



MISE EN OEUVRE
&
STRATÉGIE D'ANALYSES

Seastems

Siret : 834 481 889 000 22

Thomas Pavy

thom.pavy@gmail.com

+33(0)7 72 07 38 07

1. AVANT-PROPOS	4
2. CADRE D'INNOVATION	5
2.1. ÉCOSYSTÈMES MÉSOPHOTIQUES	6
2.2. SUIVI DES ÉCOSYSTÈMES MÉSOPHOTIQUES	7
2.2.1. LES COMMUNAUTÉS BIOTIQUES	7
2.2.2. LES TRANSECTS EN BANDE	7
2.4. CAHIER DES CHARGES	9
3. L'OUTIL STEED	10
3.1. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES	11
3.1.1. VIDÉO STÉRÉOSCOPIQUE	12
3.1.2. VIDEO CALBRÉE PAR LASERS	12
3.1.3. PHOTO-QUADRATS	12
4. MISE EN OEUVRE	13
4.1. ACQUISITION DES DONNÉES	14
4.1.1. PROCÉDURE GÉNÉRALE	14
4.1.2. SYNCHRONISATION DES PRISES DE VUES	14
4.1.3. CALIBRATION 2D & 3D	15
4.1.4. CALCUL DES LONGUEURS DE TRANSECT	15
4.1.5. MESURE DES LARGEURS DE TRANSECT	16
4.2. TRAITEMENTS DES DONNÉES	16
4.2.1. BENTHOS	16
4.2.2. ICTHYOFAUNE	16
4.2.3. INVERTÉBRÉS	17
4.2.4. ESPÈCES ÉRIGÉES	17
4.3. COMPARAISON DES DONNÉES	18
4.3.1. ÉTUDE COMPARATIVE	18
4.3.2. MÉTHODOLOGIE UVC	19
4.4. RÉSULTATS	20
4.4.1. BENTHOS	20
4.4.2. ICTHYOFAUNE	20
4.4.3. INVERTÉBRÉS	22
4.4.4. ESPÈCES ÉRIGÉES	23
4.5. DISCUSSION	24
5. STRATÉGIES D'ANALYSES	26
5.1. NIVEAUX D'ANALYSE ET OBJECTIFS DE SUIVI	27
5.2. RESSOURCES NÉCESSAIRES	28
6. RECOMMANDATIONS & PERSPECTIVES	29
6.1. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES	30
6.2. PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES	30

Figure 1 : Gradient de profondeurs des MCE

•6

Figure 2 : Profil de plongée à l'aide de gaz Trimix lors d'une plongée de surveillance d'un écosystème mésophotique profond. Il en résulte 235 min de décompression pour 26 min de temps fond à 100m.

•8

Figure 3 : Thibault Rauby lors d'une plongée en 2019. Crédit : Laurent Ballesta / Andromède Océanologie

•8

Figure 4 : Capture d'écrans de l'ordinateur de plongée Shearwater Perdrix utilisé avec chronomètre afin de synchroniser les prises de vues (A=GP1, B=GP2, C=GP3, D=A7II).

•14

Figure 5 : Captures d'écrans dans le logiciel VidSync d'une image de calibration 2D des lentilles de caméra (A) et d'une image de calibration 3D du positionnement relatif des caméras montrant les cibles référencées(B). La figure C montre des mesures de vérification de calibration. Le tableau D est un extrait des mesures de vérifications de calibration.

•15

Figure 9 : Exemple d'extraction d'un photo-quadrate de 45cm * 45cm à partir des points lasers séparés de 30cm.

•16

Figure 6 : Capture d'écran dans le logiciel VidSync d'une mesure de largeur de champ de vision au début d'un transect.

•16

Figure 7 : Exemple de mesure d'un individu de *Sparus aurata* lors d'un transect aux Iles Medes (Espagne).

•17

Figure10 : Exemple de mesure (Hauteur et Largeur) d'une colonie de *Paramuricea clavata* aux Iles Medes (Espagne).

•17

Figure 8 : Exemple de dénombrement de 17 oursins *Stylocidaris affinis* sur un photo-quadrate de 45*45cm. $d=83,3/m^2$.

•17

Figure11 : Carte des sites de collecte de données grâce à la méthodologie STEED en 2023. Les données de communautés utilisées pour l'étude comparative sont détaillées par site.

•18

Figure12 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

•20

Figure13 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

•21

Figure13 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

•22

Figure14 : A : Densité de colonies par espèce, par site et par méthode, B : % de colonies affectées par des nécroses par espèce, par site et par méthode, C : Hauteur des colonies par espèce, par site et par méthode, D : % de recouvrement de nécrose par colonie par espèce, par site et par méthode (EC = *Eunicella cavolini*, PC = *Paramuricea clavata*).

•23

Figure15 : Tableau de proposition d'indicateurs et de niveau de précisions pour le traitement et l'analyse des données obtenues par la méthode STEED.

•27

Figure16 : Tableau des coûts de collecte et de traitement des données selon les méthodes utilisées.

•28

1. AVANT-PROPOS

En raison de leur difficulté d'accès, les écosystèmes mésophotiques (EM) bénéficient aujourd'hui encore, d'une connaissance et d'une compréhension limitée de leurs biodiversités, de leurs dynamiques écologiques et de leurs connectivités. La méthode dite des transects en bande est utilisée depuis plusieurs décennies pour décrire et étudier les communautés biotiques des écosystèmes. Cependant, selon le niveau de précision des données et le niveau d'expérience des plongeurs, les collectes de données peuvent s'avérer chronophages. De plus, en raison de contraintes environnementales et physiologiques, le temps disponible est extrêmement limité au-delà de certaines profondeurs (60-150m), rendant impossible la collecte de données de plusieurs communautés biotiques.

Afin de pallier à cette limitation et de pouvoir contribuer à l'amélioration de la connaissance des écosystèmes mésophotiques, la solution technique STEED a été imaginée par Thomas Pavy. Le premier prototype a été conçu en juin 2022. Ce procédé a fait l'objet d'une publication de brevet au journal officiel le 29 décembre 2023 sous la référence FR3137059. Les tests de mise en œuvre et les premières collectes de données ont eu lieu au cours de l'année 2023.

Le document suivant définit dans un premier temps le cadre d'innovation et les caractéristiques techniques de l'outil. Puis, dans un deuxième temps il présente les principes méthodologiques de mise en œuvre et les différentes stratégies d'analyses possibles.

