

GUIDE TECHNIQUE

Evaluation des pilotes expérimentaux et des travaux de restauration écologique

CAS DES NURSERIES PORTUAIRES

DRIVER

Restauration écologique
des petits fonds côtiers de Méditerranée



UNIVERSITÉ
PERPIGNAN
VIA
DOMITIA



CFREM



ecocean
BARRAGE DE LA MER



INSTITUT PAUL RICARD
Océanographique

ICO
ISLAND COAST OCEAN
SOLUTIONS MARSILLE 2021

GUIDE TECHNIQUE

Evaluation des pilotes expérimentaux et des travaux de restauration écologique.

Cas des nurseries portuaires.

Rédacteurs : Anaïs GUDEFIN (Ecocean), Philippe LENFANT (Université de Perpignan-CEFREM/IEEM), Sébastien FONBONNE (Ecocean), Pierre BOISSERY (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse)

Contributeurs (par ordre alphabétique) : Lucas BERENGER (Biotope), Sylvain COUVRAY (Institut Océanographique Paul Ricard), Amélie FONTCUBERTA (Ecocean), Mathieu LAPINSKI (Seaboost), Gilles LECAILLON (Ecocean), Sébastien THORIN (Creocean)

Ce guide est issu d'un travail commencé en 2019 dans le cadre d'un atelier technique DRIVER, poursuivi par un second atelier technique réalisé en 2021 dans le cadre du programme ICO (Island Coast Ocean Solutions). Il s'agit d'une première version, amenée à être revue et complétée en fonction de l'avancement des connaissances scientifiques, du développement des technologies de suivi et de l'évolution des solutions de restauration et de la réglementation.

Ce document doit être cité de la façon suivante : Gudefin A., Lenfant P., Fonbonne S., Boissery P. 2022. Guide technique - Evaluation des pilotes expérimentaux et des travaux de restauration écologique, cas des nurseries portuaires. ICO Solutions / DRIVER / Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, 54p.

AVANT-PROPOS

Pourquoi un guide technique sur l'évaluation des pilotes et des travaux de restauration écologique ?

Face au développement de la filière du génie écologique, et de la restauration écologique en milieu marin, il apparaît aujourd'hui nécessaire d'apporter un cadre de réflexion commun et de transformer des démarches individuelles en une démarche normative et consensuelle.

Ce guide a donc pour but de fournir des éléments de cadrage pour l'évaluation des opérations de restauration écologique des petits fonds côtiers, à la fois pour des projets opérationnels (TRL 8&9) et pour des projets de recherche ou de recherche & développement (R&D) (TRL < 8) (cf. figure 2). Il se veut être un outil d'aide à la décision, pragmatique et à la portée de tous.

A noter que parmi les différents habitats marins identifiés dans les petits fonds côtiers (figure 1), ce guide ne concerne à ce stade que les substrats durs artificiels.

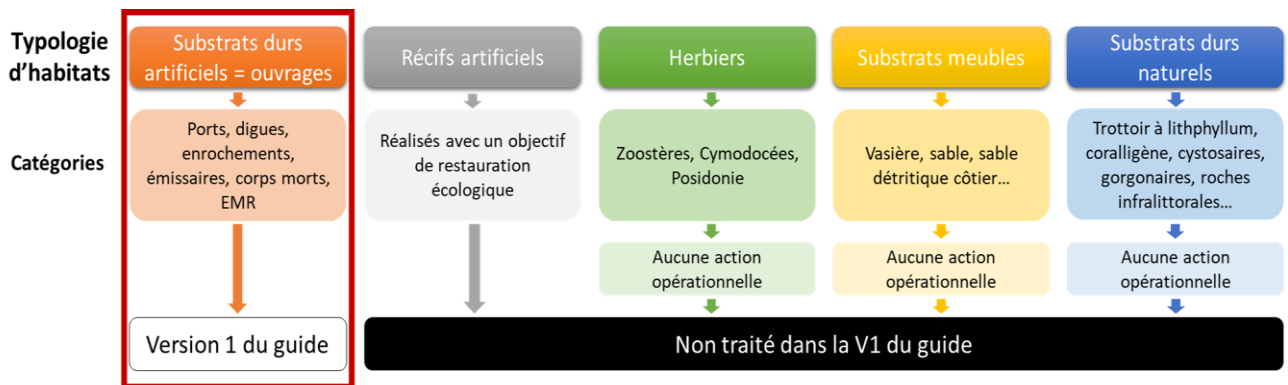


Figure 1 : Typologie d'habitats marins identifiés dans les petits fonds côtiers de Méditerranée

A qui s'adresse ce guide technique ?

Il s'adresse à tous les acteurs de la restauration écologique en milieu marin :

- Les maîtres d'ouvrage et/ou porteurs de projet y trouveront des informations leur permettant de faire un choix éclairé sur les suivis à mettre en œuvre ;
- Les sociétés porteuses de solutions pourront s'appuyer sur ces préconisations pour proposer leur suivi écologique ou mettre en place un protocole de validation scientifique de leur solution ;
- Les bureaux d'études et les laboratoires, qui préconisent les solutions et/ou réalisent des suivis.

Que présente ce guide ?

Cet ouvrage :

- Rappelle des **éléments de contexte** concernant la restauration écologique en milieu marin ;
- Préconise les **stratégies d'échantillonnage** en fonction des projets mis en œuvre (opérationnels ou R&D) ;
- Présente les **méthodes les plus adaptées** à chaque suivi.

Ce guide n'est pas seulement un outil d'aide à la décision. Il doit également inciter à la structuration d'une base de données collective sur les suivis mis en œuvre. La question du coût est également abordée. Il est évidemment important que les suivis proposés ne fassent pas exploser le coût d'une opération (et ne dépassent pas le coût des travaux), sans quoi, l'action de restauration pourrait être remise en cause.

GLOSSAIRE

Poisson démersal : se dit d'une espèce vivant près du fond ou sur le fond des mers. Synonyme : necto-benthique.

Poisson benthique : se dit d'une espèce vivant posée sur le fond, la plupart du temps, sur fond de substrat meuble (sable, vase, etc.) ou de substrat dur (roche, coralligène).

Poisson crypto-benthique : Qualifie une espèce qui vit cachée sur le fond marin au stade adulte. Il est possible de qualifier ainsi une espèce pour sa période « juvénile » (ex : mérrou brun).

Pélagique : Se réfère à l'ensemble des organismes aquatiques qui occupent la tranche d'eau supérieure, du fond à la surface.

Assemblage : groupe d'espèces différentes occupant un espace commun à un instant donné (Piffady, 2010¹).

Communauté : ensemble d'espèces partageant un écosystème (Fauth et al, 1996²). Ce terme est associé à des concepts écologiques théoriques s'attachant à décrire les interactions entre les espèces et leur impact sur la structure, notamment trophique, de la communauté (Piffady, 2010).

Nurserie : L'habitat nurserie présente un certain nombre de caractéristiques spécifiques à la morphologie et aux besoins des espèces (Beck et al, 2001³) : (1) une nutrition adaptée, (2) un habitat favorable à l'installation des post-larves et qui les protège des prédateurs et des pressions pendant toute leur période juvénile jusqu'à la taille refuge, (3) un environnement dans lequel les juvéniles grandissent plus vite et ont un meilleur taux de survie que dans tous les autres habitats, (4) une localisation qui permet un déplacement vers les habitats adultes.

Phase larvaire : Premier stade de vie des poissons. La larve n'est pas capable de se déplacer par elle-même, vit en pleine eau et se laisse porter au gré des courants.

Poissons côtiers : Poissons dont une partie au moins du cycle de vie est localisée dans les écosystèmes côtiers.

Post-larve (ou larve compétente) : Dernier stade larvaire. Stade à partir duquel le poisson va retourner vers le littoral.

Prédation intra-spécifique : Se dit de la prédation au sein d'une même espèce.

Recrutement : En écologie, intégration des poissons juvéniles dans les populations adultes. Différent de la notion halieutique : individus intégrant le stock halieutique, c'est à dire capturables.

Taille refuge : Se réfère à une taille supérieure à l'ouverture de bouche du prédateur d'un poisson situé directement au-dessus dans la chaîne alimentaire.

¹ Piffady J. (2010). Etude des réponses des assemblages de poissons aux variations de l'environnement par modélisation hiérarchique bayésienne: Application aux juvéniles de cyprinidés du Haut-Rhône (Doctoral dissertation, Doctorat Biostatistiques, AgroParisTech).

² Fauth et al. (1996). Simplifying the jargon of community ecology: a conceptual approach. *The American Naturalist*, 147(2), 282-286.

³ Beck et al. (2010). The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates: a better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience*, 51(8), 633-641.

SOMMAIRE

1. CONTEXTE.....	5
2. POURQUOI CADRER L'EVALUATION DE L'EFFICACITE DES OPERATIONS ? QUE FAUT-IL EVALUER ?	6
3. CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET DONNEES DE REFERENCE	7
3.1. ZOOM SUR LA POLITIQUE DE L'AGENCE DE L'EAU.....	8
3.3. REFERENCE AUX LIVRABLES DRIVER.....	9
3.4. RESEAU RESPIRE : DES DONNEES DE REFERENCE SUR LA COLONISATION LARVAIRE	10
3.6. ETUDE MEDHAB : INVENTAIRE DES NURSERIES NATURELLES.....	12
3.7. MEDAM : EVALUATION DE L'ARTIFICIALISATION DU LITTORAL	13
3.8. REGLES DE DIMENSIONNEMENT D'UN PROJET	13
4. VALIDATION DE L'EFFICACITE D'UN NOUVEAU PRODUIT/PROCEDE (TRL < 8)	16
a. Objectifs du suivi	17
b. Descripteurs principaux à suivre.....	17
c. Durée	18
d. Fréquence de suivis et périodes favorables.....	18
e. Espèces ciblées	19
f. Méthodes d'échantillonnage	19
g. Déploiement de la méthode	23
h. Diagnostic avant étude	23
i. Validation à grande échelle	24
j. Coûts moyens.....	24
5. EVALUATION DU NIVEAU D'EFFICACITE DES TRAVAUX DE RESTAURATION ECOLOGIQUE (TRL 8&9)	25
a. Objectifs du suivi	26
b. Cible et descripteurs principaux à suivre	26
c. Durée	27
d. Typologies portuaires et suivis associés	27
e. Typologie de suivis des juvéniles de poissons	28
f. Cas de juvéniles de poissons crypto-benthiques	28
g. Autres suivis pouvant être réalisés.....	28
h. Périodes de suivi.....	29
i. Résumé des typologies et types de suivis	30
j. Méthode d'évaluation	30
k. Déploiement de la méthode et échelle d'évaluation	34
l. Etude de zones non équipées au sein du port	35
m. Diagnostic avant aménagement.....	35
n. Coûts moyens.....	36
6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....	38
7. ANNEXES.....	40
7.1. STADES JUVENILES ET TAILLES ASSOCIEES.....	41
7.2. LISTE DES ESPECES OBSERVABLES EN FONCTION DES PERIODES DE SUIVIS	43
7.3. DESCRIPTIF DES DIFFERENTES METHODOLOGIES DE SUIVI	45

1. CONTEXTE

La restauration écologique des petits fonds côtiers est une politique récente qui vient compléter la politique de lutte contre la pollution et la politique de non dégradation des habitats côtiers. Il convient de bien souligner que la restauration écologique ne trouve tout son intérêt et son efficacité que dans sa complémentarité avec les deux autres politiques.

Ainsi et à titre d'exemple, restaurer une fonction nurserie dans un port n'a de sens que si ce port s'est déjà engagé dans une politique d'amélioration de la qualité de ses eaux.

Comme toute nouvelle politique, la restauration écologique s'est structurée autour de 4 axes :

- **La connaissance et la définition de méthodes et d'outils dédiés à la restauration écologique.** A ce titre, il convient de souligner l'importance et la pertinence de la démarche DRIVER. DRIVER est une démarche volontaire et collaborative qui associe les acteurs concernés par la restauration écologique des petits fonds côtiers, qu'ils soient opérateurs techniques, donneurs d'ordre, publics ou privés. DRIVER est un cadre d'information, de communication et de production de documents techniques de référence. C'est aussi un cadre où se discutent des orientations stratégiques et des priorités pour la restauration écologique des petits fonds côtiers méditerranéens ;
- **La volonté d'agir et de réaliser des actions de restauration écologique.** Il convient de souligner l'engagement volontaire des gestionnaires de ports dans la restauration écologique des fonctions nurseries. Les zones portuaires sont actuellement les sites où sont programmées le plus d'opérations de restauration écologique ;
- **La mobilisation de moyens financiers pour accompagner les opérations.** L'Etat au travers notamment de ses établissements publics comme l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse mais aussi les collectivités territoriales notamment d'échelon régional se mobilisent pour apporter des aides à la réalisation des opérations ;
- **Le cadre réglementaire** qui, en Méditerranée, prend la forme d'une stratégie de façade définie au titre du Plan d'Action pour le Milieu Marin, reprise au sein du Document Stratégique de Façade.

Ce contexte favorable à la réalisation de travaux a permis d'équiper plus de 40 ports en habitats artificiels, d'améliorer la connaissance au travers d'études approfondies (ex : thèses), d'engager de nombreux pilotes de restauration mais aussi le déploiement d'un dispositif de surveillance dédié aux juvéniles de poissons, le réseau RESPIRE. La dynamique de travail concernant les zones portuaires et l'efficacité pour le milieu naturel des actions de restauration permettent aujourd'hui d'envisager le lancement d'un plan de reconquête des nurseries à l'échelle des trois régions littorales de Méditerranée française. Ce plan devrait trouver toute sa plénitude dans les années à venir.

2. POURQUOI CADRER L'ÉVALUATION DE L'EFFICACITÉ DES OPÉRATIONS ? QUE FAUT-IL ÉVALUER ?

Compte tenu des nombreuses opérations de restauration écologique en particulier en zone côtière et du besoin de suivre et d'évaluer le bénéfice écologique qui est induit, et en l'absence de suivis écologiques harmonisés, il a été décidé d'identifier et de préciser le contenu type des suivis écologiques à engager lors de la réalisation d'une opération de restauration écologique.

Deux types d'opération de restauration écologique sont à distinguer (figure 2) :

- Les **pilotes expérimentaux**, qui sont des **projets de recherche ou de recherche et développement** (R&D). Ce sont des projets avec un niveau de maturité technologique (Technology Readiness Level) inférieur à 8 ;
- Les **travaux**, qui sont des **projets opérationnels**, c'est-à-dire ayant atteint un TRL 8 ou 9.

