

Evaluer les pertes et les gains écologiques en milieu marin d'Occitanie : guide méthodologique

Octobre 2025

Réalisé par :



Pour le compte de :



STRATÉGIE RÉGIONALE
DE L'INNOVATION
OCCITANIE

Avec le soutien financier de :



Auteurs

Agnès MECHIN (ECO-MED), Betty ETEVE (Créocéan), Sébastien THORIN (Créocéan)
Chef de projet : Agnès MECHIN

Co-Auteurs

Sylvain PIOCH (Université Paul Valéry), Claude MIAUD (EPHE / UMR CEFE)

Remerciements

Nous remercions particulièrement les contributeurs ayant participé à l'atelier de co-conception du 11 février 2025, aux tests et à la relecture du guide :

Agence régionale de développement économique d'Occitanie (Ad'occ), Agence régionale de la biodiversité d'Occitanie (ARB), Andromède Océanologie, Biotope, BRL Ingénierie, Direction interrégionale de la mer Méditerranée (DIRM), Egis, ENBW Valeco, Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae), Observatoire océanologique de Banyuls, Office français de la biodiversité (OFB), Parc naturel marin du Golfe du Lion, Région Occitanie Midi-Pyrénées, Seaboost.

Edition

Dans le cadre de la Stratégie Régionale d'Innovation en Occitanie (SRI)
Par Ad'Occ - Agence Régionale de Développement Economique d'Occitanie
CEMD - 132 Bd. Pénélope – 34000 Montpellier
Octobre 2025

Référence bibliographique à utiliser

Mechin A., Eteve B., Thorin S., Miaud C., Pioch S.- 2025 - Evaluer les pertes et les gains écologiques en milieu marin d'Occitanie : guide méthodologique – Ad'Occ – 86 pages

Table des matières

Table des matières	3
Table des tableaux	4
Table des figures	4
Préambule	5
1. Principes généraux	6
1.1. L'approche Pertes-Gains	6
1.2. Limites et précautions d'usage	8
1.3. Modalités générales d'évaluation des pertes et des gains	9
2. Protocole d'évaluation des pertes et des gains.....	13
2.1. Périmètres d'évaluation des pertes et des gains	13
2.2. Echelle temporelle	14
2.3. Données d'entrée.....	16
2.4. Étapes d'application.....	17
3. Dans quels cas utiliser la méthode ?	18
4. Evaluation de l'état du milieu.....	21
4.1. Modèle conceptuel	21
4.2. Sélection des indicateurs	22
4.3. Notation des indicateurs et état de référence.....	23
4.4. Les indicateurs retenus	26
4.5. Références bibliographiques des indicateurs et protocoles	47
5. Les coefficients d'ajustement	49
5.1. Enjeu patrimonial	49
5.2. Risque.....	50
5.3. Temps.....	52
6. Calibrage	54
6.1. Valeurs maximales	54
6.2. Ratio compensatoire de 1	55
7. Guide pratique d'application.....	56
7.1. Evaluation des pertes.....	56
7.2. Evaluation des gains.....	74
8. Bibliographie.....	85

Table des tableaux

Tableau 1 : Modalités d'appréciation des pertes selon le cadre réglementaire	18
Tableau 2 : Modèle conceptuel d'évaluation de l'état du milieu	22
Tableau 3 : Extrait du calcul des indicateurs biologiques sur deux stations considérées comme référence dans le cadre de l'étude BADG.....	23
Tableau 4 : Echelle de notation	24
Tableau 5 : Seuils de référence pour les contaminants métalliques	29
Tableau 6 : Critères permettant de calculer l'indice de confiance	46
Tableau 7 : Coefficient d'ajustement T.....	53
Tableau 8 : Simplification et valeur du coefficient T	53
Tableau 9 : Exemples de valeur des paramètres de calcul des pertes et des gains pour calculer un ratio de compensation maximal	54
Tableau 10 : exemples de valeurs des paramètres de calcul des pertes et des gains pour un ratio compensatoire minimal de 1	55

Table des figures

Figure 1 : Représentation schématisée de l'approche Pertes-Gains	7
Figure 2 : Illustration de l'évaluation des pertes	11
Figure 3 : Illustration de l'évaluation des gains	11
Figure 4 : Illustration de la zone d'emprise et de la zone tampon superposées aux habitats naturels :	13
Figure 5 : Exemple de positionnement temporel des états initiaux et états finaux pour évaluer pertes et gains	16
Figure 6 : Illustration des différents types d'habitat qui peuvent être pris en compte selon le cadre réglementaire appliqué	19
Figure 7 : Illustration 3D du futur émissaire avec une bathymétrie fine (CREOCEAN, 2022).....	57
Figure 8 : Exemple type d'émissaire en Méditerranée (CREOCEAN, 2022	57
Figure 9 : Localisation de l'émissaire et cartographie des fonds (CREOCEAN, 2022)	57

Préambule

La façade maritime de la région Occitanie est caractérisée par une grande diversité à la fois sur le plan écologique et paysager et en termes d'activités économiques (tourisme, pêche et aquaculture, activités portuaires, nautisme, recherche et ingénierie). Les pressions d'aménagement s'exerçant sur le littoral et le milieu marin sont croissantes. Aussi, la bonne mise en œuvre de la séquence éviter-réduire-compenser (ERC) est un des éléments de la préservation de la biodiversité marine. Celle-ci repose en particulier sur l'évaluation des besoins compensatoires engendrés par les impacts résiduels après évitement et réduction.

En 2024, dans le cadre de la Stratégie Régionale d'Innovation (SRI), l'agence régionale Ad'Occ et ses partenaires, la Région Occitanie, l'ARB d'Occitanie et l'université Paul Valéry ont souhaité s'engager dans le développement d'une démarche méthodologique d'évaluation rapide des pertes et des gains écologiques des projets d'aménagement en milieu marin qui soit harmonisée et opérationnelle. **L'objectif est de mettre à disposition de tous les acteurs de la Région un outil approprié pour sécuriser les projets sur le plan juridique et faciliter l'instruction des dossiers d'autorisation, le suivi de la mise en œuvre des mesures ERC ainsi que l'évaluation biophysique rapide des pertes et gains de biodiversité.**

La conception de cette méthode a été confiée aux bureaux d'études Créocéan et ECO-MED, sur la base des travaux de recherche menés sur la méthode MERCI par Mechin et Pioch (20016), sur la méthode Mitimed par Jacob, Bas, Thorin et Pioch (2016) et de la méthode UMAM issue des travaux de Pioch et al. (2015). Un travail initial d'état de l'art a été conduit et est disponible dans un rapport à part. (2510-RP5033-RapportEtatdel'Art-ADOCC-V1-1)

Un travail collaboratif avec l'ensemble des acteurs locaux (bureaux d'études, aménageurs, services de l'Etat, OFB, scientifiques) a été mené afin de proposer une première version d'une méthode d'évaluation des pertes et des gains écologiques en milieu marin. Elle se décline sur les trois grands types de milieux présents en Occitanie :

- substrats meubles
- herbiers
- substrats rocheux ou durs.

Ce guide méthodologique a pour objet de présenter les principes de la méthode, les modalités de raisonnement, son fonctionnement et ses modalités pratiques d'application, illustré par un cas réel de terrain.

1.Principes généraux

1.1. L'approche Pertes-Gains

Les impacts sur la biodiversité et la restauration écologique peuvent être appréhendés selon une approche dite Pertes - Gains. En effet, dans le cadre d'un projet d'aménagement par exemple, ses impacts résiduels sur les espèces, les habitats, et les fonctions écologiques (après évitement et réduction) engendrent des pertes écologiques. De même, toute mesure de restauration, utilisée pour la compensation, est censée engendrer des gains écologiques. Ces gains correspondent à la plus-value écologique générée par la restauration ou l'amélioration écologique d'un site plus ou moins dégradé.

Cette approche est particulièrement mobilisée pour le dimensionnement de la compensation écologique dans le cadre des autorisations environnementales, essentiellement en milieux terrestres. Elle est mentionnée en 2013 dans les Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire, et compenser les impacts résiduels sur les milieux naturels (CGDD, 2013).

Selon le cadre d'utilisation, pertes et gains sont raisonnés pour un même écosystème, pour les fonctions, habitats et espèces concernées. Par exemple, dans le cadre de la réglementation sur les espèces protégées, pertes et gains sont raisonnés espèce par espèce affectée par le projet d'aménagement.

Les pertes sont évaluées au moyen d'une comparaison entre (i) l'état écologique initial et (ii) l'état écologique supposé de la zone d'emprise du projet et de la zone tampon sur laquelle le projet a des impacts indirects en phases travaux et d'exploitation. Cette approche correspond aux recommandations du guide publié par le ministère de la Transition Ecologique et qui font référence en la matière, « approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique » (Andreadakis et al., 2021).

Elles sont générées tout autant par des pressions provisoires (par exemple, turbidité générée par les travaux sous-marins) que par des pressions définitives (destruction d'un substrat remplacé par une digue par exemple), directes et indirectes. Les pertes correspondent aux impacts résiduels définitifs significatifs. Le guide de l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique définit les impacts significatifs comme les « *perturbations, altérations ou destructions d'espèces, ou d'habitats, qui remettraient en question leur état de conservation y compris au niveau local* » (page 52).

Les gains sont évalués à l'aide de la différence d'état du milieu entre l'avant restauration (par exemple, zone de mouillage sauvage dans laquelle l'herbier est arraché par les ancrs et pollué par des macro-déchets) et l'après restauration (enlèvement des macro-déchets, mouillage organisé et croissance de l'herbier), selon la même démarche méthodologique que pour l'évaluation des pertes.

Cette approche correspond à la méthodologie dite par « écart d'état des milieux » et identifiée comme telle dans le guide de l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation.

Evaluer les pertes et les gains écologiques en milieu marin d'Occitanie : guide méthodologique – Octobre 2025

C'est une approche utilisée par des méthodes de dimensionnement de la compensation existantes en France (Méthode Mitimed utilisée par Créocéan, Méthodes MERCIe, MERCI-Cor, MERCI-EHF utilisée par le bureau d'études ECO-MED pour les espèces protégées, méthode Miroir développée par le bureau d'étude Biotopie, etc.) ou à l'étranger (Méthode UMAM développée en Floride, etc.) Elles sont regroupées sous le terme de Rapid Assessment Method (Pioch et al., 2015) pour leur application dans un cadre réglementaire précis, lié au dimensionnement des mesures compensatoires.

Lorsque l'exercice d'évaluation de pertes et de gains est réalisé dans le cadre du processus de dimensionnement de la compensation, il doit respecter quelques conventions pratiques :

- Pertes et gains doivent être évaluées selon la même démarche, et à l'aide des mêmes variables et mesures afin de pouvoir être comparés,
- Pertes et gains doivent être quantifiés. Cela peut passer par l'évaluation des pertes et des gains à l'aide de variables semi-quantitatives, permettant d'associer une mesure à une variable appréciée de façon qualitative.

Toutefois, cette approche chiffrée n'exclut pas l'approche qualitative complémentaire et indispensable des pertes et des gains afin de satisfaire pleinement à l'exigence d'équivalence écologique. Cette approche qualitative sort du périmètre de la méthode présentée ici et ne sera pas abordée spécifiquement dans le guide. Nous renvoyons toutefois au guide l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique pour plus détail.

Le schéma ci-dessous permet de représenter le mode de raisonnement mobilisé par l'approche Pertes-Gains :

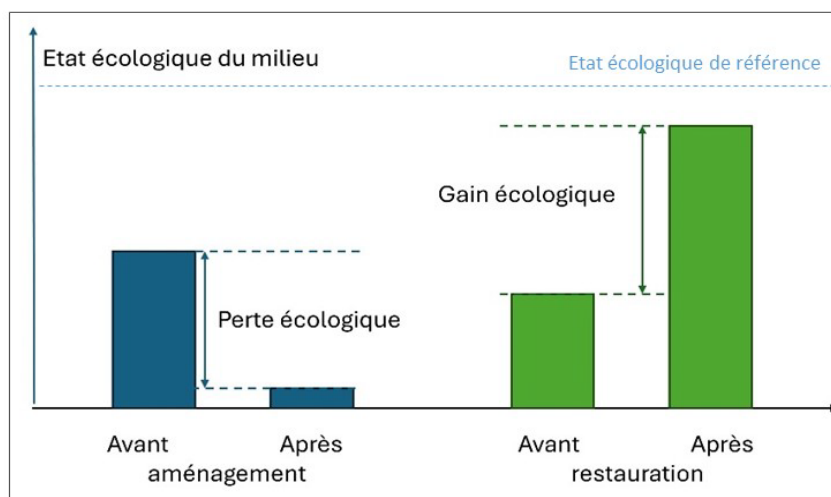


Figure 1 : Représentation schématisée de l'approche Pertes-Gains

1.2. Limites et précautions d'usage

Raisonnement en pertes ou en gains écologiques suppose de mesurer l'incommensurable, c'est-à-dire, de mesurer la biodiversité, à savoir la diversité des formes du vivant, des gènes aux écosystèmes et les processus évolutifs qui la génère, les fonctions écologiques, et d'estimer la favorabilité d'un habitat à une espèce donnée ou l'état écologique d'un habitat ou d'un écosystème.

Cette limite est connue et les méthodes d'évaluation de la biodiversité ou de composantes de la biodiversité sont nombreuses, et passent par la définition d'indices et indicateurs adaptés à leur contexte d'utilisation (Devictor, 2018).

Dans le cas de l'approche Pertes-Gains, cela nécessite de situer l'écosystème étudié par rapport à un écosystème de référence, c'est-à-dire l'écosystème présentant le meilleur état écologique connu ou préservé des pressions humaines (ou pour lequel on considère la pression comme la plus faible pour la région considérée). Là encore, le choix d'un écosystème de référence permettant d'étalonner la gradation de l'état écologique d'un milieu est un sujet complexe et discutable.

De plus, elle implique de définir un état initial et un état final d'une zone d'étude, supposant que l'écosystème étudié peut atteindre un état stable dans un certain délai connu. Cette simplification de la trajectoire écologique des écosystèmes omet les multiples aspects de la notion de stabilité d'un écosystème et de la dynamique qui lui est associée (Donohue et al., 2016).

Enfin, l'évaluation passe par la réduction d'un objet complexe (un écosystème) à une grandeur unique afin de pouvoir exprimer pertes ou gains en écart d'état de l'écosystème étudié. Une évaluation de ce type véhicule encore une vision très simplificatrice du vivant dont il est absolument indispensable d'être conscient quand on la manie.

En particulier, le recours à une grandeur unique pour exprimer l'état d'un écosystème peut rendre à première vue "équivalents" des écosystèmes possédant le même score et induire l'illusion d'une substituabilité écologique entre les deux. En réalité, analyser l'équivalence écologique entre deux écosystèmes est un exercice complexe quand il est réalisé en dehors de l'approche Pertes-Gains.

De plus, les connaissances en écologie sont incomplètes. Malgré les efforts de recherche importants, et les connaissances existantes déjà très conséquentes, il subsiste encore (et il subsistera toujours) des questions auxquelles il est difficile de répondre avec certitude du fait de l'infinité des paramètres à prendre en compte et de l'extrême diversité du vivant. Ainsi, par exemple, il n'existe aujourd'hui pas de connaissances disponibles sur l'impact des vibrations d'un engin de chantier sur la faune benthique. De plus, est-ce que toutes les espèces réagissent de la même façon ? La question se pose aussi pour les individus d'une même espèce.

Ainsi comme le rappelle le guide de l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique, il est de rigueur d'appliquer le principe de précaution en l'absence de « *connaissances adaptées sur la présence, le fonctionnement ou le rôle des éléments de biodiversité affectés à l'échelle du territoire. (...) Il convient alors, de considérer tout impact sur la plus petite unité écologique (un individu, un m² d'un habitat, un mètre linéaire, etc.) comme significatif.* » (Page 54)

Ce manque de connaissances se traduit notamment par une incertitude plus ou moins forte sur les trajectoires écologiques de restauration, d'autant plus dans un contexte de forçage global comme le réchauffement global. Ainsi, il restera toujours un niveau d'incertitude sur l'atteinte des objectifs initialement prévus dans les mesures de restauration.

Dans ce contexte, et malgré ces difficultés connues, des outils sont développés pour répondre aux diverses questions soulevées par l'aménagement, la gestion, et la réglementation. Avant d'utiliser un outil de mesure de la biodiversité (méthode, protocole, indicateur, valeur seuil, etc.), il est indispensable de savoir ce que l'on souhaite réellement mesurer et pour répondre à quelle question.

Ces limites imposent à tout utilisateur d'une telle méthode Pertes-Gains de manier les résultats avec précautions. Il est indispensable de ne pas se limiter uniquement aux valeurs données par les calculs et de les accompagner d'un diagnostic écologique couplé avec une approche qualitative (inventaires des espèces présentes, description des interactions proies-prédateurs, du réseau écologique, du rôle des nurseries éventuelles, de l'historique des pressions exercées sur le secteur, de la synergie des pressions avec des aménagements plus ou moins adjacents, ...).

Il ne faut pas oublier que si cette expression chiffrée des pertes et des gains présente un intérêt opérationnel certain dans le cadre d'utilisation qui est celui de la méthode pour le dimensionnement de la compensation, elle ne correspond pas à une grandeur bio-physique mesurable sur le terrain et ne constitue ainsi pas une vérité absolue. Elle repose sur une simplification du vivant, nécessaire dans son cadre d'utilisation et ne reflète pas singularité, sa complexité et toutes les incertitudes qui subsistent sur l'organisation et le fonctionnement des écosystèmes.

1.3. Modalités générales d'évaluation des pertes et des gains

Pour comprendre comment est bâtie une formule d'évaluation des pertes et des gains, nous pouvons raisonner par étapes. Le principe de base est qu'une perte ou un gain est un écart d'état écologique d'un milieu entre deux moments précis :

- Etat initial : avant le projet d'aménagement ou le projet de restauration (ou de compensation),
- Etat final :
 - o Après mise en exploitation du projet d'aménagement, résorption des impacts temporaires et effets des impacts permanents, c'est à dire après stabilisation de l'écosystème, une fois le projet achevé et en exploitation,
 - o Après atteinte des objectifs de restauration écologique (ou de compensation), au bout du temps jugé nécessaire à la restauration de l'écosystème, à préciser selon les cas.

Dans ce guide, nous utiliserons préférentiellement le terme "restauration écologique" pour désigner des opérations de génie écologique réalisées dans le cadre de la compensation écologique ou dans un autre cadre que la compensation.

On ne peut limiter l'expression de pertes ou de gains écologiques à un écart d'état de milieu car il semble logique que plus la surface sur laquelle les pressions s'exercent est grande, plus les pertes sont importantes. De même, plus la surface restaurée est étendue, plus les gains sont importants.

Cela nous conduit à exprimer, dans un premier temps, pertes et gains selon les formules suivantes :

$$\text{Pertes} = \text{surface impactée} \times (\text{Etat initial} - \text{Etat final}) \text{ de l'emprise impactée}$$
$$\text{Gains} = \text{Surface restaurée} \times (\text{Etat final} - \text{Etat initial}) \text{ de la surface bénéficiant de la restauration.}$$

La formule des Pertes a pour effet, étant donné l'état de conservation général relativement dégradé de nos écosystèmes et des effets cumulés entre projets d'aménagement successifs, de minorer les pertes. Or, même sur des écosystèmes dégradés, des espèces à fort enjeu patrimonial peuvent encore se développer. C'est aussi parfois les seuls écosystèmes relictuels dans une catégorie donnée, certains écosystèmes ayant été largement dégradés voire détruits depuis longtemps. Aussi, l'ajout d'un coefficient d'Enjeu patrimonial permet d'accentuer les pertes selon les enjeux que présente l'écosystème impacté.

En outre, le ministère en charge de l'écologie préconise la prise en compte de deux facteurs pour la compensation, qui sont le temps et le risque écologique (Doctrines ERC, 2012). En effet, telle quelle, la formule des Gains présente une première limite. Elle suppose que la restauration va se passer comme prévu, alors que nous avons indiqué que les trajectoires écologiques étaient incertaines. Cela nous conduit à minorer les gains à l'aide d'un coefficient de Risque d'échec, à adapter selon le contexte de chacune des opérations de restauration, qu'elles soient réalisées dans le cadre de la compensation écologique ou non.

La deuxième limite pour la formule des Gains est liée au décalage temporel entre la survenue des pertes et l'atteinte des objectifs de restauration. Des mesures de restauration peuvent nécessiter un délai plus ou moins long avant de se traduire par l'amélioration attendue de l'écosystème (exemple : délai de recolonisation par un herbier). Cela nous conduit à minorer de nouveau les gains à l'aide d'un coefficient Temps, proportionnel au temps d'atteinte des objectifs.

Ces coefficients Risque et Temps, en minorant les gains, ont pour effet d'accroître les surfaces nécessaires dans le cadre de l'objectif réglementaire Pertes = Gains pour les mesures compensatoires. Or, d'un point de vue écologique, augmenter une surface de restauration ne raccourcit pas les délais de réponse d'un écosystème. Cela présente cependant l'intérêt d'inciter à ne pas impacter les écosystèmes les plus longs à se régénérer.

Concernant le risque, une restauration sur une surface plus importante minimise les risques d'échec. L'ajout de ce coefficient dans la formule présente davantage de sens sur le plan écologique.

