

Édition 2025

MÉTHODES ET OUTILS
POUR LA SURVEILLANCE
DES EAUX USÉES

&

DES SYSTÈMES
D'ASSAINISSEMENT
EN MÉDITERRANÉE

Auteur.e.s :

GUILBERT Antonin¹, BOISSERY Pierre², SIMONNET Isabelle³,
HOLON Florian¹, TIBEUFLolita¹, DELARUELLE Gwénaëlle¹.

¹ Andromède Océanologie, Mauguio, France

² Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse - Délégation de Marseille, Marseille, France

³ Eurofins Hydrobiologie, Gragnan, France

Contributions des auteur.e.s :

Rédaction : G.A, T.L, D.G.

Expertise et relecture : B.P, S.I, H.F, D.G.

Coordination : B.P, D.G

Photographies :

Laurent Ballesta, Andromède Océanologie

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

Guilbert A., Boissery P., Simonnet I., Holon F.,
Tibeuf L., Delaruelle G. (2025). Méthodes et outils
pour la surveillance des eaux usées et des systèmes
d'assainissement en Méditerranée. Edition 2025.
Agence de l'eau RMC / Andromède Océanologie. 92 p.

Nous remercions KENZA Kébaïli pour sa participation
à l'élaboration de la mise en page de ce guide.

Coordination et édition :

• Andromède Océanologie,
7 place Cassan
34130 Carnon-Mauguio
France

• E-mail :
contact@andromede-ocean.com

• Tel :
+33 4 67 66 32 48

Avant-propos

Les efforts de lutte contre la **pollution domestique** engagés en France au cours des quarante dernières années ont permis de réduire de façon significative les rejets directs et non épurés dans la mer Méditerranée.

Malgré cela, les rejets urbains des agglomérations côtières constituent encore de nos jours l'une des sources de pollution tellurique de la mer Méditerranée. Les eaux usées rejetées, bien que traitées, peuvent encore générer des pollutions ou des nuisances dans l'environnement, d'autant que l'on se situe dans le contexte particulier d'une mer semi-fermée, oligotrophe et qui constitue un point chaud de la biodiversité marine mondiale.

Les impacts potentiels de ces apports doivent donc être appréciés non seulement en termes d'altération de la qualité des eaux, mais aussi au regard de la **préservation des espèces et des écosystèmes marins** et ceci sur une période importante pour prendre en compte correctement les cinétiques mises en œuvre.

Au-delà du contrôle ponctuel de certains paramètres clés (DCO, DBO5, MES, etc.) à la sortie des stations d'épuration qui sont des indicateurs d'un risque de dégradation de la qualité de l'eau, il est essentiel de suivre les écosystèmes marins sur le long terme. Leur maintien ou évolution positive permettent d'évaluer les améliorations du rejet ou dans le cas contraire d'en détecter précocement d'éventuelles dérives négatives.

Les écosystèmes côtiers méditerranéens sont complexes et ils nécessitent une surveillance technique adaptée.

C'est pourquoi dès les années 90, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse (RMC) a initié, avec le concours des collectivités littorales et des syndicats d'assainissement, que des suivis écologiques soient réalisés au droit des rejets en mer des eaux usées épurées, de façon à apprécier - sur le milieu - l'effet des systèmes d'assainissement mis en place progressivement, et à surveiller l'évolution de la qualité du milieu marin.

Les impacts potentiels des rejets directs liés aux principaux déversoirs d'orage doivent aussi être appréhendés spécifiquement afin de connaître à une échelle littorale pertinente masses d'eau de la Directive Cadre Eau (DCE - 2000/60/CE) les effets cumulés de ces apports.

La première édition de ce guide, publiée en 2011 (Andral *et al.*, 2011), a posé un cadre initial méthodologique visant à évaluer l'efficacité des systèmes d'assainissements et leur impact sur le milieu marin. Il a accompagné les acteurs de l'assainissement à assurer le suivi pour respecter les exigences environnementales. Cependant, depuis sa publication, plusieurs évolutions rendent nécessaire son actualisation. D'une part, les réglementations avec l'intégration de nouveaux arrêtés définissant le cadre du suivi des rejets urbains et les seuils réglementaires. D'autre part, les avancées méthodologiques ainsi que l'expérience acquise à travers les suivis réalisés depuis cette première édition justifient une mise à jour des recommandations. Cependant, ce nouveau guide ne se substitue en aucun cas au cadre réglementaire en vigueur, défini dans les autorisations de rejets.

Cette mise à jour repose sur **l'évolution de la réglementation**, le **retour d'expérience** des laboratoires et des **observations issues des missions de terrain**. Son objectif est de **faciliter l'application des suivis écologiques** en proposant des **méthodologies reproductibles, cohérentes et valides**.

En outre, même si des adaptations du protocole d'observation et de mesures sont nécessaires pour tenir compte des spécificités de chaque site (hydrodynamisme, écologie, usages,...), l'utilisation d'un même guide de référence vise à contribuer à un tableau de bord littoral permettant de suivre dans le temps et sur tout le cordon littoral l'évolution du milieu marin.

Les suivis écologiques des rejets urbains constituent un véritable réseau de surveillance des apports à la mer.

En ce sens, ils contribuent aux ambitions de la Directive Cadre Eau (DCE - 2000/60/CE) pour le suivi des pressions côtières.

Sommaire

AVANT PROPOS	
SOMMAIRE	
INTRODUCTION	1-3
RAPPEL DES PRINCIPAUX TEXTES RÉGLEMENTAIRES DE RÉFÉRENCE.....	4
DIMENSIONNER L'EFFORT DE SURVEILLANCE	5-14
PRÉCONISATIONS GÉNÉRALES ET TÂCHES À EFFECTUER EN FONCTION DU NIVEAU DE SURVEILLANCE.....	15-84
TÂCHE 1 : COORDINATION	21
TÂCHE 2 : CONTRÔLE DES FLUX À LA MER.....	22-24
TÂCHE 3 : MÉTÉOROLOGIE	25-26
TÂCHE 4 : ÉTUDE DE LA DISPERSION DU PANACHE DU REJET.....	27-33
TÂCHE 5 : QUALITÉ DES SÉDIMENTS.....	34-41
TÂCHE 6 : QUALITÉ DE LA MATIÈRE VIVANTE	42-47
TÂCHE 7 : PEUPELEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS MEUBLES	48-51
TÂCHE 8 : SUIVI DES PEUPELEMENTS DES RÉCIFS CORALLIGÈNES	52-56
TÂCHE 9 : PEUPELEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS DURS DE L'INFRA-LITTORAL	57-60
TÂCHE 10 : PEUPELEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS DURS DU MÉDIOLITTORAL ET DE L'INFRA-LITTORAL SUPÉRIEUR.....	61-66
TÂCHE 11 : SUIVI DES HERBIERS DE POSIDONIE.....	67-73
TÂCHE 12 : TESTS BIOLOGIQUES SPÉCIFIQUES	74-77
TÂCHE 13 : CONTAMINANTS ÉMERGENTS	78-82
TÂCHE 14 : VALORISATION DU SUIVI.....	83-84
CONCLUSION	85-86
BIBLIOGRAPHIE	87

Introduction

LES AGGLOMÉRATIONS LITTORALES EN MÉDITERRANÉE FRANÇAISE

En bordure de la Méditerranée française, les agglomérations littorales regroupent près de 7 millions Equivalent-Habitants (EH) en été (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2022). Les zones littorales françaises se caractérisent par une proportion élevée de stations de traitement des eaux usées (STEU) de grande capacité. La variabilité saisonnière est particulièrement marquée et se traduit par des augmentations importantes en période estivale, pouvant atteindre un facteur dix dans certains secteurs. **Les grandes agglomérations (Cannes, Nice, Montpellier, Marseille, Toulon, etc.) apportent 80 % des rejets urbains en mer** (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2023). En région Occitanie et en Corse, le tissu urbain apparaît relativement concentré, tandis qu'en région Sud la population est disséminée sur un plus grand nombre d'agglomérations de toutes tailles.

LA COMPOSITION DES REJETS URBAINS

Les rejets urbains apportent à la mer :

- un **volume d'eau douce**, estimé à environ 150 litres par habitant et par jour ;
- une **charge en matières particulières** (Matière En Suspension), **organiques** (Demande Biologique en Oxygène 5, Demande Chimique en Oxygène) qui a significativement diminué ces dernières années avec l'amélioration des niveaux d'épuration (niveau biologique) ;
- une **charge nutritive** représentée par les composés de l'azote, du carbone et du phosphore ;
- des **contaminants chimiques, organiques et minéraux**, dont les produits de traitement et des molécules dites « émergentes » (molécules pharmaceutiques, composés de synthèse, additifs d'essence, produits de désinfection,...) ;
- des **germes microbiens**.

Chaque groupe contribue d'une façon spécifique à la modification du milieu avec parfois des effets cumulés, très difficiles, voire impossibles à caractériser. Pour cette raison, ils devront être traités de façon différente selon l'importance et la situation du rejet et la configuration du site.

LE NIVEAU D'ÉPURATION ACTUEL

Actuellement, une part importante des eaux usées urbaines fait l'objet d'un traitement spécifique (assainissement) visant à son épuration avant rejet. Le nombre de systèmes d'assainissement sur l'espace littoral tel que défini par le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) est en augmentation constante (60 en 1975, 150 en 1985 et 265 actuellement).

On évalue actuellement le taux d'épuration à plus de 90 % de la pollution totale produite (en termes de MES, DBO5 et DCO) (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2024).

L'ÉLIMINATION EN MER

L'ensemble des agglomérations littorales en Méditerranée française déversent après épuration leurs effluents urbains dans la zone côtière.

Néanmoins, une grande variété de situations existe entre des rejets côtiers à faible profondeur et des rejets effectués au large via des émissaires de plusieurs kilomètres de longueur.

LES SPÉCIFICITÉS DU MILIEU CÔTIER MÉDITERRANÉEN

Les caractéristiques particulières locales des eaux de la Méditerranée sont importantes à considérer dans le cadre de la surveillance des rejets urbains. Elles déterminent pour une grande part le devenir en mer des effluents et les effets qu'ils engendrent sur le milieu et les usages.

Nous pouvons mentionner :

- l'existence de **courants de surface**, diminuant en fonction de la profondeur, principalement dus aux vents ;
- une grande **limpidité des eaux**, généralement pauvres en matière organique et en sels nutritifs (eaux oligotrophes) ;
- une **stratification hydrologique** à dominante thermique en période estivale ;

Il faut également tenir compte du rôle essentiel de la **météorologie**, qui peut avoir un caractère « cataclysmique » : orages, coups de vents (intenses et de courte durée), tempêtes. Ceci entraîne des modifications importantes et brutales du milieu par la remise en suspension des sédiments, la destruction de la stratification thermique, les apports d'eau douce par les cours d'eau, etc.

Le système océanographique méditerranéen se comporte comme un système impulsional, étroitement lié à des phénomènes météorologiques brutaux dont l'intensité est souvent imprévisible.

LES EFFETS CONSTATÉS

De nombreuses observations effectuées sur les sites français soumis à un rejet urbain ont montré l'existence d'effets délétères, dont les conséquences peuvent être résumées comme suit :

- une **contamination de l'eau**, de la **matière vivante** et des **sédiments** (ces derniers jouant le rôle de piège et de réservoir pour les contaminants) directement au droit des rejets urbains ;
- une **altération des peuplements naturels**, particulièrement au niveau des sédiments (benthos), du médiolittoral, et de l'infralittoral supérieur avec une forte diminution de leur diversité spécifique, voire parfois l'existence de conditions abiotiques pour la macrofaune de substrat meuble.

LES ENSEIGNEMENTS DU PROGRAMME «REJETS URBAINS» ET DES SUIVIS RÉALISÉS AU COURS DES ANNÉES PASSÉES

Les études conduites jusqu'à présent ont montré que la variabilité intrinsèque du milieu marin récepteur nécessite une **gestion adaptative** intégrant l'évolution des pressions anthropiques et des conditions climatiques, afin de déterminer le devenir des effluents rejetés en mer.

Cette variabilité est étroitement liée à l'importance des spécificités géomorphologiques et hydrodynamiques locales des milieux récepteurs (milieux ouverts, semi-fermés ou fermés, profondeur, exposition, etc.), qui apparaissent très diverses et conditionnent fortement l'impact des effluents.

Ainsi, pour éviter l'eutrophisation et le risque de développements phyto-planctoniques et de macroalgues, il convient d'éviter tout apport excessif de sels nutritifs et de matières organiques dans des sites fermés ou semi-fermés. Ceci étant, aucun phénomène de ce type n'a été observé depuis le début des suivis écologiques des rejets urbains.

L'absence de courant notable sur le littoral méditerranéen favorise la déposition de matériels particuliers contaminés sur les fonds à proximité des points de rejet. Parmi les composés apportés par les effluents, les détergents et les micro-organismes posent un problème particulier, car les apports se font en quantités importantes, sont peu épurés, et leurs effets représentent un risque sanitaire direct pour les usagers des eaux et la faune marine.

La mise en œuvre d'un suivi écologique sur le moyen/long terme nécessite une organisation technique et administrative spécifique permettant d'associer les principaux partenaires concernés (État, Agence de l'eau, bureaux d'étude, gestionnaires locaux, usagers, socioprofessionnels etc.) en vue d'interpréter les données acquises au regard des autres informations disponibles provenant ou non de réseaux de surveillance de la qualité du milieu marin, de s'approprier les résultats, de les valoriser et de communiquer.

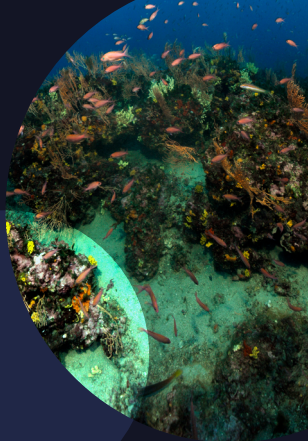
Cette nouvelle édition du guide propose une méthodologie de référence pour la surveillance de l'impact des rejets urbains en zone littorale de la Méditerranée française. Il prévoit un effort de surveillance adapté aux situations susceptibles d'être rencontrées.

Rappel des principaux textes réglementaires de référence

1. Directive-cadre sur l'eau (2000/60/CE)
2. Directive (CEE) n° 91-271 du Conseil du 21 mai 1991 modifiée relative au traitement des eaux urbaines résiduaires
3. Directive cadre Stratégie pour le milieu marin (2008/56/CE)
4. Loi n°2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques
5. Arrêté du 6 novembre 1996
6. Code de l'environnement, et notamment son livre II
7. Code général des collectivités territoriales, et notamment ses articles L. 2224-7 à L. 2224-12, L. 5216-5 et R. 2224-6 à R. 2224-21
8. Code de la santé publique, et notamment le livre III de la 1ère partie
9. Arrêté du 22 juin 2007 relatif à la collecte, au transport et au traitement des eaux usées des agglomérations d'assainissement ainsi qu'à la surveillance de leur fonctionnement et de leur efficacité, et aux dispositifs d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique supérieure à 1,2 kg/j de DBO5
10. Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau du bassin Rhône-Méditerranée-Corse approuvé par le Préfet de bassin le 17 décembre 2009
11. Circulaire du MEEDD du 29 septembre 2010 relative à la surveillance de la présence de micropolluants dans les eaux rejetées au milieu naturel par les stations de traitement des eaux usées
12. Arrêtés préfectoraux portant autorisation des systèmes d'assainissement
13. Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement Art L. 219-7. – « Le milieu marin fait partie du patrimoine commun à la Nation. Sa protection et la conservation de sa biodiversité et son utilisation durable par les activités maritimes et littorales dans le respect des habitats et des écosystèmes marins sont d'intérêt général ».
14. Arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5.
15. Arrêté du 24 août 2017 modifie l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif, à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5.
16. Note technique du 24 mars 2022 relative à la recherche de micropolluants dans les eaux brutes et dans les eaux usées traitées de stations de traitement des eaux usées et à leur réduction. Précisant la liste des micropolluants à considérer pour la campagne de mesure RSDE 2022.
17. Arrêté du 10 juillet 2024 modifiant l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et aux installations d'assainissement non collectif à l'exception des installations d'assainissement non collectif recevant une charge brute de pollution organique inférieure ou égale à 1,2 kg/j de DBO5

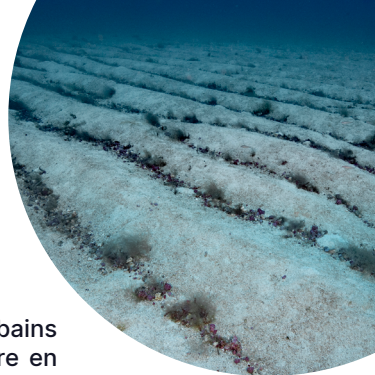
Dimensionner l'effort de surveillance

- Données requises
- Périmètre de la zone d'étude
- Vulnérabilité écologique
- Caractérisation des usages
- Calibrage de l'effort de surveillance



Données requises

L'importance de l'impact environnemental des rejets urbains est fonction de plusieurs facteurs qu'il convient de prendre en considération afin de définir l'effort de surveillance.



Ces paramètres sont les suivants :

- ① l'importance des apports en termes de **flux** ;
- ② le **procédé** d'épuration utilisé ;
- ③ la **localisation** du point de rejet (rejet directement à la côte ou émissaire au large) ;
- ④ la **configuration géomorphologique** et les **caractéristiques hydrodynamiques** du site récepteur, selon qu'il s'agit d'un rejet dans un site fermé, d'une baie semi fermée, de la mer ouverte ou d'un cap particulièrement exposé ;
- ⑤ la **richesse** du patrimoine naturel, la présence d'organismes rares ou protégés ;
- ⑥ l'importance des **usages** s'exerçant sur le milieu (tourisme, pêche, aquaculture, baignade, plaisance, industries).

Procéder au calibrage de l'effort de surveillance nécessite donc d'avoir des données sur chacun de ces paramètres que l'on regroupera dans deux catégories : les caractéristiques du rejet et les caractéristiques du milieu récepteur.

Typologie des impacts environnementaux

Est appelé **impact environnemental** toute modification de la qualité de l'eau, de la qualité de la matière vivante et de la qualité des sédiments. **Plusieurs critères peuvent le caractériser :**

- **l'étendue de l'impact** : changement de la mesure d'une variable de l'environnement, tant au niveau spatial que temporel. Elle peut représenter une mesure (par exemple quantification d'espèces atteintes ou niveau de contamination chez certaines espèces) ou une prédiction, mais de façon quantifiable ;
- **l'intensité ou l'ampleur des modifications** : degré de perturbation du milieu, variable selon le degré de sensibilité du milieu ;
- **la durée** de l'impact : aspect temporel avec les caractères de réversibilité ;
- **la fréquence** de l'impact : caractère intermittent ou occurrence ;
- **le niveau d'incertitude** : probabilité que l'impact se produise.

