suivante : quels sont les paramètres environnementaux auxquels les habitats et espèces sont potentiellement sensibles ?

Les experts n'ont pas quantifié le niveau de sensibilité, qui dépend de nombreux facteurs. « Oui » dans le tableau signifie que les espèces et habitats peuvent être potentiellement sensibles quelque soit le niveau de sensibilité (sensibilité forte – faible - inconnue). Si la sensibilité de l'espèce à une

pression générée par le projet est inconnue, il convient de l'étudier. « Non » dans le tableau signifie l'absence de sensibilité des espèces et habitats.

Les relations établies sont potentielles et dépendent de nombreux facteurs (cf fascicule 2), à savoir :

- l'indicateur « pression » ;
- la concomitance des pressions : les pressions liées aux phénomènes hydrosédimentaires sont interconnectées (une modification de la houle peut entraîner une modification de la courantologie qui modifiera la charge en MES). Par ailleurs, une pression exercée peut être compensée par une autre pression (ex : turbidité compensée par un fort courant) ;
- l'indicateur « situation » des habitats / espèces aux pressions considérées. Plus l'habitat est proche de la pression, plus sa sensibilité augmentera ;
- le patrimoine génétique de chaque espèce : les individus au sein de chaque espèce n'ont pas forcément le même comportement ;
- les conditions locales du site : un site fermé (lagunes) sera plus fragile qu'un site ouvert.

Pour une analyse approfondie, le porteur de projet peut consulter les travaux du MNHN visant à évaluer la sensibilité des habitats benthiques de Méditerranée à certaines pressions physiques (La Rivière et al, 2015). Dans ce rapport, la sensibilité des espèces et habitats est qualifiée par les experts par rapport à des pressions physiques de référence. Les liens potentiels existants entre les pressions physiques et les activités humaines en mer sont synthétisés afin de faciliter l'utilisation des évaluations de sensibilité. Les évaluations de sensibilité des habitats marins de Méditerranée aux autres pressions physiques (par exemple, émissions sonores, modification de la salinité, modification de la température, etc.) ainsi qu'aux pressions chimiques et biologiques sont en cours.

TABLEAU N°7. SENSIBILITÉ POTENTIELLE DES ESPÈCES ET HABITATS MARINS MÉDITERRANÉENS À UNE MODIFICATION DES PARAMÈTRES CHIMIQUES, PHYSIQUES ET BIOLOGIQUES

L'habitat / espèce est-elle potentiellement sensible à la modification du paramètre environnemental (pression) ?	Habitats				Espèces						
	posidonie	coralligène	substrat dur à algues photophiles <i>plutôt roches côtières</i>	substrat meuble (sable) <i>entre 0 et 30 m de fond (détritique exclus)</i>	zostère	cymodocée	grande nacre	poissons	mammifères marins	patelle géante	autres espèces (remarquables, invasives)
Climatologie marine (vent)	non	non	non	non	non	non	non	non	non	non	au cas par cas en fonction de l'espèce
Altération mécanique	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	
Houle / vagues	oui (si déferlement)	non	oui	oui	oui	oui	non	non	non	oui	
Courant	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	
Stocks sédimentaires (hypersédimentation / érosion)	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	
Topo - bathymétrie	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	non	non	
Trait de côte	oui	non	oui	oui	oui	oui	non	oui (zones de nurseries)	non	oui	
Turbidité / pénétration lumineuse / matières en suspension (MES)	oui	oui	oui	oui (granulométrie)	oui	oui	oui	non	non	non	
Son	non (sauf si onde de déflagration)	non	non	non	non	non	non	oui	oui	non	
Champs électromagnétiques	non	non	non	non	non	non	non	oui	oui	non	
Déchets flottants	non	non	oui (cystoseire + littophyllum)	non	non	non	non	oui	oui	non	
Déchets posés sur le fond	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	non	
Déchets échoués sur les plages	non	non	non	oui	non	non	non	non	non	non	
Microparticules	non	non	non	non	non	non	oui	oui	oui	non	
Paramètres de qualité générale de l'eau (T, S, O2)	oui	oui	oui	oui (MO)	oui	oui	oui	oui	oui	oui	
Substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	
Substances chimiques problématiques dans les sédiments	non	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	non	
Substances chimiques problématiques dans le biote	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	
Flux à la mer (débit)	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	non	non	
Microbiologie (E. Coli, virus, microbes, etc.)	non	oui	oui	oui	oui	non	oui	oui	oui	non	
Organismes phytoplanctoniques	non	non	non	oui (faible profondeur)	non	non	oui	oui	non	non	
Espèces introduites	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	non	oui	

oui	les espèces et habitats peuvent être potentiellement sensibles (sensibilité forte – faible – inconnue)
non	absence de sensibilité des espèces et habitats

2. OUTILS D'ÉVALUATION DU SUIVI PENDANT ET APRÈS LES TRAVAUX

Une analyse critique du suivi doit être réalisée et des propositions d'évolution envisagées si besoin.