Ainsi, les formules d'évaluation des pertes et des gains retenues sont les suivantes :

$$\text{Pertes} = \text{Enjeu Patrimonial} \times \text{surface impactée} \times (\text{Etat initial} - \text{Etat final}) \text{ de l'emprise impactée}$$

$$\text{Gains} = \text{Surface restaurée} \times (\text{Etat final} - \text{Etat initial}) \text{ de la surface bénéficiant de la restauration} / (\text{Risque} \times \text{Temps})$$

Ces formules permettent d'exprimer Pertes et Gains selon les mêmes règles d'évaluation, en une grandeur chiffrée unique. Elles ne présentent pas de réalité écologique tangible, elles traduisent un raisonnement ou une construction intellectuelle permettant d'appliquer les exigences réglementaires et d'évaluer rapidement l'état écologique d'un milieu. Elles sont exprimées en unité d'évaluation ou Unité Compensatoires de Restauration et de Renaturation (UCRR selon la réglementation des SNCRR), unité abstraite, sans équivalence avec une unité bio-physique existante.



Figure 2 : Illustration de l'évaluation des pertes

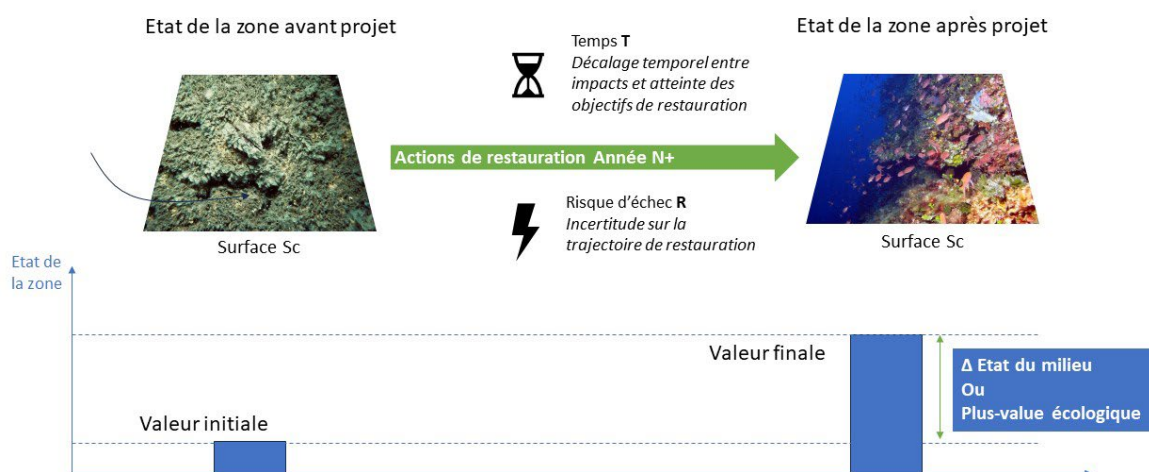


Figure 3 : Illustration de l'évaluation des gains

Dans le cadre des autorisations environnementales, la compensation écologique doit être conçue et dimensionnée de façon à ce que l'équation suivante soit respectée : Pertes = Gains, correspondant à l'exigence d'absence de perte nette de biodiversité (loi n° 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages). Cette équation se traduit ainsi, selon les termes de nos formules d'évaluation :

$$\begin{aligned} & \text{Enjeu Patrimonial} \times \text{surface impactée} \times (\text{Etat initial} - \text{Etat final}) \text{ de l'emprise impactée} \\ & = \\ & \text{Surface restaurée} \times (\text{Etat final} - \text{Etat initial}) \text{ de la surface bénéficiant de la restauration} / (\text{Risque} \times \\ & \text{Temps}) \end{aligned}$$

Si l'on s'intéresse au ratio compensatoire, celui-ci est exprimé ainsi :

$$\begin{aligned} & \text{Surface restaurée} / \text{Surface impactée} \\ & = \\ & \text{Enjeu Patrimonial} \times \text{Risque} \times \text{Temps} \times (\text{Etat initial} - \text{Etat final}) \text{ de l'emprise impactée} \\ & / (\text{Etat final} - \text{Etat initial}) \text{ de la surface bénéficiant de la restauration} \end{aligned}$$

Dans le cadre des autorisations environnementales et de la compensation écologique, cela signifie que la surface requise pour la restauration écologique est d'autant plus importante que le projet d'aménagement impacte des espèces ou écosystèmes à enjeu patrimonial, que l'impact est important, que le risque d'échec de la restauration écologique est élevé, que le délai d'atteinte des objectifs de restauration est long et que la plus-value écologique de la restauration est faible. Les principes fondamentaux édictés par la Doctrine ERC (2012) de la séquence ERC sont bien respectés.

2. Protocole d'évaluation des pertes et des gains

2.1. Périmètres d'évaluation des pertes et des gains

La surface étant une donnée d'entrée pour évaluer les pertes et les gains, il est indispensable de bien définir les périmètres d'évaluation des pertes et des gains au préalable.

2.1.1. Zone d'emprise et zone tampon

Le périmètre d'évaluation des pertes correspond à la zone géographique qui subit les pressions engendrées par un projet d'aménagement, ou des travaux. Il se décompose en deux grandes zones :

- Une **zone d'emprise** : cela correspond à l'emprise physique de l'aménagement ou des travaux. En général, les habitats de cette zone sont détruits. Cela peut correspondre par exemple à l'emprise d'une digue, d'un émissaire, à l'emprise d'affouillement pour la pose d'un câble sous-marin.
- Une **zone tampon** : cette zone ne subit pas d'installation physique d'un projet mais des pressions altérant les habitats, comme par exemple, un panache turbide, des émissions sonores, etc. Elle est définie en fonction de la portée spatiale des impacts. La définition d'une zone tampon peut nécessiter de faire appel à de la modélisation pour définir la surface et la localisation d'un panache à la sortie d'un émissaire par exemple.

Une zone d'emprise ou une zone tampon peut comporter différents types de substrats, dans des états de conservation différents, comme l'illustre la figure ci-dessous.

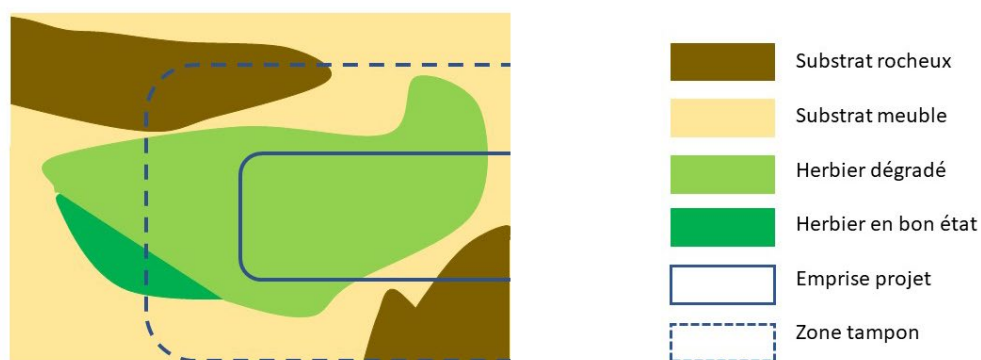


Figure 4 : Illustration de la zone d'emprise et de la zone tampon superposées aux habitats naturels :

Différents types de zone d'étude doivent ainsi être définis et caractérisés pour l'évaluation des pertes. **Les pertes doivent être évaluées par unité d'habitat homogène subissant la même pression.**

Dans le cas de figure correspondant au schéma ci-dessus, les pertes totales correspondent à la somme de :

- Perte sur substrat rocheux / zone d'emprise
- Perte sur substrat meuble / zone d'emprise
- Perte sur herbier dégradé / zone d'emprise
- Perte sur substrat rocheux / zone tampon
- Perte sur substrat meuble / zone tampon
- Perte sur herbier dégradé / zone tampon
- Perte sur herbier en bon état de conservation / zone tampon

2.1.2. Zone restaurée

Le périmètre d'évaluation des gains correspond à la zone restaurée et faisant l'objet d'une protection, conformément aux exigences réglementaires (arrêté préfectoral de protection de biotope par exemple) ou bien le périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration. Cela correspond à la zone de compensation. De même que pour l'évaluation des pertes, **la zone de restauration ou bien le périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration doivent être découpés en zones d'habitat homogène pour lesquels des gains unitaires seront évalués.**

Ainsi, si l'objectif d'une mesure de compensation est d'augmenter le recouvrement d'un herbier dégradé, avec un faible recouvrement, la surface à considérer n'est pas la surface des patchs non recouverte d'herbier. La surface à considérer correspond à la superficie globale de la zone qui fera l'objet d'une protection et comprenant des zones déjà recouvertes d'herbiers et des zones qui seront couvertes à terme, si la mesure réussit.

Cependant, si la zone qui fait l'objet d'une protection, comprend un secteur d'herbier dans un état de conservation significativement meilleur que celui de la partie de l'herbier dégradé et ciblé par les mesures de restauration, cette zone peut faire l'objet d'une évaluation des gains séparée, la plus-value écologique des mesures de compensation étant beaucoup plus faible.

2.2. Echelle temporelle

L'évaluation des pertes et des gains repose sur une différence d'état de conservation des milieux entre deux moments clés à fixer en fonction des trajectoires d'évolution probables des milieux. Les états considérés sont :

- L'état initial : dans quel état de conservation se trouve le milieu avant la mise en œuvre du projet ? Cet état initial est classiquement décrit dans les études d'impact. Pour la zone restaurée, ou le périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration (zone de compensation), l'état initial est l'état avant la mise en œuvre des mesures. Les zones restaurées ou le périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration doivent faire également l'objet de relevés de terrain pour étayer la description de l'état initial.
- L'état final : dans quel état de conservation se trouvera, hypothétiquement, le milieu, une fois le projet terminé et en service ? Il s'agit d'imaginer l'état écologique du milieu subissant les

impacts du projet, sous l'effet de pressions temporaires ou permanentes, dans un contexte de changement climatique. L'échelle temporelle choisie pour déterminer l'état final doit se baser sur l'atteinte d'un état relativement stabilisé du milieu ou proche de sa dynamique naturelle et correspondant à une pleine exploitation de l'équipement.

Si à l'issue du chantier et au bout de quelques années (moins de 10 ans par exemple) le milieu se restaure légèrement, malgré les pressions exercées par l'exploitation de l'aménagement, et se maintient dans une meilleure dynamique que l'état pendant le chantier ou immédiatement après le chantier, c'est à l'issue de ce délai de restauration post-chantier qu'il faut se placer pour décrire l'état final.

Pour la zone restaurée, il s'agit de décrire l'état attendu au terme de la restauration écologique et de l'atteinte des objectifs de compensation le cas échéant, sous réserve qu'elle se déroule comme espérée. L'état attendu correspond à l'état qui sera atteint, à l'issue des opérations de restauration et de l'atteinte d'un état stabilisé, dans l'hypothèse du succès des mesures. Le risque d'échec de la restauration, ou d'un état en deçà du niveau attendu est intégré au travers d'un coefficient de risque R, dans la formule d'évaluation des gains.

L'échelle temporelle à laquelle se placer correspond au délai nécessaire pour atteindre l'état attendu, et basé sur les retours d'expérience et la bibliographie (par exemple, 5 ans, 15 ans, 50 ans). Ce délai est indépendant du projet d'aménagement, de sa durée d'exploitation, etc.

L'échelle temporelle à laquelle se placer pour décrire l'état final est à déterminer pour chaque cas. L'objectif est de choisir un délai au terme duquel l'état du milieu est arrivé à un stade satisfaisant dans la dynamique naturelle attendue de ce type de milieu dans le contexte considéré.

Le délai n'est pas nécessairement le même pour définir l'état final du milieu impacté et l'état final du milieu restauré.

Les hypothèses de trajectoire d'évolution doivent reposer autant que possible sur des retours d'expériences robustes (expertise externe à la maîtrise d'ouvrage, double validation de l'expertise) ou scientifiques, ainsi que des suivis réalisés à proximité par des experts reconnus (OFB, gestionnaires, association, bureaux d'études naturalistes...).

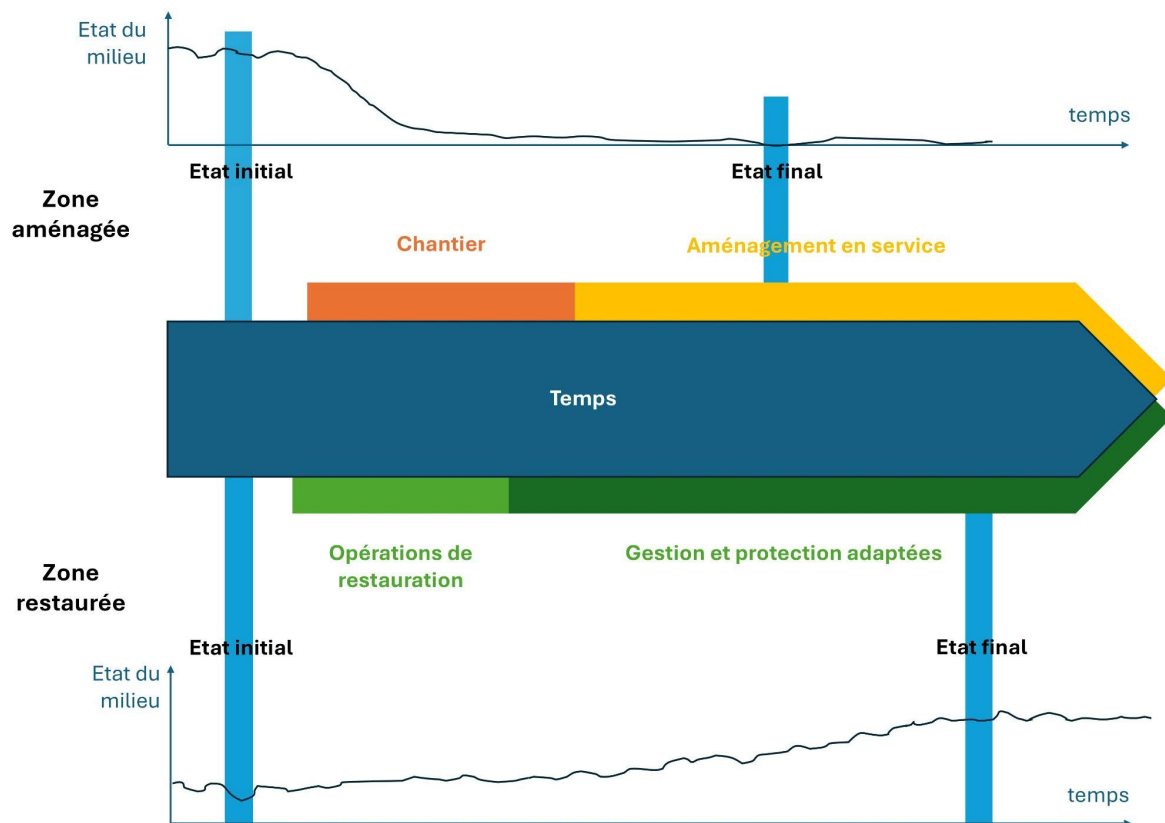


Figure 5 : Exemple de positionnement temporel des états initiaux et états finaux pour évaluer pertes et gains

2.3. Données d'entrée

Les données d'entrée sont les données classiquement mobilisées dans le cadre des études d'impact :

- Etudes liées à la description de l'état initial de la zone impactée décrite selon les moyens mis en œuvre dans le cadre des études d'impact (expertise écologique),
- Description du projet générant les pertes (emprises, zone tampon, techniques de travaux...).

Pour la zone restaurée ou le périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration, il est nécessaire de collecter des données sur l'état initial selon une exigence de données écologiques similaire à celle de la zone aménagée. Pertes et gains doivent être évalués avec le même effort technique.

Les ressources bibliographiques (inventaires faune flore, études d'impacts proches récentes...) sont aussi nécessaires pour compléter les données collectées sur le terrain, ou en l'absence de données de terrain, selon le stade d'avancement des projets auquel la méthode est appliquée (données générales aux stades des études préliminaires de faisabilité puis se précisant sur le terrain obligatoirement aux étapes d'Avant-Projet et de Projet).

2.4. Étapes d'application

Nous donnons, à titre indicatif, les grandes étapes par lesquelles passer pour appliquer la méthode d'évaluation des pertes et des gains. Les premières étapes sont cruciales pour positionner clairement le problème et pouvoir ensuite effectuer les évaluations plus facilement. Ces étapes seront expliquées dans le détail et illustrées par des cas d'application dans la partie "Guide pratique" en fin de document.

2.4.1. Pour l'évaluation des pertes

1. Analyser le projet à l'origine des impacts
2. Définition de la zone d'emprise et de la zone tampon
3. Identification des différentes pressions engendrant les impacts
4. Identification des différents habitats, espèces et fonctions présents sur les zones d'études et du découpage des surfaces, pour les calculs de perte
5. Evaluation de l'état initial
6. Evaluation de l'état final
7. Evaluation du coefficient EP
8. Calcul des pertes

2.4.2. Pour l'évaluation des gains

1. Identification de la question posée pour adapter la démarche d'évaluation : conclure sur la suffisance de mesures compensatoires, évaluer la surface nécessaire en fonction de mesures identifiées, etc.
2. Identification d'une zone compensatoire¹ (zone restaurée ou périmètre recevant les bénéfices fonctionnels des opérations de restauration) et définition de la surface de la zone de compensation, si la zone est connue
3. Description de l'état initial : identification des différents habitats, fonctions et espèces présents sur la zone
4. Identification des actions de restauration par cibles
5. Evaluation d'une trajectoire d'évolution probable : description de l'état final attendu, identification des biocénoses finales, choix de l'échelle temporelle
6. Découpage de la zone compensatoire en fonction des opérations de restauration et des trajectoires d'évolution des habitats initiaux
7. Evaluation des coefficients R et T
8. Calcul des gains

A l'issue de l'étape 8 de calcul des pertes ou de calcul des gains, une étape complémentaire est à considérer. Il s'agit d'interpréter le calcul réalisé en le situant dans le contexte local, en le reliant à des pertes ou des gains similaires engendrés par des projets voisins, et en les accompagnant des précautions exposées dans la partie 1.2.

¹ Pour cela, il est préconisé d'utiliser la méthode nationale de référence POGEIS : <https://pogeis.ofb.fr/>

3. Dans quels cas utiliser la méthode ?

La méthode d'évaluation des pertes et des gains écologiques est applicable dans le cadre de la compensation écologique réglementaire dans le cadre de l'autorisation environnementale.

Les pertes correspondent aux impacts significatifs d'un projet et les gains à la compensation écologique des impacts.

Tableau 1 : Modalités d'appréciation des pertes selon le cadre réglementaire

Cadre réglementaire	Modalités d'appréciation des pertes
Autorisation environnementale avec étude d'impact	Impacts significatifs sur les espèces ou habitats qui remettraient en question leur état de conservation y compris au niveau local
Régime juridique Natura 2000 (L.414 4 et R.414-23 du Code de l'environnement)	Atteinte à l'état de conservation des habitats naturels et des espèces qui ont justifié la désignation du site, aux objectifs de conservation du site.
Régime de dérogation à la réglementation sur les espèces protégées (L411-2 du Code de l'environnement)	Perturbation, dégradation, altération ou destruction d'habitats de reproduction ou de repos susceptibles de remettre en cause le bon accomplissement des cycles biologiques de l'espèce protégée ou de son habitat, au niveau local. Destruction d'individus portant atteinte à l'état de conservation au niveau local d'une espèce protégée.

Selon les cas, les pertes sont évaluées pour un écosystème dans sa globalité, ou pour un type d'écosystème seulement, ou encore pour une espèce et son habitat en particulier. Ainsi, dans le cas de la réglementation sur les espèces protégées, les pertes et les gains sont évalués pour l'habitat potentiel de l'espèce considérée qui peut être défini pour des fonctions de reproduction ou d'alimentation, comme par exemple un herbier pour une communauté de poissons.

Par exemple :

- Cas n°1 : Autorisation environnementale – étude d'impact
Pertes pour l'ensemble de la biodiversité = pertes pour le substrat rocheux + pertes pour l'herbier + pertes pour le substrat meuble
- Cas n°2 : Dérogation espèce protégée
Pertes pour la Posidonie = pertes pour l'herbier
Pertes pour la Grande Nacre = pertes pour l'herbier + pertes pour le substrat meuble

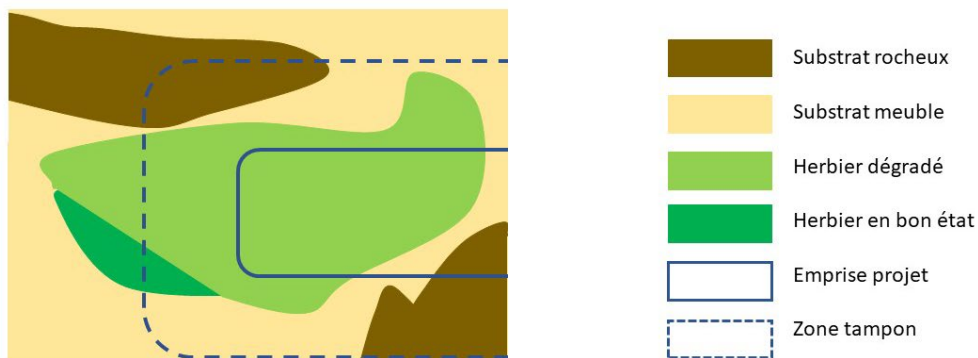


Figure 6 : Illustration des différents types d'habitat qui peuvent être pris en compte selon le cadre réglementaire appliqué

Le code de l'environnement exige que les projets respectent la finalité d'absence de perte nette de biodiversité (loi 2016-1087 du 8 août 2016 pour la reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages). Cette exigence peut se traduire par l'équation Pertes = Gains, c'est à dire :

$$\begin{aligned} & \text{Enjeu Patrimonial} \times \text{surface impactée} \times (\text{Etat initial} - \text{Etat final}) \text{ de l'emprise impactée} \\ & = \\ & \text{Surface restaurée} \times (\text{Etat final} - \text{Etat initial}) \text{ de la surface bénéficiant de la restauration} / (\text{Risque} \times \text{Temps}) \end{aligned}$$

La méthode permet de vérifier si la compensation est suffisante, en termes de surfaces et de plus-value écologique, et de prendre en compte la demande réglementaire d'équivalence écologique en habitat, fonction et espèce.