Caractérisation du rejet

Certes ce paramètre ne représente pas l'ensemble des risques pour l'environnement marin ou la santé humaine, qui pourraient être causés par d'autres contaminants (détergents, molécules émergentes, germes pathogènes par exemple).

Le rejet est caractérisé par des paramètres physico-chimiques et biologiques strictement encadrés par la réglementation, adaptés aux caractéristiques du milieu récepteur et vérifiés par un suivi régulier.



Les principaux paramètres utilisés pour caractériser les rejets sont :

- **Matière en suspension (MES) :**
concentration maximale autorisée en particules solides ;
- **Demande biochimique en oxygène (DBO5) :**
limite de la quantité de matière organique biodégradable
- **Demande chimique en oxygène :**
quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder toute la matière organique contenue dans une eau
- **Nutriments (azote total et phosphore total) :**
pour limiter les risques d'eutrophisation dans les milieux récepteurs
- **Paramètres microbiologiques :**
présence de pathogènes (exemple : *Escherichia coli*) pour éviter les contaminations dans les eaux de baignade ou les zones conchycoliques
- **Substances dangereuses :**
certaines substances spécifiques (métaux lourds, hydrocarbures, pesticides, etc.) sont surveillées selon la Directive Cadre sur l'Eau (DCE - 2000/60/CE).

Pour mieux quantifier les rejets des stations d'épuration, il est essentiel de se référer à la notion d'équivalent-habitant qui permet d'évaluer la capacité d'une station d'épuration. L'**équivalent habitant (EH)** est défini par l'article 2 de la Directive européenne eaux résiduaires urbaines n°91/271/CEE du 21 mai 1991 comme étant la charge organique biodégradable ayant une demande biochimique en oxygène en cinq jours (DBO5) de 60 grammes

par jour. Au niveau national, celui-ci est défini par l'article R2224-6 du Code général des collectivités territoriales (CGCT).

En France, un équivalent-habitant représente 60 g de DBO5, 90 g de MES, 135 g de DCO, 15 g d'azote total Kjeldahl (NTK) et 4 g de phosphore total (Pt).

Le niveau de rejet est déterminé soit en appliquant des prescriptions techniques minimales définies par la réglementation (par exemple l'arrêté du 21 juillet 2015), soit en évaluant la qualité nécessaire des effluents épurés pour garantir que les objectifs de qualité du milieu récepteur ne soient pas compromis. La norme la plus stricte issue de ces deux approches est retenue.

Ce niveau de rejet peut être exprimé sous forme de concentrations maximales autorisées et/ou de rendements minimaux à atteindre.

Les paramètres les plus fréquemment considérés incluent les **MES**, la **DBO5**, la **DCO** (voir Tableau 1) ainsi que l'**azote** et le **phosphore** dans les zones sensibles à l'eutrophisation comme le milieu marin (voir Tableau 2).

Des valeurs plus sévères peuvent être fixées par le préfet. Dans certaines circonstances dites inhabituelles (par exemple temps de pluie générant d'importantes quantités d'eaux pluviales rejoignant le réseau d'eaux usées) un niveau de rejet dégradé peut être passagèrement toléré. Mais en aucun cas, il ne s'agit d'une norme de rejet.

Tableau 1 : Performances minimales des stations d'épuration des agglomérations telles que fixées par l'article 15 de l'arrêté du 21 juillet 2015 et modifié par l'arrêté du 31 juillet 2020.

Taille de la commune ou de l'agglomération	Charge pollution organique	Concentration maximale du rejet à respecter (mg/L)			Rendement épuratoire minimum		
		DCO	DBO5	MES	DCO	DBO5	MES
< 2.000 EH	< 120 kg	200	35		60 %	60 %	50 %
> 2.000 EH	> 120 kg	125	25	35	75 %	80 %	90 %

Lorsque les rejets ont lieu dans des zones sensibles à l'eutrophisation, les valeurs indiquées ci-dessus sont complétées par des exigences épuratoires sur l'azote et le phosphore.

Tableau 2 : Performances minimales de traitement attendues pour les paramètres azote et phosphore dans le cas des stations rejetant en zone sensible à l'eutrophisation par l'article 17 de l'arrêté du 21 juillet 2015 et modifié par l'arrêté du 31 juillet 2020.

Rejet en zone sensible à l'eutrophisation	Paramètre	Charge brute de pollution organique en kg/jour de DBO5	Concentration maximale à respecter (mg/L)	Rendement minimum à atteindre
Azote	NGL	> 600 et ≤ 6000	15	70 %
		> 6000	10	70 %
Phosphore	Ptot	> 600 et ≤ 6000	2	80 %
		> 6000	1	80 %

Remarque : Les performances de traitement sont jugées **conformes** si le nombre annuel d'échantillons moyens journaliers non conformes (à la fois aux valeurs fixées en concentration et en rendement) ne dépasse pas un certain nombre d'échantillons moyens journaliers prélevés dans l'année dont les valeurs sont référencées au Tableau 8 de l'article 17 de l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissements et modifié par l'arrêté du 31 juillet 2020 et dont les paramètres doivent toutefois, en dehors des situations inhabituelles, respecter les concentrations rédhitoires du Tableau 1.

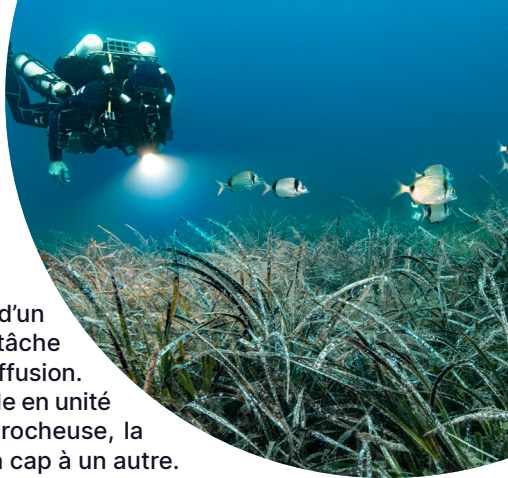
● Caractérisation du milieu récepteur

L'état général du milieu marin est influencé d'une façon plus ou moins importante par le déversement de substances altérage. En conséquence, il est essentiel d'évaluer dans le temps, l'augmentation, la stabilisation, ou la diminution du niveau de la contamination dans les trois compartiments marins : l'eau, le biotope et le sédiment.

D'une façon générale, les données acquises au cours de ces différentes tâches seront interprétées à l'aide des outils d'évaluation mis en œuvre par la **Directive Cadre Eau 2000/60/CE** (méthodologie d'échantillonnage, grilles d'interprétation, format de la donnée à bancariser, etc.).

Périmètre de la zone d'étude

Définir la zone d'étude n'est pas aisé et disposer d'un modèle de dispersion peut être utile dans cette tâche pour connaître la zone d'impact du panache de diffusion. En l'absence de modèle, on définira la zone d'étude en unité géomorphologique. Par exemple, sur une côte rocheuse, la zone d'étude s'identifiera longitudinalement d'un cap à un autre.



Vulnérabilité écologique

Si le site n'a pas fait l'objet d'une procédure d'étude d'impact, il conviendra, dans le cas où une surveillance est envisagée, d'effectuer une étude de l'écologie marine préalable sur l'ensemble de la zone afin d'évaluer la vulnérabilité écologique du site. Idéalement l'étude de l'écologie marine comprend une cartographie des biocénoses et substrats réalisée au 1/5000^{ème} dans la tranche bathymétrique 0-60 m et couvrant les étages médiolittoral, infralittoral et circalittoral.

Les écosystèmes benthiques des différents étages sont sensibles aux perturbations et notamment aux rejets urbains en milieu côtier.

- L'étage **médiolittoral** correspond à l'intervalle intertidal (compris entre les niveaux des plus hautes et des plus basses mers) dont les peuplements y sont régulièrement soumis aux alternances d'émersions et d'immersion, dont de nombreuses espèces sensibles telles que les algues du *Lithophyllum*, *Patella ferruginea*.

- L'étage **infralittoral** correspond aux premiers mètres situés sous le niveau des plus basses mers et les peuplements sensibles sont les phanérogames (avec précision de la typologie des herbiers et de leurs limites bathymétriques), les roches à algues photophiles (en particulier espèces sensibles de l'infralittoral supérieur telles que *Ericaria amantacea*), l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) et les substrats meubles.

- L'étage **circalittoral**, plus profond, comprend les **réefs coralligènes**, les biocénoses et peuplements du détritique côtier ainsi que les substrats rocheux et meubles qui peuvent être sensibles aux rejets.

Les étages du médiolittoral et de l'infra-littoral sont particulièrement exposés aux effets d'un effluent côtier. En effet le rejet, constitué d'eaux douces moins denses que les eaux marines, va remonter et se disperser en surface, impactant les espèces sensibles (*Cystoseires*, *Lithophyllum*, etc.).

Il est important que l'étude des écosystèmes benthiques à proximité du rejet soit accompagnée d'une cartographie représentant la délimitation des surfaces atteintes ou concernées par les Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) et une localisation des espèces benthiques sessiles patrimoniales et/ou protégées. Cette étude comportera aussi une analyse écologique qui permettra de dresser un état de vitalité/conservation des biocénoses et d'en suivre l'évolution ultérieurement.

« Les études préalables à la réalisation d'aménagements ou d'ouvrages qui, par l'importance de leurs dimensions ou leurs incidences sur le milieu naturel, peuvent porter atteinte à ce dernier, doivent comporter une étude d'impact permettant d'en apprécier les conséquences. »

Code de l'environnement,
article L. 122-1

Caractérisation des usages

Les usages s'exerçant sur le milieu marin sont, pour les côtes méditerranéennes françaises, extrêmement nombreux et dépendants d'une bonne qualité de la masse d'eau (pêche, aquaculture, loisirs nautiques, tourisme, etc.).

Une **étude socio-économique** des usages s'exerçant sur la zone d'étude pourra être utile mais aboutira la plupart du temps à souligner la densité des usages et l'importance des enjeux économiques liés à la qualité du milieu.

Calibrage de l'effort de surveillance

Le protocole de surveillance se doit d'optimiser les échantillonnages et de limiter au maximum les facteurs de variabilité, ce qui passe par la nécessité de conserver un même protocole pendant **plusieurs années** (cinq ans minimum), et de privilégier les **échantillons multiples** (réplicas) pour augmenter la précision des mesures du point de vue statistique.

Il doit en outre être adapté à l'impact potentiel du rejet sur le milieu naturel. Par exemple, à flux identique, l'impact d'un rejet à la côte sera plus important que celui d'un rejet en profondeur via un émissaire en mer.

Le Tableau 3 présente un classement des surveillances en fonction de deux critères majeurs : la nature des sites et l'importance des apports. Les milieux récepteurs sont regroupés en cinq catégories principales qui tiennent compte de « l'éloignement à la côte », et d'une notion générale de « degré de fermeture du site ».

Il conviendra de surclasser ou sous-classer d'une catégorie la surveillance en fonction des critères complémentaires à caractériser par une étude préalable ou un dire d'expert, à savoir :

- La richesse et vulnérabilité du patrimoine naturel ;
- L'importance des usages s'exerçant sur la zone de rejet.

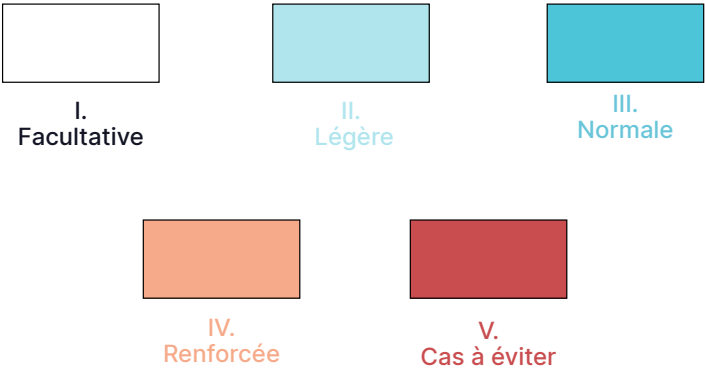
La notion de « fermeture géographique » se définit ainsi : les lagunes côtières sont considérées comme des milieux fermés ; les baies de Saint-Tropez, des Embiez, et de Villefranche-sur-Mer, ainsi que les rades de Marseille et de Toulon et l'anse de Carteau, sont classées comme milieux semi-fermés ; le reste du littoral est qualifié de milieu ouvert.

Importance des apports:

Tableau 3 : Critères permettant un classement de l'effort de surveillance à effectuer (cf. protocoles), selon l'importance des apports à la mer et la configuration géographique du site marin récepteur.

En EH	< 2 000	2 000 à 10 000	10 000 à 50 000	50 000 à 150 000	> 150 000
En MES (T/J)	<0,16	0,16 à 0,8	0,8 à 0,4	4 à 12	> 12
Émissaire en milieu ouvert					
Émissaire en milieu semi-fermé					
Rejet côtier en mer ouverte					
Rejet côtier en milieu semi-fermé					
Rejet côtier en milieu fermé					

Surveillance du site:



Préconisations générales et tâches à effectuer en fonction du niveau de surveillance

- Période et plan d'échantillonnage
- Prélèvements et conditionnement
- Analyses en laboratoire
- Résultats et interprétation
- Bancarisation des données
- Empreinte écologique du projet
- Notion de coût

Chacune des tâches présentées ci-après est individualisée. Elles peuvent être mise en œuvre de façon indépendante. Pour chacune d'entre elles, il a été défini un protocole spécifique proposant un nombre de campagnes de mesures, un choix des stations de prélèvement, des paramètres et des analyses à effectuer ainsi que les résultats attendus. Voici les préconisations applicables de façon générale aux différentes étapes de ces tâches.



Période et plan d'échantillonnage

Il est recommandé de réaliser chacune des tâches à des périodes identiques au suivi précédant, de respecter les périodes préconisées et de les conserver d'un suivi à l'autre. Les anciennes stations de suivi seront préférentiellement utilisées afin d'évaluer l'évolution dans le temps de l'impact des rejets sur le milieu récepteur. Néanmoins, la possibilité de modifier certaines stations historiques pourra être envisagée en fonction de la pertinence des résultats antérieurs ou d'une nouvelle modélisation de la dispersion du panache du rejet.



Toutes les stations doivent être distribuées de façon à couvrir, en le privilégiant, l'axe majeur de propagation du panache. Elles devront intégrer la zone de champ proche, champ moyen et champ lointain du panache du rejet :

- **Champ proche** : C'est la zone immédiate autour du point de rejet où la concentration des substances rejetées est la plus élevée. Dans cette zone, l'impact sur les organismes et les habitats marins peut être significatif.
- **Champ moyen** : Zone où la concentration des substances rejetées commence à diminuer à mesure qu'elles se dispersent. Les effets sur l'environnement sont généralement moins importants que dans le champ proche, mais ils peuvent toujours être préoccupants.
- **Champ lointain** : Il s'agit de la zone où les substances rejetées se sont suffisamment dispersées et diluées pour que leur concentration soit relativement faible ou nulle. Les effets sur l'environnement dans le champ lointain sont généralement négligeables.

Le plan d'échantillonnage devra donc préférentiellement s'appuyer sur les résultats de la Tâche 4 « Etude de la dispersion du panache du rejet ». Les stations seront géoréférencées afin de limiter toute variabilité liée à une imprécision de localisation.

Il est recommandé d'utiliser les cartographies des habitats marins existantes disponibles en libre accès sur les plateformes comme **MEDTRIX** ([projet DONIA Expert](#)) pour l'élaboration du plan d'échantillonnage. Ces données cartographiques permettront d'identifier le type d'habitats présents à proximité des rejets, de définir les éventuelles stations de suivi des espèces particulières, ou simplement d'éviter les zones d'herbier et de roches pour les prélèvements de sédiments, la pose d'ancres et de lests.

Prélèvements et conditionnement

Les méthodes et les outils de prélèvement d'échantillons sont définis dans chacune des tâches. Lors des prélèvements, les prestataires devront se conformer à la réglementation ainsi qu'aux normes de sécurité en vigueur pour la réalisation d'opérations en milieu aquatique (embarquement à bord d'un navire, travaux en milieu hyperbare ...).

Ils s'engagent à suivre les recommandations des laboratoires sur le conditionnement des échantillons et les conditions de transport afin de respecter leurs critères

d'agrément. Certaines tâches nécessiteront des demandes d'Autorisation d'Occupation Temporaire (AOT) du domaine public à déposer auprès des services concernés.

Analyses en laboratoire

Pour effectuer les analyses, il est conseillé de s'adresser à des laboratoires agréés par le Ministère de l'Environnement ou accrédités par le Comité Français d'Accréditation (COFRAC). Cet organisme de référence garantit la compétence et la fiabilité des laboratoires à travers un processus rigoureux d'accréditation.

Il est également recommandé de choisir des laboratoires participant aux programmes d'inter-calibrations à l'échelle nationale ou internationale, et dont les seuils de

détection sont suffisamment bas pour identifier des concentrations inférieures aux niveaux de référence établis pour la Méditerranée.

Résultats et interprétation

Afin de tendre vers une standardisation de la base de données, les résultats devront être présentés en respectant les unités définies pour chaque paramètre. Ils devront préciser les niveaux de contamination (chimique et bactériologique) et les situer par rapport aux valeurs de référence et aux normes existantes. Ces concentrations dans le milieu seront ainsi comparées à une Norme de Qualité Environnementale (NQE). Une NQE est définie comme la « concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée, afin de protéger la santé humaine et l'environnement ».

L'interprétation des résultats se fera à plusieurs niveaux :

- **Spatial** (au regard de la distance au rejet)
- **Temporel** (au regard des précédents suivis)
- **Réglementaire** (au regard des valeurs seuils ou NQE)
- **Point de référence** (au regard de stations de référence existantes ou d'une station témoin suivie spécifiquement dans le cadre de cette surveillance)

Cette interprétation des résultats pourra aussi intégrer les pressions anthropiques identifiées sur la zone d'étude dans le cadre du réseau de surveillance IMPACT « Suivi des pressions anthropiques côtières en Méditerranée française » disponibles sur la plateforme [MEDTRIX](#).

Bancarisation des données

Un effort particulier sera mené pour harmoniser la bancarisation des données afin de favoriser une cohérence sur le long terme. Cette démarche s'appuiera sur des standards recommandés dans ce guide garantissant ainsi la compatibilité avec les suivis antérieurs et facilitant des comparaisons fiables. Le maître d'ouvrage veillera au bon respect de cette tâche et au stockage de ces données

qui seront susceptibles d'être utilisées lors des futurs suivis ou dans le cadre d'autres études.