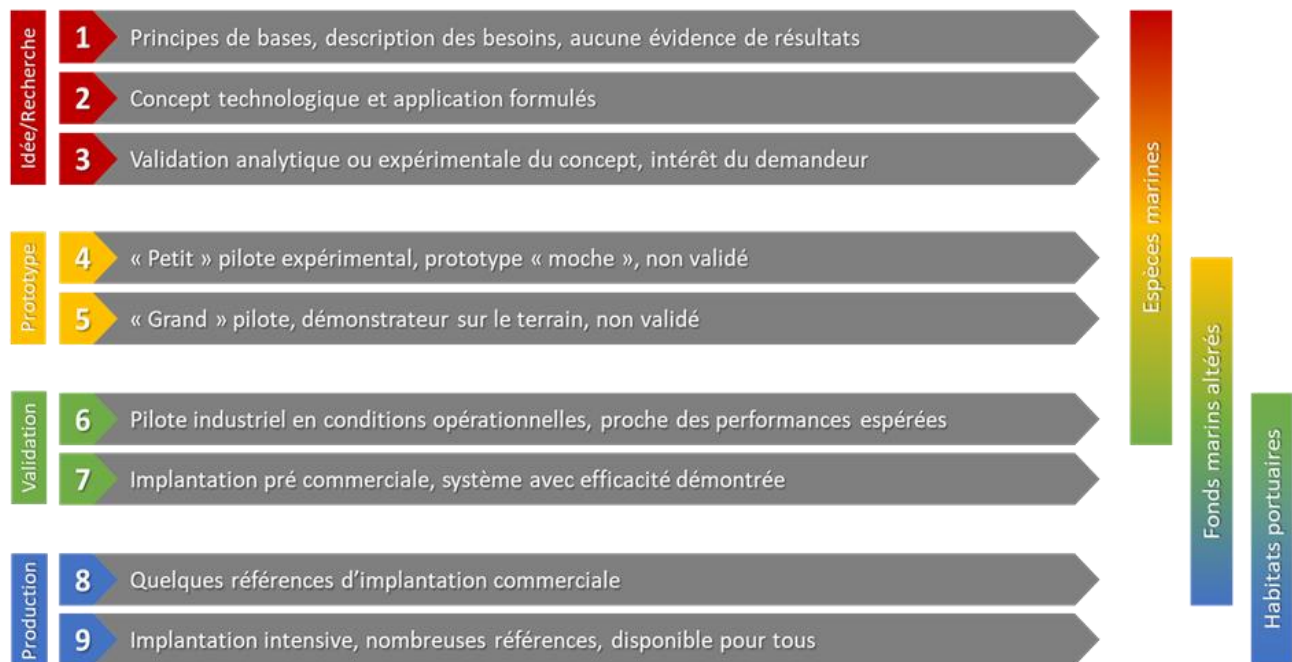


Figure 2 : description des différents niveaux de maturité technologique (TRL) appliqués à la restauration écologique des petits fonds côtiers

L'objectif des suivis va être différent en fonction du type d'opération considéré, mais également en fonction d'autres paramètres détaillés ci-après. Leur mise en œuvre sera donc dépendante de l'objectif :

- Pour les pilotes expérimentaux, l'objectif sera de valider le bénéfice écologique d'un produit, d'une solution ou de tout nouveau procédé. Dans ce cas, les suivis seront renforcés et exhaustifs afin de répondre le plus précisément aux questions posées ;
- Pour les projets opérationnels, l'efficacité est par définition déjà validée grâce aux pilotes préalables. La question est en revanche d'apprécier le niveau d'efficacité localement atteint par la mise en œuvre du produit, de la solution ou du procédé, grâce à une comparaison de l'état du milieu avant et après.

3. CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES ET DONNEES DE REFERENCE

Banc de saupes @Anaïs GUDEFIN |



3.1. ZOOM SUR LA POLITIQUE DE L'AGENCE DE L'EAU

En Méditerranée française, l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse a classé les projets de restauration écologique et de non-dégradation en plusieurs catégories, basées principalement sur la localisation des actions menées et sur les pressions historiques à l'origine de la dégradation du milieu. Ainsi, 5 typologies sont définies (figure 3) :

- **Les zones portuaires**, et plus globalement les ouvrages artificiels de substrats durs gagnés sur la mer ; dont les principales pressions sont la destruction de l'habitat et l'apport de polluants ;
- **Les fonds marins altérés ou détruits**, dont les raisons peuvent être diverses comme la pêche au chalut par exemple ;
- **Les zones de mouillage**, qui concernent principalement les herbiers marins impactés par les mouillages forains ;
- **Les sites dégradés par un rejet**, ce dernier ayant induit une perte ou une destruction de la biodiversité et des habitats par l'apport de polluants et d'eau douce (exemples : exutoires de stations d'épuration ou rejets industriels) ;
- **Les espèces marines**. Cette dernière typologie ne concerne pas une localisation mais plutôt des espèces particulières, dont les populations sont en déclin.

A l'heure actuelle, des projets sont menés pour toutes les typologies dans le monde. Néanmoins, à l'échelle de la façade de la Méditerranée française, seuls les projets associés aux zones portuaires et aux fonds marins altérés ou détruits sont jugés comme opérationnels, c'est-à-dire de TRL 8 ou 9. Le présent document ne présente des recommandations en matière d'évaluation que pour le cas des nurseries portuaires.

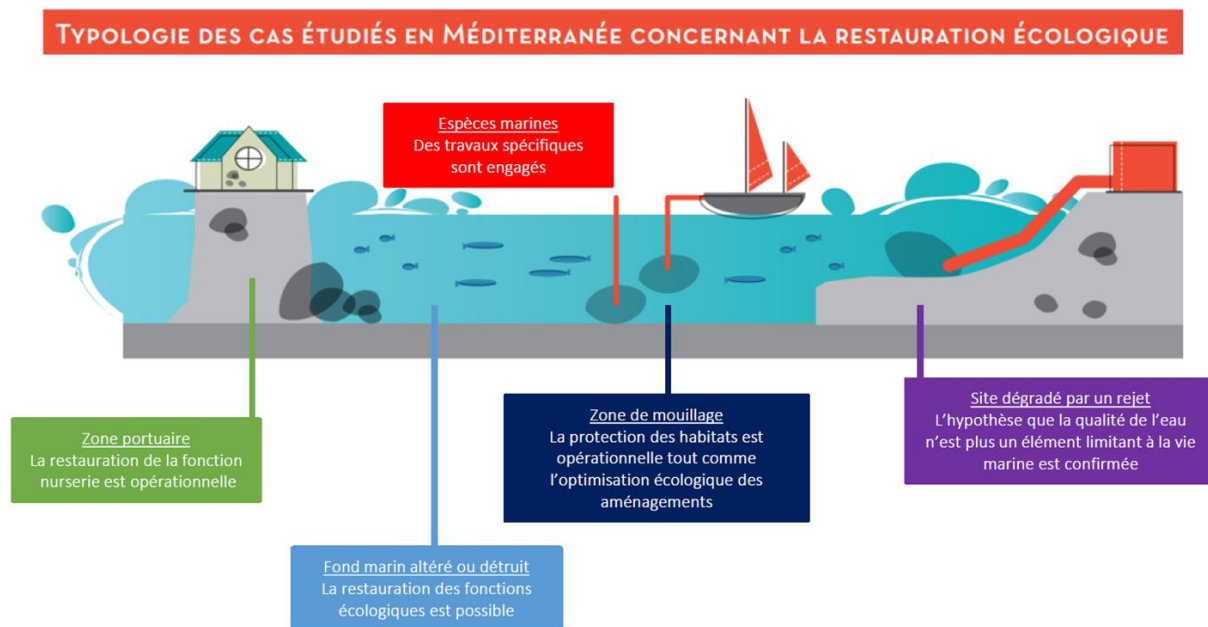


Figure 3 : typologie des cas étudiés en Méditerranée concernant la restauration écologique

3.3. RÉFÉRENCE AUX LIVRABLES DRIVER

DRIVER est une démarche de coopération qui associe des chercheurs, des techniciens, des gestionnaires, des institutions et des partenaires financiers. Elle permet à travers sa dynamique, le montage de projets, le partage et la valorisation de résultats et une contribution à la définition des politiques de restauration écologique des petits fonds côtiers.

Co-animé par l'Agence de l'eau RMC, le CREM/CEFREM et par Ecocean depuis 2015, les 5 éditions des journées DRIVER ont permis de rassembler au total plus de 300 participants différents (avec plus d'une centaine de personnes à chaque fois) provenant de plus de 250 organismes et 30 universités.

Les actions mises en œuvre ont commencé principalement autour de la question de la restauration des zones portuaires avec une forte implication des communes, des collectivités territoriales, des comités de pêche, des agences nationales, des services de l'État, des entreprises et des bureaux d'études.

Un film de présentation (bilan de 5 ans) et 3 ouvrages ont été réalisés dans le cadre du programme DRIVER :

- Le premier document (disponible en français et en anglais) : intitulé « **Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes** » a permis de poser les bases de la réflexion et des interventions possibles sur ces milieux. Les petits fonds côtiers sont en effet des zones à forts enjeux aussi bien écologiques que socio-économiques. Les nombreux habitats qui les composent (petits fonds rocheux, sableux, herbiers...), sont soumis - plus qu'ailleurs - aux pressions anthropiques terrestres et marines. Pourtant, cette zone d'interface, cruciale dans le cycle de vie d'une grande majorité d'espèces de poissons (zones de nurseries), offre également à l'Homme de très nombreux services écosystémiques. Ce guide a donc eu pour objectif de donner les clés pour une meilleure compréhension scientifique et socio-économique de la restauration écologique en milieu côtier, illustrée par des exemples d'actions menées en Méditerranée.
- Un second document « **Restauration Ecologique des nurseries des petits fonds côtiers de méditerranée : synthèse à l'usage des décideurs** » a permis de synthétiser les informations et concepts développés au cours des travaux DRIVER dans une approche très opérationnelle. Sous forme de livret et de feuillets thématiques, ce document permet d'aller à l'essentiel tout en ayant une information fiable et validée.
- Un dernier document « **Organiser, Planifier et Coordonner les opérations de restauration écologique et de non dégradation des habitats marins** », a ensuite permis de lancer les réflexions sur les STERE (Schémas Territoriaux de Restauration Ecologique) et d'en tracer les grandes lignes. En définitive, la mise en place de STERE devrait permettre d'atteindre plus facilement les objectifs du PAMM en matière de restauration et de préservation du bon état écologique et ainsi de répondre aux obligations européennes. La mise en place de ce type d'actions peut aussi servir d'exemple pour les autres pays limitrophes, européens ou non, engagés dans les mêmes objectifs de bon état écologique.

Tout cela a également permis de développer une dimension formation, comme la création d'un premier module de restauration écologique au sein de l'UPVD de Perpignan (Master 2) avec un réel attrait des étudiants à appréhender ces problématiques et ce volet de restauration écologique, complémentaire au volet des AMP.

A noter également la première session en 2022 d'un Diplôme inter-Universitaire (Montpellier II - UPVD) sur même cette thématique.

3.4. RESEAU RESPIRE : DES DONNEES DE REFERENCE SUR LA COLONISATION LARVAIRE

S'appuyant sur la Directive Cadre européenne « Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM), et sa volonté d'atteindre le « bon état écologique » de l'ensemble des eaux marines, l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse (AERMC) a initié, en collaboration avec Ecocean et l'Université de Perpignan, le réseau de surveillance RESPIRE. Déployé dans le but de **décrire la dynamique spatio-temporelle de l'arrivée des post-larves de poissons sur les côtes de la Méditerranée**, ce réseau a été mis en place en 2014, et les premiers suivis ont débuté en mars 2015. 32 sites de suivis sont aujourd'hui répartis sur toute la côte méditerranéenne continentale française et en Corse. L'acquisition des données se fait annuellement, à raison de trois suivis par an en mars, juin et octobre. Les comptages s'effectuent sur des Unités d'Observation Standardisées (UOS) installées dans des ports de plaisance (reconnus dans la littérature scientifique comme des zones de nurseries), puis sur des zones à l'interface entre le milieu ouvert et les zones de nurserie (c'est à dire sur les digues et les enrochements en sortie de port) ainsi que sur des zones naturelles à proximité (figure 4).



Figure 4 : les différentes échelles de suivi du réseau RESPIRE

Le réseau RESPIRE ne vise pas l'évaluation exhaustive des assemblages de jeunes poissons mais, à l'image d'autres dispositifs de surveillance, permet d'avoir une représentation la plus pertinente possible d'éléments biologiques, les post-larves et juvéniles de l'année, maillon essentiel dans le renouvellement des populations naturelles dont l'écologie reste peu connue et fait actuellement l'objet de nouvelles recherches plus approfondies. Aujourd'hui, les objectifs de ce réseau visent donc à :

- Acquérir des données permettant de **caractériser l'intensité d'arrivée des jeunes stades de poissons** pour, *in fine*, se projeter sur la dynamique de population des espèces adultes en zone côtière ;
- Disposer de **supports de connaissance et de recherche**, ainsi que des **documents de référence sur l'état du recrutement larvaire** sur la côte méditerranéenne ;
- Fournir des **éléments de calibration des opérations de restauration** engagées dans les zones portuaires.

Après des ajustements lors du premier cycle de surveillance (2015 à 2019), notamment concernant les périodes d'observation et la répartition spatiale, une première grille de qualité de la colonisation a pu être proposée entre 2019 et 2020, ainsi qu'un découpage de la côte en différentes typologies, permettant ainsi de définir des zones géographiques relativement uniformes d'un point de vue physique, chimique, géologique et/ou biologique. L'évaluation de la colonisation se fait désormais indépendamment dans chacune de ces typologies, à l'image du travail effectué sur les masses d'eau.

Dans chaque typologie, plusieurs sites sont expertisés (figure 5) :

- Un ou des **sites de référence**, situés en zone naturelle et considérés comme représentatifs de la typologie « sans pressions » ;
- Un ou plusieurs **sites de surveillance**, soumis à plus ou moins de pressions ou à différentes pressions, représentant l'hétérogénéité de la typologie.

Toutes les informations concernant ce réseau ainsi que les résultats des suivis sont disponibles sur le site internet Medtrix (www.medtrix.fr), accessible gratuitement sur inscription.

Les résultats du réseau RESPIRE peuvent notamment être utilisés et mis en perspectives dans le cadre de nouveaux projets (pilotes expérimentaux et travaux).

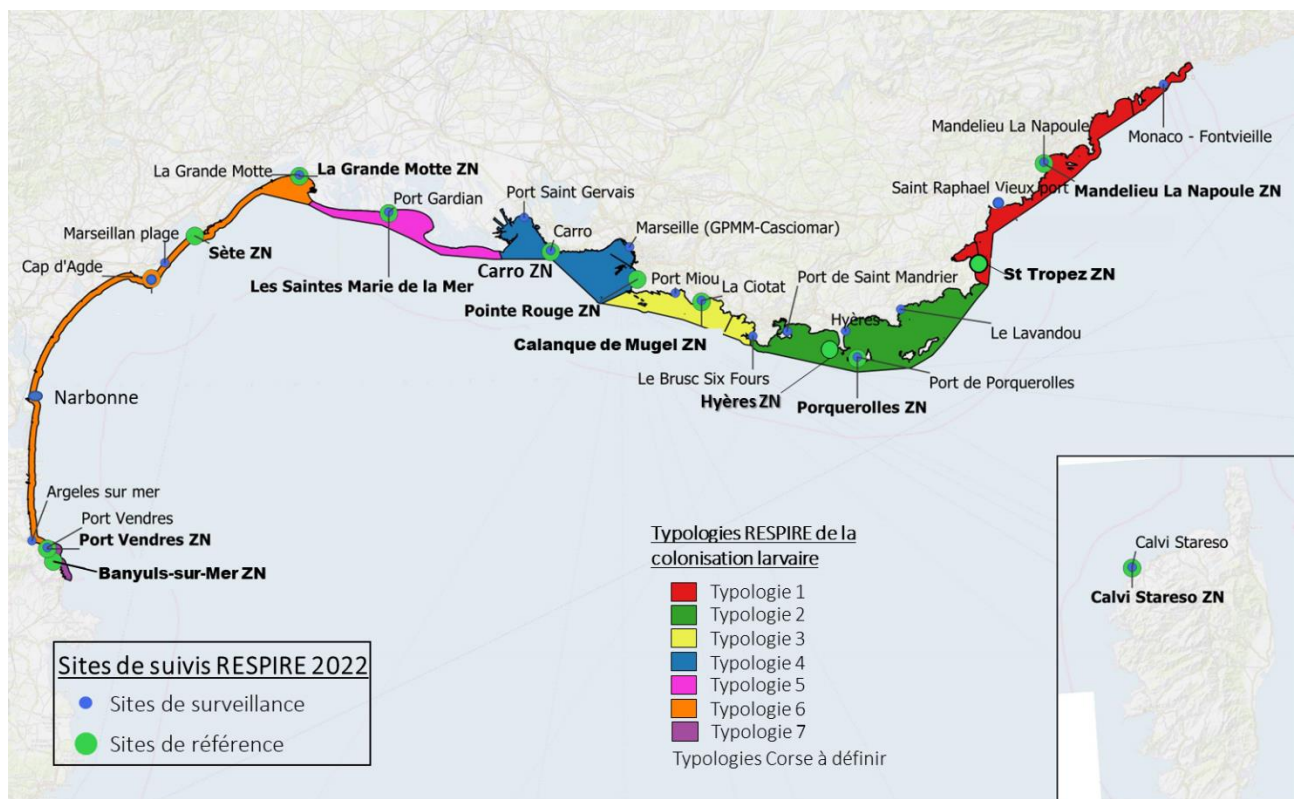


Figure 5 : typologies définies dans le cadre du réseau RESPIRE concernant la colonisation larvaire

3.6. ETUDE MEDHAB : INVENTAIRE DES NURSERIES NATURELLES

L'étude MedHab, portée par Septentrion Environnement, fait suite au projet ECATE développé sur la façade d'Occitanie et de la Catalogne espagnole par l'Université de Perpignan (CREM - CEFREM). ECATE a permis de développer la stratégie d'observation à grande échelle avec un pré-diagnostic par images satellites suivi d'une vérité terrain sur les nurseries potentielles des petits fonds côtiers hétérogènes. La démarche est actuellement poursuivie au travers du projet européen Poctefa RESMED.