Cette étude a été financée par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, le projet HEATMED (TMCIU/AEI/FEDER, RTI2018-095346-BI00) coordonné par l'Univiersitat de Barcelona (UB) et l'Institut de ciències del Mar du Consejo Superior de Investigaciones Científicas (ICM-CSIC) et Seastems.

Dans la continuité de la phase d'innovation et de conception de l'outil, **cette étude permettra de :**

- **définir les méthodologies d'acquisition et de traitement des données.**

- **comparer les résultats obtenus par la méthode STEED avec ceux obtenus avec les méthodes actuellement utilisés.**

- **définir des stratégies d'analyses des données selon les besoins et les ressources disponibles.**

Remerciements :

Les collectes de données sur les sites de Macinaggio et Punta palazzu ont été réalisées grâce aux moyens techniques d'Andromède Océanologie.



Les collectes de données aux Iles Medes ont été réalisées par Yanis Zenter, Martí Vilanova, Cristina Linares et Joaquim Garrabou.

Citation du document :

T. Pavy, J. Garrabou, P. Boissery, 2023, Méthodologie STEED : mise en oeuvre et stratégies d'analyses, 29p.

Crédit photo : Thomas Pavy si non mentionné
Plongeur : Nicolas Molon si non mentionné.

2: CADRE D'INNOVATION



2.1. ÉCOSYSTÈMES MÉSOPHOTIQUES

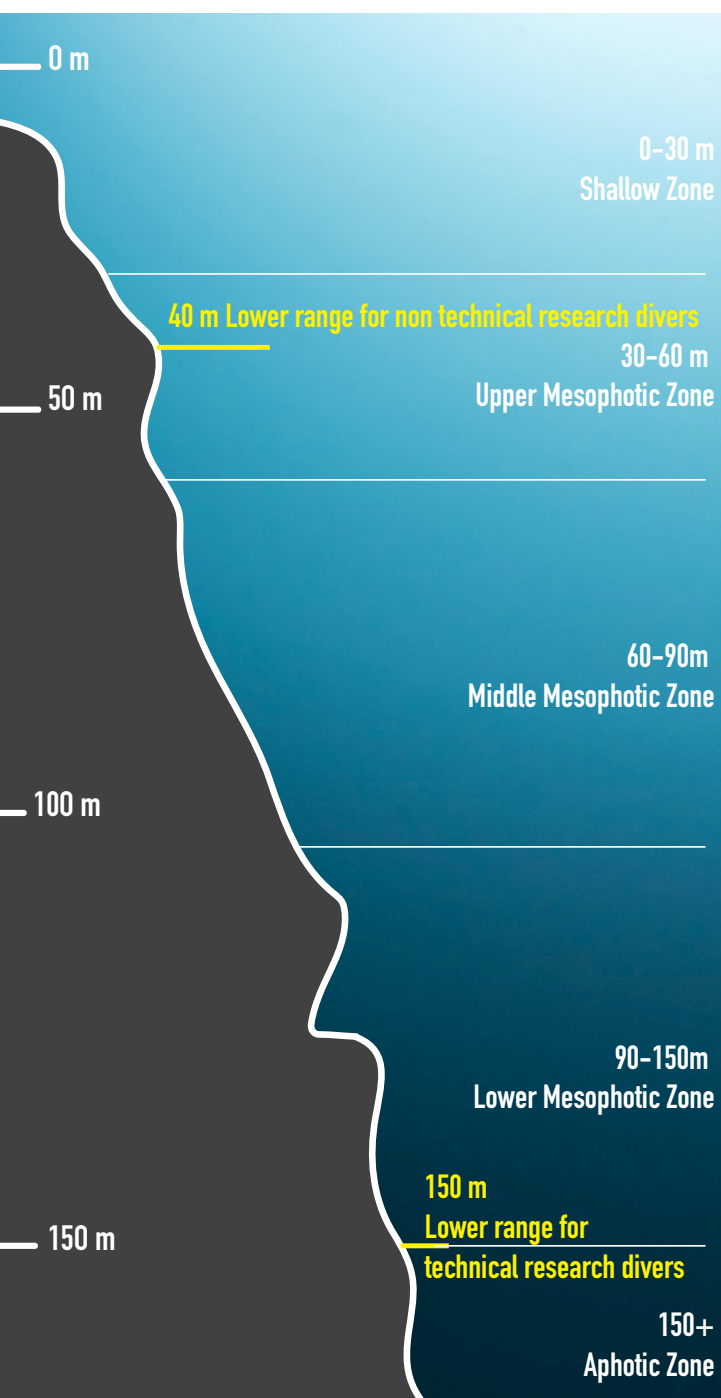


Figure 1 : Gradient de profondeurs des MCE

Les écosystèmes mésophotiques (EM) peuvent être caractérisés comme les écosystèmes recevant 1% de l'irradiance de surface sur leur limite supérieure¹ (de 30 à 60 m selon les conditions environnementales) et contraints dans leur limite inférieure avec la disparition des producteurs primaires, généralement autour de 150m (voir figure 1). La zone d'extension des écosystèmes mésophotiques est communément appelée zone crépusculaire.

Ils représentent potentiellement 60 à 80%² de l'habitat récifal mondial et sont majoritairement étudiés selon deux grandes catégories : les écosystèmes coralliens mésophotiques (MCE) et les écosystèmes mésophotiques tempérés (TME)³.

Malgré le début de l'exploration des EM au début des années 60 par les sous-marins et les pionniers de la plongée sous-marine profonde⁴, ils suscitent peu d'intérêt et restent largement non décrits jusqu'à récemment. L'émergence de nouvelles théories écologiques depuis les années 2010 contribue activement à en renouveler l'intérêt, principalement autour de trois pistes de questionnement :

- L'hypothèse que les EM pourraient agir comme refuge pour les écosystèmes moins profonds dans le contexte du changement climatique⁵.
- Un manque de connaissances sur la façon dont les processus écologiques changent le long d'un gradient de profondeur et sur leur influence potentielle en matière de politiques de gestion des récifs⁶.
- La découverte et la description de nouvelles communautés et d'une biodiversité importante.

Les écosystèmes mésophotiques (EM) bénéficient aujourd'hui encore, d'une connaissance et d'une compréhension limitée de leurs biodiversités, de leurs dynamiques écologiques et de leurs connectivités en raison de leur difficulté d'accès.