La grille ci-dessous propose de cadrer les éléments attendus dans les rendus liés au suivi environnemental.

Tableau n°8. Grille d'évaluation du suivi environnemental prévu en aval du projet.

Description du suivi mis en place	Réponses attendues (exemples)
Rappel de l'objectif visé	Suivi de l'impact du projet sur les herbiers de posidonies
Paramètres environnementaux suivis	Lumière et sédimentation
Seuils d'alerte associés	Références prises dans le tableau X
Date et heure du suivi avec les conditions météorologiques associées	12 avril 2017 à 10h30. Temps calme et ensoleillé.
Fréquence du suivi	Une fois par jour pendant les travaux
Station / lieu du suivi	Au pied des herbiers les plus proches
Outil de mesure	Capteurs lumineux et piège à sédiment
Méthode d'analyse des résultats	Logiciel X pour le traitement des données
Marge d'erreur (appareil, méthode d'analyse)	Appareil X. Marge d'erreur analytique 10 %
Choix du laboratoire / bureau études associé	Bureau d'étude X
Rapport / référence / publication disponible sur ce type de suivi	Manzanera et al, 1998, Ruiz et Romero, 2003, Erftenmeijer et Robin Lewis, 2006
Disponibilité des données issues du suivi	Transmission des données de suivi par mail et des coordonnées du projet et points de suivi par WMS

3. RAPPORT DU SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Une présentation des résultats du suivi à l'issue des travaux peut être demandée par les services instructeurs.

Le rapport de suivi environnemental doit contenir à minima :

- l'arrêté d'autorisation du projet ;
- le cadrage spatio-temporel spécifique au suivi (zone témoin inclus) ;
- les paramètres environnementaux suivis et, le cas échéant, les seuils d'alerte choisis (notamment pour les suivis en phase travaux) ;
- par paramètre, la grille d'évaluation en

amont et en aval du projet ;

- l'analyse des résultats du suivi ;
- les conclusions à la suite de l'analyse (renforcement allègement du suivi, etc.).

Les données validées issues du suivi doivent être incluses en annexe du rapport aux services instructeurs sous format SIG.

Les rapports doivent être rendus dans les délais prescrits par les arrêtés d'autorisation. En fonction des résultats, un renforcement ou un allègement du suivi pourra être demandé par les services instructeurs.

4. DISPONIBILITÉ DES DONNÉES ISSUES DU SUIVI

Les données validées issues des campagnes de terrain doivent être transmises aux services instructeurs.

C'est notamment le cas pendant la phase travaux, où des seuils d'alerte peuvent être mis en place. Ils ont pour vocation à alimenter les bases de données publiques en cours de mise

en œuvre. Certaines bases sont accessibles au public.

Les modalités de mise à disposition des rapports d'évaluation environnementale et des données collectées dans le cadre de suivis sont indiqués dans le tableau ci-après.

Tableau n°9. Modalités de mise à disposition des rapports et données de suivis en fonction des différents types d'autorisation environnementale.

Types d'autorisation environnementale	Rapports	Rapports / données du suivi
Projet soumis à évaluation environnementale	Rapport d'étude d'impact : versé par les porteurs de projet dans la base nationale (à partir du printemps - été 2018) Dossiers cas par cas : en ligne sur les sites internet des DREAL	Versés par les porteurs de projet dans la base nationale (à partir du printemps - été 2018)
Nomenclature IOTA	Déclaration disponible 1 mois Autorisation disponible 2 mois Période de consultation en mairie + sites de préfecture département	/
Dossier de dérogation au titre des espèces protégées	Consultation en ligne pendant 15 jours sur le site des DREALs	Données de suivi dans la base de données nationale GEOMCE
Dossier ICPE	Soumis à déclaration : pas de consultation Consultation pendant l'instruction des dossiers : <ul style="list-style-type: none"> • soumis à enregistrement : mise à disposition du public (presse) • soumis à autorisation : enquête publique Consultation après l'instruction : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/recherchICForm.php	Autorisations et enregistrement : http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/recherchICForm.php Déclarations annuelles des émissions des ICPE (IED et SEVESO obligatoires, autorisations et enregistrements à partir de certains seuils), http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/irep/form-etablissement#/

5. FIL ROUGE : SUIVI DANS LE CADRE D'UNE OPÉRATION DE RECHARGEMENT DE PLAGES

Le porteur de projet doit mettre en place un suivi environnemental pour suivre l'effet de son projet sur l'environnement.