MedHab (2019 à 2021) est engagée au titre des travaux de R&D du Plan d'Action pour le Milieu Marin, et vise « l'évaluation et la gestion des habitats essentiels des poissons méditerranéens ».

Ce projet a pour objectif de :

- Réaliser une synthèse des connaissances concernant les habitats essentiels des poissons côtiers ;
- Localiser et quantifier sur l'ensemble de la façade méditerranéenne les nurseries de type petits fonds côtiers hétérogènes, ainsi qu'évaluer leur niveau de prise en compte par les mesures de gestion existantes ;
- Comparer ces habitats, dans trois zones témoins en Aires Marines Protégées (AMP), avec d'autres types d'habitats nurserie ;
- Partager les résultats avec les gestionnaires afin d'optimiser les stratégies de gestion des zones côtières.

Les premiers résultats ont montré que les nurseries de petits fonds côtiers hétérogènes représentent seulement 9% du littoral méditerranéen français et **que chaque nurserie porte sur un linéaire côtier d'environ 50 mètres.**

Il est important de garder en mémoire que les 50 mètres de linéaire sont une moyenne et que la distribution des habitats hétérogènes n'est pas continue sur ce linéaire. Les 50 mètres de linéaire de nurserie incluent à la fois des zones de fortes densités où l'habitat est très favorable avec des zones d'influence où l'habitat est un peu moins favorable. Entre ces zones de fortes densités, il existe des petites zones de transition. C'est l'ensemble de ces zones (successions de fortes densités, d'influence et de transition) qui forme la nurserie. L'exemple de la figure 6 montre les zones de plus fortes abondances et les zones d'influence.

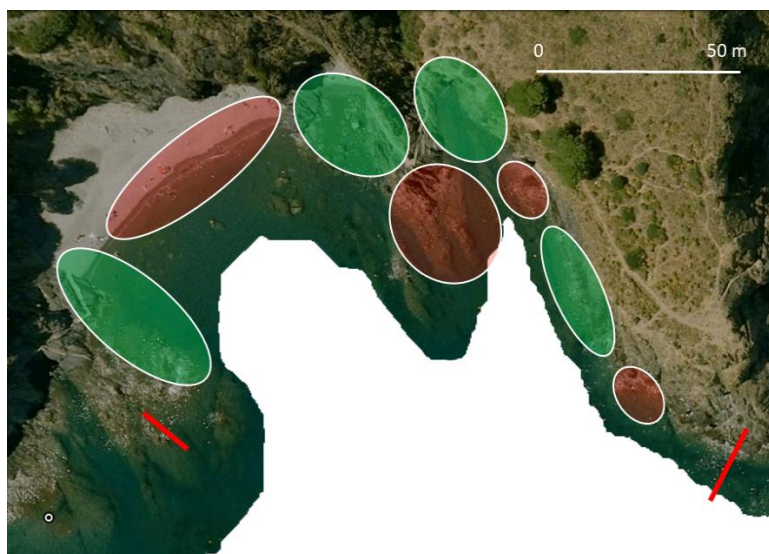


Figure 6 : exemple de distribution des zones de fortes densités (cercles verts) et des zones de transitions (cercles rouges) - projets ECATE et RESMED (Cheminee et al., 2017).

3.7. MEDAM : EVALUATION DE L'ARTIFICIALISATION DU LITTORAL

MEDAM est une base de données du programme de surveillance de la Directive Cadre Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM) pour la Méditerranée qui vise notamment à recenser les pressions physiques affectant l'espace côtier de la façade méditerranéenne française. Elle est accessible sur internet : <http://www.medam.org/index.php/fr/>. Ce dispositif est financé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée & Corse, la DREAL Provence- Alpes-Côte d'Azur, la Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur et l'Université Côte d'Azur.

MEDAM permet ainsi d'évaluer les impacts sur les écosystèmes littoraux causés directement par les aménagements gagnés sur la mer.

L'emprise des ouvrages gagnés sur la mer, comparée aux surfaces et linéaires initiaux, permet en particulier de donner des évaluations quantitatives fiables du principal impact écologique par recouvrement ou endigage entraînant une destruction irréversible des petits fonds concernés. Des données à l'échelle des ports et des différents ouvrages sont disponibles sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française. Il est ainsi possible d'obtenir, pour chacun des ports, le linéaire de littoral artificialisé, qui correspond au linéaire de côte initiale (naturelle) sur lesquels ont été construits les aménagements.

Cela a permis (entre autres) de chiffrer l'artificialisation du littoral méditerranéen comme représentant actuellement 10.61% du linéaire côtier (soit 217.98 km). Celle-ci est toutefois répartie de manière non homogène :

- 15.98% du linéaire côtier du littoral d'Occitanie (soit 35.73 km),
- 18.71% (soit 159.68 km) du linéaire côtier du littoral de la région Sud (sans Monaco ni l'étang de Berre),
- 2,31 % (soit 22.57 km) pour le littoral de la région Corse.

3.8. RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT D'UN PROJET

La mise en place d'actions correctives pour la restauration de la fonction nurserie au sein des zones portuaires vise **l'intégralité de la zone portuaire**. Bien entendu, cela ne signifie pas qu'il faille équiper l'intégralité du port, mais bien que l'efficacité soit ressentie partout dans le port ou dans les zones utiles à la fonction écologique recherchée.

Afin d'appréhender la quantité d'équipements nécessaires, il est impératif de connaître le nombre de mètres linéaires impactés par le port. Dans MEDAM, le linéaire impacté par un port (ou n'importe quelle construction) se définit comme le linéaire de côte naturelle (c'est-à-dire le linéaire autrefois existant avant toute construction sur la mer) qui a été artificialisé.

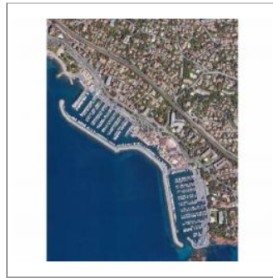
Basé sur les résultats de l'étude MedHab, il est proposé que le métrage à restaurer soit équivalent à minima à une nurserie naturelle, soit 50 mètres linéaires, ou 10% du nombre de mètres linéaires impactés par le port si ce métrage est supérieur à 500 mètres.

Prenons deux exemples :

- 1) Port Santa Lucia, Saint-Raphaël (figure 7). Le linéaire côtier artificialisé est de 1256.73 mètres. La préconisation est donc de réhabiliter 10% de ce linéaire, soit 126 mètres.
- 2) Port Fréjus (figure 8). Le linéaire artificialisé mesure 324.52 mètres, il est donc inférieur à 500 mètres. Le port doit cependant contribuer à hauteur d'une nurserie de 50 mètres.

"SANTA-LUCIA", PORT, SAINT-RAPHAËL

[Données chiffrées](#) [Voir les \(3\) photos](#) [Afficher la carte](#)



ID	Région	Département	Commune	Masses d'eau DCE
777	PACA	Var	Saint-Raphaël	(DC8c) DC08c - Ouest Sainte-Maxime-Fréjus-Saint Raphaël
Surface gagnée totale (ha)				24,06
Surface couverte (ha)				9,04
Surface du plan d'eau (ha)				13,11
Linéaire de côte artificialisée (m)				1 256,73
Linéaire extérieur de l'ouvrage (m)				1 310,66
Historique de construction				Cet ouvrage a été construit en 1970



Figure 7 : Exemple de port avec un linéaire de côte artificialisée supérieur à 500 mètres (source : MEDAM Université Côte d'Azur CNRS ECOSEAS)

"PORT-FRÉJUS", PORT, FRÉJUS

[Données chiffrées](#) [Voir les \(1\) photos](#) [Afficher la carte](#)



ID	Région	Département	Commune	Masses d'eau DCE
767	PACA	Var	Fréjus	(DC8c) DC08c - Ouest Sainte-Maxime-Fréjus-Saint Raphaël
Surface gagnée totale (ha)				10,89
Surface couverte (ha)				1,47
Surface du plan d'eau (ha)				8,87
Linéaire de côte artificialisée (m)				324,52
Linéaire extérieur de l'ouvrage (m)				468,52
Historique de construction				Cet ouvrage a été construit en 1989

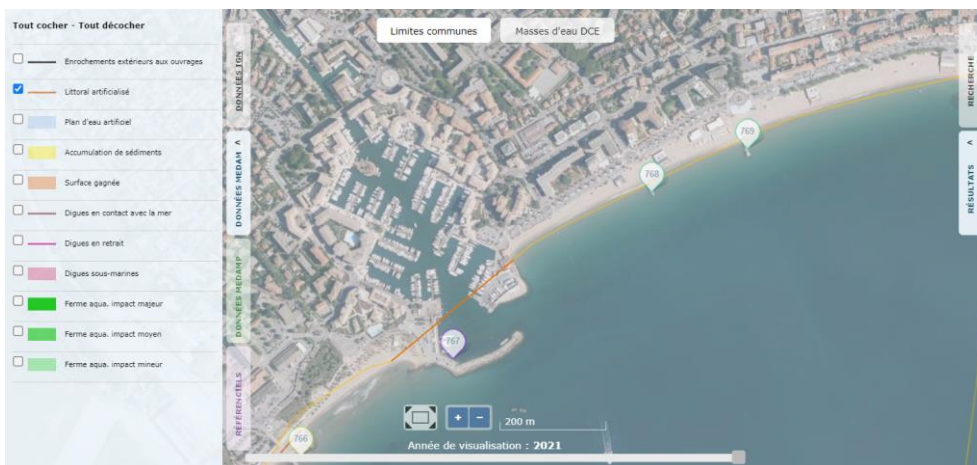


Figure 8 : Exemple de port avec un linéaire de côte artificialisée inférieur à 500 mètres (source : MEDAM Université Côte d'Azur CNRS ECOSEAS)

En se basant sur les résultats de l'étude MedHab et sur ceux des études eCATE et RESMED (figure 6), il n'apparaît pas forcément nécessaire d'installer les nurseries artificielles sur un linéaire continu, car il y a naturellement une alternance de zones de forte densité, d'influence et de transition dans les nurseries naturelles. Il est plus pertinent de recréer ce principe avec des alternances, constituées d'espaces assez limités sans habitats artificiels correspondant aux zones d'influence. Dans ce cas-là, le linéaire à restaurer peut correspondre à l'installation de modules sur une longueur inférieure, les espaces libres restants correspondent à la zone d'influence.

Dans la pratique, le linéaire à restaurer peut être découpé en tronçons, qui ne pourront pas être inférieurs à 10 mètres linéaires. Dans le cas d'une nurserie à restaurer de 50 mètres linéaires, ils seront composés de 5 tronçons maximum. La distance entre les tronçons doit également être de l'ordre de 10 mètres, comme ce que l'on peut observer en milieu naturel (Cheminée et al., 2017⁴ ; projet RESMED).

En résumé, la contribution du port sera optimale si les conditions suivantes sont réalisées :

- Une **estimation quantitative du linéaire côtier de trait de côte détruit initialement par le port** (il ne s'agit pas forcément de l'ensemble du linéaire de quai ou de ponton qui représente souvent une plus grande distance). Cette évaluation se fait à partir des données disponibles en particulier sur le site internet de MEDAM ;
- Un apport **d'au moins 50 mètres linéaires de nurserie artificielle ou 10% du linéaire impacté** si ce dernier est supérieur à 500 mètres ;
- **Un découpage en tronçons de minimum 10 mètres** (par exemple pour 50 m linéaires de restauration : 5 x 10 m, 2 x 25 m ou 1 x 50 m) ;
- Une **distance maximale de 10 mètres entre chaque tronçon** en fonction de la configuration de l'espace portuaire.

⁴ Cheminee et al., (2017). Shallow rocky nursery habitat for fish: spatial variability of juvenile fishes among this poorly protected essential habitat. Marine Pollution Bulletin, 119(1), 245-254.

4. VALIDATION DE L'EFFICACITE D'UN NOUVEAU PRODUIT/PROCEDE (TRL < 8)

Banc de mulets @Rémy DUBAS |



Pour rappel, ce chapitre concerne les projets de TRL 6 et 7, c'est-à-dire dont l'objectif est de valider l'efficacité d'un nouveau produit ou procédé.

a. Objectifs du suivi

Dans le cadre d'un projet de recherche et développement d'un nouveau produit ou procédé concernant la restauration de la fonction de nurserie dans un port, l'objectif va être de **valider si oui ou non ledit produit ou procédé est efficace, c'est-à-dire, s'il répond à au moins trois des quatre critères d'une nurserie.**

Pour rappel, Beck et al (2001) définissent les critères d'une nurserie comme étant les suivants :

- **Densité** initiale plus importante qu'ailleurs ;
- **Croissance** plus importante qu'ailleurs, liée à une nutrition variée et adaptée ;
- **Taux de mortalité** plus faible, grâce à un habitat favorable à l'installation des post-larves qui les protège des prédateurs et des pressions pendant leur période juvénile jusqu'à la taille refuge ;
- Arrivés à leur taille refuge (réduction du nombre de prédateurs), **migration** des juvéniles vers les habitats adultes.

Pour le quatrième critère qui représente la connectivité avec les habitats adultes, la méthodologie d'étude est à l'essai par la communauté scientifique. Il n'est, à ce jour, pas possible de répondre à ce critère.

Cette validation doit être réalisée par un organisme extérieur à l'apporteur de solution, qui peut être une université, un bureau d'étude ou une association. L'essentiel étant qu'elle soit réalisée par des experts du domaine, possédant à la fois les connaissances et compétences nécessaires au terrain (reconnaissance des juvéniles, comptage etc) et à l'analyse des résultats. L'apporteur de solution doit ensuite être en mesure de justifier la validation de son produit/procédé par tout document précisant le protocole mis en œuvre, les résultats statistiques et les conclusions.

b. Descripteurs principaux à suivre

L'évaluation des trois premiers critères de Beck se fera en comparaison avec des zones témoins non équipées dans le port. Il est également idéal de pouvoir s'appuyer sur des données de suivi d'un milieu naturel proche, servant de milieu de référence. En effet, cela permettra de connaître les types d'assemblages et densités existants dans la zone. Pour trouver cette référence, il est recommandé de s'appuyer sur les résultats du réseau RESPIRE, ou sur tout autre suivi, disposant d'informations comparables (au moins trois années de suivi consécutives avant le projet et poursuite des suivis pendant, méthodologie et périodes de suivis similaires etc).