L'ensemble de ces données pourra être bancarisé dans un projet dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Empreinte écologique du projet

Une attention particulière sera portée sur la démarche environnementale du programme de surveillance afin de limiter l'empreinte écologique induite par du suivi des rejets urbains en mer. Ces différentes actions peuvent inclure la planification des missions en mer en maximisant une cohérence géographique des interventions en groupant les tâches, mais aussi en prêtant attention à

ce qu'aucun mouillage sur les habitats marins sensibles (herbiers de posidonie et récifs coralligènes) ne soit réalisé. Ainsi que de veiller à ne rien prélever, intentionnellement ou non, sauf avec autorisations ou encore limiter l'utilisation de l'eau douce pour le matériel.

Notion de coût

Le coût d'un programme de surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée représente souvent des sommes importantes (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de milliers d'euros) qui varient selon la nature du rejet et des tâches mises en place pour évaluer son impact sur le milieu récepteur.

Il est important d'adapter la surveillance (tâches, nombre de stations suivies...) pour optimiser le rapport efficacité du suivi/bénéfice environnemental/coût.

Chaque type de rejet, classé dans le tableau ci-dessous, fera l'objet d'un protocole de surveillance spécifique comportant tout ou une partie des tâches identifiées ci-après.

Tableau 4 : Tâches proposées en fonction du type de surveillance et son coût associé.

TÂCHE		SURVEILLANCE					COÛT (€)	TEMPS ESTIMÉ TRAVAIL
N°	INTITULÉ	Facultative I	Légère II	Normale III	Renforcée IV	Déversoirs d'orage		
1	Coordination							
2	Contrôle des flux à la mer						1 000 – 3 000	5 jours
3	Météorologie						1 500 – 5 000	5 jours
4	Étude de la dispersion du panache du rejet						10 000 – 50 000	60 jours
5	Qualité des sédiments						20 000 – 40 000	10 jours
6	Qualité de la matière vivante						10 000 – 25 000	10 jours
7	Peuplements benthiques des substrats meubles						35 000 – 50 000	10 jours
8	Suivi des peuplements des récifs coralligènes						8 000 – 20 000	10 jours
9	Peuplements bent- hiques des substrats durs de l'infra littoral						8 000 – 20 000	10 jours
10	Peuplements bent- hiques des substrats durs du médio littoral						4 500 – 8 000	5 jours
11	Herbiers de posidonie						2 500 – 6 000	10 jours
12	Tests biologiques spécifiques						10 000 – 30 000	7 jours
13	Contaminants émergents						35 000 – 45 000	10 jours
14	Valorisation du suivi						900 – 2 500	

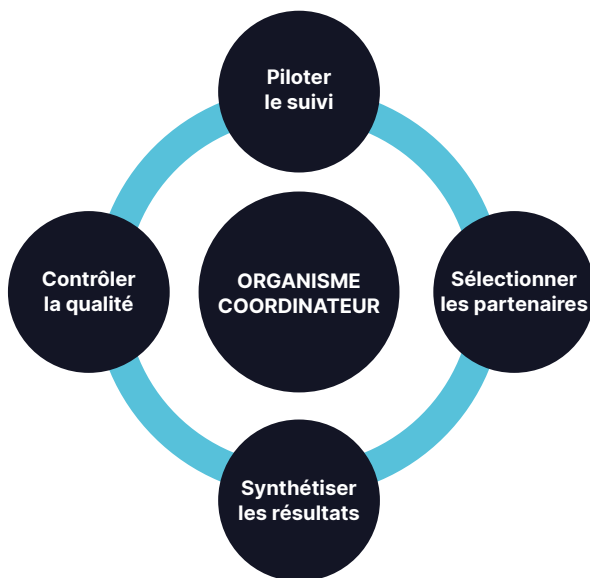
Recommandé

Recommandé
si pertinent

TÂCHE 1 : COORDINATION

Le maître d'ouvrage pourra lui-même assumer cette tâche ou choisir de s'appuyer sur un organisme chargé de la coordination scientifique et technique afin de faciliter l'approche opérationnelle de la surveillance.

En cas de recours à un tiers extérieur, l'assistant au maître d'ouvrage veillera à la mise en place du protocole de surveillance et en suivra le bon déroulement. Il sera l'interface entre le ou les prestataire(s) technique(s) chargé(s) du suivi et le Maître d'ouvrage.



L'organisme coordinateur sera particulièrement chargé de :

- **Mettre en place** le protocole de surveillance ;
- **Conseiller sur le choix du ou des prestataires** pour la réalisation du suivi dans le cadre d'un appel d'offres ;
- **Contrôler la qualité du suivi** et rendre compte des éventuels problèmes au Maître d'ouvrage ;
- **Réaliser un document de synthèse** présentant l'essentiel des résultats acquis, de façon à mettre en évidence le lien état-pression, l'état du milieu et les tendances de son éventuelle évolution.



TÂCHE 2 : CONTRÔLE DES FLUX À LA MER

Il importe de connaître la nature (qualitative et quantitative) des apports à la mer véhiculés par le rejet.

Conformément à l'article L.214-8 du Code de l'environnement et aux articles R. 2224-15 et R.2224-17 du Code général des collectivités territoriales, les maîtres d'ouvrages sont tenus de mettre en place un dispositif de surveillance des systèmes de traitement des eaux usées. Cette surveillance vise à garantir et à vérifier leur efficacité ainsi qu'à contrôler, lorsque cela est spécifié à l'article 18-II, l'état du milieu récepteur. Ce contrôle permanent défini comme « **l'autosurveillance** » permet de prendre en compte les variations de flux liées par exemple aux épisodes d'orages ou à des dysfonctionnements de la station d'épuration ainsi que de comparer les flux de sortie « station d'épuration » avec les flux de sortie « déversoirs ». L'autosurveillance est une obligation réglementaire en France par l'arrêté du 21 juillet 2015 relatif aux systèmes d'assainissement collectif et permet d'éviter des pollutions accidentelles tout en optimisant le fonctionnement du système.

Pour cela, différents paramètres sont mesurés dans le cadre de l'autosurveillance :

- **Le débit**, de façon continue par des techniques éprouvées,
- **Le pH**, les eaux usées traitées rejetées ont un pH compris entre 6 et 8,5
- **La température**, celle-ci est inférieure à 25°C sauf en cas de conditions climatiques exceptionnelles
- **Le flux** des principaux composés et contaminants rejetés en mer (voir Tableau 3)

Les prélèvements peuvent être réalisés en continu ou à intervalles réguliers tels qu'annuels. Ils sont effectués en fonction de la capacité de la station et les analyses sont réalisées par un laboratoire agréé.

● Fréquence et période du suivi

Le contrôle des flux à la mer est réalisé annuellement.

● Point de prélèvements

La localisation des stations et les données antérieures si elles existent sont mises à disposition du prestataire par le maître d'ouvrage.

● Méthodologie

Le prestataire compilera l'ensemble des résultats des analyses d'autosurveillance des rejets des stations d'épuration y compris les Rejets de Substances Dangereuses dans l'Eau (RSDE) et des postes de relevage depuis les états de référence.

Paramètres
et méthode d'analyses

Le prestataire réalisera un bilan des flux, caractérisera leur évolution interannuelle et leurs variations annuelles tout en les corrélant avec les paramètres météorologiques et d'éventuels dysfonctionnements de la station. Il analysera les éventuelles corrélations entre évolution des flux et évolution des milieux récepteurs.

Les paramètres pris en compte dans ces analyses sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 5 : Paramètres analysés dans le cadre de l'autosurveillance.

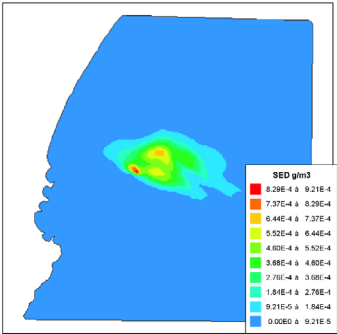
PARAMÈTRES ANALYSÉS	CODE	DESCRIPTION
Matières En Suspension	MES	Composées pour 1/3 de matières minérales et 2/3 de matières organiques (aussi appelées MVS matières volatiles en suspension).
Demande Biologique en Oxygène	DBO5	Représente la quantité d'O2 consommée par les bactéries pour dégrader la matière oxydable biodégradable, pendant 5 jours.
Demande Chimique en Oxygène	DCO	Représente la quantité d'O2 consommée par réaction chimique pour dégrader la matière oxydable (biodégradable ou non).
Azote ammoniacal	N-NH4	Teneur en azote sous forme d'ammonium
Azote Kjeldahl total	NTK	Teneur en composés non oxydés de l'azote (principalement azote organique et azote ammoniacal)
Azote nitrite	N-NO2	Teneur en azote sous forme de nitrite
Azote nitrate	N-NO3	Teneur en azote sous forme de nitrate
Azote global	NGL	Teneur globale en azote
Phosphore total	PT	Teneur globale en phosphore

Le règlement européen (CE) n°166/2006 impose une obligation de déclaration annuelle des émissions polluantes pour les stations d'épuration dont la capacité dépasse 100 000 EH. Les substances à déclarer et leurs

seuils sont listés en annexe. Par ailleurs, ce Règlement (CE) n°166/2006 sera abrogé à compter du 1^{er} janvier 2028 et sera remplacé par le nouveau Règlement (UE) 2024/1244 du 24 avril 2024.

Bancarisation
des données

L'ensemble des données brutes de l'autosurveillance ainsi que les données traitées dans le cadre du contrôle des flux à la mer sera transmis au format Excel en respectant autant que possible le format de données ci-dessous :



TENEUR

Date	Pluvio.	Volume	MES	DCO	DBO5	N-NH4	NTK	N-NO2	N-NO3	NGL	PT	Paramètres RSDE
DD/MM/AAAA	mm	m³	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	µg/l

FLUX

Date	Pluvio.	Volume	MES	DCO	DBO5	N-NH4	NTK	N-NO2	N-NO3	NGL	PT
DD/MM/AAAA	mm	m³	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j	kg/j

RENDEMENT

Date	Pluvio.	Volume	MES	DCO	DBO5	N-NH4	NTK	N-NO2	N-NO3	NGL	PT
DD/MM/AAAA	mm	m³	%	%	%	%	%	%	%	%	%

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Le traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas dépasser **quatre jours de travail**.
Fourchette de coût : **1 000 à 3 000 €**.

TÂCHE 3 : MÉTÉOROLOGIE

Les conditions météorologiques sont essentielles à prendre en compte, car elles influencent directement la dispersion des rejets en mer, la remise en suspension des sédiments et les mouvements verticaux des eaux. De plus, l'activation des déversoirs d'orage en cas de fortes pluies des systèmes d'assainissements peut entraîner une perturbation du milieu récepteur.

● Fréquence et période du suivi

Des données de météorologie seront collectées en continu, tout au long des suivis.

● Point de prélèvements

Ces données devront être collectées sur des stations suffisamment proches des zones de rejets pour être représentatives des conditions locales.

● Méthodologie

Dans le cas où une station météorologique est implantée à proximité du site, les données recueillies pourront être utilisées dans la mesure où leur représentativité a été confirmée. Si ce n'est pas le cas, il est recommandé d'utiliser des capteurs-enregistreurs autonomes.



Paramètres et méthode d'analyses

Lors de la surveillance on cherchera à suivre en continu les paramètres météorologiques suivants :

- Le **vent** (en direction et vitesse),
- Les **précipitations** (en mm),
- La **température** de l'air.

Des données de **température de surface de la mer** (SST) pourront également être récoltées via les bases de données disponibles en ligne (ex : [COPERNICUS](#)). Des données de température de fond pourront être extraites du réseau **CALOR** « Suivi de la température de fond en Méditerranée » ([CALOR](#)). En effet, la température de surface (SST) et la **température de fond** influencent la densité de l'eau et peuvent entraîner une modification des masses d'eau ainsi que de la dynamique des courants. De plus, ces informations sont essentielles pour l'interprétation des résultats d'autosurveillance.

Bancarisation des données

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi météorologique seront transmises au format Excel en respectant autant que possible le format de données ci-dessous :

Date	Heure	Précipitations (mm)	Température (°C)	Vent	
				Vitesse (kts ou km/h)	Direction (Degrés)

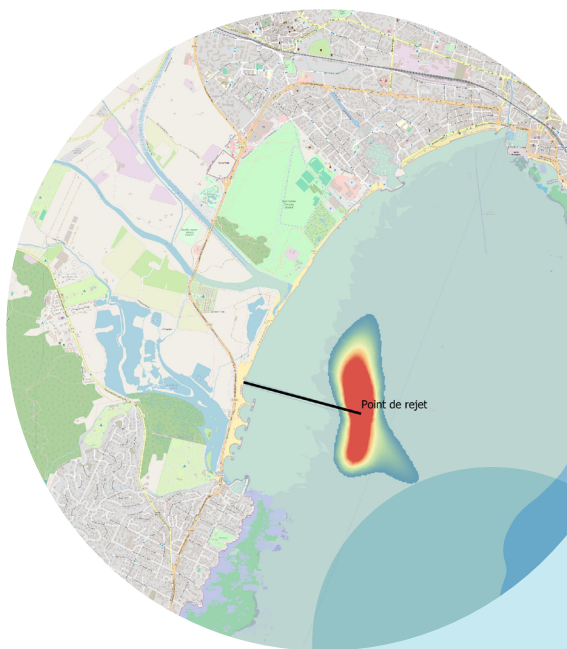
L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Un abonnement devra en général être souscrit auprès de Météo France pour la collecte des données. L'intégration/traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas dépasser **5 jours de travail**.

Fourchette de coût : **1 500€ à 5 000€**

TÂCHE 4 : ÉTUDE DE LA DISPERSION DU PANACHE DU REJET



La dispersion du panache d'un rejet en mer fait référence à la manière dont les substances ou les polluants rejetés se propagent et se dispersent dans l'eau. Cela dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature du polluant, la profondeur, les courants marins, la météorologie, la température de l'eau et d'autres caractéristiques environnementales.

La connaissance de la dispersion du rejet en mer permet de caractériser le champ proche, le champ moyen et le champ lointain d'influence du rejet et de déterminer la nature des habitats et des espèces potentiellement impactés.

La caractérisation de ces domaines d'influence est essentielle pour définir la stratégie de suivi environnemental qui devra être mise en œuvre pour mesurer l'impact potentiel du rejet sur les écosystèmes marins.

L'évaluation de la dispersion du panache pourra être faite à partir de **l'étude de la courantologie locale** ou, de manière plus approfondie, par modélisation numérique.

Fréquence du suivi

Tous les suivis de rejets urbains en Méditerranée doivent s'appuyer sur une connaissance de la dispersion du panache du rejet. Lorsque cette donnée est existante mais qu'elle est jugée comme n'étant plus adaptée, celle-ci pourra faire l'objet d'une actualisation.

Méthodologie

Le gestionnaire mettra à disposition du maître d'ouvrage l'ensemble des données de courantologie locale ou les modélisations existantes. Si ces données sont inexistantes ou non adaptées, il est recommandé de réaliser au moins une étude de la courantologie locale. Si cela s'avère nécessaire, il est également possible d'approfondir cette étude en intégrant ces données de courantologie à une modélisation numérique de la dispersion du panache du rejet.

Étude de la courantologie locale

Les courants marins ont un impact direct sur la dispersion des rejets en mer. Ils peuvent les transporter sur de longues distances ou les confiner dans des zones spécifiques. La vitesse et la direction des courants sont donc des paramètres critiques pour déterminer les zones d'influence du rejet.

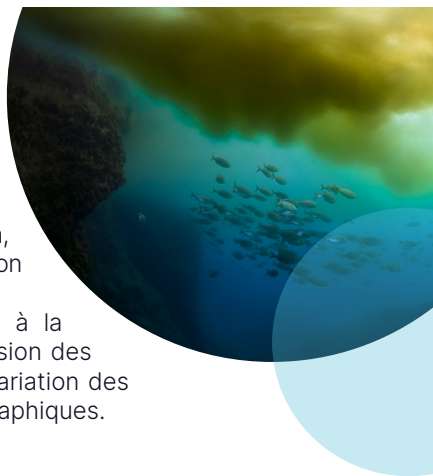
La courantologie locale pourra être appréciée soit par modélisation soit directement par mesure *in situ*. Les données acquises *in situ* devront couvrir au moins un cycle annuel et si possible les cas de vent les plus fréquents. Les données simulées devront couvrir les situations hydro-climatiques les plus fréquentes mais également les événements exceptionnels.



Modélisation du panache du rejet

La dispersion des rejets dans le milieu récepteur pourra, si nécessaire, être évaluée à l'aide d'outils de modélisation hydrodynamique.

La modélisation offre une solution pour répondre à la nécessité de pouvoir observer et délimiter la dispersion des rejets et visualiser son évolution en fonction de la variation des paramètres de forçage météorologiques et océanographiques.



Les simulations de rejet réalisées doivent permettre de :

- **Donner une représentation graphique** du panache d'effluent prenant en compte les situations hydro-climatiques les plus fréquentes mais également les événements exceptionnels.
- **Estimer le gradient de dilution** des concentrations d'effluents dans l'eau de mer pour les paramètres physico-chimiques et bactériologiques recherchés.
- **Préciser et expliquer les éventuelles corrélations** entre des traces de contaminant retrouvées sur les stations de mesure avec la présence des rejets.

Méthodologie pour la modélisation du panache du rejet

Limites de la surface de modélisation

Les outils informatiques de modélisation ne peuvent travailler que dans un espace fini. Il est donc nécessaire de déterminer une zone d'étude à l'intérieur de laquelle sera modélisé le rejet. Les paramètres décrivant les phénomènes intégrés aux simulations (vitesses, concentrations, ...) sont ainsi mesurés et/ou modélisés à l'intérieur de cette zone délimitée.

Avant toute simulation, il est donc nécessaire de numériser le domaine de calcul (appelé maillage). Cette opération est effectuée sur les bases de données

bathymétriques présentées sous forme de Modèle Numérique de Terrain (MNT) géoréférencé et de la forme du trait de côte (hydrodynamisme local différent si baie semi fermée ou mer ouverte). La résolution spatiale de la maille de calcul devra être affinée à proximité du point de rejet, dans une limite raisonnable d'un point de vue computationnel, et la densité de nœuds pourra être adaptée selon la morphologie de la bathymétrie (forte là où la bathymétrie varie beaucoup, faible lorsque la bathymétrie est stable).