Par rapport au tableau, le porteur de projet mène donc les mesures de terrain suivantes :

Avant les travaux : définition de la limite supérieure de l'herbier et de son état de vitalité, analyse du substrat meuble, inventaire des poissons (juvéniles compris) aux abords de la plage qui doit être rechargée, mesure du trait de côte plusieurs fois dans l'année pour connaître l'évolution naturelle de la plage.

Pendant les travaux : en fonction de la distance de l'herbier et de la courantologie locale, suivi du panache turbide afin de vérifier que la turbidité, la lumière et la sédimentation ne soient pas fortement modifiés au pied de l'herbier par rapport aux seuils d'alerte.

Après le rechargement : suivi du substrat meuble et poissons afin d'identifier des changements

potentiels (acquisition de connaissances), suivi de l'herbier et de l'évolution du trait de côte sur 10 ans de telle manière à avoir un dossier consolidé pour le renouvellement de son autorisation.

Enfin, il engage avec les communes situées au sein de la même cellule hydrosédimentaire une étude portant sur l'évolution des stocks sédimentaires et de la topo-bathymétrie.

Il transmet les données de suivi aux services instructeurs sous format SIG et rédige un rapport de suivi environnemental.

D. SYNTHÈSE DU SUIVI PAR PROJET PAR TYPE D'HABITAT / ESPÈCE

Une synthèse du fascicule est présentée ci-dessous. Elle résume par type de projet et par type d'habitats / espèces rencontrés sur l'aire d'études du projet :

- les paramètres physico-chimiques modifiés par le projet et auxquels les habitats / espèces sont sensibles ;
- les mesures de terrain potentiellement à réaliser :
 - avant les travaux : dans le cadre de l'élaboration de l'état initial, le suivi des paramètres physico-chimiques en lien avec les espèces et habitats ;
 - pendant les travaux : le suivi des paramètres physico-chimiques comme seuils d'alerte ;
 - après les travaux / en phase d'exploitation : le suivi de l'efficacité de l'évaluation environnementale en amont du projet.
- des mesures d'évitement et de réduction associées.

Sont également indiqués :

- les données de terrain nécessaires à acquérir en amont pour dimensionner le projet ;
- le suivi lié aux exigences des normes de qualité de l'eau ;
- le suivi pouvant servir de mesures transversales.

La dernière colonne synthétise les principaux points d'attention à retenir pour chaque type de projet.

Cette matrice générique doit être adaptée selon le contexte local. Les suivis proposés peuvent potentiellement être renforcés ou allégés. Le suivi environnemental envisagé doit, dans tous les cas, être validé par les services instructeurs.

Une grille de lecture de la matrice de synthèse est présentée page suivante :

Tableau n°10. Aide à la lecture de la matrice « Suivi environnemental ».

Suivi environnemental potentiel à mener en fonction des espèces et habitats marins présents sur l'aire d'étude du projet				Habitat / espèce présent sur l'aire d'études du projet	Autres paramètres potentiels à suivre qui ne sont pas en lien avec les espèces et habitats			Résumé
				(A) Potentiellement sensible aux paramètres	Dimensionnement du projet en amont	Exigences / Interprétation des résultats avec les normes de qualité de l'eau, sanitaires, etc	Acquisition de connaissances au titre de mesures transversales	
Projet	(B) Paramètres physico-chimiques potentiellement modifiés par le projet	Points de vigilance	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Croisement de (A) et (B)				Ex : mesures de courant et de houle pour le calibrage du modèle
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Ex : suivi herbiers de posidonie (voir fiche)				
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier (pendant travaux)	Ex : turbidité et paramètres associés				
			Mesures de réduction associées	Ex : barrage anti turbidité				
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Ex : suivi herbiers de posidonie (voir fiche)				

TABLEAU. SUIVI ENVIRONNEMENTAL POTENTIEL À MENER EN FONCTION DES ESPÈCES ET HABITATS MARINS PRÉSENTS SUR L'AIRE D'ÉTUDES DU PROJET