Pour évaluer l'atteinte de l'objectif, plusieurs descripteurs sont à prendre en considération :

- La **densité**, c'est-à-dire l'abondance par unité de surface. Pour rester en cohérence avec les études menées en milieu naturel (RESPIRE, MedHab, etc.), la densité sera exprimée en **abondance pour 10 mètres linéaires**. Pour cela, l'organisme en charge de la validation scientifique devra expliciter ses choix méthodologiques précis et appliqués au cas d'étude (aire d'influence ou non, nombre d'habitat(s) artificiel(s) pour un équivalent de 10 mètres linéaires, etc.). La densité évaluée sur les modules comparée à celle observée sur les zones témoins permettra de répondre aux critères n°1 et n°3 de Beck ;
- **La taille des individus**, en millimètres. Cela permettra de ne considérer pour l'évaluation de l'efficacité que les individus juvéniles. La comparaison de l'évolution des tailles entre les zones équipées et les zones témoins permettra de répondre au critère n°2 de Beck ;
- **Les assemblages**, c'est-à-dire l'ensemble des espèces présentes localement dans des proportions liées à la spécificité du flux de post-larves et des habitats disponibles. Cela permettra de lister les espèces pour lesquelles la fonction de nurserie est validée pour la solution étudiée ;
- **Distance et interaction** des individus par rapport au module (suivi comportemental). Ce suivi permet entre autres de valider l'existence d'une aire d'influence de la solution testée.

Compte tenu des connaissances actuelles, la différence statistique pour chaque descripteur entre les zones équipées et les zones témoins permettra de valider la fonction nurserie de la solution étudiée.

c. Durée

Afin de pouvoir intégrer à la fois la variabilité naturelle du recrutement, mais également un certain nombre de cycles biologiques, la durée du suivi d'un projet de R&D doit être au **minimum de 2 ans, idéalement de 3 ans**.

Cette durée est un compromis entre la nécessité d'obtenir suffisamment d'informations pour valider ou non un produit et la réalité économique associée des projets de R&D en restauration écologique marine, offrant ainsi la possibilité de déployer la solution relativement rapidement en cas de succès.

d. Fréquence de suivis et périodes favorables

La fréquence de suivi doit être suffisamment fine pour pouvoir apprécier le comportement des post-larves et juvéniles de poissons vis-à-vis de la solution, et pour permettre également d'évaluer la croissance et la mortalité des individus utilisant la solution. La fréquence recommandée est de à minima **un suivi tous les 15 jours**.

Ce suivi est mené idéalement sur l'ensemble des périodes concernées par l'arrivée des post-larves, durant les deux à trois ans du suivi. Dans ce cas, l'évaluation de l'efficacité de la solution en tant que nurserie sera faite pour toutes les espèces.

Si cette fréquence est trop élevée, il est possible de réduire le suivi sur une partie de l'année seulement, en choisissant les **périodes relatives aux espèces ciblées** (les périodes à favoriser sont de **mars à novembre**).

Il n'est pas obligatoire d'avoir une solution efficace, c'est-à-dire validée comme une nurserie, pour toutes les espèces. Dans ce cas, il convient néanmoins de préciser les **espèces concernées**.

e. Espèces ciblées

Les préconisations de ce guide sont éditées pour les **poissons démersaux**.

Concernant les poissons crypto-benthiques, bien que présentant un intérêt similaire à celui des poissons démersaux, les connaissances scientifiques et les suivis sont encore très minoritaires par rapport aux poissons démersaux. En effet, il n'existe quasiment aucune étude réalisée en milieu naturel sur les blennies ou les gobies. Actuellement, nous ne disposons donc pas de données de référence permettant d'évaluer les densités pour ces espèces.

De plus, la méthodologie de suivi de ces espèces est encore peu développée. En effet, par essence, ces animaux vivent cachés dans des anfractuosités ou dans le sédiment. Si pour le sédiment il existe quelques méthodes (comme les bennes ou les aspirateurs à sédiments), pour les milieux rocheux, il n'y a pas aujourd'hui de méthode satisfaisante. Le suivi visuel ne permet qu'une évaluation très partielle, et l'aspirateur ne permet pas de récupérer les animaux simplement.

Pour ces raisons, nous n'avons basé nos préconisations que pour les espèces démersales. Il serait toutefois intéressant de disposer de plus d'informations concernant ces espèces. Le recueil d'informations concernant leur présence, leur densité, etc. en zone portuaire peut donc faire l'objet d'un suivi complémentaire.

f. Méthodes d'échantillonnage

Pour étudier les différents descripteurs détaillés dans le point 4.b., plusieurs méthodologies de suivi existent à l'heure actuelle. Afin d'évaluer la ou les plus efficaces, nous avons réalisé un comparatif des plus courantes, en nous basant principalement sur les descripteurs. En effet, dans le cas d'un projet R&D, même si les contraintes d'utilisation sont à prendre en considération, elles sont moins importantes que dans le cas d'un suivi en routine.

Nous avons comparé trois grands types de méthodologie pour le comptage des poissons démersaux : le comptage visuel sous-marin (ou UVC pour Underwater Visual Census) (qu'il soit en PMT, plongée bouteille ou recycleur), le suivi par caméra (rotative, tractée, fixe ou ROV) et le prélèvement.

L'UVC permet de répondre facilement aux descripteurs assemblage, densité et taille. Concernant la distance et l'interaction avec les modules, la distance peut être facilement observée. En revanche, la présence d'un plongeur peut perturber le comportement des individus par rapport aux modules.

Le suivi par caméra permet une bonne détermination de la densité et des assemblages, suivant la qualité d'image. L'estimation de la taille en revanche est plus difficile avec une caméra, tout comme l'estimation de la distance des individus par rapport aux modules. Concernant l'interaction des juvéniles avec les nurseries, la caméra permet d'observer facilement les comportements. Contrairement au suivi UVC, le suivi par caméra nécessite plus de matériel spécifique pour être mis en œuvre.

Le prélèvement permet quant à lui une très bonne estimation des tailles et des assemblages, avec la possibilité d'accéder, suivant la méthode de prélèvement, aux espèces crypto-benthiques. La densité est également très précise, suivant l'efficacité du prélèvement. Néanmoins, elle est inadaptée pour l'étude de la distance et des interactions des juvéniles avec les modules. Le point limitant est l'impact de cette méthode sur les individus. En fonction de la méthode utilisée, les animaux peuvent subir du stress voire mourir.

Pour toutes ces raisons, pour les poissons démersaux, la méthode à privilégier est l'UVC. Le comptage par caméra peut être utilisé comme méthode complémentaire, mais devra être intercalibrée avec la méthode UVC au préalable. Le prélèvement n'est pas recommandé, sauf dans des cas très particuliers comme l'impossibilité de se mettre à l'eau pendant une longue période.

UVC (Underwater visual census)

	Détermination des assemblages d'espèces	Détermination de la densité	Estimation de la taille	Distance et interaction des individus par rapport au module	Besoins humains et matériels	Limites d'utilisation
PMT	Facile si peu d'individus	Facile si peu d'individus Sur ou sous-estimation du nombre si grands bancs	Bonne estimation à +/-0.5cm	Très adaptée Distance évaluée qualitativement	Peu de matériel nécessaire	Limité à 0-1m de profondeur Bonne visibilité nécessaire
Plongée bouteille ou recycleur	Facile si peu d'individus	Facile si peu d'individus Sur ou sous-estimation du nombre si grands bancs Les bulles du plongeur peuvent faire fuir les poissons sauf si recycleur	Bonne estimation à +/-0.5cm	Très adaptée Distance évaluée qualitativement	Plongeurs professionnels certifiés (+ embarcation éventuelle)	Bonne visibilité nécessaire Application à 0-40m ou +

Prélèvement

	Détermination des assemblages d'espèces	Détermination de la densité	Estimation de la taille	Distance et interaction des individus par rapport au module	Besoins humains et matériels	Limites d'utilisation
Prélèvement	Très précis sur l'ensemble des espèces présentes dont les espèces cryptiques	Très précis en cas d'utilisation d'un outil standardisé	Très précis Mesure directe	Non adaptée	Plongeur ou PMT Matériel spécifique	Méthode potentiellement impactante sur les individus

	Détermination des assemblages d'espèces	Détermination de la densité	Estimation de la taille	Distance et interaction des individus par rapport au module	Besoins humains et matériels	Limites d'utilisation
Vidéo rotative	Acceptable si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Permet de vérifier les identifications à posteriori si nécessaire Analyse temporelle fine (à la journée)	Bonne si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Risque de compter plusieurs fois un même individu	Pas d'estimation de la taille Qualification juvéniles/adultes	Adaptée si présence d'un référentiel d'échelle Distance évaluée qualitativement	Nécessite du matériel spécifique + embarcation (+ plongeurs)	Profondeur d'utilisation >2m Temps d'utilisation limitée à la batterie Bonne visibilité et luminosité nécessaires Limitée au champ de vision du système
Vidéo tractée	Acceptable si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Permet de vérifier les identifications à posteriori si nécessaire	Bonne si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Risque de compter plusieurs fois un même individu	Pas d'estimation de la taille Qualification juvéniles/adultes	Peu adaptée	Matériel spécifique + embarcation Bonne luminosité et visibilité nécessaires	Peu adapté aux systèmes portuaires Fonds peu profonds et sans obstacles
Vidéo fixe	Acceptable si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Permet de vérifier les identifications à posteriori si nécessaire Analyse temporelle fine (à la journée)	Bonne si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Risque de compter plusieurs fois un même individu	Pas d'estimation de la taille Qualification juvéniles/adultes Mesure précise si option stéréo	Adaptée si présence d'un référentiel d'échelle Distance évaluée qualitativement	Matériel spécifique + embarcation (+ plongeurs) Nécessite un logiciel d'analyse adapté	Temps d'utilisation limitée à la batterie Bonne visibilité et luminosité nécessaires Limitée au champ de vision du système
ROV	Acceptable si qualité d'image suffisante pour voir les plus petits individus Permet de vérifier les identifications à posteriori si nécessaire	Estimation peut être faussée par le dérangement causé par le ROV (bruyant)	Pas d'estimation de la taille Qualification juvéniles/adultes	Adaptée si point fixe	Matériel spécifique	Utile pour des zones non accessibles ou à accès limité (exemple : Port de Commerce), zones de grandes profondeurs

g. Déploiement de la méthode

Suivi des poissons démersaux

Dans le cas de modules continus, la méthode du transect est préconisée. Afin de pouvoir mesurer statistiquement l'effet des solutions de restauration, il est important de réaliser sur chaque type d'habitat (modules, quais/pontons sous influence, digues) un échantillonnage d'au moins trois transects de 10 mètres linéaires équipés en solutions à tester installées de façon optimale (nombre de structures suffisant pour un effet significatif). La vitesse de progression en transect est très lente (de 1 à 2 m / min) afin d'être en capacité de bien observer les juvéniles ayant un comportement furtif.

Dans le cas de modules individuels, la méthode du point fixe est à retenir. En effet, un module individuel se caractérise par une distance d'intervalle de 3 à 5 mètres d'un autre module. Ceci n'est pas un problème en termes de comparaison avec les données de transects car quoi qu'il arrive, il y a la possibilité de transformer le point fixe en transect puisqu'on connaît le nombre de modules suivis et que l'on doit déterminer leur équivalent en mètres linéaires. Il est donc important dans cette phase de validation de bien définir pour chaque type de module de restauration écologique son équivalent en mètres linéaires. Il sera réalisé, au même titre que pour les modules continus, un minimum d'équivalent point fixe représentant virtuellement trois transects de 10 mètres linéaires.

Zones témoins

Parallèlement aux suivis des modules de restauration, il est nécessaire de suivre également des zones témoins à proximité (situées de 30 à 50 mètres des modules) correspondant à des portions de port non équipées.

Quel que soit le type de modules, les suivis sur la zone témoin seront toujours réalisés en transect, car dans la nature, les nurseries sont le plus souvent sous forme de zone continue. La longueur sera équivalente à celle étudiée dans les zones équipées, c'est-à-dire à minima 3 transects de 10 mètres linéaires.

h. Diagnostic avant étude

Avant la mise en place des produits, solutions ou procédés testés, il convient de réaliser un certain nombre d'évaluations au sein de l'espace portuaire.

Elles devront être adaptées à l'étude et dépendront des questions subsidiaires à l'évaluation de la fonction nurserie, mais elles devront à minima contenir :

- La localisation des pressions (rejets d'eaux pluviales, zones de concentration de macrodéchets, zones d'avitaillement, etc.) ;
- La présence éventuelle de post-larves ou juvéniles de poissons dans certaines zones du port. Elle sera réalisée préférentiellement en mai/juin pour accéder à la majeure partie de l'assemblage présent dans la zone portuaire ;
- La distribution des habitats artificiels (quai, ponton...) et naturels si présents (ex : Port-Vendres : roche, herbier de posidonie).

Contrairement à ce qu'on peut penser, les résultats des analyses de recherche en métaux lourds qui ont été réalisées sur des poissons démersaux montrent qu'ils ne sont pas plus pollués en zones

portuaires que dans le milieu naturel. Il existe bien une différence de qualité d'eau entre l'intérieur et l'extérieur du port, mais cette différence n'est généralement pas retrouvée dans les juvéniles étudiés (Bouchoucha et al., 2018⁵). Les solutions de restauration concernant les fonds portuaires (substrats meubles) devront en revanche faire l'objet d'une attention particulière quant aux espèces restaurées qui pourraient être contaminées par un mode de nutrition benthique.

i. Validation à grande échelle

La validation de la fonction nurserie d'une solution peut être réalisée dans un seul port, néanmoins, celle-ci sera d'autant plus robuste qu'elle aura été réalisée dans des ports contrastés (marina et port de commerce, port en eau profonde et port peu profond, port d'un littoral sableux et port d'un littoral rocheux, etc.).

j. Coûts moyens

Sur la base des opérations pilotes engagées ces dernières années, le coût des suivis scientifiques nécessaires à la validation de nouvelles solutions de restauration écologique portuaires peut représenter 60 à 70 % du projet. Il convient toutefois de garder à l'esprit que ce coût ne doit concerner que les suivis nécessaires pour apprécier l'efficacité écologique de la solution technique et ne doit pas intégrer toutes les questions de connaissances fondamentales qui peuvent se poser. Une opération pilote doit s'appuyer lors de son engagement sur un minimum de connaissances faute de quoi elle ne peut pas être engagée (présence ou non de juvéniles en dehors de toutes actions de restauration, liste d'espèces présentes au stade juvénile).

⁵ Bouchoucha et al. (2018). Growth, condition and metal concentration in juveniles of two *Diplodus* species in ports. *Marine Pollution Bulletin*, 126, 31-42.

5. EVALUATION DU NIVEAU D'EFFICACITE DES TRAVAUX DE RESTAURATION ECOLOGIQUE (TRL 8&9)

Faune et flore fixées sur un flotteur @Lucas BERENGER |



Comme mentionné en introduction, une fois une solution validée scientifiquement comme étant bien une nurserie à poissons, son déploiement commercial en tant qu'outil efficace est possible. Néanmoins, il reste important, parce que les solutions sont encore récentes et que les connaissances scientifiques concernant les nurseries sont encore fragmentées, d'évaluer localement le niveau d'efficacité atteint par le déploiement de ces solutions.