¹ Cerrano, C., Bastari, A., Calcinai, B., Di Camillo, C. G., Pica, D., Puce, S., & Torsani, F. (2019). Temperate mesophotic ecosystems: Gaps and perspectives of an emerging conservation challenge for the Mediterranean Sea. *The European Zoological Journal*, 86(1), 370–388.

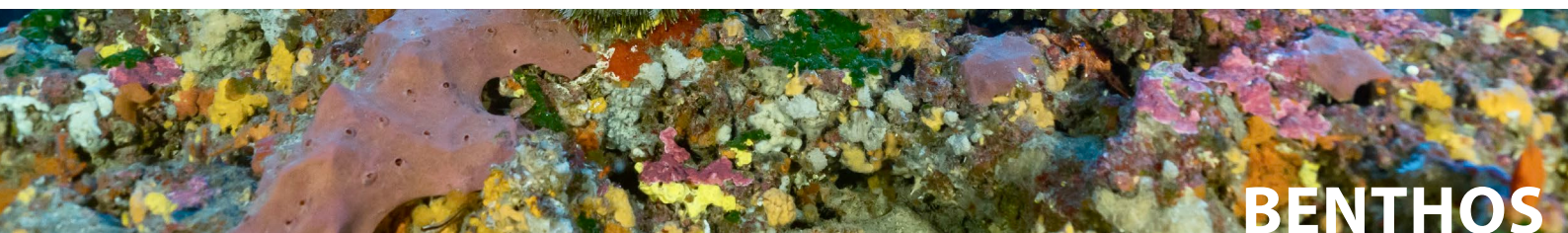
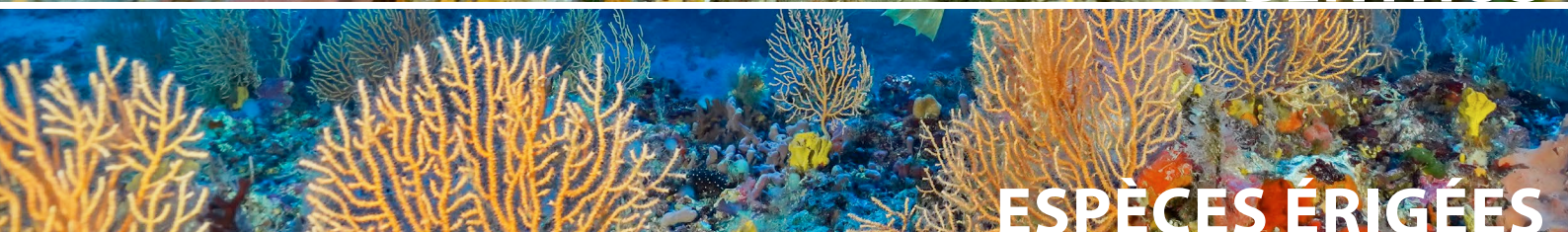
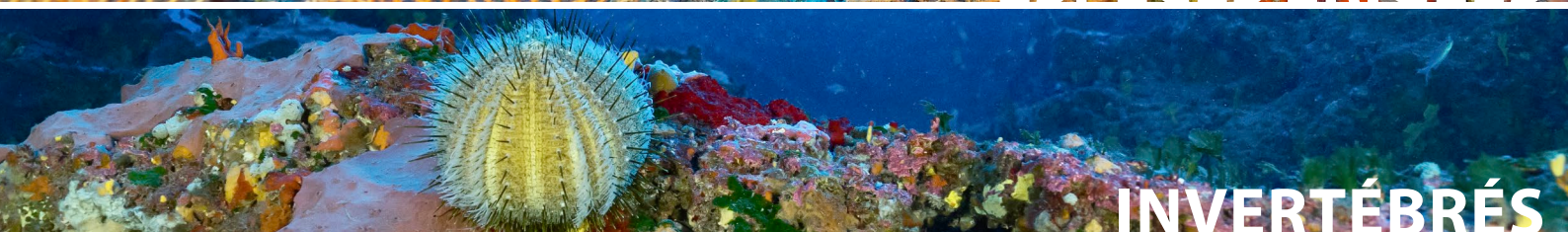
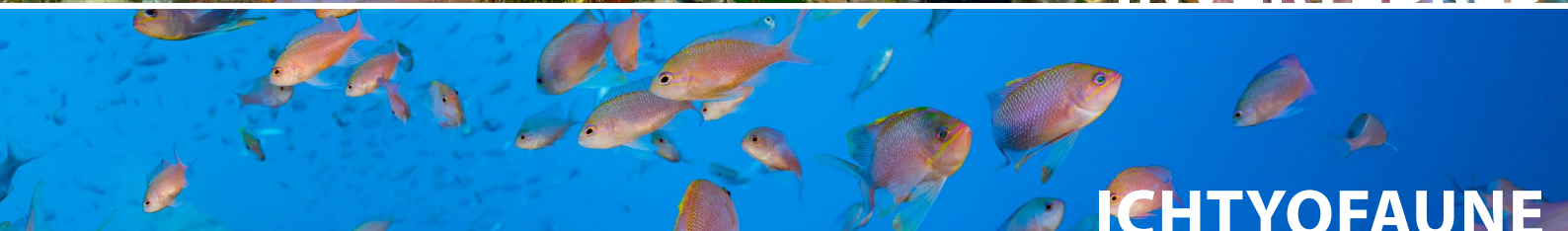
² Gal Eyal, and Hudson T. Pinheiro. Mesophotic Ecosystems: The Link between Shallow and Deep-Sea Habitats. *Diversity*. 2020, 12, 411

³ Bongaerts, P., Perez-Rosales, G., Radice, V. Z., et al. Mesophotic.org: a repository for scientific information on mesophotic ecosystems. *Database* (2019) Vol. 2019

⁴ Strasburg, D.W., Jones, E.C. and Iversen, R.T. (1968) Use of a small submarine for biological and oceanographic research. *ICES J. Mar. Sci.*, 31, 410–426.

⁵ Bongaerts, P., Ridgway, T., Sampayo, E.M. and Hoegh- Guldberg, O. (2010) Assessing the 'deep reef refugia' hypothesis: focus on Caribbean reefs. *Coral reefs*, 29, 309–327.

⁶ Bridge, T. C. L., Hughes, T. P., Guinotte, J. M., and Bongaerts, P. 2013. Call to protect all coral reefs. *Nature Climate Change*, 3: 528–530.