MATRICE DE SYNTHÈSE			HABITATS PRÉSENTS DANS L'AIRE D'ÉTUDES (D'INFLUENCE) DU PROJET										ESPECES PRESENTES DANS L'AIRE D'ÉTUDES (D'INFLUENCE) DU PROJET			Autres paramètres potentiels à suivre qui ne sont pas en lien avec les espèces et habitats			RÉSUMÉ DES ENJEUX
			POSIDONIES	CORALLIGÈNE	SUBSTRAT MEUBLE	SUBSTRAT DUR À ALGUES PHOTOPHILES	ZOSTÈRE	CYMODOCÉE	POISSONS	GRANDE NACRE	MAMMIFÈRES MARINS	PATELLE GÉANTE							
Projets et paramètres environnementaux modifiés par le projet			Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Potentiellement sensible aux pressions suivantes : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, déchets déposés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Dimensionnement du projet en amont	Exigences / interprétation des résultats avec les normes de qualité de l'eau, sanitaires...	Acquisition de connaissances au titre de mesures d'accompagnement				
			En dehors de l'aspect situé (arrachage, étouffement...), l'habitat nécessite de la lumière, des eaux peu turbides et une épaisseur de sédiments suffisante (sion déchaussement). Le sédiment doit être grossier et pauvre.	Le coralligène est généralement situé en profondeur. La lumière (et donc la turbidité) est un critère important. Les flux à la mer perturbent l'habitat. Il est également menacé par des espèces invasives comme les algues.	L'habitat est menacé par les grands mouvements hydrodynamiques. En eau peu profonde, les blooms phytoplanctoniques peuvent générer l'anoxie du milieu.	La circulation naturelle de l'eau doit être maintenue. La turbidité et le flux à la mer doivent être limités. Les déchets flottants qui s'accumulent peuvent menacer l'habitat.	L'habitat est généralement situé dans les eaux peu profondes (lagunes). Les mouvements hydrodynamiques doivent rester limités. L'eutrophication peut menacer directement cet habitat.	L'habitat résiste assez bien à la turbidité. Les résurgences d'eau douce semblent nécessaire à la germination des graines.	Les poissons adultes sont sensibles à la présence de matière organique, de plancton, au son et aux champs électromagnétiques (pour certaines espèces). Il est nécessaire de protéger les zones de nurserie naturelles (rochers, sables).	L'habitat de la grande nacre est essentiellement l'herbier de posidonie. Les menaces sur la grande nacre sont son inclinaison à l'horizontale accidentelle et la sédimentation excessive.	Les mammifères marins sont sensibles à l'appartenance en phytoplancton, à la température de l'eau, au courant, aux vibrations sonores et aux champs électromagnétiques.	La patelle géante doit être située en milieu agité ouvert.							
Construction de nouveaux ouvrages portuaires / extension (digues, jetées...)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son	L'ouvrage peut modifier l'ensemble des processus hydrodynamiques (transit littoral, agitation portuaire, etc.). Pendant les travaux, attention au niveau de turbidité généré, au bruit et à l'ancre des engins nautiques.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Courant, son	Altération mécanique, houle, topo bathymétrie, trait de côte	Mesure du courant et houle pour calibrage des modes hydro-sédimentaires	/	Suivi zone de nurserie de juvéniles de poissons	Les enjeux liés à la construction de nouveaux ouvrages portuaires concernent la possible dégradation de l'herbier (et petits fonds cibles en général) en fonction de sa distance par rapport au nouvel ouvrage. Les modifications hydro-sédimentaires sont à étudier en priorité. L'écoconcept est à privilégier. Le suivi de la colonisation des digues (macroalgues, juvéniles de poissons, etc.) est indiquée. Par ailleurs, si le port s'agrandit l'impact sur la fréquentation sur la zone de navigation doit être évaluée. Le port doit également être engagé dans la démarche Port Propre.			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/		
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés	Turbidité (pas de seuil d'alerte sauf corail rouge)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/	/	/				
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/	/	/	
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	En cas de stock sédimentaire significatif lié aux travaux de dragage dans l'enceinte portuaire (dépot volcanique ou sédimentation du panache turbide engendré) - suivi substrat meuble	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/	/	
Récupération de territoires en mer (terre plain, rochers...)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son	Idem Problématique du ruissellement des eaux pluviales à prendre en compte.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Courant, son	Altération mécanique, houle, topo bathymétrie, trait de côte	Mesure du courant et houle pour calibrage des modes hydro-sédimentaires	/	Suivi zone de nurserie de juvéniles de poissons	Idem, avec un enjeu potentiel concernant le ruissellement et l'érosion			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/		
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/	/					
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/	/		
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/	/		
Construction de nouveaux ouvrages de protection contre l'érosion des plages (enrochements, épis, brises lames, géotextiles)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son	L'ouvrage peut modifier l'ensemble des processus hydrodynamiques (transit littoral, agitation portuaire, etc.). Pendant les travaux, attention au niveau de turbidité généré, au bruit et à l'ancre de la barge.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, houle, courant, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés	Courant, son	Altération mécanique, houle, topo bathymétrie, trait de côte	Mesure du courant et houle pour calibrage des modes hydro-sédimentaires	/	Suivi zone de nurserie de juvéniles de poissons, stock sédimentaire à l'échelle de la cellule littorale, trait de côte	Les enjeux liés à la construction de nouveaux ouvrages de lutte contre l'érosion concernent la possible dégradation de l'herbier en fonction de sa distance par rapport au nouvel ouvrage. Les modifications hydro-sédimentaires sont à étudier en priorité. L'écoconcept est à privilégier. Le suivi de la colonisation des digues (macroalgues, juvéniles de poissons, etc.) est indiquée. L'habitat substrat meuble doit également être suivi (et notamment son rôle de nurserie). Les phénomènes hydro-sédimentaires doivent être suivis en continu.			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