Il ne s'agit pas ici de raisonner à l'échelle d'un module, et de savoir s'il est plus attractif qu'une zone témoin ou qu'un autre module. Ces questionnements ont été résolus dans la phase de validation, tout comme le nombre ou le linéaire nécessaire de modules à installer pour atteindre les préconisations détaillées dans le chapitre 3.8. Le raisonnement se fait maintenant à l'échelle du port entier.

a. Objectifs du suivi

Dans le cadre de travaux de restauration de la fonction de nurserie en milieu portuaire, l'objectif du suivi va être d'évaluer le **niveau d'efficacité atteint localement** par l'action corrective. Il s'agira donc d'effectuer une **comparaison avant et après équipement** d'un produit, d'une solution ou d'un procédé mis en œuvre. Afin de lisser les problèmes de comparaison liés à la forte variabilité naturelle annuelle de la colonisation des larves de poissons à la côte, une comparaison avec une zone naturelle de référence sera également réalisée chaque année.

Cette évaluation peut être faite par l'apporteur de solution ou par un organisme extérieur, du moment qu'ils soient experts dans le domaine et qu'ils possèdent toutes les compétences nécessaires à la réalisation du suivi et des analyses.

b. Cible et descripteurs principaux à suivre

La cible à atteindre sera le niveau d'efficacité d'une nurserie naturelle à proximité, autrement appelée, milieu de référence local. Pour trouver cette référence, il est recommandé de s'appuyer sur les résultats du réseau RESPIRE, qui fournit des valeurs de référence par typologie de côte. Ces données sont disponibles sur le site www.medtrix.fr (projet RESPIRE), accessible gratuitement sur inscription. Il est également possible de s'appuyer sur d'autres suivis réalisés sur des nurseries à proximité du port, à partir du moment où le protocole appliqué et les périodes et années de suivis sont similaires. **Il n'est pas demandé de réaliser des suivis supplémentaires dans une zone naturelle mais bien de s'appuyer sur des données existantes.**

Pour évaluer l'atteinte de la cible, plusieurs descripteurs sont à prendre en considération :

- Les **assemblages** d'espèces, qui permettront de connaître à la fois le nombre d'espèces et les espèces concernées par l'opération de restauration, mais également de comparer cette liste avec celle recensée dans la zone de référence ;
- La **densité**, c'est-à-dire l'abondance pour 10 mètres linéaires. Cette densité sera comparée à celle du milieu naturel ;
- La **taille des individus**, en millimètres. Cela permettra de ne considérer pour l'évaluation de l'efficacité que les individus juvéniles.

Compte tenu des connaissances actuelles encore parcellaires du fonctionnement des nurseries naturelles, la comparaison avec le milieu de référence ne pourra qu'être descriptive, en présentant par exemple le pourcentage d'espèces communes ou le pourcentage de densité observée dans le port par rapport à celle observée en zone naturelle. Un travail est encore nécessaire pour l'élaboration de seuils à atteindre.

c. Durée

Il est important d'avoir en tête que restaurer une fonction de nurserie doit s'envisager sur du moyen-long terme. En effet, cela doit considérer un cycle de vie complet des poissons. Compte tenu des différences connues entre espèces, il ressort que les suivis doivent se dérouler sur des périodes entre 8 et 12 ans. La première phase de suivi, de **3 ans minimum**, doit permettre d'évaluer l'intérêt ou non de poursuivre les actions sur un temps plus long.

d. Typologies portuaires et suivis associés

Au préalable, il convient de rappeler qu'une opération de restauration écologique en milieu artificialisé ne doit être mise en œuvre qu'après une réduction des pressions, notamment par le biais de l'amélioration de la qualité de l'eau. Néanmoins, les milieux portuaires restant des zones largement anthropisées, il est indispensable de prendre en considération les différentes activités et ou pressions restantes dans les zones portuaires afin d'évaluer au plus juste le succès d'une opération de réhabilitation des nurseries marines.

Pour cela, la typologie suivante a été établie. Les activités et les pressions entrant en jeu dans la définition des suivis à mettre en œuvre sont listées ci-après. Il faut remplir au moins cinq d'entre elles, peu importe si ce sont des activités ou des pressions, pour entrer dans la catégorie « nombreuses activités et/ou pressions ».

Un suivi renforcé peut également être mis en œuvre dans les cas suivants :

- Volonté du maître d'ouvrage ou du maître d'œuvre
- Présence d'habitat d'intérêt communautaire prioritaire dans l'espace portuaire (herbier de Posidonie par exemple) directement concerné par l'opération

		TYPOLOGIES DE SUIVI		
		Minimal	Optimal	Renforcé
Petit port (Nombre d'anneaux <250)	Peu d'activités et/ou de pressions	X		
	Nombreuses activités et/ou pressions		X	
Moyen port (250<Nombre d'anneaux <1000)	Peu d'activités et/ou de pressions		X	
	Nombreuses activités et/ou pressions			X
Grand port (Nombre d'anneaux > 1000)	Peu d'activités et/ou de pressions		X	
	Nombreuses activités et/ou pressions			X

ACTIVITES

- Grande plaisance
- Pêche
- Port de commerce
- Port à sec

PRESSIONS

- Linéaire côtier artificialisé
- Station essence
- Travaux prévus pendant la phase de restauration
- Présence de déversoir(s) d'orage

e. Typologie de suivis des juvéniles de poissons

A partir de cette première classification portuaire, trois types de suivi peuvent ainsi être mis en œuvre :

- **Le suivi minimal**, qui représente le minimum à mettre en œuvre pour donner une évaluation de l'efficacité des mesures correctives. Il ne donne qu'une information partielle. Ce suivi se concentre uniquement sur la cible, c'est-à-dire les juvéniles de poissons côtiers démersaux. Le suivi sera concentré uniquement sur la période la plus favorable, et cherchera uniquement à évaluer le niveau d'efficacité.
- **Le suivi optimal**, qui représente le meilleur compromis à mettre en place, entre informations obtenues et coûts déployés. La base sera la même que pour le suivi minimal, mais les juvéniles de poissons démersaux seront suivis deux fois par an.
- **Le suivi renforcé**, concerne des situations particulières, dans lesquelles il est nécessaire d'accentuer les suivis, en intégrant notamment l'évaluation de paramètres annexes permettant de mieux comprendre le fonctionnement du port et le niveau d'efficacité atteint. Ainsi, les juvéniles de poissons seront suivis trois fois par an et d'autres paramètres, dépendant des enjeux analysés dans le port lors du diagnostic, pourront être suivis.

f. Cas de juvéniles de poissons crypto-benthiques

Comme mentionné au 4.e, le suivi des poissons crypto-benthiques tels que les blennies, gobies, motelles...ou encore les espèces démersales ayant un comportement cryptique comme les mérours ou les anguilles est rendu très difficile pour plusieurs raisons :

- Une absence de méthodologie facilement reproductible et standardisée pour tous les types de milieu,
- Une quasi absence de données en milieu naturel, au moins pour une partie des espèces.

Face à cela, il n'est pas possible aujourd'hui de demander le suivi obligatoire de ces espèces. Néanmoins, **si cela est possible, leur suivi est recommandé**. Les résultats obtenus ne pourront alors qu'être descriptifs.

g. Autres suivis pouvant être réalisés

Si le suivi des juvéniles de poissons est le seul à être obligatoire, d'autres groupes peuvent être suivis afin d'apporter des éléments de compréhension à l'opération. Une partie de ces groupes est détaillée ici. Cette liste n'est toutefois pas exhaustive et pourra être complétée à la suite du diagnostic avant installation, ou en fonction d'enjeux spécifiques au port. L'argumentation quant à la nécessité de tel ou tel suivi complémentaire est laissée à l'appréciation des parties prenantes de l'opération.

Suivi des invertébrés mobiles

Ce groupe d'espèces est aujourd'hui très mal connu en milieu portuaire. Néanmoins, certaines espèces peuvent être des indicateurs de la qualité du milieu, comme c'est le cas par exemple dans l'étude des rejets urbains. Ces animaux constituent également un réseau trophique non négligeable, dont la présence peut influencer sur la présence de juvéniles de poissons. On sait en effet que les post-larves de poissons utilisent entre autres le son produit par la macrofaune benthique pour s'orienter vers les nurseries. La méiofaune ou le plancton constituent également

une source de nourriture pour les juvéniles de poissons. L'analyse de ce groupe d'espèces peut également permettre de suivre les potentielles espèces invasives présentes ou nouvellement arrivées dans le port.

Néanmoins, face à l'absence de méthode standardisée pour suivre ce groupe d'espèces, son évaluation n'est qu'optionnelle et dépendante à la fois des enjeux portuaires et des solutions de restauration déployées.

Suivi de la faune et flore fixées

Ce groupe d'espèces, regroupant à la fois des animaux (bryozoaires, cnidaires, spongiaires, tuniciers, vers, arthropodes et mollusques) et des végétaux (algues), est communément appelé « biofouling » dans les ports, car ils sont principalement connus pour coloniser les carènes des bateaux. Ils sont à la base de nombreux réseaux trophiques et représentent une potentielle source de nourriture pour certains juvéniles. Leur suivi sur les solutions de restauration peut également être étudié du point de vue du biovolume créé grâce à l'installation de nurseries artificielles. La composition de la faune flore fixées peut également présenter des espèces invasives.

Suivi d'habitats naturels présents à l'intérieur du port

Il peut arriver que des habitats naturels comme des herbiers ou des zones rocheuses soient présents à l'intérieur du port. Dans ce cas, il peut être intéressant de les suivre pour comprendre à la fois le fonctionnement du port mais également essayer de comprendre l'influence de ces habitats sur les modules de restauration et inversement.

h. Périodes de suivi

Juvéniles de poissons

La période de suivi jugée la plus favorable, d'après les résultats des suivis du réseau RESPIRE mais également par rapport aux suivis des zones naturelles effectués dans différents projets, est celle des mois de juin et juillet. Compte tenu des éventuelles pollutions liées au réchauffement des eaux, et à une plus grande présence des plaisanciers en milieu portuaire l'été, il est préconisé de favoriser le mois de juin. Il permet d'observer un grand nombre d'espèces de juvéniles, soit venant d'arriver, soit présents depuis quelque temps mais utilisant toujours les nurseries (voir la liste des espèces en annexe 7.2).

La période d'octobre à décembre est également intéressante car elle permet un suivi des espèces hivernales, néanmoins moins nombreuses que les espèces observées en juin (voir la liste des espèces en annexe 7.2). Couplée au suivi du mois de juin, elle permet d'observer la majeure partie des espèces côtières de Méditerranée nord occidentale.

Enfin, les mois de mars et avril peuvent être intéressants pour observer les espèces arrivées à la côte en hiver, ou plus tardivement qu'habituellement en cas d'automne chaud.

Suivi de la faune et de la flore fixée

Si les espèces cibles sont des algues, il est préférable de réaliser le suivi en juin. Sinon, il vaut mieux le réaliser en automne (période où les tuniciers et les bryozoaires sont souvent bien visibles).

Le suivi peut être effectué indifféremment sur les périodes de juin-juillet ou d'octobre-décembre.

i. Résumé des typologies et types de suivis

Le tableau ci-après résume les préconisations en termes de typologies de suivi et de période. Bien entendu, des suivis complémentaires peuvent être rajoutés en fonction des enjeux locaux, comme par exemple, la présence avérée d'espèces invasives ou d'espèces patrimoniales nécessitant un suivi plus poussé, la demande spécifique de l'un des acteurs du projet de restauration, etc.

Tableau 1 : Suivis préconisés par typologie de suivi et par période. Les suivis entre parenthèses sont à effectuer dans la mesure du possible ou en fonction des préconisations. Les suivis dans la colonne « si possible » n'ont pas de périodes préconisées particulièrement et peuvent donc être réalisés n'importe quand en fonction des objectifs.

		Mars	Juin	Oct/Nov	Si possible
Suivi minimal	Juvéniles démersaux		X		
	Juvéniles crypto-benthiques				(X)
Suivi optimal	Juvéniles démersaux		X	X	
	Juvéniles crypto-benthiques				(X)
Suivi renforcé	Juvéniles démersaux	X	X	X	
	Juvéniles crypto-benthiques				(X)
	Faune & flore fixées			(X)	
	Invertébrés mobiles				(X)
	Habitats naturels intra portuaires				(X)

j. Méthode d'évaluation

Pour évaluer le niveau d'efficacité atteint après équipement, plusieurs méthodologies de suivi existent à l'heure actuelle. Afin d'évaluer la ou les plus efficaces, nous avons réalisé un comparatif des plus courantes, en nous basant sur deux types de critères :

- Celles permettant de répondre à la cible, c'est-à-dire, permettant d'évaluer les descripteurs à suivre pour répondre à la question (assemblages, densité, taille) ;
- Les contraintes d'utilisation, incluant aussi bien le personnel, que le temps d'analyse des résultats, la facilité dans la mise en œuvre, le matériel nécessaire mais également le coût estimé incluant tous les paramètres cités ci-avant.

La capacité à évaluer les descripteurs a compté de manière prépondérante pour l'évaluation des méthodologies.

Les fiches descriptives détaillées de chaque méthode sont disponibles en annexe de ce document. Les tableaux suivants représentent la synthèse et l'évaluation des méthodologies disponibles pour chaque type de suivi.

Suivis des poissons démersaux

Sept méthodologies de suivi ont été comparées : l'UVC (Underwater Visual Census) (en palmes-masque-tuba (PMT), en apnée ou en plongée bouteille/recycleur), le suivi par caméra (rotative, tractée ou fixe), le ROV, l'ADN environnemental et la bioacoustique (tableau 2).

Les suivis UVC ont l'avantage d'être précis sur l'évaluation des assemblages, et assez précis pour l'évaluation des densités et des tailles. Ils ont en revanche une couverture temporelle limitée à la durée du suivi. En fonction du type de plongée utilisée (PMT ou bouteille), la profondeur d'application est elle aussi limitée.

Les suivis par caméra sont assez précis pour l'évaluation des assemblages et des densités mais ils sont très imprécis sur l'évaluation des tailles. Il est également difficile d'observer les individus de petites tailles si les conditions ne sont pas optimales. Ils présentent, généralement, un coût plus élevé que l'UVC, lié au matériel mais également au temps de post-traitement non négligeable.

L'ADN environnemental (ADNe) est une méthode encore en cours de développement. Bien qu'elle soit très efficace pour évaluer les assemblages, il n'est pas possible aujourd'hui d'évaluer les densités et les tailles avec cette méthode.

La bioacoustique ne permet aujourd'hui pas de déterminer la taille des individus, et est limitée aux espèces sonifères, donnant un assemblage forcément imprécis. Elle présente néanmoins une très bonne couverture spatiale et temporelle.

Compte tenu de ces éléments, à ce jour, le suivi préconisé pour l'évaluation des juvéniles de poissons démersaux en zone portuaire est le comptage visuel par un observateur, autrement appelé UVC, en palmes-masque-tuba (PMT), en apnée ou en plongée bouteille en fonction de la profondeur d'intervention.

Toutefois, certains de ces suivis (en orange dans le tableau suivant) peuvent être complémentaires à l'UVC ou être réalisés ponctuellement dans le cadre d'un suivi dégradé, par exemple en cas de travaux ponctuels empêchant la mise à l'eau des plongeurs. Ils peuvent également être mis en place pour un suivi plus haute fréquence en cas d'enjeu particulier. Néanmoins, ils ne doivent pas remplacer les comptages par UVC et ils nécessitent au préalable une inter-calibration avec la méthode UVC.