**BENTHOS****ESPÈCES ÉRIGÉES****INVERTÉBRÉS****ICHTYOFAUNE**

2.2. SUIVI DES ÉCOSYSTÈMES MÉSOPHOTIQUES

2.2.1. LES COMMUNAUTÉS BIOTIQUES

Les communautés écosystémiques sous-marines peuvent être décomposées en 4 compartiments :

- **Benthos** : composé de tous les organismes vivants fixés au substrat (sessiles). Ils constituent l'habitat et sont particulièrement sensibles aux modifications des conditions environnementales.
- **Espèces érigées** : au sein du benthos, nous pouvons distinguer la sous-communauté de la strate érigée dominée par les suspensivores fixés (tels que les gorgonaires, les éponges et les coraux) ou les macroalgues. Celle-ci peut former des structures tridimensionnelles de grande complexité.
- **Invertébrés vagiles** : composés de tous les organismes invertébrés mobiles (vagiles) tels que les échinodermes, les crustacés ou les céphalopodes. Ce groupe est principalement composé d'herbivores brouteurs et d'organismes détritivores.
- **Ichtyofaune** : composée de tous les individus de poissons, qu'ils soient démersaux, semi-démersaux ou pélagiques.

2.2.2. LES TRANSECTS EN BANDE

Afin d'étudier ces communautés, la méthode des transects en bande est utilisée depuis plusieurs décennies car ils permettent la collecte de données de multiples communautés ciblées sur une zone commune. Les données sont généralement directement acquises par des plongeurs par recensement visuel (UVC). Les transects sont adaptés pour des suivis à moyenne échelle. La collecte des données peut s'avérer chronophage en fonction du niveau de formation des plongeurs et du niveau de précision de donnée souhaité. Pour un transect de 25 m de long, nous pouvons envisager de 20 à 30 min par communauté biologique pour la collecte de données visuelles.

Toutefois, les données peuvent aussi être collectées à l'aide de photographies et de vidéos; dans ce cas, le niveau de précision peut être adapté lors du traitement des ces dernières en fonction des besoins et des moyens disponibles.

2. CADRE D'INNOVATION

2.2.3. PROFONDEUR ET TEMPS

Travailler à grande profondeur demande une grande technicité et de l'expérience. En effet, il est obligatoire d'utiliser des gaz Trimix (Oxygène + Azote + Hélium) à plus de 40m de profondeur.

Passer du temps en profondeur nécessite des paliers de décompression en remontant vers la surface. En moyenne, 20min à 120m génèrent 240min de paliers de décompression.

Afin de plonger en profondeur et d'effectuer des relevés, les plongeurs doivent transporter beaucoup d'équipements tels que des bouteilles supplémentaires ou des outils spécifiques. Ces objets ont tendance à augmenter la résistance à l'eau et à rendre chaque mouvement difficile.

En raison des contraintes environnementales et physiologiques, le temps disponible est vraiment limité aux grandes profondeurs et chaque mouvement doit être optimisé.

Figure 2 : Profil de plongée à l'aide de gaz Trimix lors d'une plongée de surveillance d'un écosystème mésophotique profond. Il en résulte 235 min de décompression pour 26 min de temps fond à 100m.