Entretien et grosses réparations portuaires (ne modifie pas de manière substantielle le profil de l'ouvrage et les conditions hydro-sédimentaires environnantes)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, turbidité et paramètres associés, son	Pendant les travaux, attention au niveau de turbidité généré, au bruit et à l'ancre de la barge.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Son	Altération mécanique	Mesure du courant et houle pour calibrage des modes hydro-sédimentaires	/	Suivi zone de nurserie de juvéniles de poissons	Si la réparation d'ouvrages portuaires ne modifie pas ou peu le profil / l'orientation (en amont aval), le principal enjeu concerne l'écoconcept portuaire afin de favoriser la recolonisation des digues. Les travaux doivent également s'intégrer dans la démarche Port Propre.			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/			
Entretien et grosses réparations d'ouvrages de protection contre l'érosion (ne modifie pas de manière substantielle le profil de l'ouvrage et les conditions hydro-sédimentaires environnantes)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, turbidité et paramètres associés, son	Pendant les travaux, attention au niveau de turbidité généré, au bruit et à l'ancre de la barge.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Altération mécanique, turbidité et paramètres associés	Son	Altération mécanique	Mesure du courant et houle pour calibrage des modes hydro-sédimentaires	/	Suivi zone de nurserie de juvéniles de poissons, stock sédimentaire à l'échelle de la cellule littorale	Le principal enjeu concerne l'écoconcept et la recolonisation des ouvrages. Un suivi du substrat meuble est nécessaire tout comme un suivi continu des phénomènes hydro-sédimentaires.			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/			
Dragage	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Attention au degré de contamination chimique et microbiologique des sédiments. Risque de relargage dans la colonne d'eau. Pendant les travaux, attention au bruit, à la turbidité et à l'ancre de la barge.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Mesure de la contamination chimique des sédiments, granulométrie, MO	Si les sédiments sont contaminés, suivi de la contamination chimique de la surface du fond marin une fois les sédiments relargés dans la colonne d'eau	Mesure de la contamination chimique de la surface du fond marin une fois les sédiments relargés dans la colonne d'eau	Attention aux niveaux N1 et N2 qui so des seuils réglementaires et ne suffisent pas pour évaluer les enjeux écologiques. Les enjeux concernent la qualité de l'eau et des sédiments. Plusieurs guide cadrent les suivis environnementaux lors des opérations de dragage.		
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés, échantillonneur passifs ?	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	Turbidité (pas de seuil d'alerte)	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/	/			
Immersion en mer de sédiments	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques, espèces introduites	Attention au degré de contamination chimique et microbiologique des sédiments. L'immersion peut relarguer dans la colonne d'eau des contaminants chimiques, modifier le bruit ambiant et le niveau de turbidité naturelle.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), microbiologie, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), microbiologie, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), microbiologie, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques, espèces introduites	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques, espèces introduites	Son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), microbiologie, organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), espèces introduites	Mesure du courant pour calibrer le mode de dispersion	Suivi des paramètres de qualité de l'eau, substances chimiques problématiques et microbiologie	Attention aux niveaux N1 et N2 qui so des seuils réglementaires et ne suffisent pas pour évaluer les enjeux écologiques. Les enjeux concernent la qualité de l'eau et des sédiments. Plusieurs guide cadrent les suivis environnementaux lors des opérations d'immersion en me			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	/	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
Extraction de granulats	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau, organismes phytoplanctoniques	Attention à la contamination chimique et microbiologique des sédiments qui peuvent contaminer la colonne d'eau. En phase d'exploitation, attention au bruit, à la turbidité et à l'ancre de la barge.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, stocks sédimentaires, topo bathymétrie, turbidité et paramètres associés, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau et sédiments), organismes phytoplanctoniques	Son, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau), organismes phytoplanctoniques	Altération mécanique, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques (colonne eau)	Mesure du courant pour calibrer le mode de dispersion	Suivi des paramètres de qualité de l'eau, substances chimiques problématiques et microbiologie	Attention aux niveaux N1 et N2 qui so des seuils réglementaires et ne suffisent pas pour évaluer les enjeux écologiques. Les enjeux concernent la qualité de l'eau et des sédiments. Plusieurs guide cadrent les suivis environnementaux lors des opérations d'extraction de granulats.			
			Protocoles de terrain à mener avant travaux pour l'élaboration de l'état initial	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental des paramètres physico-chimiques servant de seuil d'alerte en phase chantier	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	/	Turbidité et paramètres associés, paramètre qualité eau	/	/	/	/	/	/						
			Mesures de réduction associées	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	Barrage anti turbidité	/	/	/	/	/	/			
			Suivi environnemental à mener après travaux / en phase d'exploitation	Suivi herbiers FICHE EH-1	Suivi coralligène FICHE EH-2	Suivi substrat meuble FICHE EH-4	Suivi substrat dur à algues photophiles FICHE EH-3	Suivi zostère FICHE EH-5	Suivi cymodocées FICHE EH-6	Suivi poissons FICHE EH-8	Suivi grande nacre FICHE EH-7	/	/	/	/	/			
Émissaire – rejets en mer (STEP, ruissellement)	Paramètres environnementaux potentiellement modifiés par le projet : altération mécanique, houle, courant, turbidité et paramètres associés, son, déchets flottants, micro particules, E.coli, etc. Surveiller le respect des normes d'autorisation de rejets.	Attention aux éléments rejetés : eau douce, MO, température, nutriments, microparticules, E.coli, etc. Surveiller le respect des normes d'autorisation de rejets.	Paramètres physico-chimiques modifiés par le projet auxquels les espèces et habitats sont sensibles	Altération mécanique, courant, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Altération mécanique, courant, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau et biote, flux à la mer, espèces introduites	Altération mécanique, courant, turbidité et paramètres associés, déchets posés sur le fond, paramètres de qualité générale de l'eau, substances chimiques problématiques dans la colonne d'eau													