Suivis des poissons crypto-benthiques et des invertébrés mobiles

Pour le suivi des juvéniles crypto-benthiques et des invertébrés, cinq méthodologies ont été comparées : l'UVC (PMT ou plongée), le prélèvement, le quadrat photo, l'ADNe et la bioacoustique (tableau 3).

Le comptage UVC n'est que peu efficace pour l'évaluation des assemblages, puisque les individus sont par définition souvent cachés. En revanche, il est assez bon pour l'évaluation des densités et des tailles.

Le prélèvement permet une très bonne efficacité, aussi bien pour les assemblages, que les densités ou les tailles. Suivant la méthode de prélèvement utilisée, le matériel nécessaire peut être plus ou moins important, ainsi que le temps d'analyse. Le prélèvement n'est pas nécessairement destructeur : les individus à étudier peuvent être remis à l'eau dans l'habitat après identification, comptage et prise de mesures.

Le quadrat photo permet une assez bonne représentativité des assemblages, des densités et des tailles (si une échelle est présente sur la photo). En revanche, il n'est pas forcément simple d'observer les juvéniles crypto-benthiques, comme les mérours ou les civelles par exemple.

Concernant l'ADNe, la base de données est en cours de développement pour les invertébrés. Cette méthodologie n'a donc pas été retenue.

La bioacoustique permet une évaluation des assemblages et des densités correctes mais n'est pas adaptée pour l'évaluation des tailles. De plus, tout comme l'ADNe, cette méthode est assez coûteuse du fait du post-traitement important nécessaire.

Pour l'évaluation des espèces de poissons crypto-benthiques et des invertébrés, la méthode recommandée est le prélèvement.

Les autres méthodes peuvent être utilisées en complément, après une inter-calibration avec la méthode de prélèvement.

Suivis de la Faune et de la Flore Fixées (3F)

Pour le suivi de la 3F, quatre méthodologies ont été comparées : l'UVC, le prélèvement, le quadrat photo et la photogrammétrie (tableau 4).

L'UVC permet une efficacité moyenne aussi bien pour les assemblages que pour le recouvrement et l'évaluation de la structure 3D. Elle peut servir pour dresser les premières évaluations de la richesse et de l'abondance du peuplement, mais ne permet pas une évaluation précise.

Le prélèvement, qui se fait par grattage, est très efficace pour évaluer l'assemblage (suivant la méthode d'analyse choisie), mais n'est pas efficace pour le recouvrement et il ne permet pas l'évaluation de la structure 3D. De plus, c'est une méthode qui aboutit à la destruction de la majeure partie du peuplement qui ne peut être remis à l'eau en bon état de conservation après étude.

Le quadrat photo est très efficace pour l'assemblage et le recouvrement, et permet une évaluation de la structure 3D moyenne.

La photogrammétrie est une méthode très efficace pour tous les paramètres étudiés, mais présente un coût supplémentaire par rapport au quadrat photo, du fait notamment des coûts associés au post-traitement nécessaire et au matériel requis.

Compte tenu de ces paramètres, deux méthodes sont préconisées pour l'évaluation de la faune et flore fixées : le quadrat photo et la photogrammétrie.

Comme pour les autres suivis, l'UVC et le prélèvement peuvent être utilisés en complément, avec une inter-calibration préalable.

Tableau 2 : comparaison et évaluation de différentes méthodes de suivi pour les poissons démersaux

SUIVI POISSONS DEMERSAUX	Evaluation des assemblages	Evaluation des densités	Evaluation des tailles	Couverture temporelle	couverture spatiale	Facilité d'observation des juvéniles	Quantité de matériel requis	Cadre d'utilisation	Facilité de mise en œuvre	Impact sur le milieu	Coût estimé
UVC PMT	+++	++	++	+	+++	+++	-	0 à 1m	+++	0	€
UVC Plongée bouteille ou recycleur	+++	++	++	+	+++	+++	-	0 à 40+	++	0	€€
vidéo rotative	++	++	-	++	++	++	+++	2 à 40+	++	0	€€€
vidéo tractée	++	++	-	+	+++	-	+++	0 à 40+	+	0	€€€
vidéo fixe (ou option stereo)	++	++	-	+++	+	++	++	0 à 40+	++	0	€€
ROV	++	++	-	+	+++	++	++	0 à 40+	++	0	€€€
ADNe	+++	-	-	+	+++	-	+	0 à +100m	++	0	€€€
Bioacoustique	++	++	-	+++	+++	-	+++	0 à 40+	++	0	€€€

+++ Très élevé
 ++ Elevé
 + Moyen
 - Faible
 0 Nul
 € Peu cher
 €€ Moyennement cher
 €€€ Très cher

très adapté
 partiellement adapté
 peu adapté
 nd non déterminé

Recommandé
 Complémentaire/Suivi
 non adapté
 En cours de

Tableau 2 : comparaison et évaluation de différentes méthodes de suivi pour les poissons crypto-benthiques et les invertébrés mobiles

SUIVI INVERTEEBRES ET POISSONS CRYPTO-BENTHIQUES	Evaluation des assemblages	Evaluation des densités/m ²	Evaluation des tailles	Couverture temporelle	couverture spatiale	Facilité d'observation des juvéniles crypto-benthiques	Quantité de matériel requis	Cadre d'utilisation	Facilité de mise en œuvre	Impact sur le milieu	Coût estimé
UVC PMT	+	++	++	+	+++	+	-	0 à 1m	+++	0	€
UVC Plongée bouteille ou recycleur	+	++	++	+	+++	+	-	0 à 40+	++	0	€€
Prélèvement	+++	+++	+++	++	++	+++	++	2 à 40+	++	++	€
Quadrat photo	++	++	++	++	+++	+	+	0 à 40+	++	0	€€
ADNe	++	nd	nd	+	+++	++	+	0 à +100m	++	0	€€€
Bioacoustique	++	++	-	+++	+++	-	+++	0 à 40+	++	0	€€€

Tableau 4 : comparaison et évaluation de différentes méthodes de suivi pour la faune et flore fixées

SUIVI FAUNE ET FLORE FIXEES	Evaluation des assemblages	Recouvrement	Evaluation de la structure 3D	Quantité de matériel requis	Cadre d'utilisation	Facilité de mise en œuvre	Impact sur le milieu	Coût estimé
UVC	++	++	++	-	0 à 1m	+++	0	€€
Prélèvement	+++	+	0	++	0 à 40+	++	+++	€€
Quadrat photo	+++	+++	++	++	0 à 40+	++	0	€€
Photogrammétrie	+++	+++	+++	+++	0 à 40+	++	0	€€€

k. Déploiement de la méthode et échelle d'évaluation

Les stratégies d'échantillonnage ne sont détaillées que pour les méthodologies préconisées, et dans l'état des connaissances actuelles. Ces préconisations sont amenées à évoluer parallèlement à l'évolution des méthodologies et de la technologie.

Suivis des poissons démersaux

Depuis plusieurs années, des suivis de nurseries naturelles sont réalisés principalement par l'Université de Perpignan et plus récemment par Septentrion Environnement dans le cadre du projet MedHab, mais également par l'Institut Océanographique Paul Ricard. Le transect linéaire le long de la côte est le plus souvent utilisé car les individus sont répartis de façon hétérogène le long du littoral et cela évite les doubles comptages (le plongeur étant souvent un attracteur des juvéniles de poissons). Pour faciliter la comparaison des observations réalisées en milieu portuaire avec celles effectuées en milieu naturel, **la méthode de suivi en transect est préconisée.**

Cette méthodologie est adaptée quel que soit le type de module installé, qu'il soit individuel ou déployé le long d'un linéaire. L'évaluation en transect permet ainsi d'évaluer l'efficacité soit d'une zone, soit d'un port équipé, quel que soit le nombre de modules installés. Les suivis en transects permettent également d'intégrer, au même titre que les suivis en zone naturelle, les zones de fortes densités, d'influence et de transition.

Afin de pouvoir mesurer statistiquement l'effet des solutions de restauration, il est important de réaliser, dans la zone du port équipée de modules de restauration, un échantillonnage **d'au moins trois transects de 10 mètres linéaires.**

Il est important de faire une évaluation sur au moins une zone de 50 mètres linéaires minimum présentant des solutions de restauration (incluant les aires d'influence).

Suivis des poissons crypto-benthiques et des invertébrés mobiles

Pour le suivi des juvéniles crypto-benthiques (mérus, anguilles, blennies, gobies, mostelles, rascasses...), **aucune méthode de prélèvement n'est privilégiée** puisqu'il n'existe aucune méthode standardisée à ce jour. En revanche, l'outil utilisé devra être adapté à la solution de restauration proposée, la méthodologie devra être validée au préalable, et les données indiquées en **nombre d'individus/m².**

En fonction des objectifs visés par le suivi des invertébrés mobiles, on pourra étudier :

- La grande méiofaune, qui constitue la principale source de nourriture pour les jeunes juvéniles, mais qui peut également regrouper des espèces invasives. La détermination peut, par exemple, s'arrêter à l'ordre si la détermination jusqu'au rang de l'espèce est trop complexe et n'apporterait pas une information jugée suffisamment utile compte tenu des objectifs du suivi (*Mysida*, *Amphipoda*, *Isopoda*...),
- La macro-faune, qui peut regrouper des espèces indicatrices de la qualité de l'eau, des espèces d'intérêt ou encore des espèces invasives.

Suivis de la faune et de la flore fixées

La faune et la flore fixées sur l'habitat artificiel varient fortement d'un port à un autre et peuvent évoluer très différemment avec la durée d'immersion. Les principaux paramètres influençant leur développement sont les matériaux des supports de fixation, la situation géographique du port,

les paramètres influençant la circulation et la qualité des eaux, la profondeur et l'exposition à la lumière. L'échantillonnage devra donc être représentatif de ces différents paramètres.

Comme mentionné précédemment, l'échantillonnage est fait par **quadrat photographique**.

Il est recommandé d'effectuer **trois quadrats pour chaque condition de l'habitat artificiel**.

Par exemple, si une partie des modules est exposée à l'ombre et l'autre au soleil, il est recommandé de réaliser trois quadrats dans chaque zone. Il en est de même si certains habitats artificiels sont disposés en surface et d'autres en profondeur.

Les indicateurs à suivre sont :

- La richesse spécifique (nombre d'espèces) ;
- Le pourcentage de recouvrement occupé / le nombre de colonies par espèce ou groupe d'espèces selon la finesse de l'identification possible.

Les résultats seront exprimés par **unité de 1m²**.

Un échantillonnage plus important pourra être mis en œuvre selon la volonté des parties prenantes du projet et/ou en cas de configuration particulière.

I. Etude de zones non équipées au sein du port

Comme mentionné au début de ce chapitre, l'objectif des suivis pour les projets opérationnels n'est plus de valider qu'un outil ou qu'une solution fonctionne, mais seulement d'évaluer le niveau d'efficacité. En partant du principe que l'équipement installé au sein du port est correctement dimensionné par rapport à la taille du port, et qu'il n'est pas nécessaire d'équiper l'intégralité d'un port pour considérer que ce dernier est restauré, la question de suivre des zones non équipées dans le port n'apparaît pas pertinente.

Toutefois, cela peut être réalisé en l'absence de données de référence permettant l'évaluation de l'efficacité, ou pour étudier un éventuel effet de débordement, c'est-à-dire, vérifier que l'installation de nurseries artificielles impacte positivement l'intégralité du port, y compris les zones non équipées. Néanmoins, cela ne peut être en aucun cas une étude obligatoire, et rentre plutôt dans les études optionnelles, à justifier en fonction des particularités du port et avec les parties prenantes.

m. Diagnostic avant aménagement

Tout projet de restauration écologique doit s'accompagner d'un diagnostic avant aménagement dont l'objectif principal est d'optimiser les réussites des futures installations.

Au préalable, il faut vérifier que la ou les pressions à l'origine de la dégradation soient supprimées ou maîtrisées. Ce paramètre peut être vérifié par un audit simple du gestionnaire de l'espace portuaire et/ou par obtention d'un label comme « Ports Propres ».

La suppression ou maîtrise des pressions peut passer par exemple par une réduction de la pollution, une organisation des usages, la mise en place de mesures environnementales (aire de carénage, récupération et traitement des eaux grises, eaux noires et des eaux de ruissellements, etc.)

Les 3 postulats suivants sont applicables au diagnostic avant aménagement :

- Par définition, le port a été installé sur des petits fonds côtiers et a donc détruit des fonctions de nurserie.

- Travailler à l'intérieur des ports sur des petits linéaires de 50 mètres a du sens par rapport au fonctionnement de la nature (résultats MedHab). Il n'est donc pas nécessaire d'équiper 100% d'un port pour avoir une action produisant des effets.
- Il convient de restaurer les fonctions écologiques chaque fois que cela est possible, sans essayer de juger si la restauration aura un effet important sur les milieux adjacents car, par définition, un état dégradé ou une fonction écologique altérée mérite d'être restaurée.

Diagnostic « à minima »

Ce diagnostic se concentre sur des éléments simples et factuels comme :

- La localisation des pressions (rejets d'eaux pluviales, zones de concentration de macrodéchets, zones d'avitaillement, etc.),
- Les types de supports présents (quais/pontons/enrochements, matériaux béton ou palplanche, pontons fixes/flottants...), le linéaire de chaque type de support et leur localisation spatiale incluant des données bathymétriques,
- La présence éventuelle de post-larves ou juvéniles de poissons dans certaines zones du port. Le diagnostic sera réalisé préférentiellement en mai/juin pour accéder à la majeure partie de l'assemblage présent dans la zone portuaire.

Diagnostic complémentaire

Ce diagnostic concerne principalement les ports en suivi renforcé ou présentant des particularités.

Dans la mesure où cela s'avère nécessaire (ex : enjeu de biodiversité à proximité, port au sein du Aire Marine Protégée, présence d'un déversoir d'orage ou grand réseau drainé par les déversoirs d'orage...), une évaluation plus complète peut être mise en place. Cette évaluation va englober à la fois les éléments du diagnostic « à minima », mais intégrera également d'autres paramètres comme par exemple :

- La faune et flore fixée présentes sur les structures portuaires ;
- Les invertébrés présents sur les structures portuaires ;
- Les différents habitats marins présents dans le port ;
- Des données de courantologie sur l'ensemble du port.

n. Coûts moyens

Le coût d'un projet d'installation de nurseries artificielles pour un aménagement portuaire dépend :

- Des solutions installées,
- De la quantité installée,
- Des actions complémentaires mises en place comme les suivis écologiques, l'entretien des solutions artificielles, la sensibilisation du public ou encore la gestion de la fin de vie des modules installés. L'entretien nécessaire pouvant être plus ou moins important selon les zones portuaires (en fonction de la vitesse de développement et de la composition du biofouling ou encore en fonction de l'activité électrolytique dans le bassin).

Pour donner un ordre de grandeur, le coût annuel moyen intégrant les 3 points précédemment listés représente, en 2021, un investissement de 10 à 20 K€/an HT sur lequel une aide de l'Agence de l'eau et des collectivités (Régions, Départements) peut s'appliquer.

Sur la base des suivis réalisés sur les opérations actuelles, le coût moyen du suivi écologique représente environ 30% du coût d'installation des solutions de restauration. Si pour un cas donné, cette valeur est amenée à être supérieure, il est proposé de présenter au maître d'ouvrage deux possibilités :

- Le contenu technique du suivi représentant au maximum 30% du coût des travaux,
- Le contenu technique du suivi au coût supérieur à 30% des travaux.

Ainsi, il sera en capacité de décider en toute connaissance de cause.