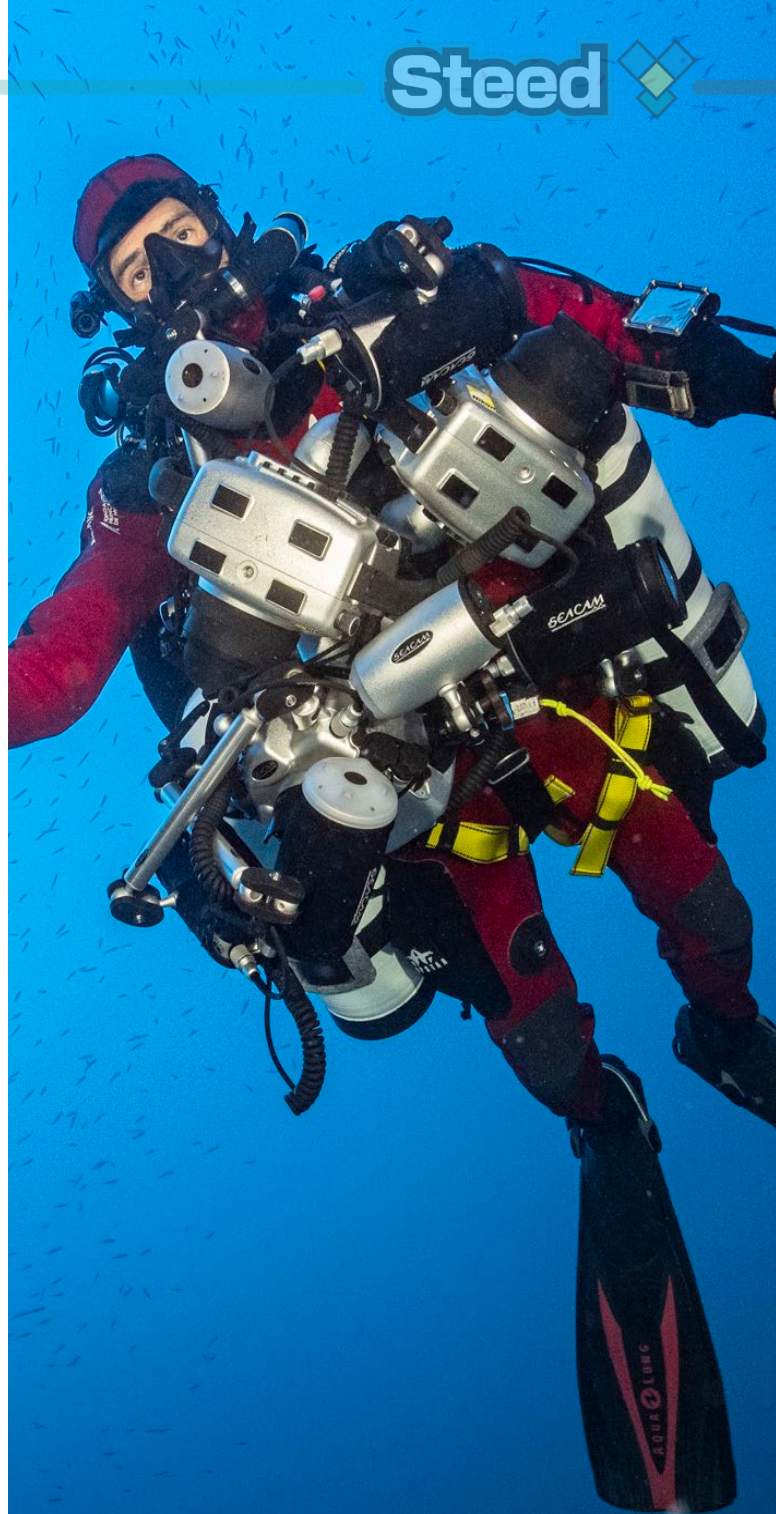
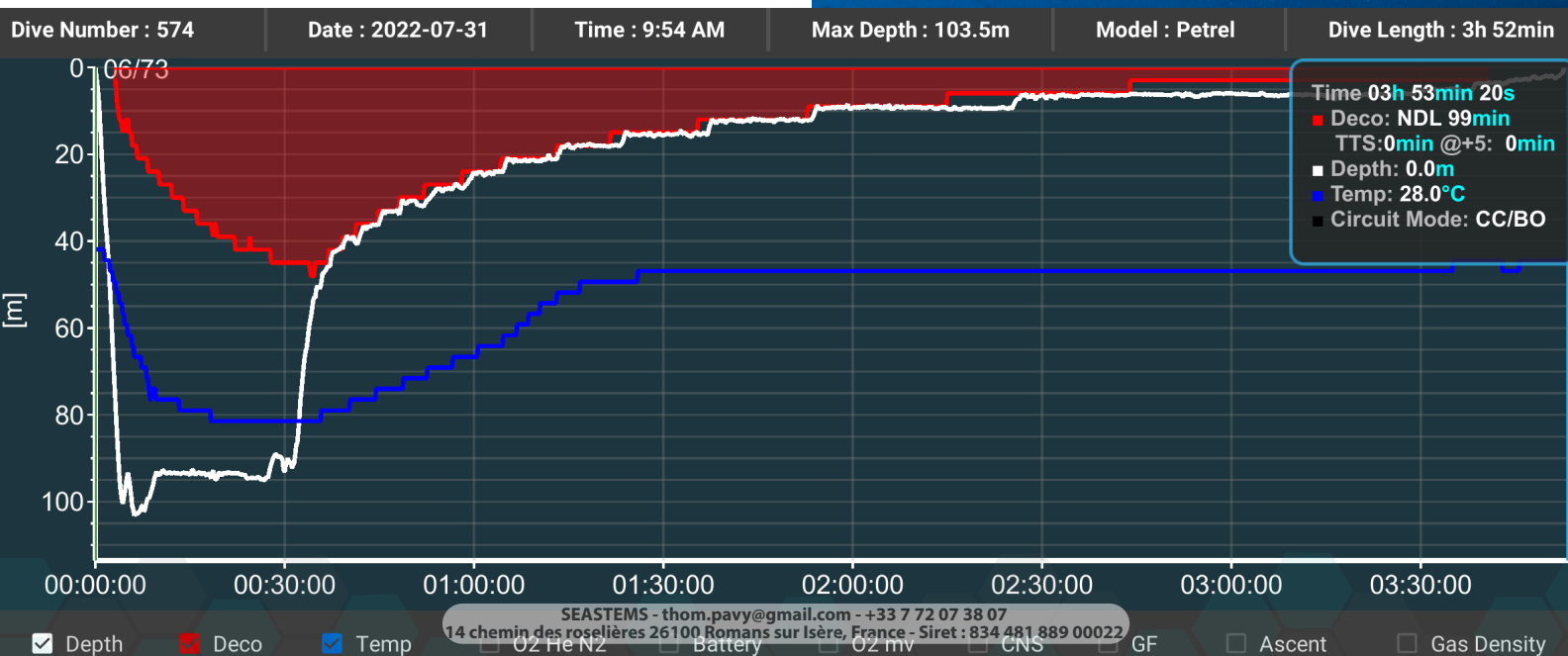


Figure 3 : Thibault Rauby lors d'une plongée en 2019. Crédit : Laurent Ballesta / Andromède Océanologie



2.4. CAHIER DES CHARGES

Objectif : Contribuer à l'amélioration de connaissances et à la compréhension écologiques des EMs

BESOIN DE

- Valoriser chaque opportunité en profondeur permettant d'obtenir une description générale de l'écosystème
- Systématiser le format des données et les indicateurs pour permettre l'évaluation de la composition ainsi que l'état de conservation des EMs.
- Pouvoir échantillonner l'ensemble des EMs rencontrés lors des explorations
- Maintenir la sécurité des plongeurs en profondeur

EN

- Accélérant la collecte de données des communautés écosystémiques à grandes profondeurs (60-150 m)
- Utilisant uniquement des méthodes éprouvées et reconnues pour la collecte de données
- Augmentant le potentiel d'exploration
- Réduisant l'encombrement de l'équipement pour les plongeurs

AVEC

- Une méthode de transect en bande
- Un système unique, standardisé et synchronisé pour toutes les communautés écosystémiques
- Un système propulsé pour un déploiement sûr et rapide

3. L'OUTIL STEED



3.1. CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

STEED signifie **S**ynchronized **T**ranssect for **E**xploration and **E**cosystem **D**escription.

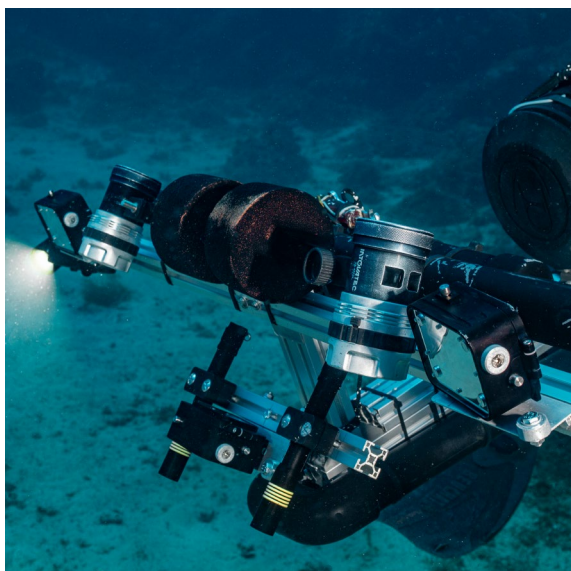
L'ensemble est composé d'un propulseur sous-marin couplé à un châssis supportant 3 dispositifs d'imagerie distincts. Il a une flottabilité neutre tout en étant équilibré selon sa position d'utilisation permettant ainsi de faciliter la manipulation et de préserver la sécurité du plongeur. Il peut être utilisé jusqu'à une profondeur maximale de 150 mètres.