E. BIBLIOGRAPHIE

La bibliographie doit être clairement indiquée dans tout rapport d'évaluation environnementale. La liste présentée n'est pas exhaustive mais doit néanmoins servir de repères pour le porteur de projet, sachant que les services instructeurs s'appuient sur celle-ci notamment pour instruire les dossiers. Chaque ouvrage / publication mentionne également une liste de références utiles pour le porteur de projet.

Si le porteur de projet s'appuie sur des références qui ne sont pas citées ou sur de nouvelles publications, il convient de les citer dans le dossier d'évaluation environnementale.

Les références présentées proviennent de 3 différentes sources : le MTES (et établissements publics associés), le monde universitaire et établissements de recherche, les associations / collectivités territoriales / socio-professionnels. Les références peuvent concerner :

- l'application de la réglementation ;
- l'impact d'un type de projet sur l'environnement ;
- la socio-économie ;
- l'analyse des pressions / espèces et habitats.

La plupart des références indiquées sont disponibles en ligne. Par ailleurs, les rapports issus du MTES sont disponibles sur le site du Ministère et / ou <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr> ; ceux des établissements publics, collectivités et associations sont disponibles sur leurs sites internet dédiés. Les publications scientifiques sont quelquefois disponibles sur le site des universités et peuvent être téléchargées sur les sites comme : <http://journals.plos.org/plosone/> - <https://www.researchgate.net/> (téléchargement gratuit) et payants <http://www.sciencedirect.com/> (téléchargement payant).

Nota bene. Ne sont pas référencés :

- les différents dossiers d'évaluation environnementale menés par des porteurs de projet dans le passé ;
- Les références concernant les paramètres physiques, chimiques et biologiques ;
- les rapports issus d'études internationales.

1. ESPÈCES ET HABITATS MARINS ET LEUR ÉTAT DE CONSERVATION

Les références indiquées sont additionnelles à celles déjà présentes dans les fiches méthodologiques EH -1 à 11.