Intégration des paramètres

La modélisation du panache d'un rejet nécessite l'intégration de données océanographiques et météorologiques aux limites de la zone modélisée, ainsi que des caractéristiques du rejet afin de prédire la trajectoire et la concentration du panache dans le temps et l'espace. Les paramètres intégrés à la modélisation du panache seront soit mesurés *in situ* soit déterminés à partir d'équations intégrant des données existantes.

Il est recommandé d'utiliser au moins les paramètres suivants :

- **La bathymétrie** via un Modèle Numérique de Terrain (MNT)
- **La courantologie** établie à partir des valeurs issues de modèles de courantologie locale ou régionale
- **La météorologie** avec des mesures de l'orientation et de la vitesse des vents
- **Le débit** mesuré au point de rejet du système d'assainissement ou en amont
- **Les flux** à la mer établis à partir des données fournies dans le cadre de l'autosurveillance
- **Les concentrations** des traceurs (mesures des teneurs en polluants sur les différentes stations de suivi autour du rejet)

Les autres paramètres seront déterminés à partir d'équations intégrant des données existantes :

- **L'écoulement du traceur :** les équations de Saint-Venant seront utilisées pour mesurer ce phénomène car elles permettent de calculer les vitesses moyennes et la direction d'écoulement en fonction du temps. Ces équations intègrent les données relatives aux hauteurs d'eau (bathymétrie), ainsi que la nature du transporteur (eau douce).
- **Le frottement sur le fond :** il dépend de la nature du fond (sable, herbier, roche...) et sera pris en compte grâce à une valeur de coefficient de Strickler spécifique pour chaque habitat (coefficient élevé pour les habitats peu rugueux, et faible pour les habitats limitant l'écoulement par frottements).
- **La turbulence :** elle pourra être modélisée par une approche L.E.S (Large Eddy Simulation), qui est particulièrement bien adaptée pour les écoulements maritimes.

L'acquisition de certaines de ces données peut nécessiter la mise en place de campagnes de collecte dédiées.

Calibration du modèle

Les données de flux à la mer obtenues dans le cadre de l'autosurveillance et les données relatives aux teneurs en polluants mesurées sur les différentes stations de suivi autour des rejets seront utilisées pour calibrer les modèles. Cette opération sera reconduite à chaque nouveau suivi. Ces calibrations seront réalisées avec des champs de courants correspondant aux situations météorologiques ayant prévalu lors des mesures en mer. Les coefficients de Strickler utilisés pour prendre en compte les frottements en fonction de l'habitat pourront également être ajustés.

Outil de modélisation

Il existe de nombreux outils de modélisation numérique adaptés à cette tâche. Afin de faciliter l'exploitation et surtout la mise à jour des données de modélisation, il est recommandé d'utiliser des outils éprouvés et disponibles en libre accès.



● Paramètres et méthode d'analyses

Cas d'une étude de la courantologie locale :

Les données de courantologie acquises *in situ* devront couvrir au moins un cycle annuel et si possible les cas de vent les plus fréquents. Les données simulées devront couvrir les situations hydro-climatiques les plus fréquentes mais également les événements exceptionnels.

Cas d'une modélisation du panache du rejet :

La modélisation inclura les fonctionnalités suivantes :

- Une **simulation de la dispersion du rejet** montant sur la colonne d'eau. Il s'agit de simulations spécifiques de champ proche, intégrant les différences de densité eau douce – eau de mer, la présence éventuelle de stratifications thermique ou haline, et le mode d'étalement du panache en surface ou sous la thermocline.
- Une **simulation du devenir du panache** dans le champ lointain à l'aide d'un modèle tridimensionnel de circulation marine. Celui-ci intégrera les résultats de simulations de champ proche.

Différentes simulations seront alors réalisées suivant les principales variables de forçage du modèle que sont le vent et les courants. Une première base de simulations (dites témoins) sera réalisée avec les hypothèses d'émission des contaminants selon plusieurs scénarios représentatifs des conditions météo-océaniques dominantes.

Les simulations porteront sur les **matières en suspension**, les **dépôts sur le fond** et la **bactériologie**. Pour chacun de ces trois paramètres, la restitution graphique comportera les panaches par situation météo-océanique et le panache moyen annuel intégrant l'occurrence des situations.

L'étude de la dispersion du panache du rejet, qu'elle soit réalisée via une étude de la courantologie locale ou une modélisation plus complexe, devra permettre de valider le plan d'échantillonnage pour le suivi des rejets urbains sur le milieu récepteur. Si les points de prélèvements définis lors des suivis antérieurs à la modélisation sont jugés non pertinents au regard des résultats de ces simulations, le prestataire pourra proposer un ajustement de la position de ces stations.



Bancarisation des données

Dans un souci de traçabilité, d'exploitation et de mise à jour régulière des modèles de courantologie et/ou de dispersion du panache d'un rejet, il est nécessaire de fournir en plus des résultats des simulations :

- Les données SIG qui décrivent les conditions aux limites (courantologie, bathymétrie ...) au format vectoriel ou raster
- Les données utilisées pour décrire la nature du rejet (débit, flux...)
- Les données utilisées pour calibrer les modèles (teneurs en polluants...)
- Le nom du logiciel utilisé et sa version
- Les fichiers de configuration des modèles
- Les modules supplémentaires de codes (Fortran ou autre)
- Tout fichier de métadonnées et autre mode d'emploi si nécessaire à la reproductibilité du travail réalisé

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Le travail de caractérisation de la courantologie locale et /ou la modélisation du panache d'un rejet en mer présente un coût qui peut varier considérablement en fonction de divers facteurs, notamment l'échelle de la modélisation, la complexité des processus à prendre en compte, les logiciels et les technologies utilisés, et la disponibilité des données.

Pour minimiser ce coût, il est recommandé de s'appuyer au maximum sur l'intégration de données existantes (bathymétrie, courantologie, météorologie, débits, flux, concentration des traceurs...). Pour

le travail de modélisation, il est également recommandé d'utiliser des logiciels en libre accès tels que le modèle hydrodynamique tridimensionnel [TELEMAC-3D](#).

En fonction de ces différents facteurs, le temps de travail peut être assez conséquent. L'intégration des paramètres/le traitement/l'analyse des données et la rédaction peut représenter **jusqu'à 60 jours ouvrés de travail**.

Fourchette de coût :
10 000€ à 50 000€.

TÂCHE 5 : QUALITÉ DES SÉDIMENTS



Les sédiments constituent un réservoir potentiel de contaminants chimiques et sont couramment utilisés comme indicateurs de la qualité du milieu marin dans de nombreux programmes de surveillance. L'étude du compartiment sédimentaire permet d'intégrer la variabilité temporelle du milieu marin et d'évaluer la contamination chronique des milieux prospectés.

Le programme de suivi des sédiments est destiné à préciser leur caractéristiques physiques, granulométriques et chimiques (composition, niveau de contamination).

Fréquence et période de suivi

Il est préconisé d'effectuer **une campagne tous les 3 ans**, à la même période, si possible durant les périodes de calme (en été).

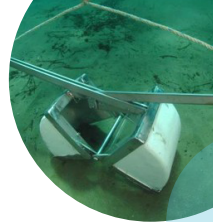
Point de prélèvements

Au total, **15 points** seront échantillonnés. Ils seront répartis sur une zone englobant le rejet, déterminée selon l'importance du rejet, la diversité des faciès sédimentaires et la courantologie locale. Ces stations devront se distribuer de façon à couvrir, en le privilégiant, l'axe de propagation majeure de l'effluent en mer selon la modélisation du panache (voir Tâche 3 : Etude de la dispersion du panache du rejet). Pour un rejet éloigné de la côte, les stations doivent se répartir selon le schéma de principe suivant :

- **4 stations dans le champ proche** (moins de 1000 m de la sortie de l'effluent, situées en priorité sur l'axe du panache, à des distances croissantes de façon exponentielle, par exemple 50 m, 150 m, 300 m et 800 m)

- **6 stations dans le champ intermédiaire**, sur chacun des axes de propagation de l'effluent. Elles se situeront à des distances croissantes (par exemple à 1, 2 et 3 km). Pour le littoral méditerranéen, on aura souvent 2 axes privilégiés Nord-Ouest/Sud-Est, correspondants aux régimes météorologiques dominants. Un 3^{ème} axe peut être défini en fonction de l'étalement de la nappe par temps calme.

- **5 stations complémentaires**, situées dans le champ lointain, et/ou sur certains secteurs particuliers.



Méthodologie

Pour une surveillance de routine, seule la **couche néphéloïde** (dépôts particuliers très fins à la surface du sédiment) et la **couche superficielle** des sédiments seront prélevées.

A chaque station seront réalisés, à la **benne Van-Veen**, **3 prélèvements** qui seront mélangés de façon à obtenir un échantillon moyen par station. Il convient de prélever au moins 3 kg de sédiments par station afin d'assurer le volume nécessaire pour l'analyse par les laboratoires. Au total, on aura donc un échantillon par station, soit 15 échantillons à analyser par campagne. Lorsqu'un point établi par le plan d'échantillonnage n'est, sur le terrain, pas

adapté à la réalisation d'un prélèvement (herbier de posidonie, roches...), une équipe de plongeurs pourra être mise à contribution afin de repérer une zone de sédiments au plus proche du point initial, et d'effectuer ce prélèvement en plongée avec le matériel adapté.

S'il est opportun de connaître l'historique de la contamination, il faudra alors prélever des sédiments profonds permettant la datation. Dans ce cas, en plus des couches néphéloïdes et superficielles des sédiments, les prélèvements devront concerner les sédiments de la couche bioturbée (3 - 20 cm). Ces prélèvements de sédiments profonds seront réalisés à l'aide d'un carottier.

Paramètres et méthode d'analyses

Les sédiments côtiers renferment de nombreuses substances dont certaines présentent un caractère toxique affirmé : métaux, hydrocarbures polyaromatiques, organochlorés (PCB), pesticides et biocides divers. Les processus qui interviennent dans le relargage ou l'immobilisation des contaminants associés au sédiment sont régulés dans une large mesure par les propriétés physico-chimiques de l'environnement du site de dépôt, mais aussi liés à l'activité microbiologique dans le sédiment lui-même.

Une première analyse visuelle des échantillons prélevés est réalisée *in situ*. Elle concerne les paramètres suivants : la couleur, l'homogénéité (présence ou

absence de stratification), la présence d'animaux, la texture, la structure de surface (par exemple : rides), l'odeur et l'éventuelle présence d'une contamination visible à l'œil nu (exemple : reflet d'hydrocarbures).

Les analyses classiques sur sédiments sont réalisées sur la portion brute, c'est-à-dire sur la portion inférieure à 2 mm. Les analyses portent sur l'ensemble des paramètres présentés dans le tableau ci-dessous. Les résultats devront situer les niveaux des contaminations identifiées, sur la zone étudiée.

Tableau 6 : Paramètres analysés pour la tâche qualité du sédiment

Paramètres	Analyses		Unité
Paramètres généraux	Teneur en matière organique Total (perte au feu à 500°C/48h)		% MS
	Refus pondéral à 2 mm		%
	Granulométrie laser à pas variable (0 à 2000 µm)	Gravier (>2 mm)	%
		Sable (63 µm-2 mm)	%
		Vase (2 µm-63 µm)	%
		Argile (<2 µm)	%
	Nitrates		mg/kg MS
	Nitrites		mg/kg MS
	Azote global		mg/kg MS
	Azote Kjeldahl		mg/kg MS
	Phosphore total		mg/kg MS
	Orthophosphates		mg/kg MS
	Carbone organique total (COT)		mg/kg MS
Contaminants organiques	Agent de surface non ionique sur éluat		mg/l
	Agents de surface cationiques sur éluat		mg/l
	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAPs)	Naphtalène	µg/kg p.s
		Acénaphthylène	µg/kg p.s
		Acénaphthène	µg/kg p.s
		Fluorène	µg/kg p.s
		Phénanthrène	µg/kg p.s
		Anthracène	µg/kg p.s
		Fluoranthène	µg/kg p.s
		Pyrène	µg/kg p.s
		Benzo (a) anthracène	µg/kg p.s
		Chrysène	µg/kg p.s
		Benzo (b) fluoranthène	µg/kg p.s
		Benzo (k) fluoranthène	µg/kg p.s
		Benzo (a) pyrène	µg/kg p.s
		Dibenz (a,h) anthracène	µg/kg p.s
		Benzo (ghi) pérylène	µg/kg p.s
		Indéno (1,2,3, cd) pyrène	µg/kg p.s





	PCB congénères (7 composés)	PCB 28	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 52	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 101	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 118	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 138	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 153	µg/kg 2,5 TOC
		PCB 180	µg/kg 2,5 TOC
		Somme des PCB (7)	µg/kg p.s
Contaminants métalliques	Cuivre (Cu)		µg/kg p.s
	Cadmium (Cd)		µg/kg p.s
	Plomb (Pb)		µg/kg p.s
	Zinc (Zn)		µg/kg p.s
	Argent (Ag)		µg/kg p.s
	Chrome (Cr)		µg/kg p.s
	Mercure (Hg)		µg/kg p.s
	Argent		µg/kg p.s
	Nickel (Ni)		µg/kg p.s
	Fer (Fe)		µg/kg p.s
Contaminants biologiques	<i>E. coli</i>		NPP/g
	Entérocoques		NPP/g
	Salmonelles		NPP/g
Pesticides (1)	P,p' – DDE		µg/kg p
	DDT total		µg/kg p.s
	O,p'-DDT		µg/kg p.s
	Hexachlorobenzène		µg/kg p.s
	Lindane		µg/kg p.s
	Dieldrine		µg/kg p.s

(1) Seuils appliqués pour valeur normalisées à 2,5 % COT (carbone organique total)

Interprétation
des résultats

Les analyses qui seront réalisées devront être interprétées au regard des concentrations connues dans les sédiments pour les paramètres mesurés. Différentes valeurs seuils issues de la bibliographie et des réglementations seront ainsi utilisées.

Tableau 7 : Valeurs de référence pour l'interprétation des résultats de la matière organique, l'azote total, le phosphore total et le carbone organique dans les sédiments marins selon Licari (1998).

	Teneur faible	Teneur moyenne	Teneur forte	Teneur très forte
Matière organique (% MS)	<2,84	2,84 à 6,95	6,95 à 12,08	>12,08
Azote Total (% MS)	<0,04	0,04 à 0,09	0,09 à 0,18	>0,18
Phosphore Total (mg/kg)	<553	553 à 1417	1417 à 2085	>2085
Carbone organique (% MS)	<0,44	0,44 à 0,75	0,75 à 1,52	>1,52

Tableau 8 : Valeurs de références des hydrocarbures totaux dans les sédiments marins selon les données du Réseau nationale de surveillance des Ports Maritimes (REPOM) 2023.

(mg/kg)	Teneur faible	Teneur moyenne	Teneur forte	Teneur très forte
Hydrocarbures Totaux	< 100	100 à 500	500 à 1000	> 1000

Tableau 9 : Niveaux relatifs aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) selon le seuil du bon état écologique défini par l'arrêté du 9 septembre 2019 et des seuils N1/N2 définis par l'arrêté du 9 août 2006.

Hydrocarbures aromatiques polycycliques (16 HAPs)	Unité	Bon état écologique	N1	N2
Naphthalène	µg/kg p.s	160	160	1130
Acénaphtène	µg/kg p.s	/	15	260
Acénaphtylène	µg/kg p.s	/	40	340
Fluorène	µg/kg p.s	/	20	280
Phénanthrène	µg/kg p.s	240	240	870
Anthracène	µg/kg p.s	85	85	590
Fluoranthène	µg/kg p.s	600	600	2850
Pyrène	µg/kg p.s	665	500	1500
Benzo (a) anthracène	µg/kg p.s	261	260	930
Chrysène	µg/kg p.s	384	380	1590
Benzo (b) fluoranthène	µg/kg p.s	/	400	900
Benzo (k) fluoranthène	µg/kg p.s	/	200	400
Benzo (a) pyrène	µg/kg p.s	430	430	1015
Dibenz (a,h) anthracène	µg/kg p.s	/	60	160
Benzo (g,h,i) pérylène	µg/kg p.s	85	1700	5650
Indéno (1,2,3, cd) pyrène	µg/kg p.s	240	1700	5650

Tableau 10 : Niveaux relatifs aux polychlorobiphényles (PCB) congénères selon le seuil du bon état écologique défini par l'arrêté du 9 septembre 2019 et des seuils N1/N2 définis par l'arrêté du 9 août 2006 (modifié par l'arrêté du 30 juin 2020).

Polychlorobiphényles (PCB) congénères	Unité	Bon état écologique	N1	N2
PCB 28	µg/kg 2,5 TOC	1,7	5	10
PCB 52	µg/kg 2,5 TOC	2,7	5	10
PCB 101	µg/kg 2,5 TOC	3	10	20
PCB 118	µg/kg 2,5 TOC	0,6	10	20
PCB 138	µg/kg 2,5 TOC	7,9	20	40
PCB 153	µg/kg 2,5 TOC	40	20	40
PCB 180	µg/kg 2,5 TOC	12	10	20
Somme des résultats de PCB positifs	µg/kg p.s	11,5	/	/

Tableau 11 : Niveaux relatifs aux métaux selon le seuil du bon état écologique défini par l'arrêté du 9 septembre 2019 et des seuils N1/N2 définis par l'arrêté du 9 août 2006.

Paramètres relatifs aux éléments traces	Unité	Bon état écologique	N1	N2
Arsenic (As)	mg/kg p.s	8,2	25	50
Cadmium (Cd)	mg/kg p.s	1,2	1,2	2,4
Chrome (Cr)	mg/kg p.s	81	90	180
Cuivre (Cu)	mg/kg p.s	34	45	90
Mercure (Hg)	mg/kg p.s	0,15	0,4	0,8
Nickel (Ni)	mg/kg p.s	21	37	74
Plomb (Pb)	mg/kg p.s	47	100	200
Zinc (Zn)	mg/kg p.s	150	276	552
Fer (Fe)				

Tableau 12 : Niveaux relatifs aux métaux selon le seuil du bon état écologique défini par l'arrêté du 9 septembre 2019.

Pesticides (1)	Unité	Bon état écologique
P,p' – DDE	µg/kg p.s	2,2
DDT total	µg/kg p.s	1,58
O,p'-DDT	µg/kg p.s	1
Hexachlorobenzène	µg/kg p.s	20
Lindane	µg/kg p.s	3
Dieldrine	µg/kg p.s	0,02

Tableau 13 : Niveaux relatif du TBT selon le seuil du bon état écologique défini par l'arrêté du 9 septembre 2019 et des seuils N1/N2 définis par l'arrêté du 9 août 2006.