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Sar à museau pointu @Alizée FREZEL |



Ce guide technique est une première version apportant les préconisations de la méthodologie d'évaluation des pilotes expérimentaux et des travaux de restauration écologique concernant les nurseries portuaires. S'il est amené se développer avec l'évolution des méthodes de suivis, des avancées techniques ou de la réglementation, il pose néanmoins un premier cadre pour cette thématique. D'autres volumes sont également voués à être édités concernant la restauration d'autres habitats, dès lors qu'un certain nombre d'outils et de solutions validés auront été développés.

Aujourd'hui, concernant les nurseries portuaires, deux types d'évaluation sont préconisés :

- La validation de l'efficacité des solutions de restauration de la fonction nurserie, qui vont impliquer des suivis complets, avec une fréquence rapprochée, et la comparaison avec des zones témoins et de référence ;
- L'évaluation du niveau d'efficacité dès lors que les solutions sont validées. La méthodologie de suivi est alors plus simple, avec une fréquence réduite d'une à trois fois par an, et dont les résultats sont mis en regard avec les observations réalisées dans le cadre de réseau de surveillance sur des zones naturelles de référence.

Si ce guide apporte une première base et un certain cadrage, plusieurs questions restent aujourd'hui en suspens et nécessitent des études de très longue durée avant d'obtenir des éléments de réponse. C'est le cas notamment de l'impact des actions de restauration des nurseries sur le maintien des stocks de poissons. Cette question, bien que cruciale, est aujourd'hui impossible à évaluer compte tenu des connaissances scientifiques et des méthodologies de suivi actuelles. Si elle peut rester un objectif à très long terme, elle ne doit en aucun cas devenir un frein au développement des actions de restauration écologique. La question d'une évaluation des actions à plus grande échelle, comme à l'échelle d'une baie ou même de la façade méditerranéenne est quant à elle plus abordable à moyen terme. La mise en place de STERE (schéma territorial de restauration écologique) pourra apporter des premiers éléments de réponse.

Un autre moyen de pouvoir aborder la question d'une évaluation à plus grande échelle est le développement d'une base de données générale, incluant tous les résultats de suivis réalisés dans le cadre d'action de restauration écologique (tout du moins, les projets validés scientifiquement comme étant efficaces, c'est-à-dire avec un TRL d'au moins 8). Cette base est un objectif à court terme, qui nécessite néanmoins un certain nombre de cadrages, aussi bien sur la manière de banqueriser les données que sur la disponibilité de ces données (open data). Il est également nécessaire de réfléchir techniquement à la création de cette base et à son stockage. Malgré tout, sa création peut être envisagée comme la prochaine étape de ce guide, qui permettra des analyses plus générales permettant de gagner un cran supplémentaire dans la compréhension des actions de restauration écologique mais également, très probablement, plus généralement au fonctionnement des écosystèmes marins côtiers.

7. ANNEXES

Banc de castagnoles @Antony FORTIN |



7.1. STADES JUVENILES ET TAILLES ASSOCIEES

Ces données sont issues d'un atelier de travail mené entre l'Université de Perpignan (CREM-CEFREM), Ecocean, l'Institut Océanographique Paul Ricard et Biotope en 2018 et présentées à la Larval Fish Conference, à Palma de Majorque en 2019 (tableau 5⁶⁷⁸⁹¹⁰).

Post-Larve : Dernier stade larvaire. Stade auquel le poisson retourne vers le littoral, thigmotrope.

Stade 1 : Juvénile qui vient de s'installer. Individu plutôt transparent, qui ressemble à la post-larve, métamorphose non terminée, mortalité encore très importante.

Stade 2 : Individu pigmenté, qu'on voit se nourrir. Subit encore une forte mortalité, très dépendant et inféodé de son habitat

Stade 3 : Déplacements plus grands et/ou plus larges (pour les necto-benthiques). Individu moins dépendant de son habitat. A la fin du stade, l'individu a atteint la taille refuge et est prêt à quitter la nurserie. Mortalité fortement diminuée.

Stade 4 : Sub-adulte. Couleur de robe fixée, n'a plus besoin de l'habitat en tant que nurserie et ressemble à l'adulte, voire a déjà intégré la population adulte

⁶Crec'hriou R. et al. (2015). Atlas des Post-Larves de poissons de Méditerranée Occidentale. Romain Crec'hriou; Philippe Lenfant. DOI : 10.13140/RG.2.1.3678.1282

⁷ Gon O. & ben-Tuvia A. (1983). The biology of Boyer's sand smelt, *Atherina boyeri* Risso in the Bardawil Lagoon on the Mediterranean coast of Sinai. *Fish Biology* vol. 22 issue 5. P. 537-547

⁸ Bauchot M.-L. (1987). Poissons osseux. p. 891-1421. In W. Fischer, M.L. Bauchot and M. Schneider (eds.) Fiches FAO d'identification pour les besoins de la pêche. (rev. 1). Méditerranée et mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. II. Commission des Communautés Européennes and FAO, Rome.

⁹ Carbonara P. et al. (2012). Reproductive cycle and length at first maturity of *Trachurus trachurus* in the central-western Mediterranean seas/ciclo riproduttivo e taglia di prima maturità di *Trachurus trachurus* nei mari del mediterraneo centro-occidentale. *Biologia Marina Mediterranea*, 19(1), 204.

¹⁰ Tsikliras A. C. & Stergiou K. L. (2014). Size at maturity of Mediterranean marine fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(1), 219-268.

Tableau 5 : les différents stades juvéniles et classes de taille associées. **Ce document doit être cité de la manière suivante** : Gudéfin et al., 2019. A common terminology of early life history stage of fish and its direct application on a Marine Framework Directi

Famille	Espec	Nom commun	Post-larve	Stadel	Stadell	Stadelll	StadelV	Maturite sexuelle	Bibliographie taille post-larve	Bibliographie taille maturité sexuelle
Atherinidae	<i>Atherina boyeri</i>	Atherine de Boyer		15	20	25	30	35		Gon O. & Ben-Tuvia A. (1983)
Carangidae	<i>Trachurus mediterraneus</i>	Chinchard a queue jaune	10	15	20-25	25-30	35-195	200		Bauchot M.-L. (1987)
Carangidae	<i>Trachurus trachurus</i>	Chinchard commun	10	15	20-25	25-30	35-180	187		Carbonara P. et al. (2012)
Labridae	<i>Coris julis</i>	Girelle commune	15	25	30-35	40-55	60-155	160	Crec'hriou R. et al. (2015)	Cote-bleue.org
Labridae	<i>Ctenolabrus rupestris</i>	Ctenolabre rupestre				40-60				
Labridae	<i>Symphodus tinca</i>	Crenilabre tanche	15	20	25-35	40-60	65-145	151		Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Labridae	<i>Thalassoma pavo</i>	Girelle paon	15	20	25-35	40-65	70-95	100	Crec'hriou R. et al. (2015)	doris.ffesm.fr
Moronidae	<i>Dicentrarchus labrax</i>	Bar commun	15	20	25-35	40-60	65-260	265	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mugilidae	<i>Chelon labrosus</i>	Mulet lippu	10-15	20	25-35	40-60	65-335	340	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mugilidae	<i>Liza aurata</i>	Mulet dore	10-15	20	25-35	40-60	65-260	265	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mugilidae	<i>Liza ramada</i>	Mulet-porc	10-15	20	25-35	40-60	65-275	283	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mugilidae	<i>Mugil cephalus</i>	Mulet a grosse tete	10-15	20	25-35	40-60	65-440	448	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mullidae	<i>Mullus barbatus barbatus</i>	Rouget barbet	45	50	55	60-80	85-125	130	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Mullidae	<i>Mullus surmuletus</i>	Rouget surmulet	45	50	55	60-80	85-150	155	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Pomacentridae	<i>Chromis chromis</i>	Castagnole	5	10	15-25	30-50	55-95	100	Crec'hriou R. et al. (2015)	doris.ffesm.fr
Sciaenidae	<i>Sciaena umbra</i>	Corb	20	25	30-40	45-90	95-250	258	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Serranidae	<i>Epinephelus marginatus</i>	Merou brun	25	35	40-70	75-120	125-525	530	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Serranidae	<i>Serranus cabrilla</i>	Serran chevre	15	20	25-35	40-50	55-110	117	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Serranidae	<i>Serranus hepatus</i>	Serran hepate	10	20	25-35	40-50	55-80	85	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Serranidae	<i>Serranus scriba</i>	Serran ecriture	10	20	25-35	40-50	55-95	103	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Diplodus annularis</i>	Sparailon	10	15	20-35	40-65	70-100	106	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Diplodus puntazzo</i>	Sar a museau pointu	10	15	20-35	40-75	80-210	219	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Diplodus sargus sargus</i>	Sar commun	10	15	20-30	35-55	60-200	208	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Diplodus vulgaris</i>	Sar a tete noire	10	15	20-30	35-65	70-170	174	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Oblada melanura</i>	Oblade	10	15	20-30	35-45	50-165	170	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Pagrus pagrus</i>	Pagre commun	20	25	30-45	50-80	85-260	266	Crec'hriou R. et al. (2015)	
Sparidae	<i>Sarpa salpa</i>	Saupe	15	20	25-35	40-70	75-210	217	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sparidae	<i>Sparus aurata</i>	Dorade royale	15	20	25-45?	50-80?	85-195?	200	Crec'hriou R. et al. (2015)	IUCN Red list
Sparidae	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	Dorade grise	15	20	25-35	40-60	65-215	220	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)
Sphyraenidae	<i>Sphyraena sphyraena</i>	Becune mediterraneenne	40	45-55	60-80	85-120	125-240	245	Crec'hriou R. et al. (2015)	Tsikliras A. C. & Stergiou K. I. (2014)

7.2. LISTE DES ESPÈCES OBSERVABLES EN FONCTION DES PÉRIODES DE SUIVIS

Tableau 6 : liste des espèces de poissons observables en juin juillet, avec le détail des stades auxquels ils peuvent être observés

Période : juin - juillet					
Periode	Espèces	Nom latin	Post-larves à Stade 2	Stade 3	Stade 4
juin-juil	Anguille européenne	<i>Anguilla anguilla</i>	X	X	
juin-juil	Barracuda	<i>Sphyraena sphyraena</i>	X		
juin-juil	Blennidé	<i>Blenniidae sp</i>	X		
juin-juil	Blennie paon	<i>Salaria pavo</i>	X		
juin-juil	Blennie pilicorne	<i>Parablennius pilicornis</i>	X		
juin-juil	Canthare	<i>Spondyliosoma cantharus</i>	X	X	
juin-juil	Castagnole	<i>Chromis chromis</i>	X	X	X
juin-juil	Crénilabre tanche	<i>Symphodus tinca</i>		X	X
juin-juil	Dorade	<i>Sparus aurata</i>		X	X
juin-juil	Girelle	<i>Coris julis</i>	X		X
juin-juil	Girelle paon	<i>Thalassoma pavo</i>	X	X	X
juin-juil	Gobidé	<i>Gobiidae sp</i>	X		
juin-juil	Hippocampe moucheté	<i>Hippocampus guttulatus</i>	X		
juin-juil	Loup	<i>Dicentrarchus labrax</i>	X	X	X
juin-juil	Mérou brun	<i>Epinephelus marginatus</i>	X	X	
juin-juil	Mulet	<i>Mugilidae sp</i>	X	X	X
juin-juil	Mulet cabot	<i>Mugil cephalus</i>			X
juin-juil	Mulet lippu	<i>Chelon labrosus</i>		X	X
juin-juil	Oblade	<i>Oblada melanura</i>	X	X	X
juin-juil	Pageot	<i>Pagellus sp</i>		X	
juin-juil	Pageot acarne	<i>Pagellus acarne</i>	X		
juin-juil	Pagre	<i>Pagrus pagrus</i>	X	X	
juin-juil	Rouget de roche	<i>Mullus surmuletus</i>	X	X	X
juin-juil	Rouget de vase	<i>Mullus barbatus barbatus</i>	X	X	
juin-juil	Sar à museau pointu	<i>Diplodus puntazzo</i>	X	X	X
juin-juil	Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>	X	X	X
juin-juil	Sar commun	<i>Diplodus sargus sargus</i>	X	X	X
juin-juil	Sar tambour	<i>Diplodus cervinus</i>		X	X
juin-juil	Saupe	<i>Sarpa salpa</i>	X	X	X
juin-juil	Serran chevrette	<i>Serranus cabrilla</i>	X		X
juin-juil	Serran écriture	<i>Serranus scriba</i>		X	X
juin-juil	Sparaillon	<i>Diplodus annularis</i>	X	X	X

Tableau 8 : liste des espèces de poissons observables en octobre-novembre, avec le détail des stades auxquels ils peuvent être observés

Période : octobre - novembre

Periode	Espèces	Nom latin	Post-larves à	Stade 2	Stade 3	Stade 4
oct-nov	Blennidé	<i>Blenniidae sp</i>	X			
oct-nov	Blennie diablo	<i>Parablennius incognitus</i>	X			
oct-nov	Castagnole	<i>Chromis chromis</i>	X		X	X
oct-nov	Crénilabre tanche	<i>Symphodus tinca</i>			X	X
oct-nov	Dorade	<i>Sparus aurata</i>				X
oct-nov	Girelle	<i>Coris julis</i>	X		X	X
oct-nov	Girelle paon	<i>Thalassoma pavo</i>	X		X	X
oct-nov	Gobidé	<i>Gobiidae sp</i>	X			
oct-nov	Loup	<i>Dicentrarchus labrax</i>	X			X
oct-nov	Mérou brun	<i>Epinephelus marginatus</i>	X		X	X
oct-nov	Mulet cabot	<i>Mugil cephalus</i>				X
oct-nov	Mulet indéterminé	<i>Mugilidae sp</i>	X		X	X
oct-nov	Mulet lippu	<i>Chelon labrosus</i>			X	X
oct-nov	Oblade	<i>Oblada melanura</i>	X		X	X
oct-nov	Pageot	<i>Pagellus sp</i>	X			
oct-nov	Pagre	<i>Pagrus pagrus</i>			X	X
oct-nov	Rouget de roche	<i>Mullus surmuletus</i>			X	X
oct-nov	Rouget de vase	<i>Mullus barbatus barbatus</i>			X	X
oct-nov	Sar à museau pointu	<i>Diplodus puntazzo</i>	X		X	X
oct-nov	Sar à tête noire	<i>Diplodus vulgaris</i>			X	X
oct-nov	Sar commun	<i>Diplodus sargus sargus</i>	X		X	X
oct-nov	Saupe	<i>Sarpa salpa</i>	X		X	X
oct-nov	Serran chevrette	<i>Serranus cabrilla</i>			X	X
oct-nov	Serran écriture	<i>Serranus scriba</i>				X
oct-nov	Serran indéterminé	<i>Serranus sp</i>	X			
oct-nov	Sparaillon	<i>Diplodus annularis</i>	X		X	X

7.3. DESCRIPTIF DES DIFFERENTES METHODOLOGIES DE SUIVI

ADN ENVIRONNEMENTAL	
Description	Méthode qui consiste à l'indentification d'espèces à partir de l'ADN qu'elles laissent dans leur environnement. L'ADN récolté dans l'environnement, il est ensuite extrait et amplifié grâce à la méthode PCR. Des analyses bio-informatiques permettent d'obtenir des informations telles que les taxons identifiés. L'ADN persiste entre 1 et 25 jours en milieu aquatique.
Personnel mobilisé	2 opérateurs minimum
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Kit d'échantillonnage • Embarcation (si nécessaire)
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Pas de contraintes liées à la visibilité • Non limité en profondeur • Temps d'acquisition des données moyennement long • Grande couverture temporelle • Très grande résolution taxonomique • Temps d'analyse des données long (laboratoire spécialisé) • Bibliothèque d'espèces encore en développement (notamment pour les invertébrés) • Les espèces rares ne sont pas toujours détectées • Certains polluants peuvent détériorer l'ADN et biaiser les résultats • Pas d'information sur la taille et donc le stade de vie, ni sur le sexe
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Espèces • Assemblages • Abondance relative • Présence / absence
Pour aller plus loin	G. Aglieri <i>et al.</i> , 2020. Environmental DNA effectively captures functional diversity of coastal fish communities. <i>Molecular ecology</i>