Dans ce contexte, elle peut être appliquée à divers stades d'un projet d'aménagement :

- Dès les études préliminaires de faisabilité d'un projet, pour comparer des sites d'implantation par exemple et comparer la dette compensatoire
- Aux divers stades d'avancement d'un projet, pour comparer des scénarios d'aménagement et retenir le scénario de moindre impact, anticiper une dette compensatoire et encourager une réflexion plus exigeante sur les mesures d'évitement et de réduction, commencer la réflexion compensatoire également.
- Au stade de la définition des mesures compensatoires : pour vérifier si la compensation envisagée est suffisante
- Au stade du dossier d'autorisation environnementale pour démontrer le respect de l'exigence réglementaire d'absence de perte nette.

Aux stades amont, les données disponibles peuvent être générales, en l'absence de prospections de terrain. Dans ce cas, l'application de la méthode repose sur des données bibliographiques ou du retour d'expérience des experts missionnés. Cela n'est pas un obstacle à l'application de la méthode, dans la mesure où les résultats obtenus servent à nourrir une réflexion où étape par étape, l'évitement, puis la réduction et enfin la compensation guident la démarche de conception d'un projet d'aménagement dans un objectif d'absence de perte nette de biodiversité.

La méthode peut également être utilisée aux stades ultérieurs d'évaluation, à la suite de l'autorisation environnementale des projets, notamment dans le cadre des contrôles. Elle peut permettre de comparer les pertes ou les gains estimés au moment du dépôt du dossier, avec les pertes ou les gains constatés in situ, en se basant sur des données issues d'observation pour renseigner l'état final. Cela peut permettre par exemple d'ajuster la compensation, dans le respect du code de l'environnement imposant une exigence de résultat et de non perte nette aux mesures compensatoires.

Enfin, la méthode peut permettre de comparer des sites à restaurer afin de les classer en fonction du gain écologique par exemple, ou de comparer des scénarios de restauration en dehors du cadre compensatoire.

Les divers cas d'utilisation possible sont à imaginer par les utilisateurs en fonction de leurs besoins. Un point reste cependant très important à souligner. **Cette méthode Pertes-Gains n'est pas adaptée pour réaliser un suivi annuel de l'évolution d'un milieu, que ce soit un milieu subissant des impacts ou un milieu en cours de restauration.**

En effet, comme indiqué dans le paragraphe 1.2, cette approche est réductrice et simplificatrice, c'est à dire qu'elle produit des approximations importantes, nécessaires à l'exercice de compensation par équivalence. Ces approximations ont peu d'importance dans la mesure où on compare des zones et des états, car elles s'équilibrent. Par contre, les résultats produits ne sont pas assez précis pour permettre le suivi d'une trajectoire au cours du temps.

4. Evaluation de l'état du milieu

4.1. Modèle conceptuel

L'évaluation de l'état du milieu repose sur une série d'indicateurs. La détermination de ces indicateurs est guidée par le modèle conceptuel selon lequel on choisit d'analyser l'écosystème et qui est étroitement lié au contexte d'utilisation de la méthode (compensation par équivalence d'état d'un milieu, selon quelques indicateurs clés). On se place ici dans un cadre réglementaire : l'autorisation environnementale. Le guide de l'approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique (Andreadakis et al., 2021) préconise les bases méthodologiques à respecter.

Le modèle conceptuel proposé s'inscrit pleinement dans les recommandations de guide et s'articule autour des axes suivants :

- **Approche intégrée espèce – habitat – fonction** : conformément aux préconisations du guide, le modèle ne se limite pas à une description statique des habitats naturels ou de leur état de conservation. Il les relie directement aux espèces qui leur sont associées, ainsi qu'aux fonctions écologiques qu'ils assurent. Cette articulation garantit une meilleure représentation de la complexité écologique.
- **Définition de l'état écologique à partir de l'habitat** : l'évaluation de l'état écologique du milieu est ici rapportée à l'état des habitats en tant qu'écosystème, support d'un cortège d'espèces ou d'une espèce ciblée, selon les contextes. Cela permet une lecture fonctionnelle et opérationnelle de l'état de conservation, c'est-à-dire adaptée au contexte d'utilisation de la méthode.

Le modèle se structure autour de trois grandes catégories de fonctions écologiques clés jouées par les trois grands types d'écosystèmes marins d'Occitanie (substrats meubles, substrats rocheux ou durs et herbiers), en cohérence avec les recommandations du guide. Ces fonctions correspondent aux fonctions assurées par ces écosystèmes en tant qu'habitat d'espèces, pour le cortège d'espèces inféodé à chaque type d'écosystème. Chaque grande catégorie de fonctions écologiques est évaluée à l'aide d'indicateurs déclinés spécifiquement pour chacun des trois grands types d'écosystèmes (ou milieux) marins d'Occitanie :

- Fonction refuge : intégrité physique et rôle protecteur de l'habitat
- Fonction habitat biogène et soutien à la biodiversité : état des communautés et rôle structurant dans la diversité spécifique et fonctionnelle
- Fonctions liées aux cycles de vie et aux connectivités : contribution aux processus biologiques et maintien des continuités écologiques.

Chaque fonction est décrite par un ensemble de descripteurs, communs pour les trois types de milieux. A chaque descripteur est associé un (parfois plusieurs) indicateurs pertinents pour le milieu considéré, validés scientifiquement et adaptés au contexte marin. Cela permet de rendre l'évaluation reproductible, transparente et directement mobilisable pour le calcul des pertes et des gains.

Ce modèle conceptuel répond ainsi aux exigences du CGDD en proposant une approche fonctionnelle, systémique et opérationnelle, facilitant l’intégration des enjeux écologiques dans le dimensionnement et la mise en œuvre des mesures compensatoires en milieu marin.

Tableau 2 : Modèle conceptuel d'évaluation de l'état du milieu			
Fonctions	Refuge pour le cortège d'espèces associé	Habitat biogène du cortège d'espèces associé et soutien à la biodiversité	Cycles de vie des espèces du cortège et connectivités des habitats
Descripteurs	Nature et complexité	Biodiversité globale	Zones de croissance et de reproduction
	Trajectoire temporelle (de l'habitat)	Diversité trophique et fonctionnelle	Connectivité fonctionnelle (des habitats)
	Intégrité physique (de l'habitat)	Production biologique	
	Intégrité chimique (de l'habitat)	Espèces exotiques/non indigènes envahissantes	

4.2. Sélection des indicateurs

Les indicateurs ont été choisis parmi des indicateurs existants (Cf. rapport Etat de l’art) et les plus pertinents pour le modèle conceptuel retenu. L’utilisation d’indices de qualité basés sur une approche écosystémique plutôt que ceux basés sur un seul groupe taxonomique a été privilégiée. La nature des indicateurs et indices diffèrent selon le type d’habitat.

Il est à noter que pour les substrats rocheux, il n’existe pas encore d’indicateurs et de protocoles normés, faisant l’objet d’un large consensus, comme pour les herbiers et les substrats meubles. Des indicateurs sont cités pour ce type de substrat mais ils doivent faire l’objet d’un travail complémentaire de réflexion partagée entre experts. Ils sont donnés à titre indicatif.

Les indicateurs ont été sélectionnés selon les critères suivants :

- Indicateurs testés et approuvés dans des publications scientifiques ou par les services de l'État (l'EBQI par exemple),
- Indicateurs répondant de manière prévisible aux perturbations, aux pressions anthropiques et aux changements au fil du temps, tout en présentant une faible variabilité dans leur réponse (critères de Dale et al., 2001),
- Indicateurs déjà utilisés par les utilisateurs potentiels de la méthode, notamment dans le cadre de routines de suivis de l'état écologique des habitats par des bureaux d'études et des experts du milieu marin (indice de Shannon, taux de concentration en métaux lourds par exemple),
- Simplicité de mise en œuvre (respect de critères ergonomiques).

Pour le respect des critères 3 et 4, un atelier de travail a été organisé avec les différents acteurs locaux de l’aménagement et de la gestion des milieux marins (atelier du 11 février 2025 auquel ont participé 19 personnes).

4.3. Notation des indicateurs et état de référence

La valeur des indicateurs varie entre 0 et 5, 0 correspondant à l'état le plus dégradé et 5 correspondant à l'état de référence.

4.3.1. Etat de référence

Pour les trois types de milieu, un état de référence est à définir. L'état de référence a été choisi sur la base de sites existants en Occitanie et reconnus comme étant en très bon état de conservation.

■ Etat de référence pour l'habitat Herbier

L'herbier de Posidonie du site Pin Parasol, situé au sein de la Réserve intégrale de Banyuls, constitue un site de référence en très bon état de santé écologique dans la région Occitanie. Il se caractérise par une densité en faisceaux importante et un taux de recouvrement important et homogène, indicateurs d'une vitalité optimale. L'absence de signes de régression et la bonne diversité trophique témoignent d'un habitat fonctionnel, capable d'assurer pleinement ses rôles écologiques. Ce bon état de conservation garantit également le maintien des services écosystémiques essentiels, tant pour la biodiversité que pour le fonctionnement global de l'écosystème côtier.

■ Etat de référence pour l'habitat Substrat meuble

Les substrats meubles des sites du secteur de Banyuls issus de l'étude BADG (Substrat sableux : station SE), entre les zones d'herbiers et coralligène, ainsi que les fonds détritiques vaseux au large de Port La Nouvelle, constituent des sites de référence en très bon état de santé écologique dans la région Occitanie. Ces sites ont une densité d'espèces élevée (stations Banyuls SE et PLN - S27), de bons indices de diversité AMBI et M-AMBI. De plus, l'étude BADG (Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion, base de données constituée de 715 stations réparties dans le golfe du Lion, Créocéan et LECOB, 2023) a révélé la présence d'espèces rares ou peu communes (stations Banyuls SE et PLN-S27) sur ces sites. L'absence de pollution permet le maintien d'une communauté benthique diversifiée et stable. Des indicateurs de l'état de santé de ces substrats sont présentés ci-dessous :

Tableau 3 : Extrait du calcul des indicateurs biologiques sur deux stations considérées comme référence dans le cadre de l'étude BADG

Station	Espèces rares (BADG)	Densité (ind./m ²)	Richesse Spécifique	Indice de Shannon	AMBI	M-AMBI
Banyuls - SE	21	2234	78	1,8	0,36	0,68
PLN - S27	21	2238	116	5,3	2,00	0,75

Légende :

Mauvais état	Etat médiocre	Etat moyen	Bon état	Très bon état
--------------	---------------	------------	----------	---------------

■ Etat de référence pour l'habitat Substrat rocheux

Les roches infralittorales de la réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls constituent un habitat de référence en très bon état de santé écologique. Elles présentent une forte complexité structurale, offrant une grande diversité de micro-habitats favorables à l'installation d'une faune et flore riches et variées. Les surfaces rocheuses sont recouvertes d'un cortège d'algues photophiles typiques des étages superficiels, indicatrices d'une bonne qualité écologique. La richesse en invertébrés sessiles et la densité élevée de poissons côtiers traduisent un fonctionnement écologique équilibré et une forte productivité. L'absence de signe de dégradation confirme l'intégrité de cet habitat, qui joue un rôle essentiel pour la biodiversité régionale et sert de référence pour l'évaluation de l'état écologique des roches infralittorales méditerranéennes.

Le coralligène de la réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls représente un habitat de référence en très bon état de santé écologique. Ce bio-concrétionnement présente une structure tridimensionnelle complexe qui abrite une biodiversité exceptionnelle. Il accueille une grande diversité d'algues, d'invertébrés fixés et de gorgones, dont la présence abondante et bien développée témoigne de la bonne qualité écologique du milieu. Cet habitat sert de refuge, de nourricerie et de zone de reproduction pour de nombreuses espèces de poissons et d'invertébrés, jouant un rôle clé dans le fonctionnement des écosystèmes côtiers de Méditerranée. L'absence de signes de dégradation notables confirme l'intégrité et la résilience de cet habitat, qui constitue une référence pour l'évaluation de l'état de conservation des communautés coralligènes en Méditerranée.

4.3.2. Valeur des indicateurs

Un indicateur peut prendre toutes les valeurs existantes entre 0 et 10.

Selon les indicateurs, le choix de sa valeur peut être réalisée de deux façons :

- A dire d'expert : c'est le cas d'indicateurs de type qualitatifs, non associés à des indices. Le diagnostic écologique de l'expert et son appréciation de l'écart entre la zone d'étude et le site de référence est traduit par la valeur de l'indicateur.
- D'après des mesures de terrains. C'est le cas pour un certain nombre d'indicateurs existants et sélectionnés dans la littérature et qui fonctionnent à l'aide d'indices.

Une échelle de notation est associée à des valeurs seuils des indices ou à des descriptifs pour les dires d'experts.

Tableau 4 : Echelle de notation

[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
-------	-------	-------	-------	--------

Un nombre limité d'indicateurs a été sélectionné pour évaluer l'état d'un milieu de manière effective tout en gardant un outil facile d'utilisation. L'ensemble des indicateurs doivent être renseignés pour réaliser le calcul du dimensionnement.

Un protocole d'acquisition des données est également indiqué. Il peut faire référence à des protocoles standardisés pour certains indices. Les références bibliographiques sont mentionnées mais le détail des protocoles n'est pas exposé afin de ne pas alourdir le document.

Chaque note peut être accompagnée d'un indice de confiance. Cela permet d'obtenir un indice de confiance global à la fin de l'évaluation et d'en jauger la fiabilité, compte tenu des limites de ce type d'approche exposées en début de document.

4.4. Les indicateurs retenus

4.4.1. Vision d'ensemble

Fonction	Descripteur	Substrat meuble	Herbier	Substrat rocheux (ou dur)
		Indicateur	Indicateur	Indicateur
Fonction refuge	Nature et complexité	Néant	Taux de recouvrement de l'herbier	Géomorphologie
	Trajectoire temporelle	Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Néant
	Intégrité physique	Signes visuels de dégradation des habitats	Signes visuels de dégradation des habitats	Signes visuels de dégradation des habitats
			Déchaussement	
	Intégrité chimique	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments
	Intégrité chimique	Niveau d'eutrophisation et d'envasement	Niveau d'eutrophisation et d'envasement	Niveau d'envasement
Fonction habitat biogène	Biodiversité globale	Indice de richesse spécifique (S) Indice de Shannon (H') pour la macrofaune benthique	Néant	Inventaires semi-quantitatifs
	Diversité trophique et fonctionnelle	Indice trophique	Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	Diversité trophique et fonctionnelle des poissons
	Production biologique	Densité	Indice de vitalité (densité des faisceaux)	CAI (Coralligenous Assemblages Index)
	Espèces exotiques / non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes
Fonctions liées aux cycles de vie et aux connectivités	Zones de croissance et de reproduction	Présence de frayères et / ou de nurseries	Présence de frayères et / ou de nurseries	Présence de frayères et / ou de nurseries
	Connectivité fonctionnelle	Zone source et/ou corridor de migration	Zone source et/ou corridor de migration	Zone source et/ou corridor de migration

4.4.2.Substrats meubles

■ Fonction refuge - état physique de l'habitat

Descripteur	Indicateur										
Nature et complexité	Néant										
La nature et complexité des substrats meubles sont généralement décrites à travers un delta granulométrique, qui permet de caractériser la répartition des différentes classes de sédiments (graviers, sables, limons et argiles) et d'évaluer ainsi la texture, la structure et l'hétérogénéité du milieu.	Un delta granulométrique pourrait être calculé (uniquement descriptif pour l'état initial puis quantitatif pour l'état final) ainsi qu'un indice de Kurtosis, néanmoins ces indicateurs ne sont pas adaptés à notre grille de notation standardisée, c'est pourquoi nous avons choisi de ne pas conserver cet indicateur.										
Trajectoire temporelle	Evolution spatiale de la superficie de l'habitat										
Il s'agit de tenir compte de la dynamique d'évolution de l'habitat. Une progression est souvent liée à une augmentation des apports sédimentaires et à une faible énergie hydrodynamique ou encore à une modification des habitats conduisant à une sédimentation accrue. Tandis qu'une régression résulte plutôt d'une érosion accrue, d'un déficit d'apports ou d'une perturbation anthropique.	<p><u>Protocole recommandé :</u> Évalué à dire d'expert / bibliographie / sur la comparaison de carte d'habitats.</p> <p><u>Valeurs seuils définies:</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Forte régression</td><td>Régression</td><td>Stable</td><td>Progression</td><td>Forte progression</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Forte régression	Régression	Stable	Progression	Forte progression
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Forte régression	Régression	Stable	Progression	Forte progression							
Intégrité physique	Signes visuels de dégradation des habitats										
	<p>La dégradation physique d'un substrat meuble se traduit visuellement par une perte de structure naturelle, une altération de la granulométrie. Les dégradations peuvent être d'origine naturelle (érosion, disparition des structures sédimentaires) ou anthropiques (présence d'endiguements, enrochements, bétonnages, épis, canalisations, passages de câbles, installations portuaires, présence de macrodéchet, traces d'ancrage/dragage, etc.)</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain et/ou évaluation à dire d'expert + bibliographie</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Perturbation généralisée sur l'ensemble du site</td><td>Nombreuses traces de perturbation</td><td>Quelques traces de perturbation</td><td>Rare traces de perturbation</td><td>Absence de perturbation</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation							

Descripteur	Indicateur																																																				
Intégrité chimique	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments																																																				
	<p>La qualité du sédiment est évaluée à travers le niveau de pollution en métaux, PCB et HAP dans le sédiment (DCSMM- Descripteur 8 DCE).</p> <p>Protocole recommandé : Prélèvement d'échantillons de sédiment sur le site d'étude et analyse en laboratoire.</p> <p>Valeurs seuils définies : Les valeurs seuils sont basées sur la grille de référence pour les contaminants en métaux, PCB et HAP présentée ci-dessous (DCSMM- Descripteur 8 DCE) et ajustées à notre échelle de notation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>X > N3</td><td>N2 ≤ X ≤ N3</td><td>N1 ≤ X ≤ N2</td><td>Bruit de fond ≤ X ≤ N1</td><td>Valeur < Bruit de fond</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond																																										
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																																	
X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond																																																	
Intégrité chimique	Niveau d'eutrophisation et d'envasement : Indice d'Enrichissement Organique (IEO) d'Alzieu																																																				
<p>L'eutrophisation correspond à un apport excessif de nutriments. Cet apport excessif de nutriments entraîne la prolifération d'algues et perturbe l'équilibre de l'écosystème.</p> <p>L'envasement correspond à une accumulation excessive de particules fines. Cette accumulation peut conduire à un comblement progressif et également perturber le cycle de vie de la faune et la flore sous-marines.</p>	<p>IEO = Indice Carbone Organique Total +Indice Azote Kjeldahl + Indice Phosphore Total</p> <p>Protocole recommandé : Prélèvement d'échantillons de sédiment sur le site d'étude et analyse en laboratoire.</p> <p>Valeurs seuils définies : Les valeurs seuils sont basées sur la grille de notation de l'IEO et ajustées à notre échelle de notation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Très fort (x > 6)</td><td>Fort (4<X≤6)</td><td>Moyen (2<X≤4)</td><td>Faible (0< X≤ 2)</td><td>Nulle (0)</td></tr></table> <table><tr><th colspan="2">Carbone Organique Total (COT)</th><th colspan="2">Azote Kjeldahl (NTK)</th><th colspan="2">Phosphore total (P)</th></tr><tr><th>Valeurs % sec</th><th>Indice</th><th>Valeurs (mg/kg sec)</th><th>Indice</th><th>Valeurs (mg/kg sec)</th><th>Indice</th></tr><tr><td>< 0.6</td><td>0</td><td>< 600</td><td>0</td><td>< 500</td><td>0</td></tr><tr><td>0.6 - 2.3</td><td>1</td><td>600 - 1200</td><td>1</td><td>500 - 800</td><td>1</td></tr><tr><td>2.4 - 4.0</td><td>2</td><td>1200 - 2400</td><td>2</td><td>800 - 1200</td><td>2</td></tr><tr><td>4.1 - 5.8</td><td>3</td><td>2400 - 3600</td><td>3</td><td>> 1200</td><td>3</td></tr><tr><td>> 5.8</td><td>4</td><td>> 3600</td><td>4</td><td></td><td></td></tr></table> <p>Si impossibilité de calculer l'IEO, observation de signes visuels d'eutrophisation ou d'envasement par un expert sur le terrain.</p>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	Carbone Organique Total (COT)		Azote Kjeldahl (NTK)		Phosphore total (P)		Valeurs % sec	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	< 0.6	0	< 600	0	< 500	0	0.6 - 2.3	1	600 - 1200	1	500 - 800	1	2.4 - 4.0	2	1200 - 2400	2	800 - 1200	2	4.1 - 5.8	3	2400 - 3600	3	> 1200	3	> 5.8	4	> 3600	4		
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																																	
Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)																																																	
Carbone Organique Total (COT)		Azote Kjeldahl (NTK)		Phosphore total (P)																																																	
Valeurs % sec	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice																																																
< 0.6	0	< 600	0	< 500	0																																																
0.6 - 2.3	1	600 - 1200	1	500 - 800	1																																																
2.4 - 4.0	2	1200 - 2400	2	800 - 1200	2																																																
4.1 - 5.8	3	2400 - 3600	3	> 1200	3																																																
> 5.8	4	> 3600	4																																																		