Les systèmes d'imageries collectent simultanément des données de différentes communautés biotiques (ichtyofaune, invertébrés vagiles, benthos et espèces érigées) le long de transect en bande.

3.1.1. VIDÉO STÉRÉOSCOPIQUE

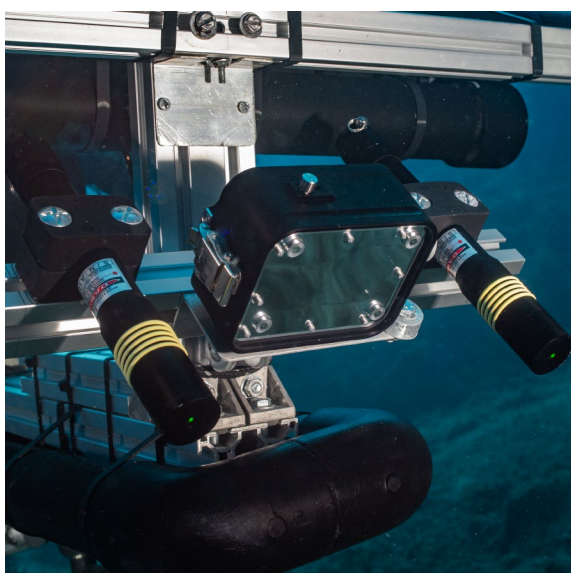
3.1.2. VIDEO CALBRÉE PAR LASERS

3.1.3. PHOTO-QUADRATS



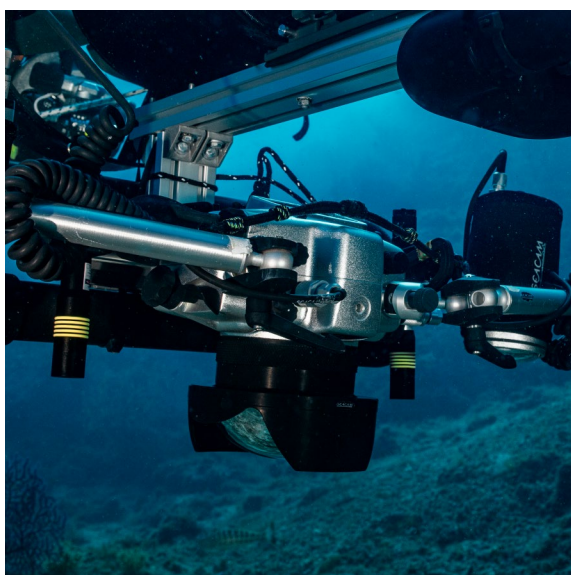
3.1.1. VIDÉO STÉRÉOSCOPIQUE

Deux caméras GoPro Hero 8 black réglées à 4k/30fps constituent le système de vidéo stéréoscopique. La distance entre les lentilles est de 60 cm et les caméras sont positionnées avec un angle convergeant de 8°. Afin d'améliorer la qualité d'image et d'identification des espèces, deux éclairages Bigblue de 9000 lumens éclairent le champ de vision.



3.1.2. VIDEO CALBRÉE PAR LASERS

Une caméra GoPro Hero 8 black est positionnée avec un angle de 45° et enregistre à 4k/30fps. Deux lasers sont placés à 25 cm de distance de part et d'autre de la caméra pour donner une échelle et permettre l'estimation de taille. Afin d'améliorer la qualité d'image et d'identification des espèces, deux éclairages Bigblue de 9000 lumens éclairent le champ de vision.



3.1.3. PHOTO-QUADRATS

Un appareil photo Sony A7II de 24 Mégapixels prend une photo verticale du substrat toutes les deux secondes avec un objectif de 20mm. Deux lasers sont positionnés à 30cm d'écart de part et d'autre de la caméra afin de permettre la délimitation des photo-quadrats durant le traitement de données. L'appareil photo est synchronisé avec des flashes submersibles d'une puissance de 100 Watts.

4. MISE EN OEUVRE



4.1. ACQUISITION DES DONNÉES

4.1.1. PROCÉDURE GÉNÉRALE

La procédure d'acquisition de données grâce à l'outil STEED consiste à :

- effectuer des transects à profondeur constante (nous effectuons 3 transects par station).
- maintenir le dispositif à l'horizontal à une distance d'environ 1m du substrat.
- effectuer des déplacements longilignes et sans changement brutal d'orientation.

Pour chaque station et chaque transect, l'opérateur veillera à renseigner : profondeur, visibilité, courant, température de l'eau, heure, date et nom du site.

L'outil STEED est conçu pour être manipulé par un(e) opérateur/trice seul(e), en revanche, pour des raisons de sécurité, l'utilisateur/trice devra être accompagné(e) d'un(e) autre plongeur/euse également muni(e) d'un propulseur sous-marin.

Dans la suite du document, les appareils de prise de vue seront nommés ainsi :

- GP1 : caméra stéréoscopique gauche
- GP2 : caméra stéréoscopique droite
- GP3 : caméra à vision à 45°
- A7II : appareil photo à intervallo-mètre

4.1.2. SYNCHRONISATION DES PRISES DE VUES

L'ensemble des caméras du système est synchronisé grâce à un chronomètre présent sur l'ordinateur de plongée du plongeur. Le chronomètre est placé devant chaque appareil pendant une durée minimum de 3 secondes afin de pouvoir utiliser le changement de seconde comme élément de synchronisation. Cela permet également d'associer la profondeur et la température de l'eau au début de chaque transect.

Les vidéos sont synchronisés après les avoir importées dans le logiciel VidSync¹. Grâce à son outil de lecture, les vidéos de GP1 et GP2 peuvent être synchronisées avec une précision de 30ips (images par seconde) pour permettre les mesures stéréoscopiques. Les prises de vues GP3 et A7II nécessitent une synchronisation à la seconde pour permettre de corréler les données des différentes communautés biotiques. La figure ci-dessous illustre les temps affichés au chronomètre par les 4 systèmes de prises de vues au début d'un même transect.