Organoétain	Unité	Bon état écologique	N1	N2
TBT	µg/kg p.s	12	100	400

Afin de tendre vers une standardisation des bases de données, les résultats seront présentés en respectant les unités définies pour chaque paramètre de chaque tâche du suivi de la qualité des sédiments. Les résultats préciseront les niveaux de chaque paramètre et les situera par rapport aux normes existantes. L'interprétation des résultats se fera à plusieurs niveaux en tenant compte de ces 4 paramètres :

- **Spatial** (au regard de la distance au rejet)
- **Temporel** (au regard des précédents suivis)
- **Réglementaire** (au regard des valeurs seuils)

Cette analyse pourra intégrer les autres pressions anthropiques identifiées sur la zone d'étude en s'appuyant sur les données du réseau IMPACT disponibles sur [MEDTRIX](#).

Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel des positions de chaque station sera fourni.

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi de la qualité des sédiments seront transmises au format Excel. Afin d'uniformiser le format de

bancarisation des données, celles-ci seront intégrées au « Tableau des paramètres à analyser », présenté ci-dessus. Le format et les unités de ce tableau devront être respectés.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Cette tâche implique la réalisation d'une campagne à la mer qui peut prendre 1 à 2 journées selon la configuration du site et la nature des sédiments à prélever. Les analyses physico-chimiques effectuées en laboratoire représentent souvent le volet le plus coûteux de cette tâche. L'intégration/traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas dépasser **10 jours de travail**.

Fourchette de coût :
20 000€ à 40 000€

TÂCHE 6 : QUALITÉ DE LA MATIÈRE VIVANTE



Cette méthode de suivi consiste à utiliser des organismes marins comme indicateurs biologiques de la qualité du milieu pour l'évaluation des niveaux de contamination chimique et bactériologique. Cette technique dite des bio indicateurs quantitatifs utilise la bioaccumulation pour mesurer les niveaux de contamination chimique du milieu, tout en atténuant les fluctuations à court terme 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 bio-monitorage utilisant la moule repose sur l'hypothèse que le contenu en contaminants dans la chair de cet animal reflète la concentration en contaminants bio-disponibles dans l'eau sous forme particulaire et/ou dissoute, selon un processus de bioaccumulation. Cette hypothèse a été validée pour les substances chimiques de type hydrophobes ou intermédiaires, susceptibles de se bioaccumuler.

● Fréquence et période de suivi

Il est préconisé d'effectuer une campagne tous les **trois ans** à la même période. Une **période d'immersion de 2,5 mois** comprise entre mars et fin juin est recommandée comme compromis entre plusieurs exigences :

- Immerger des individus avec suffisamment de réserves énergétiques pour éviter des différences importantes de composition biochimique ;
- Opérer pendant la phase de repos sexuel où le métabolisme des individus est le plus stable.

Points de prélèvements

Cinq stations seront suivies :

- 1 au niveau du débouché de l'émissaire
- 2 à 250 m de part et d'autre du débouché
- 2 à 500 m de part et d'autre du débouché

La position des stations de mouillage des pochons de moules fera l'objet d'une demande d'**Autorisation d'Occupation Temporaire** (AOT) délivrée par le gestionnaire du domaine public. De plus, la localisation des stations devra être transmise aux prud'homies et comités locaux des pêches afin de limiter les risques de perte liés aux activités de pêche et de plaisance.

Méthodologie

La stratégie développée dans ce suivi recourt aux transplants d'individus provenant d'un site de référence d'élevages en mer (bio-monitorage actif).

Chaque échantillon sera composé d'un lot d'environ **5 kg** de moules calibrées (50 mm minimum), stockées dans une poche conchylicole (3 kg serviront pour les analyses physico-chimiques, 0,5 kg pour les analyses bactériologiques et 1,5 kg serviront de sécurité pour compenser l'éventuelle perte d'individus au cours des opérations).

Il est important de noter qu'un lot de moules devra être analysé avant transplantation afin de servir de **blanc analytique**.

La poche conchylicole devra être suffisamment grande pour permettre à chaque individu de bénéficier d'une circulation d'eau suffisante pour sa survie et son développement.

Il est ainsi recommandé d'utiliser des poches conchylicoles d'une grande capacité (100 cm x 50 cm) et de 1,5 cm de maille.

L'immersion des échantillons de moules se fera à l'aide d'un mouillage de subsurface, constitué d'une poche conchylicole maintenue en pleine eau à une profondeur de 8 m grâce à un flotteur et relié à un lest.

Pour pallier aux pertes possibles liées à l'hydrodynamisme, ce lest sera lui-même relié à une ancre par une chaîne (voir Figure 1).

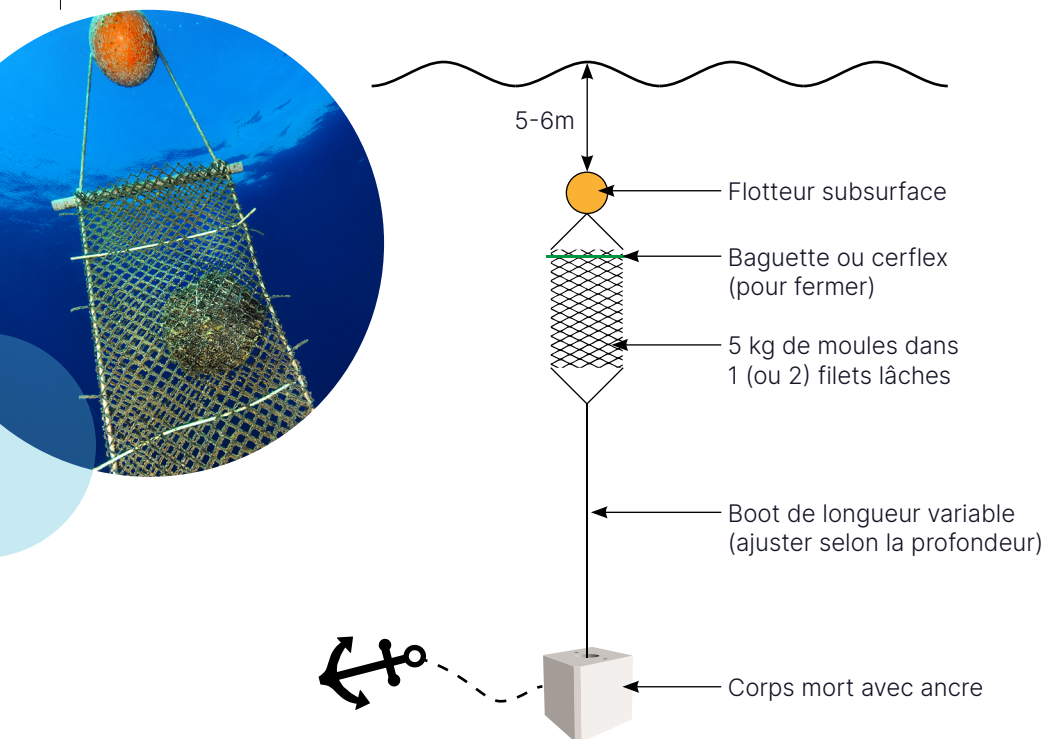


Figure 1 : Schéma illustrant la méthodologie pour la pose d'échantillons vivants (moules).

Paramètres et méthodes d'analyse

Les **paramètres biologiques, taux de mortalité et indice de condition**, seront évalués sur chaque station. L'estimation du nombre d'individus par poche lors de l'immersion des moules en mer, puis le comptage du nombre d'individus morts lors de la récupération, permettra d'évaluer le taux de mortalité. L'indice de condition correspond au rapport du poids sec moyen de chair d'un lot sur le poids sec moyen de coquille. Il permet d'ajuster les valeurs en tenant compte de la variabilité des sites de stabulation.

Les analyses porteront également sur les **polluants chimiques et bactériens** retenus par le RINBIO, et présentés ci-dessous, qui sont utilisés dans les réseaux « matière vivante » et « eaux conchylicoles ». Les résultats devront préciser les niveaux de contamination (chimique et bactériologique) des organismes, et les situer par rapport aux valeurs de référence et aux normes existantes.

Tableau 14 : Paramètres biologiques et seuils dans le cadre de l'analyse de la qualité de la matière vivante.

Paramètres à analyser		Unité	Valeur seuil
PARAMÈTRES BIOLOGIQUES DES MOULES			
Taux de mortalité		%	
Matière sèche à 105°C		% P.B.	
Indice de condition			
PARAMÈTRES RELATIFS AUX HYDROCARBURES PERSISTANTS ET SUBSTANCES ORGANIQUES TOXIQUES PERSISTANTES ET BIOACCUMULABLES			
Détergents anioniques			
Détergents non ioniques			
Hydrocarbures aromatiques polycycliques	Naphtalène	µg/kg p.s	340
	Acénaphthylène	µg/kg p.s	1,4
	Acénaphthène	µg/kg p.s	1,4
	Fluorène	µg/kg p.s	2,5
	Phénanthrène	µg/kg p.s	1700
	Anthracène	µg/kg p.s	290
	Fluoranthène	µg/kg p.s	21,6
	Pyrène	µg/kg p.s	100
	Benzo (a) anthracène	µg/kg p.s	80
	Chrysène	µg/kg p.s	
	Benzo (b) fluoranthène	µg/kg p.s	
	Benzo (k) fluoranthène	µg/kg p.s	260
	Benzo (a) pyrène	µg/kg p.s	5
	Dibenz (a,h) anthracène	µg/kg p.s	1,3
	Benzo (ghi) pérylène	µg/kg p.s	110
	Indéno (1,2,3, cd) pyrène	µg/kg p.s	2,9
PCB	PCB 28	µg/kg 2,5 TOC	3,2
	PCB 52	µg/kg 2,5 TOC	5,4
	PCB 101	µg/kg 2,5 TOC	6
	PCB 118	µg/kg 2,5 TOC	1,2
	PCB 138	µg/kg 2,5 TOC	15,8

	PCB 153	µg/kg 2,5 TOC	80
	PCB 180	µg/kg 2,5 TOC	24
	Somme des résultats de PCB positifs	µg/kg p.s	
DDT		µg/kg p.s	
DDE		µg/kg p.s	5 à 50
DDD		µg/kg p.s	
Dieldrine		µg/kg p.s	5 à 50
Lindane		µg/kg p.s	1,45
PARAMÈTRES RELATIFS AUX MÉTAUX			
Cadmium		µg/kg p.s	1000
Argent		µg/kg p.s	
Chrome		µg/kg p.s	
Cuivre		µg/kg p.s	6000
Plomb		µg/kg p.s	1500
Nickel		µg/kg p.s	
Zinc		µg/kg p.s	63000
Arsenic		µg/kg p.s	6800
Mercure		µg/kg p.s	300
PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES			
Escherichia colis		NNP/100g	
Entérocoques fécaux		NNP/100g	
Salmonelles		/25g	Présence/ Absence

Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel de leur position sera fourni. L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi de la qualité de la matière vivante seront transmises au format Excel. Afin d'uniformiser le format de bancarisation des données, celles-ci seront intégrées au « tableau des paramètres à analyser », présenté en page 46.

Le format et les unités de ce tableau devront être respectés.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Cette tâche implique la réalisation de deux campagnes à la mer (pose et récupération des échantillons) d'une journée minimum chacune selon la configuration du site. Les analyses physico-chimiques effectuées en laboratoire représentent souvent le volet le plus coûteux de cette tâche. L'intégration/traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas dépasser **10 jours de travail**.

Fourchette de coût :
10 000€ à 25 000€

TÂCHE 7 : PEUPLEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS MEUBLES

La détermination des niveaux de contaminations chimiques et bactériologiques dans les différents compartiments du milieu marin ne permet pas d'évaluer le compartiment biologique. Les efforts de surveillance doivent également porter sur sa composante biologique en termes de modification du milieu vivant.

La dégradation des peuplements benthiques autochtones a souvent été mise en évidence sur les secteurs marins soumis à un rejet urbain, près du débouché. En général on observe une zone azoïque (sans peuplement animal ou végétal) à proximité immédiate du débouché de l'émissaire puis, dans le champ proche, des peuplements avec une diversité spécifique réduite et une dominance de certaines espèces résistantes.

Le protocole d'échantillonnage doit se conformer à la norme NF EN ISO 16665 « Qualité de l'eau - Lignes directrices pour l'échantillonnage quantitatif et le traitement d'échantillons de la macrofaune marine des fonds meubles » (mars 2014) ainsi que la méthode d'échantillonnage décrite dans le cadre de la Directive Cadre Eau.

● Fréquence et période du suivi

Il est préconisé d'effectuer une campagne tous les **3 ans**, à la même période, si possible durant les périodes de calme (en été).



Points de prélèvements

Au total, **15 stations** seront échantillonnées, identiques à celles définies pour la tâche sur la qualité des sédiments.

Méthodologie

Les prélèvements seront effectués à la **benne Van-Veen** de façon à obtenir un volume suffisant pour couvrir « l'aire minimale d'échantillonnage » soit 0,1 m² par échantillon.

L'opération sera réalisée **trois fois** par station afin d'obtenir trois échantillons représentatifs de chaque station.

Chaque réplica sera conditionné individuellement, aucune homogénéisation entre les trois échantillons de chaque station ne devra être opérée.

Le contenu de chaque benne fera l'objet d'un tamisage sur un tamis en acier inoxydable

de maille 1 mm, de manière à éliminer le matériau sédimentaire fin et ne recueillir que le refus, constitué des organismes vivants mélangés aux débris grossiers. Le refus du tamis sera ensuite transvasé dans des flacons. Pour la conservation des échantillons, de l'éthanol 90 % sera ajouté au refus, celui-ci devant baigner entièrement dans le mélange homogénéisé. L'échantillon ainsi conditionné sera conservé à température ambiante.

Au total, on aura donc trois réplicas par station, soit, pour l'ensemble des 15 stations, **45 réplicas** à analyser par campagne.

Paramètres et méthodes d'analyses

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

- La **composition** et l'**abondance** des taxa d'invertébrés
- Le ratio des taxa sensibles aux perturbations par rapport aux **taxa insensibles**
- Le **niveau de diversité** des taxa d'invertébrés

Pour chaque échantillon de peuplements du substrat meuble, ces paramètres biologiques se traduisent par l'analyse de :

- **La richesse spécifique (S)** : le nombre total d'espèces recensées
- **L'abondance par espèce (N)** : le nombre total d'individus par espèce
- **La biomasse totale** : somme des biomasses (toutes espèces confondues), exprimée en grammes de poids sec par m² de sédiment
- **La diversité** : les indices de diversité Shannon (H') et Simpson (J')
- **L'indice biotique AMBI** (A.Z.T.I. Marine Biotic Index). Il est basé sur la répartition des espèces en 5 groupes écologiques de polluosensibilité différente. Cet indice complète l'analyse structurale par une approche fonctionnelle des communautés benthiques.
- **L'indice biotique M-AMBI** appelé Multivariate AMBI. Il est calculé à partir d'une analyse factorielle incluant l'AMBI, la richesse spécifique (S) et la diversité (H'). Il est adapté pour mettre en évidence les peuplements influencés par des enrichissements en matière organique.

A partir de l'indice AMBI, l'**Ecological Quality Ratio** (EQR) peut être calculé en faisant le ratio de l'indice AMBI du secteur de référence sur l'AMBI du site concerné.

A partir de ces données, des analyses multivariées (MDS) seront réalisées pour mettre en évidence des corrélations entre la composition faunistique des stations et :

- Les **propriétés physico-chimiques du sédiment**
- La **distance au rejet**
- La **profondeur**.



Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel de leur position sera fourni. L'ensemble des données brutes et des

données traitées dans le cadre du suivi des peuplements benthiques de substrats meubles seront transmises au format Excel en respectant autant que possible le format de données ci-dessous :

Résultats bruts :

Date	Opérateur	Station	N°réplica	Embranchement (classification)	Classe	Genre espèce
Nombre d'individus	Famille (classification ERMS)		Type d'engin de prélèvement		Surface échantillonnée (m²)	Densité (ind/m²)

Résultats traités :

Date	Opérateur	Station	Indice de diversité	Richesse spécifique	AMBI	Statut AMBI (mauvais/pauvre/moyen/bon/très bon)
M-AMBI	Statut M-AMBI (mauvais/pauvre/moyen/bon/très bon)					

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

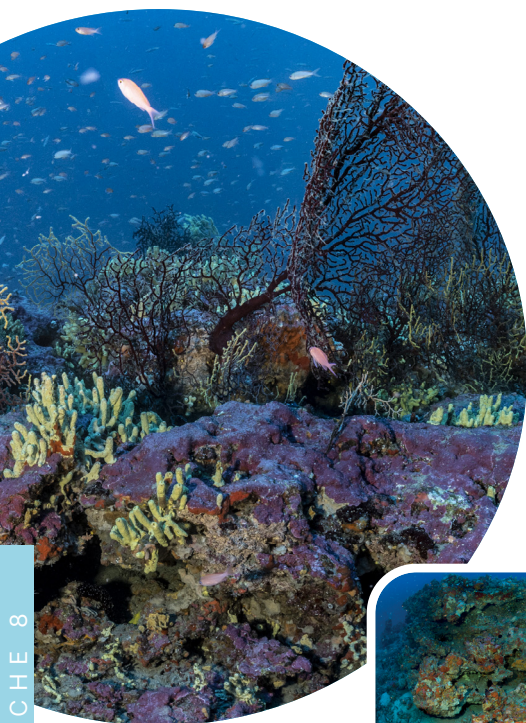
Cette tâche implique la réalisation d'une campagne à la mer qui peut prendre 1 à 3 journées selon la configuration du site et la nature des sédiments à prélever. L'identification des espèces des peuplements benthiques, effectuée en laboratoire, représente le volet le plus coûteux de cette tâche mais aussi l'étape la plus longue.

L'intégration, le traitement et la rédaction ne devraient pas dépasser **10 jours de travail** une fois les analyses en laboratoire terminées.

Fourchette de coût :
35 000€ à 50 000€

TÂCHE 8 : SUIVI DES PEUPLEMENTS DES RÊCIFS CORALLIGÈNES

Les r cifs coralligènes sont un patchwork complexe de micro-habitats et d'espèces dont la richesse, la biomasse et la productivité équivalent celles des assemblages de r cifs tropicaux. Ils constituent, après les herbiers à posidonie, le deuxième écosystème-clé de Méditerranée en termes de biodiversité. A ce titre, ils font l'objet d'un suivi particulier depuis 2010 sur le pourtour méditerranéen français dans le cadre du réseau de surveillance [RECOR](#). Dans le cas où un récif coralligène serait soumis aux effets probables d'un rejet, celui-ci devra faire l'objet d'une surveillance.