Tableau 5 : Seuils de référence pour les contaminants métalliques

	Elément	Réglementation dragage			Autres valeurs guides			
		Niveaux de référence ¹ de sédiment sec (fraction inférieure à 2 mm)			Bruits de fond		Critères écotoxicologiques	
		N1	N2	N3 ⁷	BF Méditer- ranée ³	BF Ospar ⁴ BC	BF Ospar ^{4 6} BAC	ERL /EAC Ospar DCSMM cycle 3 ⁶ US EPA ⁵
Métaux mg/kg M.S.	Arsenic	25	50	100		15	25	8,2
	Cadmium	1,2	2,4	10	0,15	0,2	0,31	1,2
	Chrome	90	180	370*		60	81	81
	Cuivre	45	90	368	15	20	27	34
	Mercure	0,4	0,8	1,2	0,05	0,05	0,07	0,15
	Nickel	37	74	140*		30	36	
	Plomb	100	200	500	25	25	38	47
	Zinc	276	552	600	90	90	122	150
	Argent							1
PCB µg/kg M.S.	PCB 28	5	10	13		0/0,5	0,00022	1,7
	PCB 52	5	10	13		0/0,5	0,00012	2,7
	PCB 101	10	20	26		0/0,5	0,00014	3
	PCB 118	10	20	26	0,5	0/0,5	0,00017	0,6
	PCB 138	20	40	53	0,5	0/0,5	0,00015	7,9
	PCB 153	20	40	53	0,2	0/0,5	0,00019	40
	PCB 180	10	20	26		0/0,5	0,0001	12
	PCB Totaux	500	1000					
HAP µg/kg M.S.	Naphtalène	160	1130	1590		5	8	160
	Acénaphène	15	260	370				-
	Acénaphthylène	40	340	480				-
	Fluorène	20	280	390				-
	Anthracène	85	590	830		3	5	85
	Phénanthrène	240	870	1230		17	32	240
	Fluoranthène	600	2850	4020	40	20	39	600
	Pyrène	500	1500	2120		13	24	665
	Benzo(a)anthracène	260	930	1310		9	16	261
	Chrysène	380	1590	2240		11	20	384
	Benzo(b)fluoranthène	400	900	1270	200			-
	Benzo(k)fluoranthène	200	400	560	100			-
	Benzo(a)pyrène	430	1015	1430	100	15	30	430
	Di Benzo (ah)anthracène	60	160	230				-
	Benzo(ghi) pérylène	1700	5650	7970	100	45	80	85
	Indeno(123cd) pyrène	1700	5650	7970	100	50	103	240
	Σ16 HAP	6 790	24 115					

1 Niveaux de référence N1 et N2 (réglementation française sur les sédiments dragués¹) La circulaire d'application N°2000-62 du 14 juin 2000, non parue au journal officiel, précise l'interprétation des résultats, dans le cadre de l'immersion des sédiments

2 Bruits de fond nationaux établis par le groupe Geode (RLM)

«Teneur naturelle sans apports anthropiques identifiables» concernant les métaux, établi à partir de mesures réalisées sur l'ensemble des ports français

3 Bruits de fond (Etat 1) établis en Méditerranée (RLM)

« Etat 1 : caractérise les niveaux inférieurs ou égaux aux bruits de fond de la contamination chimique établie pour chaque contaminant à l'échelle de la Méditerranée française. Le bruit de fond correspond à la valeur limite au-dessus de laquelle une contamination peut être suspectée dans un sédiment fin. Pour les sédiments correspondant à cet état, le RLM ne recommande aucune mesure particulière autre que la surveillance régulière du site. » http://www.rhone-mediterranee.eaufrance.fr/docs/dce/prog_surveillance/IFREMER_Guide_methodo_Contamination_Sediments.pdf

4 Bruits de fond établis par Ospar (Ospar 2009)

Teneurs ambiantes dans l'Atlantique Nord-Est dans des sites éloignés ou dans des conditions pristines (sans apports anthropiques)

5 ERL/EAC : Critères écotoxicologiques d'Ospar (US EPA, Ospar 2009)

ERL (HAP) (Effect Range Low) et EAC (PCB) Ecotoxicological Assessment Criteria : teneur d'un contaminant dans les sédiments au-dessous de laquelle on ne s'attend à aucun effet chronique sur les espèces marines

6 2023. Evaluation du descripteur 8 "contaminant dans le milieu marin" Rapport scientifique pour l'évaluation cycle 3 au titre de la DCSMM :

Seuils suggérant un effet de la contamination chimique. Ils constituent l'objectif d'atteinte du bon état écologique pour la DCSMM et la DCE

7 Seuil N3 Arrêté du 27 mars 2024 fixant les prescriptions générales applicables aux dragages ou aux rejets y afférent relevant de la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement en application des articles L. 214-1 à L. 214-3

■ Fonction habitat biogène soutien de la biodiversité

Descripteur	Indicateur																																														
Biodiversité globale	Indice de richesse spécifique (S)																																														
La richesse spécifique correspond au nombre d'espèces dans un peuplement. Cet indice peut être utilisé pour analyser la structure taxonomique du peuplement ou encore distinguer des variations spatiales et temporelles.	<p>Nombre total d'espèces de macrofaune benthique recensées dans un échantillon</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement sur le terrain d'échantillons par benne puis analyse taxonomique par un benthologue.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Les valeurs de référence de la grille de notation sont proposées sur la base des résultats de richesse spécifique pour les surfaces prélevées de 0,3 m² obtenue dans le cadre du projet BADG pour chaque type de substrat meuble.</p> <p>Nous recommandons de compléter systématiquement l'analyse par du dire d'expert afin de consolider l'évaluation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Largement en dessous de Q1</td><td>Proche de Q1</td><td>Proche de la médiane BADG</td><td>Proche de Q3</td><td>Largement au dessus de Q3</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>Sable vaseux</td><td>Sables</td><td>Mixte grossier</td><td>Vase</td><td>Vase sableuse</td></tr><tr><td>Minimum</td><td>10</td><td>9</td><td>12</td><td>7</td><td>8</td></tr><tr><td>Q1</td><td>40</td><td>26</td><td>46</td><td>24</td><td>35</td></tr><tr><td>Médiane</td><td>57</td><td>41</td><td>62</td><td>35</td><td>48</td></tr><tr><td>Q3</td><td>71</td><td>48</td><td>87</td><td>48</td><td>63</td></tr><tr><td>Maximum</td><td>135</td><td>70</td><td>141</td><td>129</td><td>121</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au dessus de Q3		Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse	Minimum	10	9	12	7	8	Q1	40	26	46	24	35	Médiane	57	41	62	35	48	Q3	71	48	87	48	63	Maximum	135	70	141	129	121
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																											
Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au dessus de Q3																																											
	Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse																																										
Minimum	10	9	12	7	8																																										
Q1	40	26	46	24	35																																										
Médiane	57	41	62	35	48																																										
Q3	71	48	87	48	63																																										
Maximum	135	70	141	129	121																																										
Biodiversité globale	Indice de Shannon (H') pour la macrofaune benthique																																														
L'indice de Shannon-Weaver (Shannon, 1948) est un indice de diversité qui prend en compte à la fois la richesse spécifique et l'abondance relative de chaque espèce, permettant de caractériser l'équilibre écologique du peuplement d'un écosystème.	<div>$H' = - \sum \left[\frac{N_i}{N} \times \log_2 \frac{N_i}{N} \right]$<div>Ni = abondance de l'espèce i N = abondance totale des espèces</div><p>Cet indice est maximal quand les espèces ont des abondances identiques et il tend vers 0 quand une espèce domine le peuplement.</p><p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement sur le terrain d'échantillons par benne puis analyse taxonomique par un benthologue.</p><p><u>Valeurs seuils définies:</u></p><table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>H' < 1</td><td>1 < H' < 2</td><td>2 < H' < 3</td><td>3 < H' < 4</td><td>H' > 4</td></tr></table></div>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	H' < 1	1 < H' < 2	2 < H' < 3	3 < H' < 4	H' > 4																																				
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																											
H' < 1	1 < H' < 2	2 < H' < 3	3 < H' < 4	H' > 4																																											

Descripteur	Indicateur																																														
Diversité trophique et fonctionnelle	Indice trophique																																														
<p>La diversité trophique et fonctionnelle permet de fournir des informations complémentaires sur la résilience, la stabilité et le fonctionnement écologique. La diversité trophique permet d'évaluer la complexité et l'équilibre de la chaîne alimentaire. La diversité fonctionnelle permet d'évaluer la variété des fonctions écologiques remplies par les espèces.</p> <p>Un déséquilibre du milieu peut se traduire soit par une prolifération des dépositivores dans le cas d'un sur-enrichissement du sédiment en matière organique, soit par une dominance des détritivores dans des zones d'accumulation de matière organique peu dégradée, soit par une augmentation des suspensivores lorsque les courants importants provoquent une remise en suspension de la matière organique.</p>	<p>Cet indice rend compte du régime alimentaire des espèces présentes dans l'échantillon, basé sur le principe des successions écologiques (Bascom et al., 1978). Celles-ci sont classées en 4 groupes trophiques</p> <p>1 - les suspensivores, 2 - les détritivores, 3 - les dépositivores, 4 - les espèces de substrat anaérobie</p> $IT = 100 - \frac{100 \sum (0.n_1 + 1.n_2 + 2.n_3 + 3.n_4)}{3N}$ <p>n₁, n₂, n₃, n₄ = abondances de toutes les espèces des groupes trophiques 1, 2, 3 et 4</p> <p>N = abondance totale des espèces</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement sur le terrain d'échantillons par benne puis analyse taxonomique par un benthologue.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u></p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>IT < 30</td><td>30 < IT < 50</td><td>50 < IT < 60</td><td>60 < IT < 80</td><td>IT > 80</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	IT < 30	30 < IT < 50	50 < IT < 60	60 < IT < 80	IT > 80																																				
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																											
IT < 30	30 < IT < 50	50 < IT < 60	60 < IT < 80	IT > 80																																											
Production biologique	Densité																																														
	<p>La production biologique est évaluée au moyen de la densité. Celle-ci correspond au nombre d'organismes vivants (individus) présents par unité de surface ou de volume de sédiment.</p> <p>Mesure de la densité = Nombre d'individus par 0,3 m² (ref. BADG)</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement sur le terrain d'échantillons par benne puis analyse par un benthologue.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Les valeurs de référence de la grille de notation peuvent être définies selon les résultats de densité obtenue dans le cadre du projet BADG pour chaque type de substrat meuble. Nous recommandons de compléter systématiquement l'analyse par du dire d'expert afin de consolider l'évaluation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Largement en dessous de Q1</td><td>Proche de Q1</td><td>Proche de la médiane BADG</td><td>Proche de Q3</td><td>Largement au dessus de Q3</td></tr></table> <table><tr><td></td><td>Sable vaseux</td><td>Sables</td><td>Mixte grossier</td><td>Vase</td><td>Vase sableuse</td></tr><tr><td>Minimum</td><td>80</td><td>37</td><td>50</td><td>27</td><td>23</td></tr><tr><td>Q1</td><td>538</td><td>314</td><td>563</td><td>189</td><td>457</td></tr><tr><td>Médiane</td><td>1 172</td><td>630</td><td>990</td><td>398</td><td>973</td></tr><tr><td>Q3</td><td>2 148</td><td>938</td><td>1 798</td><td>1 168</td><td>2 443</td></tr><tr><td>Maximum</td><td>4 563</td><td>1 874</td><td>3 651</td><td>2 637</td><td>5 422</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au dessus de Q3		Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse	Minimum	80	37	50	27	23	Q1	538	314	563	189	457	Médiane	1 172	630	990	398	973	Q3	2 148	938	1 798	1 168	2 443	Maximum	4 563	1 874	3 651	2 637	5 422
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]																																											
Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au dessus de Q3																																											
	Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse																																										
Minimum	80	37	50	27	23																																										
Q1	538	314	563	189	457																																										
Médiane	1 172	630	990	398	973																																										
Q3	2 148	938	1 798	1 168	2 443																																										
Maximum	4 563	1 874	3 651	2 637	5 422																																										

Descripteur	Indicateur				
Espèces exotiques/non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes				
Les espèces exotiques/non indigènes envahissantes sont des espèces introduites qui peuvent menacer la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes, et leur suivi est crucial dans la gestion environnementale et la conservation marine.	<u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement sur le terrain d'échantillons par benne puis analyse par un benthologue.				
	L'appréciation générale doit être faite par un expert, en lien avec le contexte local.				
	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet	

■ Fonctions liées aux cycles de vie et aux connectivités

Descripteur	Indicateur				
Zones de croissance et de reproduction	Présence de frayères et / ou de nurseries				
Les zones de croissance sont des habitats favorables pour le développement global. Les nurseries sont des habitats spécifiques pour les juvéniles et ont une importance directe sur le recrutement et la survie des populations. Il est également important d'identifier les frayères, habitats où les espèces vont se reproduire et déposer leurs œufs.	<u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain. Dire d'expert + bibliographie				
	<u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.				
	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	

Descripteur	Indicateur				
Connectivité fonctionnelle	Zone source et/ou corridor de migration				
La connectivité fonctionnelle désigne la capacité des habitats ou des populations à interagir et à échanger des fonctions écologiques essentielles. L'enjeu de ce descripteur est d'identifier les éventuelles zones sources (productrice d'un surplus d'individus qui peuvent coloniser d'autres habitats voisins) et corridor de migration.	<u>Protocole recommandé :</u> Dire d'expert + bibliographie				
	<u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.				
	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante

4.4.3. Herbiers

■ Fonction refuge - état physique de l'habitat

Descripteur	Indicateur				
Nature et complexité	Taux de recouvrement de l'herbier				
Le taux de recouvrement d'un herbier permet d'évaluer sa vitalité et de donner des indications sur les conditions environnementales. Un faible recouvrement correspond généralement à des conditions environnementales peu favorables d'après les références fournies par la méthode de l'EBQI.	Surface de la projection verticale de couverture du substrat par les feuilles (non prise en compte de la matte morte) / surface totale.				
	Protocole recommandé : Observation terrain en plongée (photos ou vidéos le long de transect) ou photogrammétrie sur des surfaces prédéfinies.				
	Valeurs seuils définies : Basée sur la grille EBQI-Herbier.				
	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
	Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)
Trajectoire temporelle	Evolution spatiale de la superficie de l'habitat				
Il s'agit de tenir compte de la dynamique d'évolution de l'habitat. Un herbier peut être en régression, stable ou en progression. Sa dynamique d'évolution peut être évaluée à l'aide de l'aspect de ses limites inférieures.	Type de limite inférieure : Régressive, clairsemée, franche à faible recouvrement, franche à fort recouvrement, progressive.				
	Protocole recommandé : Observation terrain en plongée ou analyse cartographique des herbiers.				
	Valeurs seuils définies : Utilisation de la grille BiPO développée par Lopez y Royo et al. (2010) et utilisée par Andromède dans le cadre du réseau TEMPO.				
	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]
	Régressive Présence de mattes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite

Descripteur	Indicateur										
Intégrité physique	Signes visuels de dégradation des habitats										
La dégradation physique d'un herbier peut être causée par un déséquilibre hydrosédimentaire (érosion, turbidité, ensevelissement) et/ou une action mécanique directe (dragage, ancrage, chalutage, présence d'endiguements, enrochements, bétonnages, épis, canalisations, passages de câbles, installations portuaires, macrodéchets, etc).	<p>Par exemple : perte de surface, bloc de matre arrachée, etc.</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain + bibliographie</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Perturbation généralisée sur l'ensemble du site</td><td>Nombreuses traces de perturbation</td><td>Quelques traces de perturbation</td><td>Rare traces de perturbation</td><td>Absence de perturbation</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation							
Intégrité physique	Déchaussement										
	<p>L'intégrité physique de l'habitat est également évaluée à travers le déchaussement, correspondant à la distance entre le substrat et le rhizome (plagiotrope) ou entre le substrat et la base des feuilles (orthotropes).</p> <p>Un déchaussement important est un signe d'érosion de l'herbier.</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Mesures en plongée</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Inspirée de la grille déchaussement développée par Charbonnel et al. (2000) et ajustée à l'échelle de notation.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Déchaussement important (>10 cm)</td><td>Déchaussement moyen (<10 cm)</td><td>Déchaussement moyen (< 5 cm)</td><td>Déchaussement faible (< 2 cm)</td><td>Absence de déchaussement (0)</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)							
Intégrité chimique	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments										
	<p>La qualité du sédiment est évaluée à travers le niveau de pollution en métaux, PCB et HAP dans le sédiment (DCSMM- Descripteur 8 DCE).</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement d'échantillons de sédiment sur le site d'étude et analyse en laboratoire.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Les valeurs seuils sont basées sur la grille de référence pour les contaminants en métaux, PCB et HAP présentée pour les substrats meubles et ajustées à notre échelle de notation.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>X > N3</td><td>N2 ≤ X ≤ N3</td><td>N1 ≤ X ≤ N2</td><td>Bruit de fond ≤ X ≤ N1</td><td>Valeur < Bruit de fond</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond							

Descripteur	Indicateur																																																				
Intégrité chimique	Niveau d'eutrophisation et d'envasement : Indice d'Enrichissement Organique (IEO) d' Alzieu																																																				
<p>L'eutrophisation correspond à un apport excessif de nutriments. Cet apport excessif de nutriments entraîne la prolifération d'algues et perturbe l'équilibre de l'écosystème.</p> <p>L'envasement est dû à une accumulation excessive de particules fines. Cette accumulation peut conduire à un comblement progressif et également perturber le cycle de vie de la faune et la flore sous-marines.</p>	<p>IEO = Indice Carbone Organique Total +Indice Azote Kjeldahl + Indice Phosphore Total</p> <p><u>Protocole recommandé</u> :</p> <p>Prélèvement d'échantillons de sédiment sur le site d'étude et analyse en laboratoire.</p> <p><u>Valeurs seuils définies</u> :</p> <p>Les valeurs seuils sont basées sur la grille de notation de l'IEO et ajustées à notre échelle de notation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>]2-4]</td><td>]4-6]</td><td>]6-8]</td><td>]8-10]</td></tr><tr><td>Très fort (x > 6)</td><td>Fort (4<X≤6)</td><td>Moyen (2<X≤4)</td><td>Faible (0< X≤ 2)</td><td>Nulle (0)</td></tr></table> <table><tr><th colspan="2">Carbone Organique Total (COT)</th><th colspan="2">Azote Kjeldahl (NTK)</th><th colspan="2">Phosphore total (P)</th></tr><tr><th>Valeurs % sec</th><th>Indice</th><th>Valeurs (mg/kg sec)</th><th>Indice</th><th>Valeurs (mg/kg sec)</th><th>Indice</th></tr><tr><td>< 0.6</td><td>0</td><td>< 600</td><td>0</td><td>< 500</td><td>0</td></tr><tr><td>0.6 - 2.3</td><td>1</td><td>600 - 1200</td><td>1</td><td>500 - 800</td><td>1</td></tr><tr><td>2.4 - 4.0</td><td>2</td><td>1200 - 2400</td><td>2</td><td>800 - 1200</td><td>2</td></tr><tr><td>4.1 - 5.8</td><td>3</td><td>2400 - 3600</td><td>3</td><td>> 1200</td><td>3</td></tr><tr><td>> 5.8</td><td>4</td><td>> 3600</td><td>4</td><td></td><td></td></tr></table> <p>Si impossibilité de calculer l'IEO, observation de signes visuels d'eutrophisation ou d'envasement par un expert sur le terrain.</p>	[0-2]]2-4]]4-6]]6-8]]8-10]	Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	Carbone Organique Total (COT)		Azote Kjeldahl (NTK)		Phosphore total (P)		Valeurs % sec	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	< 0.6	0	< 600	0	< 500	0	0.6 - 2.3	1	600 - 1200	1	500 - 800	1	2.4 - 4.0	2	1200 - 2400	2	800 - 1200	2	4.1 - 5.8	3	2400 - 3600	3	> 1200	3	> 5.8	4	> 3600	4		
[0-2]]2-4]]4-6]]6-8]]8-10]																																																	
Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)																																																	
Carbone Organique Total (COT)		Azote Kjeldahl (NTK)		Phosphore total (P)																																																	
Valeurs % sec	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice	Valeurs (mg/kg sec)	Indice																																																
< 0.6	0	< 600	0	< 500	0																																																
0.6 - 2.3	1	600 - 1200	1	500 - 800	1																																																
2.4 - 4.0	2	1200 - 2400	2	800 - 1200	2																																																
4.1 - 5.8	3	2400 - 3600	3	> 1200	3																																																
> 5.8	4	> 3600	4																																																		

■ Fonction habitat biogène soutien de la biodiversité

Descripteur	Indicateur															
Biodiversité globale	<p>Diversité trophique et fonctionnelle des poissons</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Comptage en plongée. Protocole de l'EBQI herbier pour l'évaluation des biomasses de poisson.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Basé sur la grille de l'EBQI Herbier : Score moyen [0-4] de biomasse humide (kg MH. 100m²) des 4 compartiments de poisson suivants :</p> <ul style="list-style-type: none">- prédateurs d'invertébrés, omnivores, et céphalopodes (poids W : 5)- piscivores (poids W : 5)- planctonophages (zooplanctonophages) (poids W : 3)- planctonophages (omnivores) (poids W : 3) <p>Le score moyen est ensuite rapporté sur une échelle de notation allant de 0 à 10.</p> <p>La grille EBQI herbier permet d'évaluer plusieurs compartiments de poissons. En cas de déséquilibre au sein de l'herbier, la note attribuée à certains compartiments diminue, entraînant mécaniquement une baisse du score moyen. L'analyse de ce score moyen fournit ainsi une information synthétique sur la diversité trophique et fonctionnelle des poissons associés à l'habitat.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Statut EBQI = 0</td><td>Statut EBQI = 1</td><td>Statut EBQI = 2</td><td>Statut EBQI = 3</td><td>Statut EBQI = 4</td></tr><tr><td>Diversité trophique très faible</td><td>Diversité trophique faible</td><td>Diversité trophique moyenne</td><td>Diversité trophique bonne</td><td>Diversité trophique très importante</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Statut EBQI = 0	Statut EBQI = 1	Statut EBQI = 2	Statut EBQI = 3	Statut EBQI = 4	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]												
Statut EBQI = 0	Statut EBQI = 1	Statut EBQI = 2	Statut EBQI = 3	Statut EBQI = 4												
Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante												
Production biologique	<p>Indice de vitalité (densité des faisceaux)</p> <p>La production biologique est évaluée à l'aide de la densité des faisceaux foliaires.</p> <p>La densité est le nombre de faisceaux foliaires par unité de surface (généralement le m²). Elle varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (lumière, type de substrat où l'herbier est implanté).</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Mesure en plongée. Protocole de l'EBQI herbier. Technique des quadrats utilisée en routine dans le cadre du Réseau de Surveillance Posidonies (RSP).</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Basée sur la grille de l'EBQI-Herbier.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Faisceaux isolés < 130</td><td>Semi-herbier entre 130 à 249</td><td>Herbier très clairsemé entre 250 à 369</td><td>Herbier clairsemé entre 370 à 489</td><td>Herbier dense > ou = 490</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490					
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]												
Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490												

Descripteur	Indicateur										
Espèces exotiques/non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes										
Les espèces exotiques/non indigènes envahissantes sont des espèces introduites qui peuvent menacer la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes, et leur suivi est crucial dans la gestion environnementale et la conservation marine.	<p>Prolifération d'espèces exotiques envahissantes et/ou impactantes : Caulerpes invasives (<i>Caulerpa taxifolia</i>, <i>Caulerpa racemosa</i>) et Rhodobiontes</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Observation en plongée lors d'inventaire.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant</td><td>Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant</td><td>Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.</td><td>Sans objet</td><td>Sans objet</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet							

■ Fonctions liées aux cycles de vie et aux connectivités

Descripteur	Indicateur													
Zones de croissance et de reproduction	Présence de frayères et / ou de nurseries													
Les zones de croissance sont des habitats favorables pour le développement global. Les nurseries sont des habitats spécifiques pour les juvéniles et ont une importance directe sur le recrutement et la survie des populations. Il est également important d'identifier les frayères, habitats où les espèces vont se reproduire et déposer leurs œufs.	<u>Protocole recommandé :</u> Observation en plongée de pontes et/ou larves et juvéniles. Dire d'expert + bibliographie													
	<u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.													
	<table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur</td><td>Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.</td></tr></table>					[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]										
Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.										