Habitats marins méditerranéens

Andromede Oceanologie, 2014. La méditerranée dévoile ses dessous – Cartographie continue des habitats marins. Partenariat Agence de l'eau RMC – Andromède.

http://www.eaurmc.fr/fileadmin/documentation/brochures_d_information/Mer_Mediterranee/Livret_Surfstat-WEB.pdf

Michez N., Dirberg G., Bellan-Santini D., Verlaque M., Bellan G., Pergent G., Pergent-Martini C., Labrune C., Francour P. et Sartoretto S., 2011. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée, Liste de référence française et correspondances. Rapport SPN 2011 - 13, MNHN, Paris, 48 pages.

http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2014/SPN%202011%20-%202013%20-%20SPN_2011_-_13_Rapport_TypoMed.pdf

Michez N., Aish A. et Dirberg G., 2012. Typologie des habitats marins, Correspondances. Rapport SPN 2012 - 39, MNHN, Paris, 95 pages.
http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2013/SPN%202012%20-%2039%20-%20SPN_2012_-_39_Rapport_correspondances.pdf

Michez N., Fourt M., Aish A., Bellan G., Bellan-Santini D., Chevaldonné P., Fabri M.-C., Goujard A., Harmelin J.-G., Labrune C., Pergent G., Sartoretto S., Vacelet J. et Verlaque M., 2014. Typologie des biocénoses benthiques de Méditerranée Version 2. Rapport SPN 2014 - 33, MNHN, Paris, 26 pages.
http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2014/SPN%202014%20-%2033%20-%20Typologie_Mediterranee_version_2.pdf

Habitats Natura 2000 en mer et leur état de conservation

AAMP, 2009. Tome 2 les habitats et les espèces Natura 2000 en mer. Référentiel pour la gestion des activités de pêche professionnelle, cultures marines, sports et loisirs en mer dans les sites Natura 2000 en mer.
<http://www.aires-marines.fr/Documentation/Referentiels-pour-la-gestion-des-sites-Natura-2000-en-mer>

Bensettiti F. et Puissauve R., 2015. Résultats de l'état de conservation des habitats et des espèces dans le cadre de la directive Habitats-Faune-Flore en France. Rapportage «Article 17». Période 2007-2012. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 204 p. http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2015/SPN%202015%20-%202063%20-%20Rapport_FR_art17_web2.pdf (p 135 à p 153).

Bensettiti F., Puissauve R., Lepareur F., Tourout J. et Maciejewski L., 2012. Evaluation de l'état de conservation des habitats et des espèces d'intérêt communautaire – Guide méthodologique – DHFF article 17, 2007-2012. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 76 p.
http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2012/SPN%202012%20-%202027%20-%20Guide_methodologique_EVAL_V1_fev-2012.pdf

Comolet-Tirman J., Siblet J.-P. et Tourout J., 2012. Evaluation et rapportage au titre de l'article 12 de la Directive Oiseaux : notes explicatives et lignes directrices pour la période 2008-2012. Service du patrimoine naturel, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 82 p.
http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2012/SPN%202012%20-%2034%20-%20Evaluation_et_rapportage_Article_12_Directive_Oiseaux.pdf

Delavenne J., Lepareur F., Pettex E., Tourout J. et Siblet J.-P., 2014. Extension du réseau Natura 2000 au-delà de la mer territoriale pour les oiseaux et mammifères marins. Rapport SPN 2014-30, Muséum national d'histoire naturelle/Service du Patrimoine Naturel, 53 pages + annexes.
http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2014/SPN%202014%20-%2030%20-%20Rapport_GS_OM-MM_Vf.pdf

La documentation française, 2002. Cahiers d'habitats Natura 2000. Tome 2 : habitats côtiers.
<http://inpn.mnhn.fr/docs/cahab/tome2.pdf>

La documentation française, 2012. Cahiers d'habitats Natura 2000. Tome 8 : oiseaux.
<https://inpn.mnhn.fr/actualites/lire/606/>

Espèces invasives

Meinesz A., Chancollon O. et Cattalorda J.M., 2010. Observatoire sur l'expansion de *Caulerpa taxifolia* et

Caulerpa racemosa en Méditerranée : campagne janvier 2008 – juin 2010. Université Nice Sophia Antipolis, E.A. ECOMERS publ., 50 pp.

http://www.institut-paul-ricard.org/IMG/pdf/Rapport_2010_Observatoire_TaxRac.pdf

Boudouresque C. -F., 2012. Les invasions et transferts biologiques avec une attention spéciale au milieu marin.

http://www.com.univ-mrs.fr/~boudouresque/Documents_enseignement/Especies_introduites_2012_pdf.pdf

Otero M., Cebrian E., Francour P., Galil B. et Savini D., 2013. Surveillance des espèces envahissantes marines dans les aires marines protégées (AMP) méditerranéennes : guide pratique et stratégique à l'attention des gestionnaires. UICN. 136 pages.