Figure 4 : Capture d'écrans de l'ordinateur de plongée Shearwater Perdrix utilisé avec chronomètre afin de synchroniser les prises de vues (A=GP1, B=GP2, C=GP3, D=A7II).

¹ Neuswanger, Jason R., Wipfli, Mark S., Rosenberger, Amanda E., and Hughes, Nicholas F. 2016. Measuring fish and their physical habitats: Versatile 2-D and 3-D video techniques with user-friendly software. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 73(12): 1861-1873.

4.1.3. CALIBRATION 2D & 3D

La calibration sur le logiciel VidSync¹ est effectuée avec un cube en aluminium de 50cm de côté (50*50*50) et d'une plaque plexiglass recouverte d'un quadrillage de 1cm. Les calculs de distorsion optique des lentilles sont calculés automatiquement par le logiciel. Le cube de calibration comprend 32 cibles au total. Celles-ci sont réparties équitablement sur les deux plans du cube et au nombre de 4 par arête (voir figure ci-contre). Chaque cible est renseignée dans le logiciel avec ses coordonnées X, Y et Z pour les deux caméras stéréoscopiques (GP1 et GP2).

La calibration initiale a été effectuée le 17 mai 2023 à une profondeur de 11,5m. La précision de mesure a été vérifiée et calculée grâce à 50 mesures aléatoires sur les différents plans et suivants différentes orientations du cube de calibration. Les résultats montrent une erreur de mesure moyenne de 1,48 % sur l'ensemble des mesures (voir Figure 5D).

Dans le cadre de cette étude, nous avons filmé le cube de calibration lors de chaque collecte de donnée afin de valider la calibration de manière systématique. Ces vérifications correspondent au taux moyen d'erreur observés précédemment.

4.1.4. CALCUL DES LONGUEURS DE TRANSECT

Dans le but de standardiser la collecte de donnée et de permettre la comparaison entre les transects, les sites et les profondeurs, il est primordial de pouvoir standardiser la longueur des transects. Cependant la méthodologie STEED n'inclue pas le déploiement d'un décamètre, dans le but d'accélérer la collecte des données le long de transects multiples.

Il est toutefois possible de calculer la vitesse de déplacement par le calcul de distance à un objet à plusieurs intervalles de temps. En effet, la mesure de distance à un objet peut être effectuée dans le logiciel VidSync grâce à la stéréoscopie.

Lors des premiers déploiements, la vitesse moyenne de déplacement a été calculée à 0,3m/s. Dans ce cas, un transect de 50m correspond à 2min46s de vidéo. Les vitesses peuvent être calculées lors de chaque analyse afin d'ajuster la longueur de vidéo à considérer.

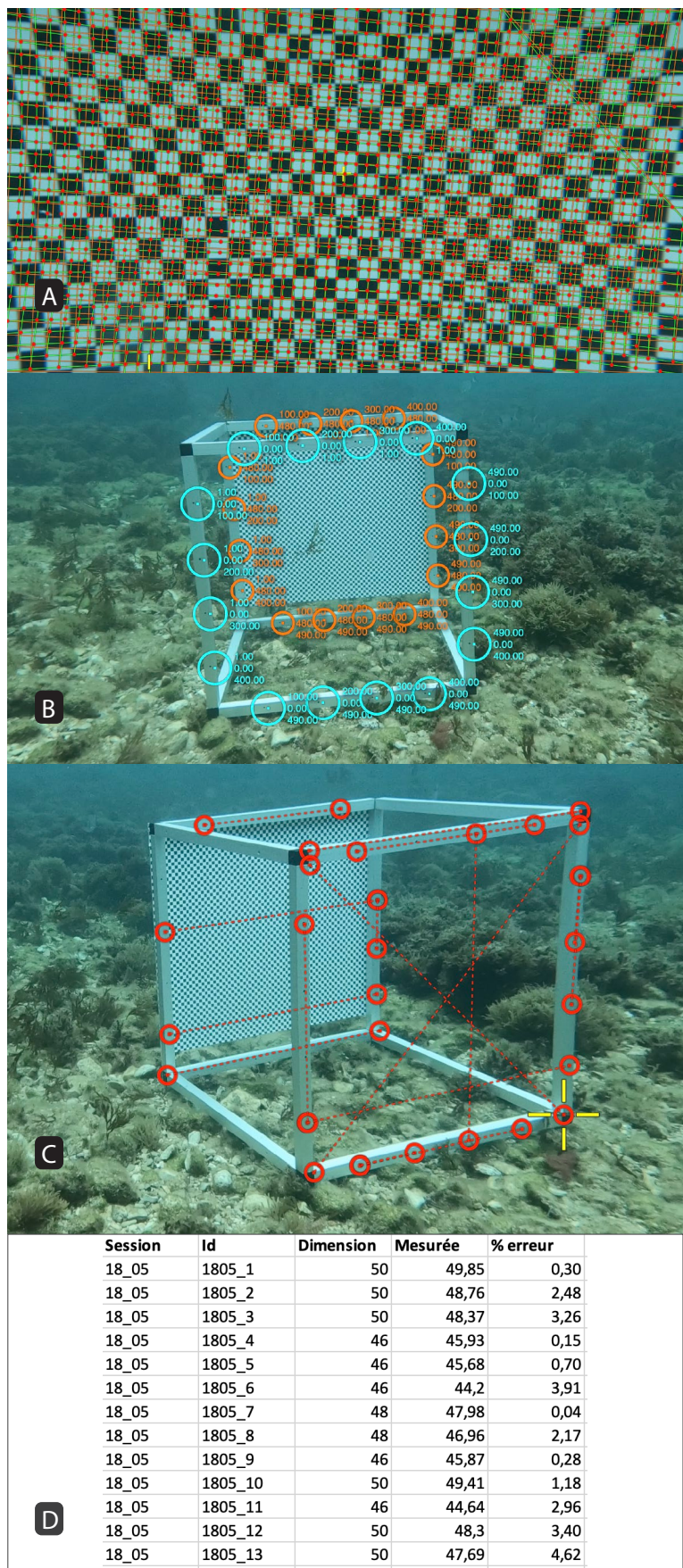


Figure 5 : Captures d'écran dans le logiciel VidSync d'une image de calibration 2D des lentilles de caméra (A) et d'une image de calibration 3D du positionnement relatif des caméras montrant les cibles référencées (B). La figure C montre des mesures de vérification de calibration. Le tableau D est un extrait des mesures de vérifications de calibration.