Descripteur	Indicateur				
Connectivité fonctionnelle	Zone source et/ou corridor de migration				
La connectivité fonctionnelle désigne la capacité des habitats ou des populations à interagir et à échanger des fonctions écologiques essentielles. L'enjeu de ce descripteur est d'identifier les éventuelles zones sources (productrice d'un surplus d'individus qui peuvent coloniser d'autres habitats voisins) et corridor de migration.	<u>Protocole recommandé :</u> Dire d'expert + bibliographie				
	<u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.				
	[0-2]	]2-4]	]4-6]	]6-8]	]8-10]
	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante

4.4.4.Substrats rocheux

Pour ce substrat, nous faisons une proposition d'indicateurs en l'absence de connaissances de référence solides et en raison du manque d'indicateurs et de valeurs seuils pour situer l'état du milieu.

■ Fonction refuge - état physique de l'habitat

Descripteur	Indicateur										
Nature et complexité	Géomorphologie										
La géomorphologie et la complexité d'un paysage de substrat rocheux conditionnent la biodiversité et le fonctionnement écologique (niche écologiques, refuge...)	<p><u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain en plongée + bibliographie</p> <p><u>Valeurs seuils pré-définies :</u> Inspirées des grilles de l'indice paysage, développé par CREOCEAN, 2009 et la grille de la méthode RECOR (coralligène). Cette grille est une proposition et devra être testée et ajustée sur un cas d'étude.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Relief et cavité quasi absents</td><td>Faible diversité de la nature et la taille des reliefs et des cavités</td><td>Diversité moyenne de la nature et la taille des reliefs et des cavités</td><td>Diversité élevée de la nature et la taille des reliefs et des cavités</td><td>Complexité physique maximale avec une grande variété de reliefs et des cavités nombreuses et variées (en forme et en taille)</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Relief et cavité quasi absents	Faible diversité de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Diversité moyenne de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Diversité élevée de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Complexité physique maximale avec une grande variété de reliefs et des cavités nombreuses et variées (en forme et en taille)
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Relief et cavité quasi absents	Faible diversité de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Diversité moyenne de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Diversité élevée de la nature et la taille des reliefs et des cavités	Complexité physique maximale avec une grande variété de reliefs et des cavités nombreuses et variées (en forme et en taille)							
Intégrité physique	Signes visuels de dégradation des habitats										
	<p>La dégradation physique d'un substrat rocheux peut être causée par des actions mécaniques directes (ancrage, présence d'endiguements, enrochements, bétonnages, épis, canalisations, passages de câbles, installations portuaires, macrodéchets, etc.).</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain en plongée ou évaluation à dire d'expert sur le terrain / bibliographie.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Perturbation généralisée sur l'ensemble du site</td><td>Nombreuses traces de perturbation</td><td>Quelques traces de perturbation</td><td>Rare traces de perturbation</td><td>Absence de perturbation</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation							

Descripteur	Indicateur										
Intégrité chimique	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments										
	<p>La qualité du sédiment est évaluée à travers le niveau de pollution en métaux, PCB et HAP dans les sédiments environnants (DCSMM-Descripteur 8 DCE).</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Prélèvement d'échantillons en plongée de sédiments situés à proximité immédiate du site d'étude et analyse en laboratoire.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Les valeurs seuils sont basées sur la grille de référence pour les contaminants en métaux, PCB et HAP présentée ci-dessous (DCSMM-Descripteur 8 DCE) et ajustées à notre échelle de notation.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>X > N3</td><td>N2 ≤ X ≤ N3</td><td>N1 ≤ X ≤ N2</td><td>Bruit de fond ≤ X ≤ N1</td><td>Valeur < Bruit de fond de fond</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond de fond
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond de fond							
Intégrité chimique	Niveau d'envasement										
	<p>Signe de dépôt de particules fines (vase, limons, sédiments meubles) en surface des substrats durs.</p> <p><u>Protocole recommandé :</u> Mesures en plongée (photos).</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> % d'envasement (méthode RECOR) Références revues chaque année par RECOR. Échelle et seuils à définir.</p>										

■ Fonction habitat biogène soutien de la biodiversité

Descripteur	Indicateur										
Biodiversité globale	Inventaires semi-quantitatifs										
On n’a pas d’indicateurs de référence pour évaluer la biodiversité globale sur ce type de substrat	Pas de valeur seuil. Dire d’expert à partir des inventaires semi-quantitatifs réalisés en plongée.										
Biodiversité globale	Pour les habitats coralligènes : Indices de diversité (RECOR)										
Les indices de diversité écologique (Shannon et Simpson) permettent de mesurer le degré de dominance ou, inversement, la richesse relative et l’équilibre des abondances entre espèces dans une communauté biologique.	Exemple de l’indice de Simpson :										
	$D = \sum \left(\frac{n_i}{N} \right)^2$										
	où :										
	<ul style="list-style-type: none">n_i = abondance de l’espèce i (nombre d’individus, surface recouverte, fréquence, etc.)N = abondance totale (somme de toutes les espèces)										
	<u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain en plongée. Inventaire de toutes les espèces du vivant en excluant les espèces indéterminées selon la méthode RECOR.										
	<u>Valeurs seuils proposées :</u>										
	<table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>D = 1-0.8</td><td>D=0.8-0.6</td><td>D=0.6-0.4</td><td>D=0.4-0.2</td><td>D=0.2-0</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	D = 1-0.8	D=0.8-0.6	D=0.6-0.4	D=0.4-0.2	D=0.2-0
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
D = 1-0.8	D=0.8-0.6	D=0.6-0.4	D=0.4-0.2	D=0.2-0							

Descripteur	Indicateur										
Diversité trophique et fonctionnelle	Diversité trophique et fonctionnelle des poissons										
La diversité trophique et fonctionnelle permet de fournir des informations complémentaires sur la résilience, la stabilité et le fonctionnement écologique. La diversité trophique permet d'évaluer la complexité et l'équilibre de la chaîne alimentaire. La diversité fonctionnelle permet d'évaluer la variété des fonctions écologiques remplies par les espèces.	<p><u>Protocole recommandé :</u> Protocole de l'EBQI coralligène ou roche pour l'évaluation des biomasses de poisson. Comptage en plongée.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Basé sur la grille de l'EBQI-Coralligène : Score moyen [0-4] de biomasse humide (kg MH. 100m²) des 3 compartiments de poisson suivants :</p> <ul style="list-style-type: none">- prédateurs d'invertébrés, omnivores, et céphalopodes (poids W : 2)- piscivores (poids W : 4)- planctonophages (poids W : 2) <p>Le score moyen est ensuite rapporté sur une échelle de notation allant de 0 à 5.</p> <p>La grille EBQI-Coralligène permet d'évaluer plusieurs compartiments de poissons. En cas de déséquilibre au sein du coralligène, la note attribuée à certains compartiments diminue, entraînant mécaniquement une baisse du score moyen. L'analyse de ce score moyen fournit ainsi une information synthétique sur la diversité trophique et fonctionnelle des poissons associés à l'habitat.</p> <p>Basé sur la grille de l'EBQI-Roche : Score moyen [0-4] de biomasse humide (kg MH. 100m²) des 4 compartiments de poisson suivants :</p> <ul style="list-style-type: none">- herbivores (poids W: 4)- prédateurs d'invertébrés, omnivores, et céphalopodes (poids W : 4)- piscivores (poids W : 7)- planctonophages (poids W : 1) <p>Le score moyen est ensuite rapporté sur une échelle de notation allant de 0 à 5.</p> <p>Cette grille est une proposition et devra être testée et ajustée sur un cas d'étude.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>Diversité trophique très faible</td><td>Diversité trophique faible</td><td>Diversité trophique moyenne</td><td>Diversité trophique bonne</td><td>Diversité trophique très importante</td></tr></table>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante							

Descripteur	Indicateur										
Production biologique	CAI (Coralligenous Assemblages Index)										
<p>Cet indicateur développé et testé en région PACA combine les EQR' (ratio de qualité écologique) de trois paramètres mesurés à partir des quadrats photographiques : le pourcentage de recouvrement par la vase, le pourcentage de recouvrement par les bryozoaires et le pourcentage de recouvrement par des espèces bioconstructrices. Plus le ratio de qualité écologique (EQR) d'un site combinant ces trois variables par rapport à leurs références respectives (EQR') est proche de 1 et plus l'état écologique est jugé excellent. L'EQR' est le ratio de la valeur observée et de la valeur de référence.</p>	<p>Pourcentage de recouvrement par les bryozoaires et les bioconstructeurs principaux, et le pourcentage pour l'envasement du protocole RECOR (macro-algues encroûtantes, bryozoaires, sclératiniaires et foraminifère Miniacina miniacea).</p> <p>Protocole recommandé : Observation terrain (quadrats photographiques) en plongée.</p> <p>Valeurs seuils définies : Les valeurs de référence pour chaque région sont calculées à chaque nouvelle campagne régionale, elles évaluent donc dans le temps (Méthode RECOR). En 2024, la valeur de référence régionale (valeur minimale observée) en Occitanie était de refbryo = 8,7 et refbuil : 42,35, reysludge : 38,7. Les seuils sont basés sur la grille EQR RECOR: Cette grille est une proposition et devra être testée et ajustée sur un cas d'étude.</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>0-0,1</td><td>> 0,1-0,325</td><td>>0,325-0,55</td><td>>0,55-0,775</td><td>>0,775-1</td></tr></table> <div><p>EQR' bryo = % bryozoaires / valeur référence régionale</p><p>EQR'sludge = (100 - % vase) / (100 - valeur référence régionale)</p><p>EQR' builders = % espèces bioconstructrices / valeur référence régionale</p><p>EQR = (EQR'sludge + EQR'bryo + EQR' builders) / 3</p><p>Avec EQR = Ecological quality ratio. La valeur de l'EQR permet de classer chaque station dans une des 5 classes de statut écologique de la DCE.</p></div> <p>Pour les roches infralittorales et le coralligène, il existe aussi des critères de l'indice EBQI qui permettent l'évaluation de la production et de la densité des habitats: recouvrement des macrophytes (%) et densité d'espèces.</p>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	0-0,1	> 0,1-0,325	>0,325-0,55	>0,55-0,775	>0,775-1
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
0-0,1	> 0,1-0,325	>0,325-0,55	>0,55-0,775	>0,775-1							
État de santé	Nécrose ou mortalité de la colonie d'espèces érigées (principalement les gorgones)										
	<p>Indice Gorgone, méthode RECOR</p> <p>Protocole recommandé : Habitat Coralligène : Observation terrain en plongée - 30 quadrats aléatoires de 50 x 50 cm (à une même profondeur) : calcul du % de surface nécrosée de la colonie</p> <p>Valeurs seuils définies :</p> <table><tr><td>[0-2]</td><td>[2-4]</td><td>[4-6]</td><td>[6-8]</td><td>[8-10]</td></tr><tr><td>100-80%</td><td>80-60%</td><td>60-40%</td><td>40-20%</td><td>40-20%</td></tr></table> <p>Grille à adapter pour les roches infralittorales.</p>	[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	40-20%
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]							
100-80%	80-60%	60-40%	40-20%	40-20%							

Descripteur	Indicateur													
Espèces exotiques/non indigènes envahissantes	Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes													
Les espèces exotiques/non indigènes envahissantes sont des espèces introduites qui peuvent menacer la biodiversité et l'équilibre des écosystèmes, et leur suivi est crucial dans la gestion environnementale et la conservation marine.	Présence et abondance de l'algue rouge <i>Womersleyella setacea</i> , des Caulerpes <i>Caulerpa taxifolia</i> , <i>Caulerpa cylindracea</i> , des algues rouges <i>asparagopsis sp.</i> , des algues filamenteuses brunes, vertes et rouges, de <i>Codium bursa</i> ("Béret basque"), et de vers marins <i>Filograna</i> / <i>Salmacina sp.</i>													
	<u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain en plongée.													
	<u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.													
	<table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant</td><td>Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant</td><td>Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.</td><td>Sans objet</td><td>Sans objet</td></tr></table>					[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]										
Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet										

■ Fonctions liées aux cycles de vie et aux connectivités

Descripteur	Indicateur														
Zones de croissance et de reproduction	Présence de frayères et / ou de nurseries														
Les zones de croissance sont des habitats favorables pour le développement global. Les nurseries sont des habitats spécifiques pour les juvéniles et ont une importance directe sur le recrutement et la survie des populations. Il est également important d'identifier les frayères, habitats où les espèces vont se reproduire et déposer leurs œufs.	<p><u>Protocole recommandé :</u> Observation terrain en plongée ou analyse des cartes MEDHAB pour les petits fonds hétérogènes ou dire d'expert + bibliographie.</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur</td><td>Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie</td><td>Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.</td></tr></table>					[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]											
Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.											
Connectivité fonctionnelle	Zone source et/ou corridor de migration														
La connectivité fonctionnelle désigne la capacité des habitats ou des populations à interagir et à échanger des fonctions écologiques essentielles. L'enjeu de ce descripteur est d'identifier les éventuelles zones sources (productrice d'un surplus d'individus qui peuvent coloniser d'autres habitats voisins) et corridor de migration.	<p><u>Protocole recommandé :</u> Dire d'expert + bibliographie</p> <p><u>Valeurs seuils définies :</u> Aucune valeur seuil n'a pu être définie. L'appréciation générale doit être faite par un expert.</p> <table><tr><th>[0-2]</th><th>[2-4]</th><th>[4-6]</th><th>[6-8]</th><th>[8-10]</th></tr><tr><td>Absence avérée</td><td>Faible probabilité</td><td>Probabilité moyenne</td><td>Forte probabilité</td><td>Présence avérée et importante</td></tr></table>					[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante
[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]											
Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante											

4.4.5. Indice de confiance

L'indice de confiance permet à l'utilisateur de poursuivre le dimensionnement même en l'absence de données de terrain récentes. Plus l'évaluation de l'état de santé repose sur des avis d'experts anciens ou non vérifiés, plus l'indice de confiance global sera faible. Cet indice n'a pas vocation à bloquer l'exercice de dimensionnement, mais à informer l'utilisateur sur la fiabilité des données utilisées. Une valeur moyenne minimale pourra être définie dans un second temps pour ne pas risquer que les utilisateurs utilisent les grilles de calcul avec des indices de confiance trop faibles et afin d'encourager la réalisation d'une campagne de collecte de données complémentaires. Naturellement, l'indice de confiance global sera plus faible aux phases amont du projet. L'utilisateur devra en tenir compte dans l'interprétation des résultats et la prise de décision.

Les critères proposés sont les critères utilisés pour le calcul des EBQI.

Tableau 6 : Critères permettant de calculer l'indice de confiance

Critères	IDC
Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	4
Données de terrain récentes et complétées par du "dire d'expert"	3
Données de terrain acquises avec un protocole différent de celui recommandé	3
Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	2
Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" ancien	1
Pas de données de terrain et pas de "dire d'expert"	0

4.5. Références bibliographiques des indicateurs et protocoles

4.5.1. Indicateurs communs à tous les substrats

Descripteur	Indicateur	Sources bibliographiques
Intégrité chimique	Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Arrêté du 27 mars 2024 fixant les prescriptions générales applicables aux dragages ou aux rejets y afférent relevant de la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement en application des articles L. 214-1 à L. 214-3 OSPAR, 2009. Background Document on CEMP Assessment Criteria for QSR 2010
Intégrité chimique	Indice d'Enrichissement Organique (IEO) d'Alzieu	Alzieu, C., 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion. Editions Quae.
Zones de croissance et de reproduction	Présence de frayères et / ou de nourriceries	https://medtrix.fr/ : cartes MEDHAB

4.5.2. Indicateurs substrats meubles

Descripteur	Indicateur	Sources bibliographiques
Biodiversité globale	Indice de richesse spécifique (S)	Pour le substrat meuble, valeurs seuils proposées sur la base du projet BADG : Créocéan, LECOB, Parc naturel marin du Golfe du Lion, OFB, 2023, Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion
Biodiversité globale	Indice de Shannon (H') pour la macrofaune benthique	Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. Bell System Technical Journal 27:379-423
Biodiversité globale	Indice trophique	Bascom W., Mearns A. J. et Word J. Q. , 1978. Establishing boundaries between, normal changed and degraded area Word JQ., 1978. The infaunal trophic index. Annu Rep 1978:13-39
Production biologique	Densité	Créocéan, LECOB, Parc naturel marin du Golfe du Lion, OFB, 2023, Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion

4.5.3. Indicateurs herbiers

Descripteur	Indicateur	Sources bibliographiques
Nature et complexité	Taux de recouvrement de l'herbier	Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.-A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. M I O publ., 161 p
Trajectoire temporelle	Evolution spatiale de la superficie de l'habitat : type de limite inférieure de l'herbier	BiPO développée par Lopez y Royo et al. (2010) et utilisée par Andromède selon la méthode/réseau TEMPO 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.

Descripteur	Indicateur	Sources bibliographiques
Intégrité physique	Déchaussement	Boudouresque C.F., Gliraud G., Perret-Boudouresque E. M., 1980. Bibliography on vegetation and ecosystems of Posidonia oceanica, Part II. Excerpta Botanica., 20(2B): 125-135. Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bernard G., Bonhomme P., Patrone J., Kruczek R., Cottalorda J.M., Bretrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Le Direac'h L., 2000. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique et Seconde partie : résultats du suivi 1999. GIS Posidonie publ., Fr.: 1-76 et.1-142.
Biodiversité globale	Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.-A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. M I O publ., 161 p.
Production biologique	Indice de vitalité (densité des faisceaux)	Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.-A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. M I O publ., 161 p.

4.5.4. Indicateurs substrats rocheux - substrats durs

Descripteur	Indicateur	Sources bibliographiques
Nature et complexité	Géomorphologie	Creocean, 2009. Contribution à la caractérisation écologique des eaux côtières de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, approche paysagère. Agence de l'Eau RMC – Conseil régional PACA – Conseil général 13 – DREAL PACA, 63 p. + annexes
Biodiversité globale	Indice de Simpson	Andromède, 2013. RECOR: Réseau de suivi des assemblages coralligènes, Protocole de suivi E. H. Simpson E; H., 1949. Measurement of diversity, <i>Nature</i> , vol. 163, n° 4148, p. 688.
Diversité trophique et fonctionnelle	Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	EBQI roches infralittorales Thibaut, T., Blanfuné, A., Boudouresque, C.F., Personnic, S., Ruitton, S., Ballesteros, E., Bellan-Santini, D., Bianchi, C.N., Bussotti, S., Cebrian, E., Cheminée, A., Culioli, J.M., Derrien-Courtel, S., Guidetti, P., Harmelin-Vivien, M., Hereu, B., Morri, C., Poggiale, J.C., Verlaque, M., 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of Mediterranean algae-dominated shallow rocky reefs. <i>Mar. Pollut. Bull.</i> 117, 311–329. EBQI coralligène Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. MIO Publ., 161
Production biologique	CAI (Coralligenous Assemblages Index)	Andromède, 2013. RECOR: Réseau de suivi des assemblages coralligènes, Protocole de suivi

5. Les coefficients d'ajustement

Trois coefficients ont été définis pour ajuster les pertes et les gains :

- un coefficient **Enjeu Patrimonial** : ce coefficient permet d'accentuer les pertes quand des espèces ou des écosystèmes patrimoniaux sont touchés.
- un coefficient **Risque** : ce coefficient permet de tenir compte de l'incertitude sur les trajectoires écologiques de restauration. Il a pour effet de diminuer les gains.
- un coefficient **Temps** : ce coefficient intègre le décalage temporel entre la survenue des pertes et l'atteinte des objectifs de compensation. En effet, selon le type d'écosystème, l'atteinte de l'état visé peut prendre plus ou moins longtemps. Cela correspond au délai entre la mise en œuvre des opérations de restauration, en principe simultanée au chantier générant les impacts, et l'atteinte de l'état écologique ciblé. Ce coefficient a aussi pour effet de diminuer les gains.