<https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/2013-008-Fr.pdf>

Post-larves

Crec'hriou Romain, Garsi Laure-Hélène, Lèbre Laurie, Lozano Laura, Pastor Jérémy, Lecaillon Gilles, Durieux Eric, Simon Gaël, Ternengo Sonia, Bracconi Jérémy, Briot Lisa, Verdoit-Jarraya Marion, Saragoni Gilles, Pristchepa Séverine, Bastien Romain, Agostini Sylvia et Lenfant Philippe, 2015. Atlas des post-larves de poissons de Méditerranée occidentale. Editeurs : Crec'hriou R. & Lenfant P., Programme Life + «SUBLIMO».

<http://www.life-sublimo.fr/wp-content/uploads/2015/09/Atlas-SUBLIMO-fr-non-vecto.pdf>

2. SUIVI ENVIRONNEMENTAL ET SEUILS ASSOCIÉS

CETMEF, 2012. Suivi environnemental des aménagements portuaires et littoraux. Guide de recommandations.

<http://www.eau-mer-fleuves.cerema.fr/suivi-environnemental-des-a1073.html>

Erftemeijer P. L.A. et Robin Lewis R.R., 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: A review. Marine Pollution Bulletin, 52, 1553–1572.

Erftemeijer P. L.A., Riegl B., Hoeksema B.W. et Todd P.A., 2012. Environmental impacts of dredging and other sediment disturbances on corals: A review. Marine Pollution Bulletin 64, 1737–1765.

Holon F., Mouquet N., Boissery P., Bouchoucha M., Delaruelle G., Tribot A.-S. et Deter J., 2015. Fine-scale cartography of human impacts along French Mediterranean coasts : a relevant map for the management of marine ecosystems. PloS ONE 10 (8) : e0135473. Doc:10.1371/journal.pone.0135473.

UICN France, MNHN, SFEPM et ONCFS, 2017. La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Mammifères de France métropolitaine. Paris, France.

<http://uicn.fr/wp-content/uploads/2017/11/tableau-liste-rouge-mammiferes-de-france-metropolitaine.pdf>

La Rivière M., Aish A., Gauthier O., Grall J., Guérin L., Janson A.-L., Labrune C., Thibaut T. et Thiébaud E., 2015. *Méthodologie pour l'évaluation de la sensibilité des habitats benthiques aux pressions anthropiques*. Rapport SPN 2015 - 69. MNHN. Paris, 52 pp.

https://inpn.mnhn.fr/docs/sensibilite/SPN_2015_69_La_Riviere_et_al_2015_Methodologie_Sensibilite_MNHN.pdf

Manzanera M., Perez M. et Romero J., 1998. Seagrass mortality due to oversedimentation : an experimental approach. Journal of Coastal Conservation 4 : 67-70.

Noël C., Boissery P., Quelin N. et Raimondino V., 2012. Cahier technique du Gestionnaire : analyse comparée des méthodes de surveillance des herbiers de posidonies. 96P CartOcean, AERMC, Dreal PACA, Région PACA.

http://cartocean.fr/pages/Cahier_Technique_Methodes_Suivi.htm

3. DONNÉES GÉOGRAPHIQUES

MTES : <http://www.geoportail.gouv.fr/donnees?thematique=Littoral&type=thematique>
<http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/>
<http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/>
DREAL PACA : <http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/1131/environnement.map>
DREAL Occitanie : <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/la-plate-forme-picto-occitanie-a22628.html>
DREAL Corse : <http://observatoire-v.ac-corse.fr/CatalogAtlas/orion/webpages/explorer/>
Portail de l'eau : <http://www.eaufrance.fr/>
Centre régional de l'information géographique PACA : <http://www.crige-paca.org/>
Systèmes d'information géographique en Languedoc Roussillon : <http://www.siglr.org/>
Plateformes de diffusion d'informations géographiques en Corse : <http://carto.oec.fr/oec/authent.inc.php>
<http://infogeo.ct-corse.fr/ctc-viewer/>
AFB : <http://cartographie.aires-marines.fr/>
Ifremer : <http://sextant.ifremer.fr/fr/>
Données de surveillance Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse : <http://www.medtrix.fr/index.php/view/>
MNHN : <https://inpn.mnhn.fr/zone/sinp/espaces/viewer/>
SHOM : <http://data.shom.fr/>
BRGM : <http://infoterre.brgm.fr/>
Observatoire National de la mer et du littoral : <http://www.onml.fr/accueil/>
Université de Nice : <http://www.medam.org/>
MIO : <http://www.mio.univ-amu.fr>

Pour en savoir plus :

Contact : DREAL PACA, Service SBEP
secret-sbep.dreal-paca@developpement-durable.gouv.fr

Pour plus d'informations, rendez-vous sur notre site :
www.paca.developpement-durable.gouv.fr