Pour en savoir plus :
[CAHIER DE
LA SURVEILLANCE
MEDTRIX](#)



● Fréquence et période des suivis

Une **campagne annuelle** de mesure sera réalisée entre les mois de mars et juillet.

● Points de prélèvements

Deux stations, situées au plus proches du rejet, feront l'objet d'un suivi.

● Méthodologie

Les méthodes mises en place dans le cadre du suivi des récifs coralligènes seront celles préconisées par la Directive Cadre Eau et le réseau de surveillance RECOR. Elles comprennent une description générale du site, une étude de sa composition faunistique et floristique et une étude de la démographie des espèces érigées. Ces opérations seront réalisées en plongée sous-marine.

Description générale

Pour chaque site de suivi, les informations suivantes seront relevées :

- Le type physiologique (paroi, massif) du coralligène ;
- La présence de structures particulières ;
- La porosité, anfractuosités, complexité des concrétions ;
- L'extension bathymétrique du coralligène et les limites d'extension bathymétrique des gorgonaires et autres espèces remarquables ;
- Les impacts anthropiques ;
- L'inclinaison, la température, la visibilité ;
- Les espèces particulières observées.

Quadrats photographiques

A chaque station d'échantillonnage, **30 photographies de quadrats** de 2500 cm² (50 x 50 cm) seront réalisées sur une même profondeur, le long d'un **transect de 20 m**. Les photos seront analysées avec le logiciel CPCe qui répartit aléatoirement 64 points sur chaque quadrat. L'identification des espèces ou substrat sur lesquels sont positionnés ces points permet de calculer des pourcentages

de recouvrement ou des proportions relatives qui permettent de déterminer des indicateurs de l'état écologique de ces assemblages.

La version CPCe 4.1 « coralligenous assemblage version » est librement téléchargeable sur la plateforme [MEDTRIX](#) dans le projet dédié au réseau RECOR.

Démographie des espèces érigées

Sur chaque station et à profondeur fixe, seront estimés la **densité**, la **structure en taille** et l'**état des gorgones** (gorgone jaune *Eunicella cavolini*, gorgone blanche *Eunicella singularis*, gorgone rouge *Paramuricea clavata*) selon les protocoles suivants :

● Structure en taille des colonies

Elle sera évaluée dans un quadrat permanent de 2 m² au sein duquel la hauteur maximale (= distance entre la base de la colonie et l'extrémité de la branche apicale la plus éloignée) de chaque colonie sera mesurée à l'aide d'une pique graduée.

● Densité

La densité sera évaluée, pour chaque espèce, dans le quadrat permanent de 2 m².

● Taux de nécrose

(mortalité de tout ou une partie de la colonie)
Le taux de nécrose sera estimé au sein de 30 quadrats aléatoires de 50 x 50 cm.

● L'âge des nécroses

Une distinction visuelle sera faite quant à l'ancienneté des nécroses. Une nécrose récente se caractérisera par un axe dénudé alors qu'une nécrose ancienne se définira par une croissance excessive d'autres organismes sur le squelette.

Paramètres et méthode d'analyses pour évaluer l'état écologique des assemblages coralligènes

L'analyse des résultats du traitement des 30 quadrats photographiques permettra d'extraire une centaine de variables quantitatives :

- Les pourcentages de recouvrement total par le non vivant (vase, sable, roche, débris biologiques, macrodéchets) et par le vivant.
- Les proportions relatives de différents taxons / catégories d'intérêt parmi le vivant. Différents niveaux de taxons seront identifiés : les actiniaires, les alcyonaires, les ascidies, les astérides, les algues brunes, les algues

vertes, les algues rouges, les cérianthaires, les échinodermes, les bryozoaires érigés, les bryozoaires encroûtants, les grands foraminifères, les gorgonaires, les hydraires, les scléactiniaires, les vers sédentaires, les zoanthaires. Une évaluation de la proportion relative de chacun de ces taxons parmi les organismes vivants sera réalisée.

Différents indicateurs de l'état des espèces sessiles du coralligène seront calculés pour l'ensemble des stations :

- Indices de Simpson et de Shannon
- Indicateur de macrodéchets (pourcentage de recouvrement par les déchets comme macrodéchets, engins de pêche etc.)
- Indicateur de perturbation (somme des abondances relatives de *Womersleyella setacea*, *Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa cylindracea*, *Asparagopsis* sp., et des algues filamenteuses brunes, vertes et rouges, *Codium bursa*, *Filograna* / *Salmacina* sp.)
- Indicateur multimétrique CAI (Coralligenous Assemblages Index). Cet indicateur combine les EQR' (Ecological Quality Ratio) de trois paramètres mesurés à partir des quadrats photographiques (pourcentage de recouvrement par les bryozoaires, par les espèces bioconstructrices et par la vase). Il est calculé selon la formule suivante :

$$CAI = (EQR'_{\text{bryo}} + EQR'_{\text{sludge}} + EQR'_{\text{build}}) / 3$$

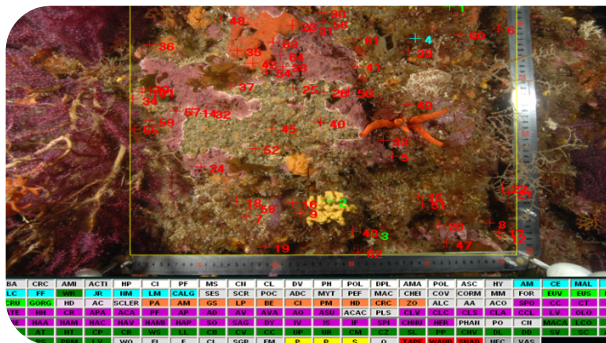
Avec

$$\begin{aligned} EQR'_{\text{bryo}} &= \%_{\text{bryo}} / \text{ref}_{\text{bryo}} ; \\ EQR'_{\text{sludge}} &= (100 - \%_{\text{sludge}}) / (100 - \text{ref}_{\text{sludge}}) \\ EQR'_{\text{build}} &= \%_{\text{build}} / \text{ref}_{\text{build}} . \end{aligned}$$

% correspond au pourcentage de recouvrement obtenu sur la station pour les bryozoaires (bryo), les espèces bio-constructrices (build) et la vase (sludge). Ref correspond à la valeur de référence soit la valeur maximale (pour les bryozoaires, bryo et les espèces bio-constructrices, build) ou minimale (pour la vase, sludge) observée dans les données de pourcentages de recouvrement pour la région. Ces valeurs de référence définies pour chaque région sont calculées à chaque nouvelle

campagne régionale - elles évoluent donc dans le temps. La grille est adaptée aux régions administratives (typologie DCE/écorégion) et à leurs caractéristiques environnementales.

Les valeurs de références et grilles d'interprétation de ces indicateurs sont disponibles gratuitement dans l'atlas de surveillance biologique et qualité des eaux de Méditerranée publié sur la plateforme [MEDTRIX](#).



Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel de leur position sera fourni.

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi des peuplements des assemblages coralligène seront transmises :

- Les photographies quadrat seront fournies au format image (jpg, tiff...).

- Les données issues du traitement sous CPCe seront fournies au format Excel.

- Les données relevées, les valeurs calculées des différents indices et les tableaux de valeurs du suivi des espèces érigées seront fournis au format Excel.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

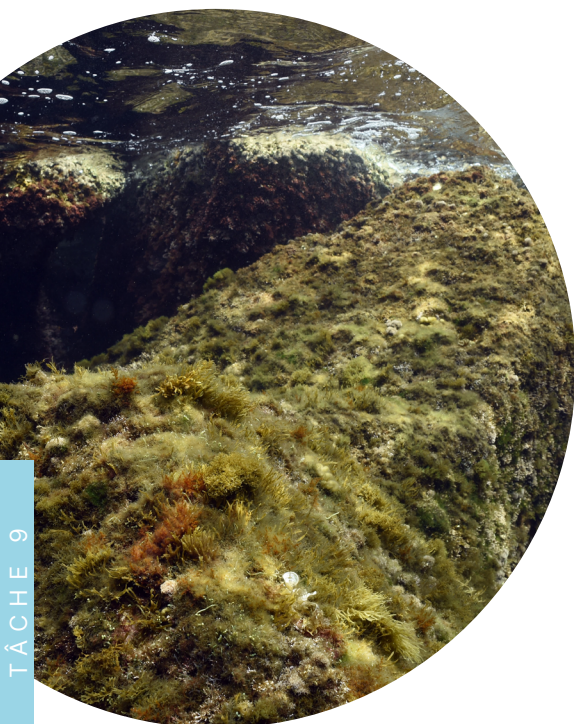
L'acquisition des données de terrain nécessitera au moins deux plongées à trois plongeurs.

Le travail de traitement/analyse des données et de rédaction ne devrait pas dépasser **10 jours de travail par site**.
Fourchette de coût : **8 000€ à 20 000€**



TÂCHE 9 : PEUPLEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS DURS DE L'INFRA-LITTORAL

Si les données acquises lors de l'étude de calibrage du suivi indiquent un risque pour les peuplements benthiques de la roche infra-littorale, le suivi des roches à algues photophiles devra être réalisé.



Fréquence et période des suivis

Une campagne annuelle de mesure sera réalisée entre les mois de **mars** et **juillet**.

Points de prélèvements

Les peuplements benthiques seront échantillonnés sur un minimum de **4 stations** réparties sur la bordure côtière rocheuse (si la configuration du site le permet) :

- 1 station située dans le **champ proche du rejet** ;
- 3 stations situées de part et d'autre et à des **distances croissantes du rejet** (300 m et 600 m) ;

La position des stations et leur distance par rapport au rejet devront être adaptées en fonction de la configuration du site.

Méthodes de mesure

La méthode préconisée repose sur une adaptation du protocole mis en place pour le suivi des peuplements des assemblages coralligènes. Elle comprend une description générale du site et une étude de sa composition faunistique et floristique.

On se référera ici au protocole du réseau de surveillance [RECOR](#). Il sera adapté au suivi des peuplements benthiques de la roche infralittorale à algues photophiles. Ainsi, seules les **mesures de description générale** et **d'analyse de quadrats photographiques** seront réalisées.

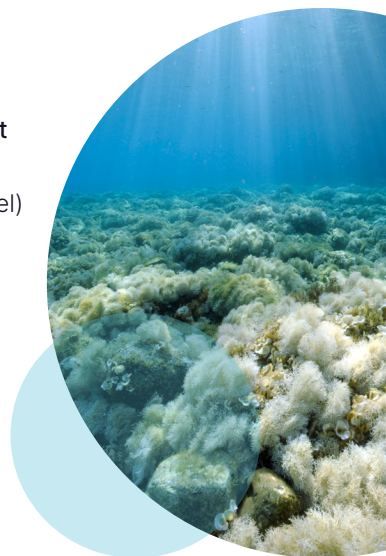
Description générale

A chaque station de suivi, les informations suivantes seront relevées :

- La nature du substrat (roche mère ou enrochement artificiel)
- Le type physionomique du substrat (paroi, massif, éboulis)
- La présence de structures particulières
- La complexité structurale (présence de trous, cavités, surplombs, grottes...)
- Les impacts anthropiques
- Les espèces particulières observées.

Quadrats photographiques

A chaque station d'échantillonnage, **30 photographies de quadrats** de 2500 cm² (50 × 50 cm) seront réalisées sur une même profondeur, le **long d'un transect de 20 m**. Les photos seront analysées avec le logiciel CPCe qui répartit aléatoirement 64 points sur chaque quadrat. L'identification des espèces ou substrat sur lesquels sont positionnés ces points permet de calculer des pourcentages de recouvrement ou des proportions relatives qui permettent de déterminer des indicateurs de l'état écologique de ces assemblages. Parmi les organismes vivants, seuls les organismes sessiles et peu mobiles (oursins) sont identifiés. La version CPCe 4.1 « coralligenous assemblage version » est librement téléchargeable sur la plateforme [MEDTRIX](#) le projet dédié au réseau RECOR.



Paramètres et méthodes d'analyses

Différentes variables seront extraites des résultats issus de l'analyse des quadrats photographiques : pourcentage d'envasement et de débris, nombre d'espèces et indice de diversité des algues photophiles, pourcentage de recouvrement de la flore benthique, pourcentage de recouvrement de la faune

benthique nombre et pourcentage d'espèces patrimoniales, pourcentage d'Espèces Exotiques Envahissantes (EEE).

Les données seront analysées au regard de leur évolution dans le temps et de la distance au point de rejet.

Bancarisation des données

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi des peuplements benthiques de substrat durs de l'infralittoral seront transmises :

- Les photographies quadrat seront fournies au format image (jpg, tiff...).
- Les données issues du traitement sous CPCe et les valeurs calculées des différents indices seront fournies au format Excel.

Notion de coût

L'acquisition des données de terrain nécessitera au moins une campagne à la mer et la mise en place d'opérations de plongée.

Le travail de traitement/analyse des données et de rédaction ne devrait pas dépasser **10 jours de travail par site**.

Fourchette de coût : **8 000€ à 20 000€**

TÂCHE 10 : PEUPLEMENTS BENTHIQUES DES SUBSTRATS DURS DU MÉDIOLITTORAL ET L'INFRALITTORAL SUPÉRIEUR

La zone de battement des vagues est un milieu hostile pour les organismes. Elle est caractérisée par un hydrodynamisme particulièrement violent (houle, vagues), une alternance de périodes d'exondations et d'inondation et par une forte variabilité des paramètres abiotiques (température, ensoleillement, salinité, hydrométrie).

Les peuplements qui s'y trouvent (peuplements du médiolittoral et de la frange supérieure de l'infralittoral) sont composés de ceintures étroites d'algues et d'invertébrés dont la répartition est limitée à ce niveau marin.

L'étude de leur répartition géographique, ainsi que leur suivi dans le temps, peut permettre de caractériser la qualité du milieu littoral (on parle d'indicateurs biologiques et plus particulièrement d'espèces sentinelles). Ces organismes sont en effet particulièrement exposés aux pollutions de surface, comme les rejets d'émissaires urbains, les pollutions par hydrocarbures, les huiles et les détergents tensioactifs.



Fréquence et période des suivis

Une campagne **tous les trois ans** sera réalisée par temps calme, au cours du second trimestre (entre avril et mai, impérativement avant mi-juin).

Points de mesure

L'étude de la répartition géographique des peuplements du médiolittoral et de l'infralittoral supérieur sera réalisée sur l'ensemble du **linéaire côtier dans un rayon de 2 km autour de la zone de rejet**.

Méthodologie

On se référera à la méthodologie utilisée pour la Directive Cadre Eau (méthode [CARLIT](#), Institut Méditerranéen d'Océanologie / Agence de l'eau Rhône Méditerranée et Corse.). Cette méthode de cartographie des communautés de macroalgues du littoral et de l'infralittoral supérieur en substrat rocheux est un protocole qui permet de contrôler la qualité des eaux côtières en s'appuyant sur le suivi des communautés macroalgales situées dans la zone supérieure de l'infralittoral.

La méthode consiste à mesurer l'**abondance et la distribution des communautés ou espèces de macroalgues dominantes présentes sur les substrats rocheux de l'étage médiolittoral et de l'horizon supérieur de l'étage infralittoral** (0-50 cm de profondeur) en fonction de la

géomorphologie de la côte (présence de falaise supérieure à 15 m de hauteur) et de la nature du substrat (naturel, artificiel, etc.). La méthode ne s'applique donc pas aux côtes sableuses, où le descripteur macroalgues n'est pas pertinent.

Une mise à jour de cette méthode préconise aujourd'hui de suivre les réelles limites d'abondance des communautés du médiolittoral (autrefois découpé en tronçons de 50 m). C'est cette méthode mise à jour qui est préconisée pour ce guide.

La position cartographique des peuplements et l'estimation de leur densité sera réalisée le long du trait de côte à partir d'un moyen à la mer.

Les données relevées par la **méthode CARLIT** sont régulièrement actualisées le long de la façade méditerranéenne française et sont disponibles sur la plateforme cartographique **MEDTRIX**. Si ces dernières ont pu être actualisées suffisamment récemment pour être pertinentes pour le suivi des rejets urbains, alors elles pourront être utilisées sans nécessité de réaliser la campagne de terrain.

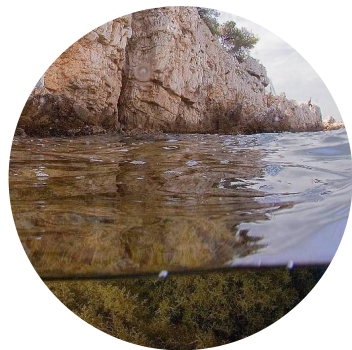
Paramètres et méthodes d'analyses

Par une analyse géoréférencée, un **indice de qualité environnementale** (EQR) est calculé. Il permet ainsi de déterminer, pour chaque station de suivi, un **statut écologique** (ES) établi suivant les critères de la Directive Cadre sur l'Eau (2000/60/CE).

L'évolution temporelle des bases de données, des cartographies et des indices de qualité environnementale liés permettront de préciser facilement la dynamique de ces espèces sentinelles, qui par définition sont des indicateurs de l'évolution de la qualité du milieu marin.



Détermination des indices de qualité environnementale :



● Indice de vulnérabilité

Un niveau de vulnérabilité écologique aux pressions, sur une échelle de 1 (peu vulnérable) à 20 (très vulnérable), est attribué à chaque communauté (Tableau 15). Les communautés ayant les niveaux de vulnérabilité les plus forts représentent les communautés climax de la zone côtière (Ballesteros *et al.*, 2007).

Tableau 15 : Niveau de vulnérabilité des communautés utilisées dans la méthode CARLIT le long des côtes françaises de Méditerranée (Thibaut et Blanfuné, 2014a, modifié d'après Ballesteros *et al.*, 2007). *Cystoseira mediterranea* (en gris) ne concerne que la région Occitanie où elle est l'espèce vicariante de *C. amentacea*.