L'intérêt de ces coefficients est de corriger les biais optimistes inhérents au principe de la compensation écologique et du dimensionnement de la compensation et liés notamment à la simplification nécessaire à l'exercice et au manque de connaissance sur les impacts et sur la restauration.

5.1. Enjeu patrimonial

Ce coefficient varie entre 1 et 5, 1 ayant un effet neutre sur les pertes. Il s'applique aux espèces présentant les plus forts enjeux patrimoniaux présentes dans l'habitat pour lesquels les pertes sont évaluées. C'est le coefficient le plus élevé qui est retenu pour le calcul des pertes.

Ce coefficient correspond à la moyenne des valeurs des 4 critères présentés dans le tableau ci-dessous :

Critère	1	2	3	4	5
Menace (selon la LR de l'IUCN)	Espèce non menacée (LC)	Données insuffisantes (DD) ou non évaluée (NE)	Espèces quasi menacée (NT)	Espèces menacées (VU)	Espèces menacées (CR, EN) ou espèce protégée
Endémisme Aire de répartition	/	National-Plurinational	Régional	/	Uniquement sur la zone d'étude
Résilience	Résilience très élevée (Robuste) : forte résistance aux perturbations et récupération rapide	Résilience élevée : bonne capacité de récupération en cas de perturbation, adaptation aux changements environnementaux	Résilience modérée : Capacité de récupération partielle, mais sous certaines conditions favorables	Résilience faible : Récupération très lente et incomplète, forte dépendance aux conditions environnementales stables	Résilience très faible : Forte sensibilité aux perturbations et récupération quasi impossible

Critère	1	2	3	4	5
Importance du rôle écologique (espèces ingénieuses, parapluie...)	Rôle mineur (faible importance écologique) : présence sans influence significative sur l'écosystème	Rôle modéré (contribution locale mais non essentielle) : impact limité, mais participation aux interactions écologiques. La disparition aurait un effet localisé, mais compensable.	Rôle important (équilibre et dynamique écosystémique) : influence notable sur la biodiversité et les flux de matière et d'énergie. La disparition aurait des conséquences sur plusieurs espèces	Rôle clé (espèce ou habitat structurant l'écosystème) : essentiel au fonctionnement global de l'écosystème	Rôle critique (espèces clés de voûte ou écosystèmes pivot) : Son absence entraînerait un effondrement écologique

5.2. Risque

Ce coefficient permet de tenir compte de l'incertitude sur les trajectoires de restauration écologique. Il repose sur une série de questions sur des paramètres qui peuvent influencer sur les chances de succès de mesures de restauration. Sa valeur varie entre 1 et 3. Elle est obtenue en calculant la moyenne des scores de chaque question.

Valeur	1	2	3
Est-ce que la taille ou l'échelle de la zone de compensation est suffisante pour fournir les habitats essentiels aux espèces locales ?	La zone de compensation est vaste ou fait partie d'une aire protégée suffisamment grande pour résister à la fragmentation ou aux dérangements en dehors de la zone.	La zone de compensation n'est pas assez vaste ou ne dépend pas d'une aire protégée suffisamment grande ; mais bénéficie d'une fragmentation de l'habitat aux faunes qui ne sera pas affectée par de faibles niveaux de fragmentation ou de perturbation en dehors de la zone.	La zone de compensation des ressources situées en dehors du site sa restauration. La fragmentation de l'habitat réduirait probablement les bénéfices apportés par la zone à la faune.
Est-ce que les sols, substrats ou sédiments de la zone de compensation sont ceux qui sont appropriés pour les communautés ciblées par la compensation ?	Les sédiments ou substrats de la zone de compensation sont similaires à ceux qui sont associés aux communautés ciblées et ne seront pas altérés.	Les sédiments ou substrats de la zone d'étude sont différents de ceux qui sont associés aux communautés ciblées.	Des techniques expérimentales ou non sont proposées. La nature des fonds marins de la zone d'étude est connue et est différente de celle associée aux communautés ciblées.
Est-ce que la conception des mesures compensatoires utilise des méthodes éprouvées et bénéficiant de retour d'expérience documentés ?	Les méthodes ont eu des succès démontrés et sont documentés sur d'autres sites.	Les actions proposées nécessitent des adaptations mais utilisent des méthodes éprouvées.	Les interventions proposées reposent sur des conditions expérimentales non maîtrisées, ou les interventions proposées dépendent de méthodes qui n'ont pas fait leurs preuves.

Valeur	1	2	3
Quel est le potentiel d'infestation par des espèces exotiques envahissantes ?	Les prospections de terrain ne relèvent pas d'espèces invasives ou exotiques dans la zone compensatoire ou dans les zones avoisinantes. Les zones avoisinantes font l'objet d'un plan de gestion durable qui prévoit le traitement d'éventuelles espèces invasives ou exotiques.	Les prospections de terrain ne relèvent pas d'espèces exotiques dans la zone compensatoire mais dans la zone persiste un risque en ce qui concerne les zones avoisinantes. Les zones avoisinantes font l'objet d'un plan de gestion durable qui prévoit le traitement d'éventuelles espèces invasives ou exotiques.	Les prospections de terrain relèvent des espèces exotiques dans la zone compensatoire, ET/OU les zones du voisinage et qui ne font pas l'objet d'un plan de gestion ou qui ne sont pas contrôlées par les autorités ou le gestionnaire.
Quel est le niveau de protection assuré par l'instrument de préservation de la zone de compensation ?	La zone est sous gestion d'un tiers (OFB, ONG, etc.) pour une durée adaptée au projet de restauration écologique MAIS ne fait pas l'objet d'un statut de protection forte (Réserve, APPB, ...).	La zone est sous gestion d'un tiers (OFB, ONG, etc.) pour une durée adaptée au projet ou sans gestionnaire clairement défini /	La zone fait l'objet d'une AOT mais de courte durée sans gestionnaire
Est-ce que les mesures du plan de gestion prévu à long terme sont suffisantes pour et pour maintenir perpétuellement les processus écologiques dans la zone de compensation ?	Des techniques éprouvées sont proposées avec des succès documentés sur d'autres sites, et toutes les actions nécessaires au maintien du type d'habitat choisi sont prévues dans le plan de gestion.	Les espèces ciblées ou les conditions spécifiques du site ne sont pas couvertes par des techniques conventionnelles, ou le plan de gestion à long terme en couvre certaines mais pas toutes les actions nécessaires pour pleinement faciliter le développement en continu des espèces ciblées.	Des actions de compensation de pointe, avec des exigences en termes de gestion qui ne sont pas définies, sont proposées. Ou le plan de gestion à long terme est insuffisant pour assurer la protection permanente des espèces exotiques ou invasives ou nuisibles, ou les actions proposées ne sont pas adéquates pour subvenir au développement continu des espèces naturelles.
Est-ce que le bassin versant de la zone compensatoire est suffisamment protégé pour ne pas exercer des pressions sur la zone compensatoire ?	Le bassin versant est inclus dans une aire protégée de type Réserve, APPB, cœur de Parc et fait l'objet de mesures de suivis et de contrôle des pressions potentielles.	Le bassin versant est inclus partiellement ou totalement dans une aire protégée type Natura 2000, ou Parc et existe des pressions qui ne sont pas complètement contrôlées ou suivies mais les sources d'impacts secondaires potentiels ou	Le bassin versant ne fait l'objet d'aucune protection particulière et de plus, des sources potentielles d'activités sous dérogation ont été identifiées.

Valeur	1	2	3
		d'activités sous dérogation sont peu probables, basées sur les documents de planification d'urbanisme et l'historique des usages dominants.	
Les usages existants ou potentiels à l'avenir sur les zones dans un rayon de 1 km de la zone compensatoire présentent-ils un risque pour les espèces de faune et flore présentes sur l'aire d'étude ?	Tous les milieux et les eaux situés dans un rayon d'1km seront inclus dans une zone fortement protégée (APPB, Réserve), ou le sont déjà.	Les milieux et les eaux environnants ne sont pas complètement contrôlés ou protégés mais les sources secondaires ou d'activités sous dérogation sont peu probables, en raison de leur classement dans une zone protégée de type Natura 2000, ou parc marin.	Les milieux et les eaux ne sont pas complètement contrôlés ou protégés et de plus, de potentielles sources d'impacts secondaires ou d'activités sous dérogation sur cette zone ont été identifiées.

5.3. Temps

Ce coefficient correspond au délai d'atteinte des objectifs de restauration. En effet, la restauration d'un écosystème ne produit pas ses bénéfices écologiques de façon immédiate. Un délai plus ou moins long est nécessaire avant que les espèces ciblées n'en bénéficient, ou bien que l'équilibre souhaité soit atteint.

Le coefficient Temps permet de tenir compte de ce délai, et par conséquent du décalage temporel entre la survenue des impacts et l'atteinte des objectifs de restauration, comme cela est recommandé dans les lignes directrices (CGDD, 2013).

Le délai est calculé comme suit :

- Dans le cadre de la compensation écologique d'un projet d'aménagement : différence entre l'année de démarrage du chantier (début des impacts) et année présumée d'atteinte des objectifs de compensation
- Dans le cadre d'un projet de restauration simple : différence entre l'année de démarrage du chantier de restauration écologique et année présumée d'atteinte des objectifs de restauration.

Le délai est exprimé en année pour les délais courts (moins de 5 ans) et en intervalle de temps de 5 ans au-delà, compte-tenu de la difficulté à évaluer précisément le temps nécessaire à une restauration écologique.

Le nombre d'années calculé est converti en un coefficient. Il est calculé sur la base du « taux d'actualisation » selon une logique économique couramment utilisée, rapportant des coûts/pertes et des bénéfices/gains futurs à une valeur d'aujourd'hui et transposé dans le cadre de la compensation

écologique (Moilanen et al., 2009). Ce taux est fixé à 3.2%, et correspond au taux d'actualisation des investissements publics, tel qu'il a été révisé en 2021 (Guide de l'évaluation socioéconomique des investissements publics Complément opérationnel I – Révision du taux d'actualisation, France Stratégie, 2021)

La formule de calcul du coefficient est la suivante : soit a le taux d'actualisation, le coefficient à appliquer pour un délai de n années est de : $(1 + a)^{n-1}$. Pour notre taux de 3.2%, la formule est : $1.032^{(n-1)}$

Pour les intervalles de temps, le coefficient est calculé pour le délai médian de l'intervalle. (Voir tableau ci-après)

Tableau 7 : Coefficient d'ajustement T

Délai :	
Nombre d'années nécessaire à l'atteinte de l'état de fonctionnement écologique attendu de la compensation	Coefficient d'ajustement
1	1.00
2	1,03
3	1,07
4	1,10
5	1,13
6-10	1,25
11-15	1,46
16-20	1,71
21-31	2,20
32-42	3,11
Plus de 42	4,68

Tableau 8 : Simplification et valeur du coefficient T

Intervalle	Délai choisi pour le calcul du coefficient T
6-10 ans	8 ans
11-15 ans	13 ans
16-20 ans	18 ans
21-31 ans	26 ans
32-42 ans	37 ans
Plus de 42 ans	50 ans

6. Calibrage

Le calibrage est piloté principalement par les intervalles de variation des trois coefficients d'ajustement dont dépendra la valeur finale du ratio compensatoire calculé au moyen de la méthode.

A ce stade de développement de la méthode, les valeurs des intervalles de variation ont été fixées sur la base de l'existant sans vérification massive sur des cas de terrain.

Les cas de test (cf. partie 7 sur l'application pratique en situation réelle) et l'étude des valeurs maximales et minimales fournissent de premières indications sur la cohérence du calibrage actuel. Selon les suites données au développement de la méthode, ce calibrage pourra être revu par le groupe technique en charge du pilotage de la conception méthodologique.

6.1. Valeurs maximales

Quel est le ratio compensatoire maximal auquel on pourrait aboutir selon cette méthode et à quelle situation sur le terrain cela pourrait-il correspondre ?

Tableau 9 : Exemples de valeur des paramètres de calcul des pertes et des gains pour calculer un ratio de compensation maximal

Paramètres	Valeur maximisant le ratio	Exemples
Enjeu patrimonial	5	Espèce protégée, très menacée, endémique, très peu résiliente.
Etat initial de la zone impactée	10	Zone correspondant à l'état de référence, par exemple, coralligène de la réserve naturelle marine de Cerbère-Banyuls
Etat final de la zone impactée	0	Zone totalement détruite par un aménagement (construction d'un terre-plein émergé par exemple)
Risque	3	Recours à des techniques de compensation expérimentales (bouturage de gorgones), non précision des modes de gestion Zone compensatoire localisée dans un secteur géographique soumis à des pressions, non maîtrisé et non contrôlé
Temps	4.68	Délai de restauration très élevé, au-delà de 42 ans
Etat initial de la zone de compensation	Lambda	Zone rocheuse comportant des coralligènes dégradés, avec faible densité de gorgones
Etat final de la zone de compensation	Lambda + 1	Amélioration très modérée de l'habitat coralligène, développement de gorgones

$$\text{Ratio compensatoire} = 5 \times 3 \times 4.68 \times 10 / 1 = \mathbf{702}$$

Cela signifie que dans l'hypothèse (non réaliste) d'un projet conduisant à la destruction d'un habitat de coralligène dans la réserve de Banyuls, la surface compensatoire requise serait 702 fois plus importante que l'emprise du projet d'aménagement.

6.2. Ratio compensatoire de 1

A quel cas de terrain correspondrait un ratio minimal de 1, c'est-à-dire seulement 1 ha compensé pour 1ha impacté (zone tampon y compris) ?

Tableau 10 : exemples de valeurs des paramètres de calcul des pertes et des gains pour un ratio compensatoire minimal de 1

Paramètres	Valeur minimisant le ratio	Exemples
Enjeu patrimonial	1	Habitat commun colonisé par des espèces très communes
Etat initial de la zone impactée	1	État très dégradé : zone portuaire polluée, ou zone très proche d'un exutoire de rejets urbains
Etat final de la zone impactée	0	Zone totalement détruite par un aménagement (construction d'un terre-plein émergé par exemple)
Risque	1	Mise en protection d'une zone et restauration passive naturelle
Temps	1.07	Délai de restauration faible : 3 ans
Etat initial de la zone de compensation	Lambda	
Etat final de la zone de compensation	Lambda + 1	Amélioration faible

$$\text{Ratio compensatoire} = 1 \times 1 \times 1.07 \times 1 / 1 = 1$$

Un ratio compensatoire de 1 peut correspondre à l'hypothèse d'un projet s'implantant sur des zones très dégradées, sur des habitats communs, sans espèce protégée ou sans enjeu patrimonial, et résilients, une zone portuaire par exemple. Il suffirait de mettre en place une mesure compensatoire correspondant à de la restauration passive, rapide, sur une zone faiblement dégradée.

7. Guide pratique d'application

7.1. Evaluation des pertes

7.1.1. Données d'entrée

La première étape consiste à analyser les données à disposition :

- Quel est le projet à l'origine des pertes, comment va se dérouler le chantier, quels types de pression va engendrer le chantier lui-même et le projet une fois en exploitation ? Il s'agit de bien déterminer les pressions générant des impacts irréversibles ou durables, et de distinguer les pressions qui vont déterminer la zone d'emprise : zone détruite et artificialisée et la ou les zones tampons : zone altérée plus ou moins gravement par un panache turbide, l'émission de bruits ou de vibration, les émissions polluantes, etc.
- Quels sont les habitats naturels présents sur la zone d'étude ? Quelles espèces à enjeu particulier ont été identifiées ? Il faut disposer d'une cartographie des habitats.

Illustration

Le projet consiste en l'installation d'un émissaire en mer, destiné à évacuer les rejets d'une station d'épuration dans un baie comportant des herbiers de posidonies et des substrats sableux. La canalisation mesure 900m de long pour un diamètre de 60 cm. L'exutoire est installé à une profondeur de 22 m. Il rejettera des eaux usées urbaines ayant subi plusieurs traitements.

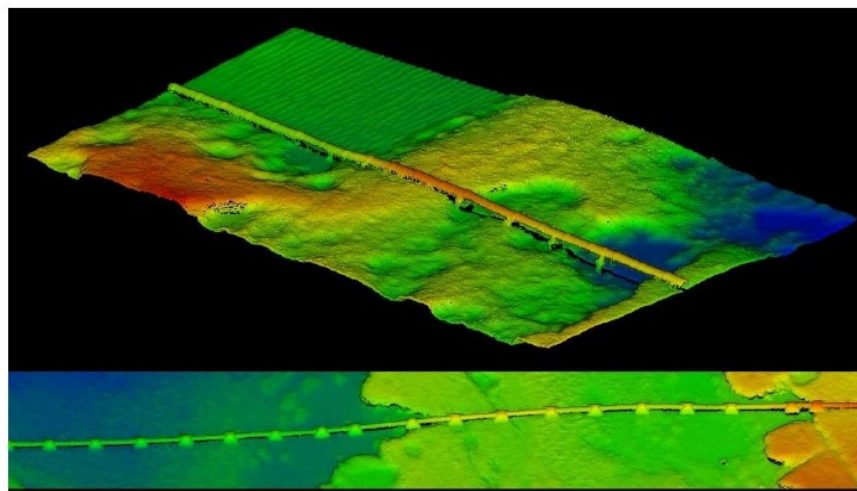


Figure 7 : Illustration 3D du futur émissaire avec une bathymétrie fine (CREOCEAN, 2022)



Figure 8 : Exemple type d'émissaire en Méditerranée (CREOCEAN, 2022)

L'émissaire traverse du substrat meuble sur 300 m environ et des herbiers sur 600 m, comme illustré sur la carte des habitats ci-dessous.

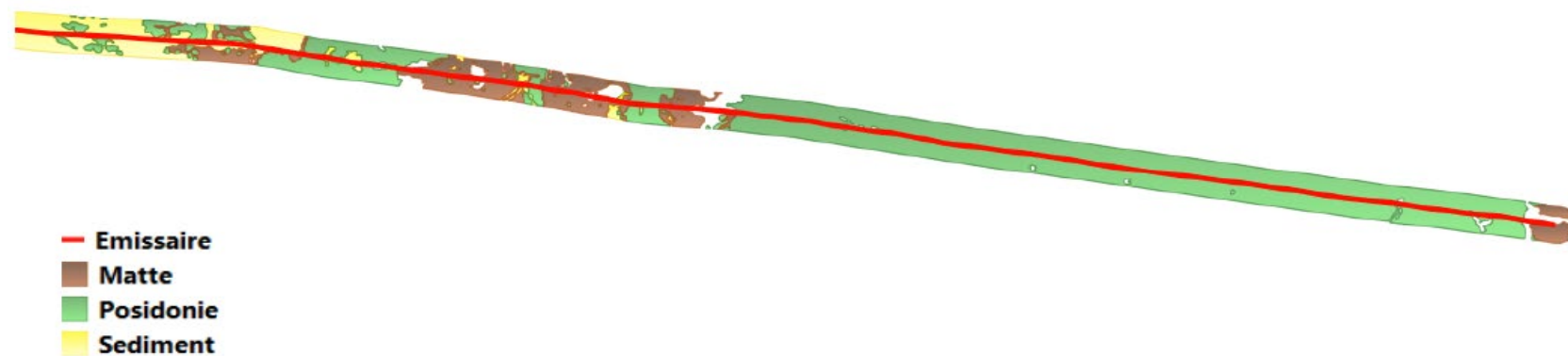


Figure 9 : Localisation de l'émissaire et cartographie des fonds (CREOCEAN, 2022)

7.1.2. Définition de la zone d'emprise et de la zone tampon et calcul des surfaces

Compte tenu des informations analysées à l'étape précédente, il s'agit de découper la zone d'étude en fonction des pressions engendrées par le projet et des différents types d'habitats afin de pouvoir évaluer leurs surfaces puis les pertes associées.

On distingue la zone d'emprise physique du projet, au sein duquel l'habitat sera détruit et remplacé par un aménagement artificiel et une ou plusieurs zones tampons, non détruites directement mais plus ou moins altérées par les pressions du chantier ou du projet en exploitation. Chacune de ces zones est découpée ensuite selon le type d'habitat qui la compose : substrat meuble, substrat rocheux, herbiers. On peut tenir compte de l'état de conservation de l'habitat pour affiner le découpage. En effet, la valeur écologique initiale peut varier pour un même type d'habitat qui peut être proche de son état de référence sur un secteur, et plus dégradé sur un autre. Logiquement, les pertes seront plus importantes quand on touche au secteur proche de l'état de référence.

Illustration

On distingue :

- La zone d'emprise de l'émissaire correspondant à l'emprise de la canalisation sur le fond. Dans cette zone, une destruction immédiate est attendue en raison du recouvrement au sol de l'émissaire. Pour calculer cette surface d'emprise, nous considérons le diamètre de l'émissaire (60 cm), en y ajoutant une marge de 20 cm de part et d'autre afin de tenir compte d'un effet de bord possible, et de la dégradation pendant la phase chantier.