BIOACOUSTIQUE

Description	Permet la détection, la localisation et la caractérisation de la faune sous-marine à l'aide d'enregistrement acoustique. Permet d'enregistrer des sons biologiques (biophonie) et non biologiques (géophonie et anthropophonie) pour créer le paysage acoustique d'une zone.
Personnel mobilisé	1 à 2 opérateurs + plongeurs professionnels si nécessaire
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Enregistreurs • Hydrophones • Support • Embarcation si nécessaire
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Non limité par la visibilité • Grande gamme de profondeur possible, mais plus difficile en faibles profondeurs • Adapté aux milieux extrêmes ou difficilement accessibles • Temps d'acquisition des données long • Utilisation à large échelle temporelle et spatiale • Temps d'analyse des données long • Espèces limitées à la bibliothèque de sons connus et aux animaux émettant des signaux acoustiques • Certains bruits parasites peuvent perturber les enregistrements
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Distribution spatiale des sons (si au moins 3 hydrophones) • Comportement (stratégies de communication) • Paysage acoustique • Abondance relative (liée au nombre de sons)
Pour aller plus loin	<p>Di Lorio & Gervaise, 2018. Benthic biophonic assemblages, their environmental divers, eco-acoustic scores at the level of the Western Mediterranean basin, and their implications for large-scale ecosystem monitoring. <i>The journal of the Acoustical Society of America</i> 144, 1692.</p> <p>Gervaise <i>et al</i>, 2019. Three-dimensional mapping of the benthic invertebrates biophony with a compact four-hydrophones array. <i>Applied Acoustics</i></p> <p>Desidera <i>et al.</i>, 2019. Acoustic fish communities : sound diversity of rocky habitats reflects fish species diversity. MEPS</p>

PHOTOGRAMMETRIE

Description	La photogrammétrie consiste à réaliser un très grand nombre de photographies d'une même zone avec un pourcentage de recouvrement élevé (de l'ordre de 70-80% d'une photo à sa voisine). Cela permet de recréer une image composite d'une surface à étudier plus grande que la surface visible sur une seule photographie et avec un degré de résolution plus élevé.
Personnel mobilisé	Minimum 2 plongeurs
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none">• Appareil photo avec caisson étanche• Éclairage• Logiciel de traitement et d'analyse des images• Ordinateur avec processeur performant
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none">• Méthode non destructrice• Nécessite une bonne visibilité• Profondeur limitée par les plongeurs• Plongées longues pour l'acquisition des images• Offre une excellente visualisation d'un site, d'une structure• Permet de modéliser aussi bien un petit objet isolé (exemple : colonie de corail) qu'un paysage sous-marin de plusieurs centaines de mètres carrés• Possibilité de vérifier les identifications à posteriori• Temps d'analyses des images long (le temps de traitement augmente avec la qualité des images)
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none">• Habitats• Evolution d'un milieu• Croissance des espèces sessiles (si échelle)• Assemblages• Distribution• Cartographie des fonds• Recouvrement• Structuration 3D d'un milieu
Pour aller plus loin	Marre <i>et al.</i> , 2019. Monitoring marine habitats with photogrammetry : a cost-effective, accurate, precise and high-resolution reconstruction method. <i>Frontiers in Marine Science</i> 6.276

PRELEVEMENT

Description	Le prélèvement consiste à extraire, temporairement ou définitivement, des animaux ou des végétaux de leur milieu naturel. Différentes méthodes existent et peuvent être destructrices de par leur méthode de prélèvement (exemple : grattage) ou en cas de conservation pour analyse en laboratoire. Néanmoins, il est également possible, suivant la méthode utilisée, de remettre les individus dans leur milieu après comptage et détermination.
Personnel mobilisé	Minimum 2 intervenants (plongeurs ou PMT)
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Echantillonneur (filet, épuisette, benne, mini nurserie artificielle, grattoir et sac de prélèvement, aspirateur...) • Loupe binoculaire (si besoin) • Aquariums, tamis... • Contenants et solutions (formol, alcool...) pour conserver les individus, si nécessaire • Matériel de mesure des individus
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Peut être destructeur ou non suivant la méthode utilisée • Non limité par la visibilité • Limite de profondeur déterminée par la méthode utilisée • Temps d'acquisition des données sur le terrain dépendant de la méthode utilisée • Identification précise (<i>in situ</i>) à très précise (en laboratoire) • L'ensemble des organismes est collecté (des plus petits au plus grands) • Temps d'analyse des données potentiellement long (laboratoire) • Certains organismes peuvent être endommagés suivant la méthode (grattage, aspirateur...)
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance • Assemblages • Taille des individus • Biomasse • Présence/absence • Espèces invasives
Pour aller plus loin	<p>Garcia A. et al. Protocole de suivi stationnel des marcoinvertébrés benthiques de substrats meubles subtidiaux et intertidaux dans le cadre de la DCE. Façades Manche et Atlantique. Rapport AQUAREF 2014. 13p. + annexes</p> <p>Doré A., Horellou A., Herard K., Touroult J., 2015. ZNIEFF MARINES - Pratiques et mise en œuvre sur les substrats durs. Rapport SPN 2015 - 47. MNHN, Paris, 55 p.</p>

QUADRAT PHOTOGRAPHIQUE

<p>Description</p>	<p>Le quadrat photo consiste à photographier une zone d'une surface délimitée. La taille et le nombre de ces quadrats peuvent être adaptés selon le cas d'étude. Le principal avantage est de bénéficier d'une taille fixe donc reproductible suivi après suivi.</p> <p>Deux appareils photographiques (stéréophotographie) peuvent être employés simultanément pour donner un « effet 3D » aux images et améliorer les analyses</p>
<p>Personnel mobilisé</p>	<p>1 ou 2 plongeurs en fonction de la profondeur</p>
<p>Matériel spécifique nécessaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Appareil photo avec caisson étanche • Éclairage • Quadrat • Logiciel de traitement et d'analyse des images
<p>Contraintes d'utilisation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une bonne visibilité • Profondeur limitée par les plongeurs • Temps d'acquisition des données relativement court • Pas de biais d'échantillonnage <i>in situ</i> • Inventaires relativement exhaustifs • Possibilité de vérifier les identifications à posteriori • Temps d'analyse des images long • Problème d'identification pour les espèces les plus petites ou celles dont les critères d'identification ne sont pas visibles sur les clichés • Privilégier la photographie de petites surfaces pour conserver une résolution suffisante
<p>Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evolution d'un milieu • Nombre d'espèces/taxons • Recouvrement • Taille (si échelle) • Assemblages
<p>Pour aller plus loin</p>	<p>Cépralmar, Région Languedoc-Roussillon - Boîte à outils permettant de constituer un suivi scientifique standardisé des récifs artificiels en Languedoc-Roussillon : 84 pages. 2017</p> <p>Doré A., Horellou A., Herard K., Touroult J., 2015. ZNIEFF MARINES - Pratiques et mise en œuvre sur les substrats durs. Rapport SPN 2015 - 47. MNHN, Paris, 55 p.</p>

ROV

Description	<p>Le ROV (Remotely Operated Vehicle) est une structure autopropulsée qui embarque une caméra vidéo et un système d'éclairage. Certains ROV sont pourvus d'un bras articulé qui permet de prélever des organismes benthiques. Le ROV est manœuvré à distance par un opérateur. La position exacte du ROV est déterminée par un traqueur acoustique. Les images sont enregistrées à partir d'un câble ombilical relié au ROV. Les images sont visionnées en direct. Il existe plusieurs classes de ROV, qui définissent leur taille et leur capacité de déplacement.</p>
Personnel mobilisé	<p>Minimum 2 opérateurs pour la manipulation du ROV</p>
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • ROV • Espace pour le poste de pilotage
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une bonne visibilité et luminosité • Pas de limite de profondeur • Adapté aux milieux extrêmes ou difficilement accessibles • Temps d'acquisition des données relativement court • Peut être stoppé ou revenir en arrière pour réaliser des observations particulières • Visualisation des images en direct • Capacité de déplacement dans les 3 dimensions • Possibilité de vérifier les identifications à postériori • Temps d'analyses des images long • Acquisition de données descriptives et non quantitatives • Nécessité un niveau d'expertise important • Matériel fragile • Zone d'exploration limitée par la longueur du câble ombilical
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance (estimation) • Richesse • Assemblages relatifs • Présence/absence • Classe de taille (petit - moyen - gros) • Description des habitats
Pour aller plus loin	<p>Doré A., Horellou A., Herard K., Touroult J., 2015. ZNIEFF MARINES - Pratiques et mise en œuvre sur les substrats durs. Rapport SPN 2015 - 47. MNHN, Paris, 55 p.</p>

UVC (Underwater Visual Census)

Description	<p>Comptage visuel, en palmes-masque-tuba (PMT), en bouteille ou en recycleur. Cette méthode peut s'appliquer le long de transects (lignes), à l'intérieur de quadrats (cadres) ou en point fixe.</p> <p>La plupart des suivis écologiques concernant les poissons s'appuient aujourd'hui sur cette méthode</p>
Personnel mobilisé	2 à 3 plongeurs en fonction du type d'équipement et de la profondeur d'intervention
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Plaquette de notation/tablette • Décamètre / Quadrat... • Appareil photo avec caisson étanche si nécessaire • Embarcation dans certains cas
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une visibilité suffisante • Profondeur limitée par les plongeurs • Temps d'acquisition des données relativement court • Très bonne détermination des espèces si plongeur entraîné • Pas de temps d'analyse de données à posteriori • Méthode simple à mettre en œuvre • Peut entraîner une modification du comportement des poissons (fuite ou curiosité face au plongeur) • Les animaux peuvent être comptés 2 fois
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance • Taille • Espèce • Assemblages • Présence/absence • Recouvrement • Habitats
Pour aller plus loin	Labrosse <i>et al.</i> , 2002. Underwater visual fish census surveys. Proper use and implementation. Secretariat of the Pacific Community

VIDEO FIXE

<p>Description</p>	<p>Caméra sous-marine fixée sur un support.</p> <p>Il est possible d'installer cette caméra pour une courte période, auquel cas, le temps d'enregistrement est limité à la durée de la batterie. Il est également possible d'installer une caméra pour une longue période, nécessitant alors une alimentation électrique.</p> <p>Possibilité d'utiliser plusieurs caméras pour un système de stéréo vidéo.</p>
<p>Personnel mobilisé</p>	<p>1 ou 2 opérateur(s) pour l'installation</p>
<p>Matériel spécifique nécessaire</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra avec caisson étanche • Support de fixation • Alimentation électrique si suivi longue durée
<p>Contraintes d'utilisation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une bonne visibilité et luminosité • Profondeur limitée par la résistance du matériel • Temps d'acquisition des données limité par la durée de la batterie (sauf si alimentation électrique) • Possibilité de vérifier les identifications à postériori • Temps d'analyse des images long • Nécessite une très haute résolution et une focale adaptée pour voir les plus petits individus • En cas de suivi longue durée, le hublot de la caméra peut se couvrir de sédiments et/ ou de vie fixée. Dans ce cas prévoir un nettoyage ou un essuie-glace
<p>Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance • Richesse • Faune et flore fixées • Comportement • Assemblages • Classe de taille (petit - moyen - gros) • Biomasse
<p>Pour aller plus loin</p>	<p>Bacheler N. M. et al. 2017. Comparing Relative Abundance, Lengths, and Habitat of Temperate Reef Fishes Using Simultaneous Underwater Visual Census, Video, and Trap Sampling. <i>Marine Ecology Progress Series</i>, vol. 574, 2017, pp. 141-55</p> <p>Assis J. et al., 2013. Performing fish counts with a wide-angle camera, a promising approach reducing divers' limitations. <i>Journal of experimental marine biology and ecology</i>, vol 445, pp. 93-98</p>

VIDEO ROTATIVE

Description	<p>Caméra rotative haute définition effectuant des enregistrements à intervalles réguliers ou pendant une période définie. Cette méthode permet de collecter des observations sur les habitats et les animaux.</p> <p>Possibilité d'utiliser plusieurs caméras pour un système de stéréo vidéo.</p>
Personnel mobilisé	1 à 2 opérateurs
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Embarcation • Caméra • GPS
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une bonne visibilité et luminosité • S'applique à de larges gammes de profondeur (2m - 60m) • Adapté aux zones difficiles voire non accessibles aux plongeurs • Durée d'acquisition des données limitée à la batterie (plusieurs heures) • Observations non influencées par un observateur ou dispositif appâté • Possibilité de vérifier les identifications à postériori • Temps d'analyses des images long • Evaluation limitée à un périmètre de 5 mètres autour de la caméra
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Abondance • Espèce • Fréquence d'occurrence par espèce • Comportement • Habitat • Présence/absence • Classe de taille (petit - moyen - gros) • Taux de recouvrement
Pour aller plus loin	<p>Delphine Mallet, 2014. Des systèmes vidéo rotatifs pour étudier l'ichtyofaune : Applications à l'analyse des variations spatiales et temporelles dans le lagon de Nouvelle-Calédonie. Ingénierie de l'environnement. Université de la Nouvelle-Calédonie, Français.</p> <p>Pelletier <i>et al</i>, 2015. La vidéo rotative autonome pour l'observation des habitats et de la macrofaune côtiers. Guide méthodologique des systèmes STAVIRO et MICADO. Rapport AMBIO/A/1.IFREMER Nouméa. 89p. Version du 3 novembre 2016</p>

VIDEO TRACTEE

Description	Cette technique consiste à remorquer à faible vitesse un système stable équipée d'une caméra qui filme en direction du fond. La trajectoire du système est enregistrée simultanément pour géoréférencer les images.
Personnel mobilisé	3 ou 4 opérateurs pour la phase terrain et l'identification à postériori
Matériel spécifique nécessaire	<ul style="list-style-type: none"> • Caméra avec support • Moniteur de surface • GPS • Embarcation
Contraintes d'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode non destructrice • Nécessite une bonne visibilité et luminosité • Profondeur d'utilisation >2m • Nécessite une bonne météo • Temps d'acquisition des données relativement court • Possibilité de couvrir de grandes distances • Nécessite un très bon pilotage de l'embarcation • Possibilité de confirmer les identifications à postériori • Temps d'analyse des images long • Estimation des surfaces difficiles • Identification des espèces de poissons et des tailles assez difficiles • Non adapté pour observer les petits individus • Possibilité de confirmer les identifications à postériori
Paramètres pouvant être relevés avec cette méthode	<ul style="list-style-type: none"> • Cartographie des fonds • Habitats • Espèces • Abondance • Présence/absence • Assemblages • Classes de taille (petit, moyen, gros)
Pour aller plus loin	<p>Pelletier D. et Leleu K., 2008. Utilisation de techniques vidéos pour l'observation et le suivi des ressources et des écosystèmes récifo-lagonaires. Rapport d'opération ZONECO + Annexes. 117p.</p> <p>Pelletier <i>et al.</i>, 2010. Comparison of visual census and high definition video transects for monitoring coral reef fish assemblages. Fisheries Research, volume 107, Issues 1-3, pages 84-93</p>

 DRIVER

RESTAURATION ÉCOLOGIQUE

DES PETITS FONDS CÔTIERS DE MÉDITERRANÉE