Communautés ou espèces	Niveau de vulnérabilité
<i>Cystoseira mediterranea</i> 5	20
<i>Cystoseira amentacea</i> 5	20
<i>Cystoseira crinita</i>	20
<i>Cystoseira brachycarpa</i> var. <i>balearica</i>	20
Récif frangeant de <i>Posidonia oceanica</i>	20
Trottoir à <i>Lithophyllum byssoides</i>	20
<i>Cystoseira mediterranea</i> 4	19
<i>Cystoseira amentacea</i> 4	19
<i>Cystoseira mediterranea</i> 3	15
<i>Cystoseira amentacea</i> 3	15
<i>Cystoseira mediterranea</i> 2	12
<i>Cystoseira amentacea</i> 2	12
<i>Cystoseira compressa</i>	12
<i>Cystoseira mediterranea</i> 1	10
<i>Cystoseira amentacea</i> 1	10
<i>Corallina caespitosa</i>	8
Gazon algal	8
<i>Corallinnacées</i> encroûtantes	6
<i>Mytilus galloprovincialis</i>	6
Ulvaes	3
Cyanobactéries	1

● **Indice de qualité environnementale : EQ**

Un indice de qualité environnementale (EQ pour Environmental Quality) est calculé à partir des données d'abondance des communautés mesurées pour un secteur de côte ou une masse d'eau :

$$EQ = \Sigma (li * SLi) / \Sigma li$$

Avec

li = la longueur de côte occupée par la communauté *i*,
SLi = le niveau de vulnérabilité pour la communauté *i*. Lorsque deux communautés sont superposées (e.g. médiolittoral et infralittoral), c'est celle qui a le niveau de vulnérabilité le plus élevé qui est prise en compte.

● **Ratio de Qualité Écologique : EQR**

Un Ratio de Qualité Écologique est obtenu en pondérant l'EQ par une valeur d'EQ mesurée dans un site de référence (EQref) pour chacun des six types géomorphologiques (Tableau 16).

EQR masse d'eau=Σ EQssi*li / EQrsi / Σli

Avec

- i

EQssi

EQrsi

li
- = situation morphologique de la côte étudiée,
= l'EQ dans le site étudié pour la situation i,
= l'EQ dans le site de référence pour la situation i,
= longueur de la côte étudiée dans la situation i.

Tableau 16 : EQ de référence calculée pour chaque type de morphologie de la côte (Thibaut *et al.*, 2010, modifié d'après Ballesteros *et al.*, 2007).

Morphologie de la côte	EQréférences
Blocs naturels ou artificiels	12,2
Côte basse naturelle ou artificielle	16,6
Côte haute naturelle ou artificielle	15,3

À partir des valeurs EQR calculées (valeurs comprises entre 0 et 1), un statut écologique est déterminé pour chaque masse d'eau (ES pour *Ecological Status*) suivant les critères de la DCE (Tableau 17) :

Tableau 17 : Classe des EQR et statut écologique associé

EQR	Statut écologique (ES)
>0,75 à 1	Très bien
>0,60 à 0,75	Bien
>0,40 à 0,60	Moyen
>0,25 à 0,40	Médiocre
0 à 0,25	Mauvais

● **Bancarisation
des données**

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi des peuplements benthiques de substrats durs du médiolittoral seront transmises :

Les données SIG seront transmises au format vectoriel. Les tables attributaires de ces données devront intégrer au moins les données suivantes :

Date	Source	Communauté ou espèce	Linéaire (m)
------	--------	-------------------------	--------------

Les données relevées, les valeurs calculées des différents indices et les tableaux de valeur du suivi des espèces érigées seront fournies au format Excel.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

● **Notion
de coût**

L'acquisition des données de terrain nécessitera au moins une campagne à la mer.

Le travail de traitement/analyse des données et de rédaction ne devrait pas dépasser
5 jours de travail par site.
Fourchette de coût : **4 500€ à 8 000€**



TÂCHE 11 : SUIVI DES HERBIERS DE POSIDONIE

L'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) est une magnoliophyte marine endémique de Méditerranée. Considérée comme habitat prioritaire et intégrée à l'Annexe I de la Directive 92/43/CEE Habitat-Faune-Flore, elle est également protégée par l'arrêté interministériel du 19 juillet 1988.

Les herbiers de Posidonie jouent un rôle écologique majeur et sont considérés comme l'écosystème pivot de l'ensemble des espaces littoraux méditerranéens. Leur maintien dans un bon état écologique apparaît alors comme un objectif majeur des mesures de gestion du littoral méditerranéen. A ce titre, ils font l'objet d'un suivi particulier depuis 2011 sur le pourtour méditerranéen dans le cadre du

réseau de surveillance [TEMPO](#) opéré par Andromède Océanologie avec le soutien de l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse (RMC).

Dans le cas où un herbier est soumis aux effets probables d'un rejet, celui-ci devra faire l'objet d'une surveillance.

● Fréquence et période des suivis

Une **campagne annuelle** de mesure sera réalisée pour la surveillance des herbiers de posidonies, entre les mois de mars et juillet.



Pour en savoir plus :
[CAHIER DE
LA SURVEILLANCE
MEDTRIX](#)

Points de prélèvements

On distinguera trois cas de figure pour le suivi des herbiers de posidonie :

Si le rejet se situe au-delà de limite inférieure de l'herbier de posidonie, le protocole mis en place sera celui du suivi des herbiers en limite inférieure. Deux stations, situées au plus proches du rejet, feront l'objet d'un suivi.

Si le rejet se situe au milieu d'un herbier de posidonie, le protocole mis en place sera celui du suivi des herbiers à profondeur intermédiaire. Deux stations feront l'objet d'un suivi :

- Une au niveau du débouché du rejet
- Une seconde, considérée comme station témoin, qui devra respecter dans la mesure du possible les conditions suivantes :
 - Être située au sein du même herbier
 - Être à la même profondeur que la station au niveau du rejet
 - Être à une distance minimum de 1 km du point de rejet
 - Être au niveau d'une limite naturelle (tâche sédimentaire, intermatte)

Si le rejet se situe au-dessus de la limite supérieure de l'herbier de posidonie, le protocole mis en place sera celui du suivi des herbiers en limite supérieure. Deux stations feront l'objet d'un suivi :

- Une au plus proche du débouché du rejet
- Une seconde, considérée comme station témoin, qui devra respecter dans la mesure du possible les conditions suivantes :
 - Être située en limite supérieure au sein du même herbier
 - Être à la même profondeur que la station au niveau du rejet
 - Être à une distance minimum de 1 km du point de rejet



Méthodologie appliquée aux sites en limite inférieure d'herbier

Les méthodes mises en place dans le cadre du suivi des herbiers en limite inférieure seront celles préconisées par la Directive Cadre Eau et le réseau de surveillance TEMPO. Elles comprennent des mesures de vitalité, des relevés visuels de pressions et une microcartographie de l'herbier. Ces opérations seront réalisées en plongée sous-marine.

Mesure de vitalité

● Type et profondeur de la limite inférieure :

La profondeur de la limite d'extension la plus profonde est mesurée par les plongeurs à l'aide d'un profondimètre (une dizaine de mesures espacées de 1 à 5 m sont réalisées au sein du quadrat balisé). Cinq types de limite sont considérés : progressive (P), franche à fort recouvrement (F+), franche à faible recouvrement (F-), clairsemée (C), Régressive (R).

● Densité de faisceaux :

La densité des faisceaux (nombre de faisceaux de feuilles vivantes par m²) est calculée dans 30 quadrats de 20 × 20 cm.

● Déchaussement des rhizomes :

30 mesures de déchaussement sont relevées en limite d'herbier.

● Taux de rhizomes plagiotropes :

Le pourcentage de rhizomes plagiotropes est évalué simultanément aux mesures de densité dans les mêmes quadrats.

Relevés des pressions

Sous l'eau, les plongeurs notent les observations suivantes :

● Perturbations physiques :

Artificialisation du milieu, blocs de matte arrachés, engins de pêche, traces de mouillages.

● Perturbations biologiques :

Caulerpes envahissantes (*Caulerpa taxifolia*, *Caulerpa cylindracea*), *Womersleyella setacea*, algues filamenteuses. Une estimation du pourcentage de recouvrement est donnée.

● Pollutions et nuisances :

Sources potentielles de nuisance proches (ports, rejets urbains, cours d'eau, zones de mouillage, macrodéchets, ...).

Microcartographie (en limite inférieure d'herbier de posidonie)

Chaque station de suivi localisée en limite inférieure d'herbier correspond à un quadrat rectangulaire de 100 m², au sein duquel une microcartographie fine de la limite sera réalisée par la méthode de photogrammétrie. Ce quadrat rectangulaire est balisé par quatre balises permanentes. Les stations dont la limite de l'herbier fait déjà l'objet d'une microcartographie (réalisée par les méthodes de télémétrie acoustique et/ou de photogrammétrie) seront suivies en priorité. La photogrammétrie sera la méthode

privilégiée pour la réalisation de la microcartographie. Cette méthode permet d'acquérir des données compatibles avec celles obtenues lors de précédents suivis par télémétrie acoustique. L'orthophotographie produite par photogrammétrie permet à la fois de digitaliser les contours d'un herbier et d'offrir une image de ce dernier. De plus, les données recueillies en limite inférieure permettront de calculer deux indices : l'indice d'évolution surfacique de l'herbier ainsi que l'EQR Site (*Ecological Quality Ratio*).

● L'indice d'évolution surfacique de l'herbier

A partir des données surfaciques issues des micro-cartographies, cet indice peut être calculé pour chaque site de la manière suivante :

$$IE = (\text{Surface de discordance positive} - \text{Surface de discordance négative}) / (\text{Surface de discordance positive} + \text{Surface de discordance négative})$$

Cet indice varie entre -1 (Régression) et 1 (Progression) et permet d'appréhender la dynamique évolutive de l'herbier sur le site.



- Herbier - Discordance négative
- Herbier - Concordance
- Herbier - Discordance positive

● EQR Site (*Ecological Quality Ratio*)

Les données issues des mesures de vitalité de l'herbier permettent de calculer des EQR' = *Ecological Quality Ratio* :

- EQR' typologie qui correspond au type de limite inférieure
- EQR' profondeur qui correspond à la profondeur de la limite inférieure
- EQR' densité de faisceaux relevée en limite inférieure

Les valeurs de référence utilisées pour calculer ces EQR' sont issues du BiPo (Biotic Index using *Posidonia Oceanica*) (Lopez y Royo *et al.*, 2010). Même si le paramètre densité de faisceaux n'est alors pas mesuré à -15 mètres mais toujours en limite inférieure, nous calculerons un EQR' pour ce paramètre. La moyenne de ces trois EQR' permet de calculer un EQR Site. Pour chaque EQR' et l'EQR Site, la valeur calculée est associée à curseur imagé remplaçant cette valeur dans le contexte régional (valeurs minimale, maximale et moyenne observées en Méditerranée sur tous les sites TEMPO échantillonnés depuis 2011 pour la limite inférieure).



Un autre indice peut être calculé uniquement dans le cadre d'un suivi sur le long terme : l'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier. Cet indicateur, prend en compte l'évolution de la densité de faisceaux (en %) et la dynamique microsurfacique de l'herbier (% de régression et/ou de progression) entre chaque suivi sur un même site.

Il est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure} = (\text{EQR'dens} + \text{EQR'prog} + \text{EQR'rég}) / 3$$

Avec

EQR'dens = (100 - % baisse de densité) ou (% augmentation de densité / Ref dens*100) ;

EQR'prog = (% progression / Ref prog*100) ;

EQR'reg = (100 - % régression)

% correspond au pourcentage d'augmentation ou de baisse de la densité de faisceaux et au pourcentage de surface d'herbier en progression ou en régression (sur la base de la cartographie fine), obtenus sur le site entre deux suivis.

Ref correspond à la valeur de référence soit la valeur maximale pour le pourcentage d'augmentation de densité de faisceaux (Ref dens) et pour le pourcentage de progression (Ref prog) observée dans les données en limite inférieure, du réseau de suivi TEMPO (Agence de l'Eau RMC).

Les valeurs de références (Ref dens et Ref prog) et grilles d'interprétation de l'état écologique de l'herbier en fonction de la valeur de l'indicateur de dynamique évolutive de l'herbier en limite inférieure sont régulièrement mises à jour. Elles sont disponibles dans « [L'atlas de surveillance biologique et qualité des eaux de Méditerranée](#) » publié sur la plateforme en ligne [MEDTRIX](#).

Méthodologie appliquée aux sites d'herbier à la profondeur intermédiaire et en limite supérieure

Les méthodes mises en place dans le cadre du suivi des herbiers à la profondeur intermédiaire et en limite supérieure sont basées sur une adaptation des méthodes préconisées par la Directive Cadre Eau (DCE) et le réseau de surveillance **TEMPO**. Elles comprennent des mesures de vitalité, des relevés visuels de pressions et une microcartographie de l'herbier. Ces opérations seront réalisées en plongée sous-marine.

Mesures de vitalité

● Type et profondeur de la limite inférieure :

La profondeur et le type de la limite inférieure de l'herbier au droit du site de suivi sera relevée en plongée à l'aide d'un profondimètre (une dizaine de mesures espacées de 1 à 5 m). Cinq types de limite sont considérés : progressive (P), franche fort recouvrement (F+), franche – faible recouvrement (F-), clairsemée (C), Régressive (R).

Une fois définis, ces paramètres devront être contrôlés tous les 6 ans.

● **Densité de faisceaux** : La densité des faisceaux (nombre de faisceaux de feuilles vivantes par m²) est calculée dans 20 quadrats de 40 × 40 cm.

● **Longueur des feuilles** : 20 mesures aléatoires, espacées de 1 à 5 m sont réalisées sur l'herbier.

Relevés des pressions

Protocole identique au protocole appliqué pour le suivi des herbiers en limite inférieure

Microcartographie

Protocole identique au protocole appliqué pour le suivi des herbiers en limite inférieure

Paramètres et méthode d'analyses pour évaluer l'état écologique des sites à la profondeur intermédiaire et en limite supérieure

L'indicateur de vitalité de l'herbier à la profondeur intermédiaire est basé sur l'indice BIPO (Biotic Index using *Posidonia Oceanica*) (Lopez y Royo *et al.*, 2010). Il prend en compte quatre paramètres basés sur la santé de la plante *P. oceanica* elle-même (type et profondeur de la limite inférieure, densité de faisceaux et longueur des feuilles). Il est déterminé sur les deux stations localisées à la profondeur intermédiaire ou en limite supérieure (station de suivi et station témoin). **Il est calculé selon la formule suivante :**

$$\text{Indice BIPO} = (\text{EQR'prof} + \text{EQR'type} + \text{EQR'dens} + \text{EQR'long}) / 4$$

Avec

EQR = Ecological Quality Ratio
prof = profondeur de la limite inférieure
type = type de limite inférieure
dens = densité de faisceaux à -15 m
long = longueur des feuilles à -15 m

La grille d'interprétation de l'indice BIPO est disponible dans « L'atlas de surveillance biologique et qualité des eaux de Méditerranée » publié sur la plateforme en ligne [MEDTRIX](#).

Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel de leur position sera fourni.

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre du suivi des herbiers de posidonie seront transmises :

- Les photographies utilisées pour la microcartographie de l'herbier seront fournies au format image (jpg, tiff...).
- Les ortho-mosaïques générées seront fournies avec une résolution suffisante pour l'interprétation (2-3mm/pix), projetée en Lambert93 ou en coordonnées géographiques WGS84.
- Les modèles 3D générés par la méthode de photogrammétrie seront fournis au format .psx s'ils ont été réalisés avec Agisoft Metashape. Autrement, le nuage de points sera exporté en .ply et le maillage en .obj correctement référencés (dans un référentiel local avec des balises, ou bien global avec coordonnées géographiques des balises).
- Les données relevées et les valeurs calculées des différents indices seront fournies au format Excel.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

L'acquisition des données de terrain nécessitera au moins une campagne à la mer.

Le travail de traitement/analyse des données et de rédaction ne devrait pas dépasser **10 jours de travail par site**.
Fourchette de coût : **2 500 – 6 000 €**

TÂCHE 12 : TESTS BIOLOGIQUES SPÉCIFIQUES

Il est désormais admis que le contenu chimique d'un échantillon ne renseigne pas, de façon systématique, sur sa toxicité vis-à-vis d'organismes vivants. Il est également reconnu que les actions combinées liées à la présence de mélanges de polluants ne peuvent pas être prévues à partir d'une liste de ces polluants. L'application de bioessais de laboratoire sur des matrices complexes liquides (effluents) peut donc fournir des informations complémentaires aux analyses physico-chimiques et surtout plus globales, permettant d'évaluer leur impact potentiel sur le milieu.

L'introduction progressive des bioessais (tests biologiques) dans le suivi des rejets urbains en mer présente l'avantage de considérer l'activité de l'ensemble des substances présentes en mélange dans l'effluent ainsi que leurs produits de dégradation. Parmi ces méthodes, on distingue : les bioessais permettant de renseigner un effet au niveau de l'individu vis-à-vis d'un paramètre général (mortalité, croissance / développement, reproduction...) et les bioessais s'inscrivant dans une approche « bioanalytique » qui permettent la mesure d'une réponse biologique précoce, spécifique d'un mode d'action toxique et quantitatif (composés

génotoxiques et perturbateurs du système endocriniens). La méthode proposée s'appuie sur une adaptation du guide « Inventaire et évaluation des méthodes biologiques issues de l'écotoxicologie en vue de leur utilisation dans le cadre de la DCE », réalisé par AQUAREF en 2021.

Deux niveaux de suivi sont proposés : un premier pour évaluer le caractère toxique du rejet en lui-même, réalisé sur une **matrice d'eau de rejet** et pour aller plus loin dans la démarche, un second suivi facultatif, au niveau des **sédiments du milieu récepteur**.





Fréquence et période du suivi

Une campagne **une fois par an**, à une période similaire au précédent suivi

Points de prélèvements

Pour le suivi de la toxicité du rejet : une **station unique (rejet)** en amont de l'émissaire, en sortie de station d'épuration avant le mélange en mer.

Pour le suivi de la toxicité dans le milieu récepteur : **3 stations** minimum, couvrant le **champ proche**, le **champ moyen** et le **champ lointain** du panache du rejet.

Méthodologie

Pour le suivi de la toxicité du rejet : il sera prélevé un échantillon d'eau de 2 litres pour la réalisation de ces analyses.

Pour le suivi de la toxicité dans le milieu récepteur : les prélèvements de sédiment seront réalisés suivant la méthode décrite pour la «Tâche 5: Qualité des sédiments».

Paramètres et méthodes d'analyses pour le suivi de la toxicité du rejet (eau de rejet) :

Bioessais de toxicité générale avec détermination de CE50 (concentration efficace 50 % : concentration d'un échantillon qui induit un effet toxique donné chez 50 % des individus exposés) sur des organismes représentatifs de différents niveaux trophiques.

Elle correspond à la concentration en substance/échantillon qui engendre un effet différent de 50 % par rapport au témoin. Pour une plante par exemple, ce peut être une croissance racinaire 50 % moins élevée que pour la plante témoin. Pour des animaux, ce peut être la mort de la moitié des organismes. La CE50 est déterminée statistiquement sur la base d'une modélisation.