La surface de la zone d'emprise est donc de 900 m x 1 m.

Cette zone d'emprise comporte des herbiers de posidonies et du substrat meuble.

La surface d'emprise au sein des herbiers est de 600 m x 1 m = 600 m².

La surface d'emprise au sein du substrat meuble est de 300 m x 1 m = 300 m².

- La zone tampon correspondant à la zone de diffusion des rejets à l'exutoire. Dans cette zone, les retours d'expérience montrent qu'une dégradation progressive des herbiers est attendue en raison notamment des modifications des conditions physico-chimiques de l'eau engendrées par les rejets de l'émissaire. Nous faisons l'hypothèse que le substrat meuble est également progressivement dégradé par ce panache.

La modélisation du panache du rejet a permis de définir la zone de diffusion des rejets sur 1500 m² d'herbier et 2800 m² de substrat meuble.

En résumé, le découpage de la zone d'étude est réalisé comme suit :

	Herbier	Substrat meuble
Zone d'emprise	600 m ²	300 m ²
Zone tampon	1500 m ²	2 800 m ²

Les pertes totales engendrées par le projet correspondent à la somme des pertes en herbier sur la zone d'emprise et la zone tampon, et des pertes en substrat meuble sur la zone d'emprise et la zone tampon.

Notons que si l'état de l'herbier était hétérogène par exemple sur la zone tampon, nous aurions découpé la zone tampon en deux :

- Zone tampon avec herbier en bon état
- Zone tampon avec herbier dégradée.

Les pertes sur la zone tampon auraient été égales à la somme des pertes sur l'herbier en bon état et des pertes sur l'herbier dégradé.

7.1.3. Evaluation des valeurs d'état initial des différents habitats sur les différentes zones d'emprise

Illustration

Valeur d'état initial de l'herbier sur la zone d'emprise

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Taux de recouvrement	100%	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)	10	4
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Limite franche avec un recouvrement > 25%. Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite. Moyenne des plagiotropes : 14%		Régressive Présence de mottes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	8	4
Déchaussement	Mesure de 0,54 cm		Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)	10	4
Signes de visuels de dégradation des habitats	Absence de trace de perturbation		Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation	10	4
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Valeur < Bruit de fond		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	9	4
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	IEO = 2		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	8	4
Score Fonction Refuge								9.2	4
Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	- Poisson prédateurs d'invertébrés, omnivores, céphalopodes : 1,5 kg M.H.100 m²	Données de terrain récentes et fiables utilisant le	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante	7	4

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
	- Poisson piscivores : 1kg M. H. 100 m ² - Poissons planctonophages (zooplanctonophages) : 3,2 kg. M.H . 100m ² - Poissons planctonophages (omnivores) : 0,7 kg. M.H. 100m ²	protocole recommandé							
Indice de vitalité (densité des faisceaux)	Densité des faisceaux = 483		Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490	7	4
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes	Absence	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet	/	/
Score fonction Habitat								7	4
Présence de frayères et/ou nurseries	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	9	2
Zone source et/ou corridor de migration	Présence avérée et importante	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	9	2
Score fonction Cycle de vie et connectivités								9	2
Valeur d'état initial de l'herbier sur la zone d'emprise								8.4	3,3

Tableau de calcul de l'indicateur "Diversité trophique et fonctionnelle des poissons" :

	Masse de biomasse humide en kg / 100 m²					Mesure	Statut EBQI correspondant	Poids pour le score final EBQI
prédateurs d'invertébrés, omnivores, et céphalopodes	>1,5	1,1 à 1,5	0,6 à 1	0,3 à 0,5	<0,3	1.5	3	5
piscivores	>1	0,6 à 1	0,3 à 0,5	0,1 à 0,2	<0,1	1	3	5
zooplanctonophages	>3	1,6 à 3	0,8 à 1,5	0,3 à 0,7	<0,3	3.2	4	3
planctonophages omnivores	<0,3	0,3 à 0,7	0,8 à 1,5	1,6 à 3	>3	0.7	3	
Statut EBQI correspondant								
	4	3	2	1	0			
Score EBQI final							3.2	
Score à reporter Méthode Pertes-Gains								
intervalle	[8-10]	[6-8]	[4-6]	[2-4]	[0-2]			
valeur médiane	9	7	5	3	1		7	

Valeur d'état initial de l'herbier sur la zone tampon

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Taux de recouvrement	90%	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)	9	4
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Limite franche avec un recouvrement > 25%. Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite. Moyenne des plagiotropes : 14%		Régressive Présence de mottes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	8	4

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Déchaussement	Mesure de 2.07 cm	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)	6	4
Signes de visuels de dégradation des habitats	Absence de trace de perturbation		Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation	10	4
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Valeur < Bruit de fond		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	9	4
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	IEO = 2		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	8	4
Score Fonction Refuge								8.3	4
Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	-Poisson prédateurs d'invertébrés, omnivores, céphalopodes : 1,5 kg M.H.100 m² - Poisson piscivores : 1kg M. H. 100 m² - Poissons planctonophages (zooplanctonophages) : 3,2 kg. M.H . 100m² - Poissons planctonophages (omnivores) : 0,7 kg. M.H. 100m²	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante	7	4
Indice de vitalité (densité des faisceaux)	Densité des faisceaux = 556		Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490	10	4
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non	Absence	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Présence en forte abondance avec un recouvrement	Présence en abondance avec un recouvrement	Présence avérée mais en faible abondance				

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
indigènes envahissantes			au sol important potentiellement impactant	au sol moyen, mais potentiellement impactant	donc pas impactante pour la biodiversité.				
Score fonction Habitat								8.5	4
Présence de frayères et/ou nurseries	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	9	2
Zone source et/ou corridor de migration	Présence avérée et importante	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	9	2
Score fonction Cycle de vie et connectivités								9	2
Valeur d'état initial de l'herbier sur la zone tampon								8.6	33

Evaluation de l'état du substrat meuble sur la zone d'emprise et la zone tampon

L'état du substrat meuble est identique sur la zone d'emprise et sur la zone tampon.

Les données d'entrée sont les suivantes :

Les fonds meuble sont constitués de sables fins et grossiers. Ils sont pauvres en matière et en carbone organiques, ainsi qu'en éléments nutritifs (composés azotés et phosphorés).

D'un point de vue biologique, les prélèvements à la benne de faune benthique donnent les résultats suivants :

Paramètres	Stations			Moyenne	Commentaire																																				
	A	B	C																																						
Richesse spécifique (nb. d'espèces) S	42	52	33	42,3	S est situé au-dessus de la médiane, selon la grille BADGE Sable <table> <tr> <th></th><th>Sable vaseux</th><th>Sables</th><th>Mixte grossier</th><th>Vase</th><th>Vase sableuse</th></tr> <tr> <td>Minimum</td><td>10</td><td>9</td><td>12</td><td>7</td><td>8</td></tr> <tr> <td>Q1</td><td>40</td><td>26</td><td>46</td><td>24</td><td>35</td></tr> <tr> <td>Médiane</td><td>57</td><td>41</td><td>62</td><td>35</td><td>48</td></tr> <tr> <td>Q3</td><td>71</td><td>48</td><td>87</td><td>48</td><td>63</td></tr> <tr> <td>Maximum</td><td>135</td><td>70</td><td>141</td><td>129</td><td>121</td></tr> </table>		Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse	Minimum	10	9	12	7	8	Q1	40	26	46	24	35	Médiane	57	41	62	35	48	Q3	71	48	87	48	63	Maximum	135	70	141	129	121
	Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse																																				
Minimum	10	9	12	7	8																																				
Q1	40	26	46	24	35																																				
Médiane	57	41	62	35	48																																				
Q3	71	48	87	48	63																																				
Maximum	135	70	141	129	121																																				
Densité (nb. ind./m ²)	2265	3352	2133	2583	Située entre la valeur Q3 et la valeur maximale de la grille BADGE Sable <table> <tr> <th></th><th>Sable vaseux</th><th>Sables</th><th>Mixte grossier</th><th>Vase</th><th>Vase sableuse</th></tr> <tr> <td>Minimum</td><td>80</td><td>37</td><td>50</td><td>27</td><td>23</td></tr> <tr> <td>Q1</td><td>538</td><td>314</td><td>563</td><td>189</td><td>457</td></tr> <tr> <td>Médiane</td><td>1172</td><td>630</td><td>990</td><td>398</td><td>973</td></tr> <tr> <td>Q3</td><td>2148</td><td>938</td><td>1798</td><td>1168</td><td>2443</td></tr> <tr> <td>Maximum</td><td>203063</td><td>3923</td><td>5883</td><td>2957</td><td>11620</td></tr> </table>		Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse	Minimum	80	37	50	27	23	Q1	538	314	563	189	457	Médiane	1172	630	990	398	973	Q3	2148	938	1798	1168	2443	Maximum	203063	3923	5883	2957	11620
	Sable vaseux	Sables	Mixte grossier	Vase	Vase sableuse																																				
Minimum	80	37	50	27	23																																				
Q1	538	314	563	189	457																																				
Médiane	1172	630	990	398	973																																				
Q3	2148	938	1798	1168	2443																																				
Maximum	203063	3923	5883	2957	11620																																				
Biomasse (g/m ²)	0,25	0,49	0,40	0,38																																					
Indice de Shannon (bits)	2,6	1,9	2,4	2,3																																					
Indice trophique (%)	95,0	95,4	96,9	95,8																																					
M-AMBI [0-1]	0,54	0,52	0,51	0,52																																					

Les sédiments sont classés en Sables Fins Bien Calibrés (SFBC) et aucune espèce indicatrice ne témoigne d'un déséquilibre écologique.

A partir de ces données, on peut renseigner les indicateurs sur le tableau suivant :

Indicateur	Etat initial (données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Le suivi pluriannuel ne montre pas d'évolution notable dans le temps de la nature et la structure des sédiments.	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Forte régression	Régression	Stable	Progression	Forte progression	5	4

Indicateur	Etat initial (données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	]2-4]	]4-6]	]6-8]	]8-10]		
Signes visuels de dégradation de l'habitat	Absence de traces de perturbation anthropique physique même si on sait que de nombreux bateaux s'ancrent régulièrement dans la baie.	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Très forte	Forte	Moyenne	Faible	Absence	7	4
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Les mesures de contaminant indiquent un sédiment sans pollution en éléments métalliques, en hydrocarbures ou en PCB. Seule une légère contamination en Arsenic est observée (concentrations atteignant 20 mg/kg).		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	7	4
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	Pauvre en matière et en carbone organiques, ainsi qu'en éléments nutritifs (composés azotés et phosphorés).		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	10	4
Score Fonction Refuge								7.25	4
Indice de richesse spécifique (S)	S = 42,3 proche de la médiane BADG	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au-dessus de Q3	5	4

Indicateur	Etat initial (données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Indice de Shannon (H') pour la macrofaune benthique	H' = 2,3	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	H' < 1	1 < H' < 2	2 < H' < 3	3 < H' < 4	H' > 4	5	4
Indice trophique	95,8 %		IT < 30	30 < IT < 50	50 < IT < 60	60 < IT < 80	IT > 80	10	4
Densité	2133 ind./m²		Largement en dessous de Q1	Proche de Q1	Proche de la médiane BADG	Proche de Q3	Largement au-dessus de Q3	10	4
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes	On n'observe pas d'espèces avec des très fortes abondances (prolifération) ni la présence d'espèces non indigènes.		Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.			Non renseigné	
Score fonction Habitat								7.5	4
Présence de frayères et/ou nurseries	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie		Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	3	2
Zone source et/ou corridor de migration	Faible probabilité		Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	3	2
Score fonction Cycle de vie et connectivités								3	2
Valeur d'état initial du substrat meuble sur la zone d'emprise et la zone tampon								5.9	3,33

Résumé

Valeurs d'état initial

	Herbier	Substrat meuble
Zone d'emprise	8.4	5.9
Zone tampon	8.6	5.9

7.1.4. Evaluation des valeurs d'état final des différents habitats sur les différentes zones d'emprises

L'état final est imaginé sur la base de l'analyse des impacts engendrés par le projet. Les valeurs des indicateurs ne peuvent pas être issues de mesures de terrain mais uniquement de dires d'expert sur la base de retours d'expérience et de connaissances scientifiques.

Illustration

Sur la zone d'emprise, le projet conduit à la destruction définitive des habitats existants. La valeur finale est donc nulle, sans qu'il soit nécessaire de passer par la grille d'indicateurs.

Pour la zone tampon, l'état final est imaginé à une échéance de 20 ans, lorsque émissaire et station d'épuration fonctionneront avec leur capacité maximale. Cette échéance est cohérente avec le délai de stabilisation des herbiers marins (15 ans environ) après une perturbation.

Les retours d'expérience montrent une régression des herbiers d'environ 50% dans ce type de contexte. Pour le substrat meuble, nous faisons l'hypothèse d'une dégradation globale à même hauteur : les valeurs des indicateurs sont diminuées d'environ 50%

Valeur d'état final de l'herbier sur la zone tampon

Indicateur	Etat final (Hypothèses de données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Taux de recouvrement	45%		Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)	4	2
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Limite franche avec un recouvrement < 25%.		Régressive Présence de mattes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	5	2

Indicateur	Etat final (Hypothèses de données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Déchaussement	4,54		Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)	5.5	2
Signes de visuels de dégradation des habitats	Absence de trace de mouillage		Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation	9	2
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	X > N3		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	1	2
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	3,2		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	5.5	2
Score Fonction Refuge								5	
Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	Non calculée, valeur estimée par hypothèse		Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante	2	2
Indice de vitalité (densité des faisceaux)	513		Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490	9	
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes	Présence possible d'espèces exotiques envahissantes impactant la biodiversité		Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.	Sans objet	Sans objet	3	
Score Fonction Habitat biogène								4.7	
Présence de frayères et/ou nurseries	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie		Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée	Faible probabilité de présence d'une zone de	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère	Forte probabilité de présence d'une zone de	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et	5	

Evaluer les pertes et les gains écologiques en milieu marin d'Occitanie : guide méthodologique – Octobre 2025

Indicateur	Etat final (Hypothèses de données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
			et importante pour le secteur	frayère et/ou d'une nurserie	et/ou d'une nurserie	frayère et/ou d'une nurserie	importante pour le secteur.		
Zone source et/ou corridor de migration	Probabilité moyenne		Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	5	
Score fonction Cycle de vie et connectivités								5	
Valeur d'état final de l'herbier sur la zone tampon								4.9	

Résumé

Valeurs d'état final

	Herbier	Substrat meuble
Zone d'emprise	0	0
Zone tampon	4.9	2.95

7.1.5. Calcul du coefficient Enjeu patrimonial

Le coefficient d'Enjeu Patrimonial est à calculer pour une espèce ou un groupe d'espèces, selon le contexte, pressentis comme présentant les enjeux les plus forts. En cas de doute, le coefficient peut être calculé espèce par espèce, et dans ce cas, la valeur retenue sera la valeur la plus élevée.

Illustration

La zone d'étude étant occupée par deux habitats, le coefficient est à calculer pour les deux habitats : herbier et substrat meuble.

Pour l'habitat Herbier, le coefficient est calculé pour la Posidonie.

Critère	1	2	3	4	5	Choix
Menace et protection de l'espèce	Espèce non menacée (LC)	Données insuffisantes (DD) ou non évaluée (NE)	Espèces quasi menacée (NT)	Espèces menacées (VU)	Espèces menacées (CR, EN) Espèce protégée	5
Endémismes/aires de répartition	0	National- Plurinational	Régional	Local	Uniquement sur la zone d'étude	2
Résilience	Résilience très élevée (Robuste) : forte résistance aux perturbations et récupération rapide	Résilience Elevée : bonne capacité de récupération en cas de perturbation, adaptation aux changements environnementaux	Résilience Modérée : Capacité de récupération partielle, mais sous certaines conditions favorables	Résilience Faible : Récupération très lente et incomplète, forte dépendance aux conditions environnementales stables	Résilience très faible : Forte sensibilité aux perturbations et récupération quasi impossible	4
Importance du rôle écologique (espèces ingénieures, parapluie, ...)	Rôle mineur (faible importance écologique) : présence sans influence significative sur l'écosystème	Rôle modéré (contribution locale mais non essentielle) : impact limité, mais participation aux interactions écologiques. La disparition aurait un effet localisé, mais compensable.	Rôle important (équilibre et dynamique écosystémique) : influence notable sur la biodiversité et les flux de matière et d'énergie. La disparition aurait des conséquences sur plusieurs espèces	Rôle clé (espèce ou habitat structurant l'écosystème) : essentiel au fonctionnement global de l'écosystème	Rôle critique (espèces clés de voûte ou écosystèmes pivot) : Son absence entraînerait un effondrement écologique	5

Coefficient d'Enjeu Patrimonial pour l'herbier = moyenne (5 ; 2 ; 4 ; 5) = 4

Pour le substrat meuble, le coefficient est calculé pour l'ensemble des espèces prélevées à la benne (endogées) et ne comportant aucune espèce protégée.

Critère	1	2	3	4	5	Choix
Menace et protection de l'espèce	Espèce non menacée (LC)	Données insuffisantes (DD) ou non évaluée (NE)	Espèces quasi menacée (NT)	Espèces menacées (VU)	Espèces menacées (CR, EN) Espèce protégée	1
Endémismes/aires de répartition	0	National- Plurinational	Régional	Local	Uniquement sur la zone d'étude	1
Résilience	Résilience très élevée (Robuste) : forte résistance aux perturbations et récupération rapide	Résilience Elevée : bonne capacité de récupération en cas de perturbation, adaptation aux changements environnementaux	Résilience Modérée : Capacité de récupération partielle, mais sous certaines conditions favorables	Résilience Faible : Récupération très lente et incomplète, forte dépendance aux conditions environnementales stables	Résilience très faible : Forte sensibilité aux perturbations et récupération quasi impossible	1
Importance du rôle écologique (espèces ingénieures, parapluie, ...)	Rôle mineur (faible importance écologique) : présence sans influence significative sur l'écosystème	Rôle modéré (contribution locale mais non essentielle) : impact limité, mais participation aux interactions écologiques. La disparition aurait un effet localisé, mais compensable.	Rôle important (équilibre et dynamique écosystémique) : influence notable sur la biodiversité et les flux de matière et d'énergie. La disparition aurait des conséquences sur plusieurs espèces	Rôle clé (espèce ou habitat structurant l'écosystème) : essentiel au fonctionnement global de l'écosystème	Rôle critique (espèces clés de voûte ou écosystèmes pivot) : Son absence entraînerait un effondrement écologique	1

Coefficient d'Enjeu Patrimonial pour le substrat meuble = moyenne (1 ; 1; 1 ; 1) = 1

7.1.6. Evaluation des pertes totales

Les pertes totales correspondent à la somme des pertes sur chaque habitat, sur la zone tampon et sur la zone d'emprise.

Illustration

Paramètre	Zone d'emprise	Zone d'emprise	Zone tampon	Zone tampon
	Herbier	Substrat meuble	Herbier	Substrat meuble
Surface (en m²)	600	300	1500	2800
Coefficient Enjeu Patrimonial	4	1	4	1
Etat initial	8.4	5.5	8.6	5.9
Etat final	0	0	4.9	2.95
Pertes	600 x 4 x (8.4-0) 20 160 unités d'évaluation	300 x 1 x (5.5-0) 1 650 unités d'évaluation	1500 x 4 x (8.6-4.9) 22 200 unités d'évaluation	2800 x 1 x (5.9-2.95) 8 260 unités d'évaluation

Les pertes totales par type de milieu sont les suivantes :

Pertes totales pour l'herbier	Pertes totales pour le substrat meuble
42 360 unités d'évaluation	9 910 unités d'évaluation

Elles seront à comparer aux gains engendrés par les mesures compensatoires. A ce stade de l'évaluation, les valeurs calculées en elles-mêmes n'apportent pas d'indication.

7.2. Evaluation des gains

Les mesures compensatoires sont conçues et définies indépendamment de la méthode Pertes / Gains. L'analyse des habitats, des espèces et des fonctions impactées doit conduire à identifier le type de milieu à restaurer pour satisfaire les exigences d'équivalence écologique imposées par la réglementation.

7.2.1. Données d'entrée et définition des zones de compensation

Comme pour les pertes, les données d'entrées nécessaires à l'évaluation des gains sont relatives à la localisation et la description du projet compensatoire :

- localisation de la zone de compensation
- cartographie des habitats naturels de la zone, données décrivant l'état initial
- nature des mesures de restauration et objectifs à atteindre : comment décrire l'état écologique de la zone compensatoire lorsque les objectifs seront atteints ?
- combien de temps est nécessaire à l'atteinte de ces objectifs ?

Selon le stade d'avancement du projet auquel sont évalués les gains, ces données d'entrée peuvent être plus ou moins complètes, et les questions auxquelles on cherche à répondre en évaluant les gains peuvent être de plusieurs nature. Ainsi, les différents cas qui peuvent se présenter sont les suivants :

- une zone compensatoire a été identifiée, et on souhaite savoir quelle superficie restaurer et protéger pour que les gains équilibrent les pertes
- une zone compensatoire délimitée a été identifiée, et on souhaite savoir si les gains générés sont suffisants pour équilibrer les pertes
- aucune zone compensatoire n'est identifiée. On fait des hypothèses de mesures de restauration possibles, et on souhaite connaître le profil et la superficie de la zone compensatoire à rechercher.

Le périmètre de la zone de compensation correspond à la zone faisant l'objet d'une mesure de gestion et de protection par arrêté préfectoral par exemple, ou de gestion par une réserve, et / ou la zone bénéficiant globalement du bénéfice fonctionnel des travaux de restauration.