- Test de toxicité sur *Phaeodactylum tricornutum* – ISO 10253 : Ce bioessai consiste à évaluer l'inhibition de la croissance d'une diatomée (organisme unicellulaire) induite par l'exposition aux eaux de rejet, sur plusieurs générations.
- Test de toxicité sur *Acartia tonsa* – ISO 14669 : Évaluation de la toxicité aiguë vis-à-vis d'un copépode marin. Le copépode *Acartia tonsa* est un crustacé planctonique nageant librement, que l'on trouve le plus souvent dans les eaux côtières peu profondes. Il est important du point de vue écologique, car il joue un rôle à la fois descendant et ascendant dans les réseaux trophiques pélagiques côtiers.
- Test d'embryotoxicité sur *Crassostrea gigas* – ISO 17244 : Evaluation de la toxicité vis-à-vis du développement embryonnaire de l'huître creuse.
- Test de toxicité sur cellules de poisson SAF-1 – OCDE 249 : Test de toxicité aiguë sur les cellules de poisson.

Bioessais « bioanalytiques » pour détecter les molécules potentiellement « Perturbateurs Endocriniens » ainsi que celles susceptibles d'induire des processus de cancérogénicité :

- Analyse OCDE 455 : Détection des substances agonistes et antagonistes des récepteurs des œstrogènes.
- Analyse OCDE 458 « like » : Détection des substances agonistes et antagonistes des récepteurs des androgènes.
- SOS Chromotest : Détection des composés génotoxiques.

Paramètres et méthodes d'analyses pour le suivi de la toxicité dans le milieu récepteur (sédiments) :

La réalisation de bioessais dans les sédiments permet d'évaluer la toxicité du milieu récepteur suivant un gradient de distance au rejet.

- La toxicité générale du milieu sédimentaire sera évaluée à l'aide du test d'**embryotoxicité** *Crassostrea gigas* - ISO 17244 (Evaluation de la toxicité vis-à-vis du développement embryonnaire de l'huître creuse).
- La détection des molécules potentiellement « Perturbateurs Endocriniens » sera évalué à l'aide des tests YES/YAS/Anti-YES et Anti-YAS.
- La détection des molécules susceptibles d'induire des processus de cancérogénicité seront évaluées à l'aide du **SOS Chromotest**.

Bancarisation des données

L'ensemble des données brutes et des données traitées dans le cadre des bioessais seront transmises au format Excel.

L'ensemble de ces données pourra être bancarisé dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) en partenariat avec l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Cette tâche implique la réalisation d'une campagne de prélèvement au niveau de la station d'épuration. Les analyses effectuées en laboratoire représentent souvent le volet le plus coûteux de cette tâche.

L'intégration/traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas **dépasser 7 jours de travail**.

Fourchette de coût : **10 000€ à 30 000€**

TÂCHE 13 : CONTAMINANTS ÉMERGENTS

La présence de molécules émergentes dans les effluents de stations d'épuration et dans les milieux aquatiques a été détectée dès les années 80, et la question de leur présence dans notre environnement est une préoccupation devenue majeure.

Ces composés appartiennent à diverses familles chimiques, notamment les stéroïdes, les médicaments, les produits de dégradation des détergents non ioniques, les sous-produits de désinfection, les retardateurs de flamme bromés et les additifs d'essence.

A ces substances s'ajoutent les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les pesticides, les métaux, les œstrogènes environnementaux, les microplastiques, les phtalates, les nanoparticules, ainsi que des ingrédients issus des produits d'hygiène personnelle et cosmétique y compris les filtres UV.

Ces molécules ne sont pas complètement éliminées par les systèmes d'épuration des eaux et peuvent être transformées en produits de dégradation actif.

Le devenir dans les écosystèmes aquatiques est étudié à travers la distribution de ces contaminants émergents dans les différents compartiments tels que l'eau ou le sédiment. Cette connaissance est une étape clé pour l'évaluation du risque sanitaire et écologique.



Les protocoles analytiques adaptés à la quantification de ces molécules émergentes dans des matrices complexes (effluents, sédiments...) mettent en œuvre des méthodes chromatographiques en phase liquide couplées à la spectrométrie de masse en tandem (LC-MS-MS), ainsi que des techniques de préparation d'échantillons adaptées à ces matrices complexes (extractions, purifications). **L'interprétation de ces analyses restent délicates en l'absence de grilles de qualité « normées ».**



Fréquence et période du suivi

Il est préconisé d'effectuer une **campagne tous les ans** à la même période.

Une période d'immersion de 2,5 mois comprise entre mars et fin juin est recommandée comme 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 ;
- opérer pendant la phase de repos sexuel où le métabolisme des individus est le plus stable.

Points de prélèvements

Les stations de pose d'échantillons vivants peuvent être couplées avec celles étudiées pour la « Tâche 7 : qualité de la matière vivante » afin de faciliter le suivi mais doivent respecter au moins la répartition suivante :

- 1 station au niveau du point de rejet
- 2 stations équidistantes dans le **sens dominant du panache**
- 1 station **témoin**

● Méthodologie

Les organismes vivants (moules) provenant d'élevages en mer seront ajoutés dans les poches conchyliques déjà utilisées pour les analyses de la « Tâche 7 : qualité de la matière vivante ». Environ 0,5 kg de moules seront ajoutées aux 5 kg de moules calibrées (50 mm minimum) destinées aux analyses de biomarqueurs.

Il est important de s'assurer que la poche conchylique est suffisamment grande pour permettre à chaque individu de bénéficier d'une circulation d'eau suffisante pour sa survie et son développement.

La position des stations de mouillage des pochons fera l'objet d'une demande d'Autorisation d'Occupation Temporaire du domaine public (AOT) aux services concernés. De plus, les positions seront également transmises aux prud'homies, comités locaux des pêches et ports de plaisance afin de limiter les risques de perte liés aux activités de pêche et de plaisance sur la zone.

● Paramètres et méthodes d'analyses

Afin d'estimer l'impact de la contamination potentielle des différents rejets de STEP sur le vivant, la mesure de trois biomarqueurs est préconisée :

- **La mesure de la stabilité lysosomale :** L'intégrité de la fonction lysosomale constitue une cible majeure face aux stress environnementaux chez l'ensemble des organismes eucaryotes. C'est pourquoi le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (UNEP) a adopté la mesure de la stabilité de la membrane lysosomale (SML) comme technique de référence pour évaluer l'impact des pollutions environnementales. Cette méthode est également recommandée dans diverses conventions telles que OSPAR et la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) comme biomarqueur clé du stress général induit par la pollution chimique. Chez la moule (*Mytilus spp*), la stabilité lysosomale est étroitement liée à des processus biologiques essentiels tels que la capacité de piégeage des radicaux libres de l'oxygène, la synthèse protéique, la croissance et la viabilité larvaire. A l'inverse, une instabilité de la membrane lysosomale est corrélée à une augmentation des dommages à l'ADN, à l'accumulation de la lipofuscine, à la lipidose ainsi qu'à une élévation des concentrations tissulaires en hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Les lysosomes jouent un rôle central dans l'accumulation et la détoxification des polluants, stockant divers contaminants chimiques dont les métaux cationiques (Cu,

Hg, Cd) et des composés organiques lipophiles (HAP, PCBs, perturbateurs endocriniens). Cette forte capacité d'accumulation explique leur sensibilité aux faibles concentrations de polluants, rendant ainsi la mesure de la SML particulièrement efficace pour détecter la qualité chimique des eaux côtières. La stabilité lysosomale constitue un indicateur simple, sensible et économique pour évaluer la présence de polluants chimiques d'origine chronique ou liés à des épisodes de pollution accidentelle.

- **La numération des micronoyaux au niveau des hémocytes** : les micronoyaux se définissent comme des fragments de chromosomes ou des chromosomes entiers perdus par le noyau cellulaire au cours de la mitose et formant de petites entités bien individualisées dans le cytoplasme des cellules. Ils proviennent de cassures chromosomiques ou d'anomalies du fuseau mitotique et reflètent une action génotoxique directe ou indirecte qui aboutissent tous deux à l'apparition de mutations chromosomiques stables et héréditaires susceptibles de conduire à un processus cancérogénèse. Chez les moules (*Mytilus spp*), les hémocytes sont des cellules très facilement prélevables et réactives aux polluants environnementaux constituant des bioindicateurs très efficaces pour évaluer la génotoxicité de l'environnement marin.

- **L'analyse COMET (Single Cell Gel Electrophoresis)** sur les hémocytes : est une technique qui permet d'évaluer les dommages dans la structure primaire de l'ADN telles que des cassures du brins. Non réparées, celles-ci peuvent entraîner des conséquences sur l'expression du génome et sur la physiologie des organismes soumis à ces molécules. L'analyse de l'ADN repose sur la migration électrophorétique des cellules sous l'effet de l'application d'un champ électrique après dénaturation et lyse de celui-ci. Les cassures de l'ADN observées sont proportionnelles aux dommages provoqués par des agents génotoxiques présents dans l'environnement marin. Leur évaluation est un outil sensible pour la détection de la génotoxicité de l'eau.

Bancarisation des données

Chaque station sera identifiée par son nom, ses coordonnées en degrés minutes décimales et sa profondeur en mètre. Un fichier vectoriel de leur position sera fourni.

L'ensemble de ces données pourront être centralisées dans un espace dédié sur la plateforme [MEDTRIX](#) si le maître d'ouvrage le souhaite.

Notion de coût

Cette tâche implique la réalisation de **deux campagnes à la mer** (pose et récupération des échantillons) d'une journée minimum chacune selon la configuration du site. Néanmoins ces campagnes pouvant être couplées à celles du suivi qualité de la matière vivante, cela n'augmente pas le coût de la partie terrain de cette étude. Les analyses effectuées en laboratoire représentent le volet le plus coûteux de cette tâche.

L'intégration/traitement/analyse des données et la rédaction ne devraient pas **dépasser 10 jours de travail**.

Fourchette de coût : **35 000 – 45 000 €**

TÂCHE 14 : VALORISATION DU SUIVI



Les travaux de surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissement en Méditerranée font appel à des techniques de pointe, souvent coûteuses, mais qui ont permis au cours des dernières décennies, d'améliorer considérablement les processus de traitement. Les données acquises constituent en effet une source précieuse d'informations sur le milieu et l'impact des rejets urbains. L'important travail technique mis en œuvre pour l'acquisition de ces données peut être mis en valeur au travers de différents supports de communication (plaquette, vidéo, campagne de communication, mise à jour de site internet...) adressés au grand public, présentant les résultats ainsi que les améliorations qui ont été apportées pour répondre aux critères d'amélioration de la qualité des eaux.

Par ailleurs, les données issues de ces travaux de surveillance peuvent contribuer aux études de l'impact anthropique sur les écosystèmes marins. Enfin, la standardisation des méthodes de suivi offrirait une opportunité de valorisation supplémentaire en permettant des comparaisons avec d'autres systèmes de rejets et en renforçant la pertinence des analyses à plus large échelle.

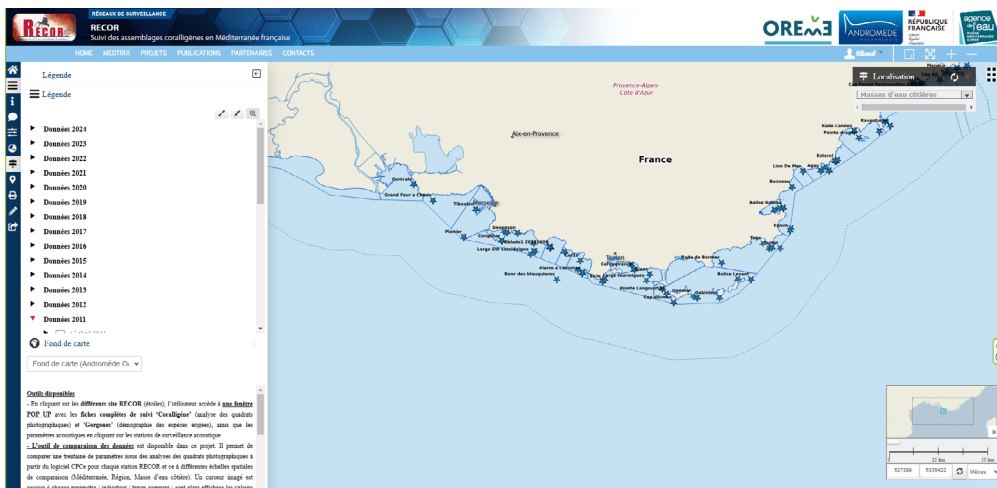
Ces efforts de communication permettent de présenter les actions mises en place en matière de lutte contre la pollution, de tarification locale de l'eau et d'évaluation de l'impact des rejets urbains.



Notion de coût

Le coût de cette démarche peut varier significativement en fonction des **objectifs de communication, de l'ampleur de la diffusion et des outils** mobilisés pour valoriser les données issues de la surveillance des rejets urbains. Qu'il s'agisse de supports tels que des plaquettes, photos ou vidéos dans le cadre de campagnes de sensibilisation à destination du grand public ou encore de la mise à jour de plateformes numériques dédiées, chaque format implique des investissements spécifiques.

Fourchette de prix : **900 – 2 500 €**



Conclusion



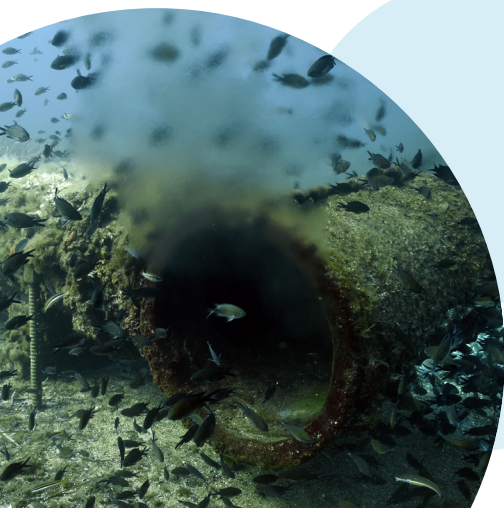
La mise en place d'un réseau de surveillance des rejets urbains, reposant sur des méthodologies standardisées et des protocoles partagés, constitue une avancée déterminante pour la surveillance du milieu marin à l'échelle de la Méditerranée.

Cette démarche permet de recueillir des données essentielles sur l'efficacité des systèmes d'assainissement, en évaluant la qualité des masses d'eau côtières et en offrant ainsi des informations sur l'**adaptation des écosystèmes marins face aux pressions anthropiques**.

La standardisation des protocoles de collecte, d'analyse et de bancarisation de ces données représente une étape fondamentale pour assurer l'interprétation fiable et la comparabilité des résultats. Cette harmonisation permet une analyse des résultats selon une dynamique à l'échelle spatiale, temporelle et réglementaire tout en intégrant les exigences des arrêtés en vigueur mais aussi des directives telles que la Directive Cadre sur l'Eau.

Cette méthodologie se veut cohérente afin d'obtenir une vision globale et intégrée de chaque système d'assainissement sur l'ensemble du littoral méditerranéen.

Il est essentiel de souligner que les **enjeux socio-économiques et sanitaires** associés à cette surveillance environnementale qui se veut efficace, permet aussi de prévenir les risques pour la santé publique. Cela permet également de préserver les activités économiques dépendantes de la qualité des écosystèmes marins côtiers telles que la pêche, l'aquaculture et le tourisme.



Sur le plan opérationnel, la durée et le coût moyen d'une campagne de surveillance dépend des différentes tâches à réaliser en fonction du niveau de surveillance de la station de traitement des eaux usées.

Selon un système d'assainissement sous surveillance :

- **Facultative**, le coût moyen d'une campagne de surveillance est estimé entre **10 900 € et 27 500 €** et sa durée totale d'intervention est d'environ **10 jours** ;
 - **Légère**, le coût moyen d'une campagne de surveillance est estimé entre **11 900 € et 30 500 €** et sa durée totale d'intervention est d'environ **15 jours** ;
 - **Normale**, le coût moyen d'une campagne de surveillance est estimé entre **69 900 € et 134 500 €** et sa durée totale d'intervention est d'environ **60 jours** ;
 - **Renforcée**, le coût moyen d'une campagne de surveillance est estimé entre **146 400 € et 304 500 €** et sa durée totale d'intervention est d'environ **152 jours**.
- Le coût moyen d'une campagne de surveillance d'un déversoir d'orage est estimé entre 131 400 € et 240 500 € et sa durée totale d'intervention est d'environ 72 jours.



Les campagnes de surveillance des stations de traitement des eaux usées mobilisent de nombreuses **ressources humaines, techniques et matérielles** très importantes avec des acteurs différents (plongeurs, bureau d'études, laboratoires etc.) afin de garantir la qualité des données collectées.

Ainsi, cette approche du guide méthodologique et budgétaire permet de poser les bases d'un suivi environnemental cohérent, adapté aux défis liés à la gestion des rejets urbains.



Bibliographie

Andral B., Boissery P., Descamp P., & Guilbert A. (2011) Surveillance des rejets urbains et des systèmes d'assainissements en Méditerranée. Guide Méthodologique. L'Œil d'Andromède. 87 p.

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. (2012). Analyse des sources directes et chroniques en substances dangereuses vers le milieu aquatique.

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. (2023). Rapport d'activités 2022. Edition 2023. 64 p.

Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse. (2024). Rapport d'activités 2023. Edition 2023. 64 p.

Ballesteros E., Torras X., Pinedo S., Garcia M., Mangialajo L., de Torres M. (2007). A new methodology based on littoral community cartography for the implementation of the European Water Framework Directive. Marine Pollution Bulletin. 55, 172-180.

Lopez y Royo, C., Casazza, G., Pergent-Martini, C., Pergent, G. (2010). *A biotic index using the seagrass Posidonia oceanica (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters*. Ecological Indicators 10, 380-389.

Manier N., Aït-Aïssa S., Pandard P. (2021). Inventaire et évaluation des méthodes biologiques issues de l'écotoxicologie en vue de leur utilisation dans le cadre de la DCE – Rapport AQUAREF. 66 p.

Thibaut T., Markovic L., Blanfuné A. (2010). Préfiguration du réseau macroalgues - Bassin Rhône Méditerranée Corse - Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau. Littoral rocheux de la Corse. Contrat Agence de l'Eau RMC – Unsa, Nice. 24 pp + Atlas cartographique. www.medtrix.fr. Consulté le 02 décembre 2024.

Thibaut T., Blanfuné A. (2014). Préfiguration du réseau macroalgues - Bassin Rhône Méditerranée Corse - Application de la directive Cadre Eau - Rapport d'état écologique des masses d'eau - Littoral rocheux méditerranéen français - Réévaluation de 12 masses d'eau. Contrat Agence de l'eau RMC – UNS, Nice. 36pp + Atlas cartographique. www.medtrix.fr. Consulté le 02 décembre 2024.