Illustration

Une zone potentielle de compensation pour les herbiers a été identifiée dans une baie proche de la zone impactée. Les herbiers de posidonies dans cette baie présentent des dégradations fortes dues à une pression de mouillage importante (ancres, chaînes, remous). La mesure compensatoire proposée est la mise en place d'une zone interdite aux mouillages afin de favoriser une restauration naturelle passive de l'herbier. Un arrêté préfectoral interdisant le mouillage sera mis en place. Cet arrêté devra être à durée indéterminée afin de permettre une interdiction durable (à minima le temps d'existence de l'émissaire en mer). Il devra rester en vigueur jusqu'à ce qu'il soit modifié ou abrogé expressément par une nouvelle décision. Il devra être assorti de clauses de suivi afin de prouver sa pertinence à long terme.

Les délimitations de la zone d'interdiction de mouillage seront calculées selon la surface à compenser établie au terme de cette étude.

Pour les substrats meubles, la mesure compensatoire envisagée consiste en une opération de renaturation par la suppression d'aménagements artificiels et recolonisation passive des substrats meubles jusqu'à atteinte d'un état écologique équivalent à celui impacté.

7.2.2. Evaluation des valeurs d'état initial des différents habitats sur les différentes zones compensatoires

L'état initial des zones compensatoires est évalué sur la base de relevés de terrain.

Illustration

Valeur d'état initial de la zone compensatoire herbier

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Taux de recouvrement	45%	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)	5	4
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Clairsemé		Régressive Présence de mattes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	3	4
Déchaussement	Mesure de 3.57 cm		Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)	5	4
Signes de visuels de dégradation des habitats	Traces de mouillage		Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation	3	4
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Valeur > N3		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	1	4
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	IEO compris entre 4 et 6		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	3	4
Score Fonction Refuge								3.3	4
Diversité trophique et fonctionnelle des poissons	-Poisson prédateurs d'invertébrés, omnivores, céphalopodes : 0,5 kg M.H.100 m²	Données de terrain récentes et fiables utilisant	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante	3	4

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
	- Poisson piscivores : 0.2kg M. H. 100 m ² - Poissons planctonophages (zooplanctonophages) : 0.7 kg. M.H. 100m ² - Poissons planctonophages (omnivores) : 0,3 kg. M.H. 100m ²	le protocole recommandé							
Indice de vitalité (densité des faisceaux)	Densité des faisceaux = 338		Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490	6	4
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes		Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.			Non renseigné	
Score fonction Habitat								4.5	4
Présence de frayères et/ou nurseries	Présence de plusieurs zones de nurseries (petits fonds hétérogènes) dans la baie	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	4	2
Zone source et/ou corridor de migration	Forte probabilité	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	4	2
Score fonction Cycle de vie et connectivités								4	2
Valeur d'état initial de l'herbier sur la zone compensatoire								3.9	3,3

Tableau de calcul de l'indicateur "Diversité trophique et fonctionnelle des poissons" :

	Masse de biomasse humide en kg / 100 m²					Mesure	Statut EBQI correspondant	Poids pour le score final EBQI
prédateurs d'invertébrés, omnivores, et céphalopodes	>1,5	1,1 à 1,5	0,6 à 1	0,3 à 0,5	<0,3	0.5	1	5
piscivores	>1	0,6 à 1	0,3 à 0,5	0,1 à 0,2	<0,1	0.2	1	5
zooplanctonophages	>3	1,6 à 3	0,8 à 1,5	0,3 à 0,7	<0,3	0.7	1	3
planctonophages omnivores	<0,3	0,3 à 0,7	0,8 à 1,5	1,6 à 3	>3	0.3	3	
Statut EBQI correspondant								
	4	3	2	1	0			
Score EBQI final							1.23	
Score à reporter Méthode Pertes-Gains								
Intervalle	[8-10]	[6-8[	[4-6[	[2-4[	[0-2[
Valeur médiane	9	7	5	3	1		3	

Valeur de l'état initial de la zone compensatoire substrat meuble

La valeur initiale du site de compensation est égale à 0 étant donné que l'intégralité du site est recouverte par des aménagements artificiels.

7.2.3. Evaluation des valeurs d'état final des différents habitats sur les différentes zones compensatoires

Illustration

Valeur d'état final de la zone compensatoire herbier

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Taux de recouvrement	98% (taux annuel de progression de 4% pendant 20 ans)	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Recouvrement très faible (<20%)	Recouvrement faible (20-40%)	Recouvrement moyen (41-60%)	Recouvrement fort (61-80%)	Recouvrement très fort (>80%)	10	2

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Evolution spatiale de la superficie de l'habitat	Progressive. Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Régressive Présence de mattes mortes en avant de la limite	Clairsemée	Franche - Faible recouvrement Limite franche avec un recouvrement < 25%	Franche - fort recouvrement Limite franche avec un recouvrement > 25%	Progressive Présence de rhizomes plagiotropes en avant de la limite	9	2
Déchaussement	0		Déchaussement important (>10 cm)	Déchaussement moyen (<10 cm)	Déchaussement moyen (< 5 cm)	Déchaussement faible (< 2 cm)	Absence de déchaussement (0)	10	2
Signes de visuels de dégradation des habitats	Aucun		Perturbation généralisée sur l'ensemble du site	Nombreuses traces de perturbation	Quelques traces de perturbation	Rare traces de perturbation	Absence de perturbation	9	2
Taux de contaminants chimiques dans les sédiments	Valeur > N3		X > N3	N2 ≤ X ≤ N3	N1 ≤ X ≤ N2	Bruit de fond ≤ X ≤ N1	Valeur < Bruit de fond	1	2
Niveau d'eutrophisation et d'envasement	IEO inférieure à 2		Très fort (x > 6)	Fort (4<X≤6)	Moyen (2<X≤4)	Faible (0< X≤ 2)	Nulle (0)	7	
Score Fonction Refuge								7.7	2
Diversité trophique et fonctionnelle des poissons		Données de terrain récentes et fiables utilisant le protocole recommandé	Diversité trophique très faible	Diversité trophique faible	Diversité trophique moyenne	Diversité trophique bonne	Diversité trophique très importante	7	2
Indice de vitalité (densité des faisceaux)	Densité des faisceaux = 480		Faisceaux isolés < 130	Semi-herbier entre 130 à 249	Herbier très clairsemé entre 250 à 369	Herbier clairsemé entre 370 à 489	Herbier dense > ou = 490	10	2

Indicateur	Etat initial (Données brutes)	Origine des données	Echelle de notation					Note	IC
			[0-2]	[2-4]	[4-6]	[6-8]	[8-10]		
Présence et abondance d'espèces exotiques ou non indigènes envahissantes		Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Présence en forte abondance avec un recouvrement au sol important potentiellement impactant	Présence en abondance avec un recouvrement au sol moyen, mais potentiellement impactant	Présence avérée mais en faible abondance donc pas impactante pour la biodiversité.			/	
Score fonction Habitat								8.5	2
Présence de frayères et/ou nurseries	Présence de plusieurs zones de nurseries (petits fonds hétérogènes) dans la baie	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence d'une zone de frayère ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur	Faible probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Probabilité moyenne de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Forte probabilité de présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie	Présence d'une zone de frayère et/ou d'une nurserie avérée et importante pour le secteur.	8	2
Zone source et/ou corridor de migration	Forte probabilité	Pas de données de terrain mais un "dire d'expert" récent	Absence avérée	Faible probabilité	Probabilité moyenne	Forte probabilité	Présence avérée et importante	8	2
Score fonction Cycle de vie et connectivités								8	2
Valeur d'état final de l'herbier sur la zone compensatoire								8.1	2

Valeur d'état final de la zone compensatoire substrat meuble

On se place dans l'hypothèse où la mesure compensatoire permet de restaurer un substrat meuble de valeur équivalente à celle se situant sur la zone impactée. Il n'est pas nécessaire de faire l'exercice d'évaluation de chaque indicateur. Nous reprenons directement la valeur initiale de la zone de substrat meuble située dans la zone d'emprise, soit : 5.5

7.2.4. Calcul des coefficients R et T

Illustration

Pour l'herbier, on se place à une échéance de 20 ans. Le coefficient T correspondant est de 1.71. Pour la zone compensatoire de substrat meuble, le temps de recolonisation est de 3 ans. Le coefficient T est de 1.07

Le coefficient Risque est renseigné à l'aide des questions ci-dessous. Il peut différer selon les deux zones compensatoires.

Valeur	1	2	3	Valeur pour la zone herbier	Valeur pour la zone Substrat meuble
Est-ce que la taille ou l'échelle de la zone de compensation est suffisante pour fournir le ou les habitats essentiels aux espèces locales ?	La zone de compensation est vaste ou fait partie d'une aire protégée suffisamment grande pour résister à la fragmentation ou aux dérangements en dehors de la zone.	La zone de compensation n'est pas assez vaste ou ne fait pas partie d'une aire protégée suffisamment grande ; mais bénéficie d'une faune qui ne sera pas affectée par de faibles niveaux de fragmentation ou de perturbation en dehors de la zone.	La zone de compensation dépend des ressources situées en dehors du site pour sa restauration. La fragmentation de l'habitat en dehors de la zone réduirait probablement les bénéfices apportés par la zone à la faune.	2	2
Est-ce que les sols, substrats ou sédiments de la zone de compensation sont appropriés pour les communautés ciblées par la compensation ?	Les sédiments ou substrats de la zone d'étude sont similaires à ceux qui sont associés aux communautés indigènes ciblées et ne seront pas altérés.	Les sédiments ou substrats de la zone d'étude sont différents de ceux qui sont associés aux communautés ciblées mais sont connus pour pouvoir supporter les communautés ciblées .	Des techniques expérimentales ou non prouvées sont proposées. La nature des fonds marins de la zone d'étude est différente de celle associée aux communautés indigènes ciblées.	1	1 Les substrats libérés par des suppressions d'aménagement artificiels ou de macrodéchets étaient à l'origine de même nature que les sédiments environnants et évolueront très probablement rapidement vers un substrat similaire aux sédiments environnants

Valeur	1	2	3	Valeur pour la zone herbier	Valeur pour la zone Substrat meuble
Est-ce que la conception des mesures compensatoires utilise des méthodes éprouvées et bénéficiant de retour d'expérience documentés ?	Les méthodes ont eu des succès démontrés et documentés sur d'autres sites.	Les actions proposées nécessitent des adaptations mais utilisent des méthodes éprouvées.	Les interventions proposées reposent sur des conditions expérimentales non maîtrisées, ou les interventions proposées dépendent de méthodes qui n'ont pas fait leurs preuves.	1 La recolonisation naturelle passive est la méthode la plus sûre en termes de succès	1 La recolonisation naturelle passive est la méthode la plus sûre en termes de succès
Quel est le potentiel d'infestation par des espèces exotiques envahissantes ?	Les prospections de terrain ne relèvent pas d'espèces invasives ou exotiques dans la zone compensatoire ou dans les eaux avoisinantes. Les zones avoisinantes font l'objet d'un plan de gestion durable qui prévoit le traitement d'éventuelles espèces invasives ou exotiques.	Les prospections de terrain ne relèvent pas d'espèces invasives ou exotiques dans la zone compensatoire mais persiste un risque en ce qui concerne les zones avoisinantes. Les zones avoisinantes font l'objet d'un plan de gestion durable qui prévoit le traitement d'éventuelles espèces invasives ou exotiques.	Les prospections de terrain relèvent des espèces invasives ou exotiques dans la zone compensatoire, ET/OU dans les zones du voisinage et qui ne font pas l'objet d'un plan de gestion ou qui ne sont pas contrôlées par les autorités ou le gestionnaire.	3	1 La suppression d'éléments artificiels, si elle est faite correctement, ne devrait pas favoriser la dispersion d'espèces exotiques davantage que laisser en place les structures si elles sont colonisées par des ENI
Quel est le niveau de protection assuré par l'instrument de préservation de la zone de compensation ?	La zone est sous gestion d'un tiers (OFB, ONG, etc.) pour une durée adaptée au projet de restauration écologique ET fait l'objet d'un statut de protection forte (Réserve, APPB, ...)	La zone est sous gestion d'un tiers (OFB, ONG, etc.) pour une durée adaptée au projet de restauration écologique MAIS ne fait pas l'objet d'un statut de protection forte (Réserve, APPB, ...)	La zone fait l'objet d'une AOT mais de courte durée ou sans gestionnaire clairement défini / mandaté.	2	3 Zone située à proximité de portuaire dont il est difficile de limiter l'activité

Valeur	1	2	3	Valeur pour la zone herbier	Valeur pour la zone Substrat meuble
Est-ce que les mesures du plan de gestion prévu à long terme sont suffisantes pour aboutir et pour maintenir perpétuellement les processus écologiques dans la zone de compensation ?	Des techniques éprouvées sont proposées avec des succès documentés sur d'autres sites, et toutes les actions nécessaires au maintien du type d'habitat choisi sont prévues dans le plan de gestion.	Les espèces ciblées ou les conditions spécifiques du site ne sont pas couvertes par des techniques conventionnelles, ou le plan de gestion à long terme en couvre certaines mais pas toutes les actions nécessaires pour pleinement faciliter le développement en continu des espèces ciblées.	Des actions de compensation de pointe, avec des exigences en termes de gestion qui ne sont pas définies, sont proposées. Ou le plan de gestion à long terme est insuffisant pour assurer la protection permanente des espèces exotiques ou invasives ou nuisibles, ou les actions proposées ne sont pas adéquates pour subvenir au développement continu des espèces naturelles.	1	2

Valeur	1	2	3	Valeur pour la zone herbier	Valeur pour la zone Substrat meuble
Est-ce que le bassin versant de la zone compensatoire est suffisamment protégé ou contrôlé pour ne pas exercer des pressions sur la zone compensatoire ?	Le bassin versant est inclus dans une aire protégée de type Réserve, APPB, cœur de Parc et fait l'objet de mesures de suivis et de contrôle des pressions potentielles	Le bassin versant est inclus partiellement ou totalement dans une aire protégée type Natura 2000, ou Parc et il existe des pressions qui ne sont pas complètement contrôlées ou suivis mais les sources d'impacts secondaires potentiels ou d'activités sous dérogation sont peu probables, basées sur les documents de planification d'urbanisme et l'historique des usages dominants.	Le bassin versant ne fait l'objet d'aucune protection particulière et de plus, de potentielles sources d'impacts secondaires ou d'activités sous dérogation sur cette zone ont été identifiées.	3	3
Les usages existants ou potentiels à l'avenir sur les zones dans un rayon de 1 km de la zone compensatoire présentent-ils un risque pour les espèces de faune et flore présentes sur l'aire d'étude ?	Tous les milieux et les eaux situés dans un rayon d'1km seront inclus dans une zone fortement protégée (APPB, Réserve), ou le sont déjà.	Les milieux et les eaux environnants ne sont pas complètement contrôlés ou protégés mais les sources d'impacts secondaires potentiels ou d'activités sous dérogation sont peu probables, en raison de leur classement dans une zone protégée de type Natura 2000, ou parc marin	Les milieux et les eaux ne sont pas complètement contrôlés ou protégés et de plus, de potentielles sources d'impacts secondaires ou d'activités sous dérogation sur cette zone ont été identifiées.	3	3
Coefficient Risque				2	2

7.2.5. Evaluation des gains et conclusion

La dernière étape consiste à poser la formule d'évaluation des gains et de poser l'équation Pertes = Gains. A partir de là, on peut conclure, soit en estimant la surface de compensation requise par exemple, soit sur la suffisance de la solution compensatoire par rapport aux pertes.

Illustration

Paramètre	Herbier	Substrat meuble
Surface (en m²)	A calculer	A calculer
Coefficient Risque	2	2
Coefficient Temps	1.71	1.07
Etat initial	3.9	0
Etat final	8.1	5.9
Gains	$\text{Surface} \times (8.1 - 3.9) / (2 \times 1.71)$ = Surface x 1.23	$\text{Surface} \times (5.9 - 0) / (2 \times 1.07)$ = surface x 2.76
Rappel des pertes	42 360 unités	9 910 unités
Surface minimale requise	= 42 260 / 1.23 = 34 439 m² = 3.4 ha	= 9 910 / 2.76 = 3 690 m²
Rappel des surfaces impactées	2 100 m²	3 100 m²
Ratio compensatoire calculé	= 34 439 / 2 100 = 16.4	= 3 690 / 3 100 = 1.2

Dans cet exemple, le ratio compensatoire pour la compensation des impacts sur l'habitat d'herbier est relativement élevé : c'est justifié par le statut patrimonial et protégé de ce type d'habitat, d'autant plus que dans le cas présenté, l'herbier est en très bon état de conservation.

Le ratio compensatoire pour le substrat meuble est proche de 1, en l'absence d'enjeu patrimonial avéré, et compte tenu que l'essentiel des impacts consistent en de l'altération par un panache turbide et non pas une destruction complète et définitive d'habitat.

8. Bibliographie

Alzieu, C., 2003. Bioévaluation de la qualité environnementale des sédiments portuaires et des zones d'immersion. Editions Quae.

Andreadakis, A., Bigard, C., Delille, N., Sarrazin, F., Schwab, T., 2021. Approche standardisée du dimensionnement de la compensation écologique. Ministère de la transition écologique, Paris.

Andromède, 2013. RECOR: Réseau de suivi des assemblages coralligènes, Protocole de suivi

Arrêté du 27 mars 2024 fixant les prescriptions générales applicables aux dragages ou aux rejets y afférent relevant de la rubrique 4.1.3.0 de la nomenclature annexée à l'article R. 214-1 du code de l'environnement en application des articles L. 214-1 à L. 214-3

Bascom W., Mearns A. J. et Word J. Q. (1978). Establishing boundaries between, normal changed and degraded areas

Dale, V.H., Beyeler, S.C., 2001. Challenges in the development and use of ecological indicators. Ecol. Indic.1, 3-10

Boudouresque C.F., Gliraud G., Perret-Boudouresque E. M., 1980. Bibliography on vegetation and ecosystems of *Posidonia oceanica*, Part II. Excerpta Botanica., 20(2B): 125-135.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Bernard G., Bonhomme P., Patrone J., Kruczek R., Cottalorda J.M., Bretrand M.C., Foret P., Ragazzi M., Le Direac'h L., 2000. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique et Seconde partie : résultats du suivi 1999. GIS Posidonie publ., Fr.: 1-76 et.1-142.

Créocéan, LECOB, Parc naturel marin du Golfe du Lion, OFB, 2023, Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion

Creocean, 2009. Contribution à la caractérisation écologique des eaux côtières de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, approche paysagère. Agence de l'Eau RMC – Conseil régional PACA – Conseil général 13 – DREAL PACA, 63 p. + annexes

CGDD, 2013. Lignes directrices nationales sur la séquence éviter, réduire, et compenser les impacts sur les milieux naturels, "Références" du Service de l'Economie, de l'Evaluation et de l'Intégration du Développement Durable. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, Paris.

Créocéan, LECOB, Parc naturel marin du Golfe du Lion, OFB, 2023, Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion

Devictor, V., 2018. La compensation écologique : fondements épistémiques et reconfigurations technoscientifiques, Biodiversity offsetting: epistemic background and technoscientific reframing. *Natures Sciences Sociétés* 26, 136–149. <https://doi.org/10.1051/nss/2018032>

Donohue, I., Hillebrand, H., Montoya, J.M., Petchey, O.L., Pimm, S.L., Fowler, M.S., Healy, K., Jackson, A.L., Lurgi, M., McClean, D., O'Connor, N.E., O'Gorman, E.J., Yang, Q., 2016. Navigating the complexity of ecological stability. *Ecol Lett* 19, 1172–1185. <https://doi.org/10.1111/ele.12648>

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.

Moilanen, Atte, Astrid J. A. Van Teeffelen, Yakov Ben-Haim, et Simon Ferrier. « How Much Compensation Is Enough? A Framework for Incorporating Uncertainty and Time Discounting When Calculating Offset Ratios for Impacted Habitat ». *Restoration Ecology* 17, n° 4 (2009): 470–78. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2008.00382.x>.

OSPAR, 2009. Background Document on CEMP Assessment Criteria for QSR 2010

Pioch, S., Barnaud, G., Coïc, B., 2015. Méthodes de dimensionnement des mesures compensatoires pour les zones humides, in: Levrel, H., Frascaria-Lacoste, N., Hay, J., Martin, G., Pioch, S. (Eds.), *Restaurer La Nature Pour Atténuer Les Impacts Du Développement : Analyse Des Mesures Compensatoires Pour La Biodiversité*, Synthèses. Paris, pp. 220–223.

Ruitton S., Boudouresque C.F., Thibaut T., Rastorgeff P.A., Personnic S., Boissery P., Daniel B., 2017. Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins. MIO Publ., 161

Simpson E; H., 1949. Measurement of diversity, *Nature*, vol. 163, no 4148, p. 688.

Shannon C.E., 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27:379–423

Thibaut, T., Blanfuné, A., Boudouresque, C.F., Personnic, S., Ruitton, S., Ballesteros, E., Bellan-Santini, D., Bianchi, C.N., Bussotti, S., Cebrian, E., Cheminée, A., Culioli, J.M., Derrien-Courtél, S., Guidetti, P., Harmelin-Vivien, M., Hereu, B., Morri, C., Poggiale, J.C., Verlaque, M., 2017. An ecosystem-based approach to assess the status of Mediterranean algae-dominated shallow rocky reefs. *Mar. Pollut. Bull.* 117, 311–329. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.029>

Word JQ., 1978. The infaunal trophic index. *Annu Rep* 1978:13–39

Créocéan, LECOB, Parc naturel marin du Golfe du Lion, OFB, 2023, Base de Données sur la faune benthique de substrat meuble du Golfe du Lion