1 Neuswanger, Jason R., Wipfli, Mark S., Rosenberger, Amanda E., and Hughes, Nicholas F. 2016. Measuring fish and their physical habitats: Versatile 2-D and 3-D video techniques with user-friendly software. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 73(12): 1861-1873.

4.1.5. MESURE DES LARGEURS DE TRANSECT

La largeur du champ de vision, et par conséquent la largeur utile des transects permettant l'analyse de données, peuvent varier en fonction de la visibilité. Toujours dans le but de standardiser la collecte de donnée et de permettre la comparaison entre les transects, les sites et les profondeurs, il est possible de mesurer dans le logiciel VidSync la largeur du champ de vision. Il est alors possible d'obtenir cette mesure pour chaque transect et par conséquent de préciser la surface de transect considérée et de calculer des densités par m^2 .

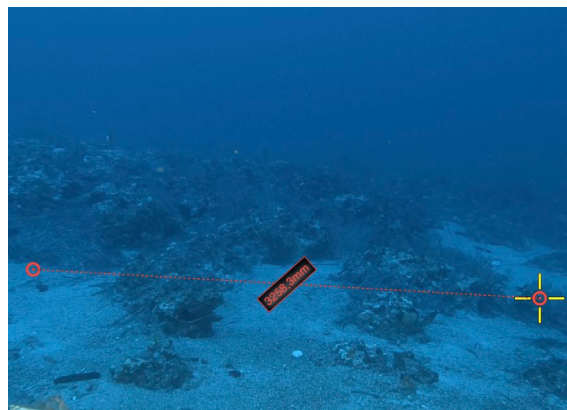


Figure 6 : Capture d'écran dans le logiciel VidSync d'une mesure de largeur de champ de vision au début d'un transect.

4.2. TRAITEMENTS DES DONNÉES

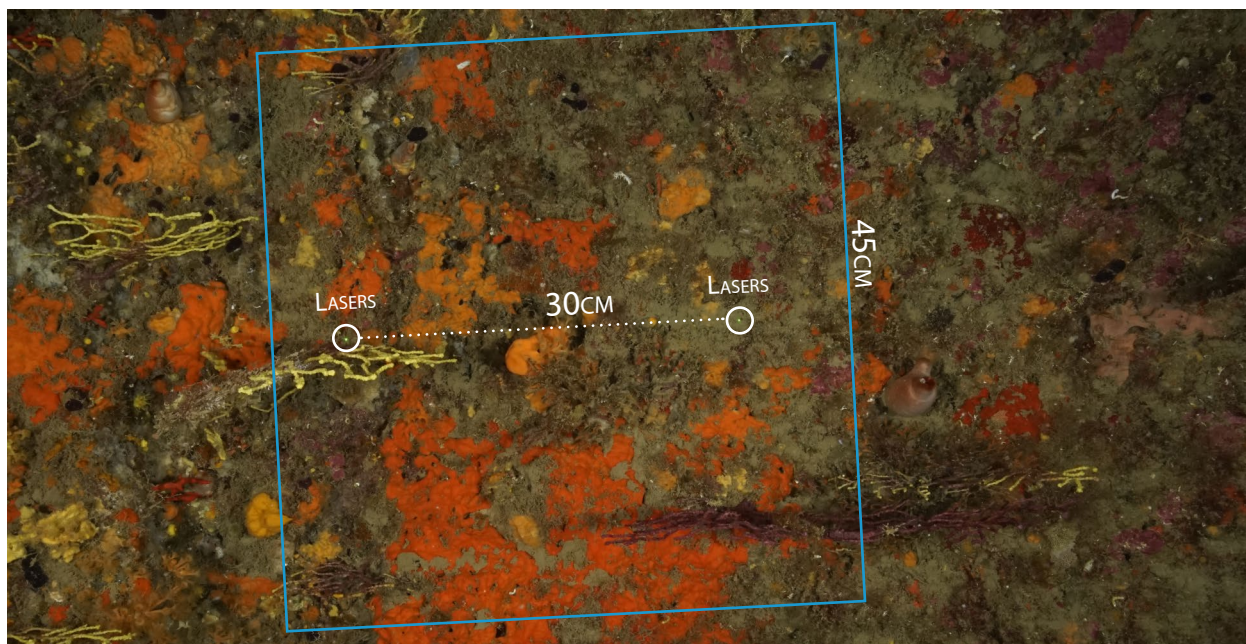


Figure 9 : Exemple d'extraction d'un photo-quadrat de 45cm * 45cm à partir des points lasers séparés de 30cm.

4.2.1. BENTHOS

Les 2 points lasers présent sur chaque photo-quadrat sont utilisés comme échelle pour recadrer chaque image à la surface souhaitée. Les 2 lasers sont distants de 30cm mais en respectant les proportions des tiers, il est possible de recadrer les images à 45cm*45cm correspondant à une surface de $0,2025m^2$. La taille d'extraction des photo-quadrat peut être adaptée en fonction de l'étude. Certaines photos ne sont pas exploitables pour des raisons de qualités ou de champ de vision. Les photos recadrées sont ensuite traitées avec le logiciel de traitement de photo-quadrat CPCE en renseignant à l'espèce 64 points par photo-quadrat¹ projetés aléatoirement. Les nécroses, maladies ou stade de vie peuvent être renseignés comme observations.

¹ Deter J., Boissery P., Descamp P., Ballesta L., Holon F., 2012. A rapid photographic method detects depth gradient in coralligenous assemblages. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 418–419 (2012) 75–82

4.2.2. ICTHYOFAUNE

Une fois calibrées en 3D et les longueurs de transect calculées, les vidéos GP1 et GP2 sont visionnées 2 fois. La première lecture permet de dénombrer, identifier à l'espèce et mesurer les individus seuls ou en petits groupes. La deuxième lecture permet quant à elle de dénombrer, identifier à l'espèce et mesurer les individus en banc. Les tailles sont mesurées sur VidSync en mm. Pour les espèces en banc, seuls quelques individus de taille représentative sont mesurés afin de faciliter le traitement.



Figure 7 : Exemple de mesure d'un individu de *Sparus aurata* lors d'un transect aux Iles Medes (Espagne).

4.2.3. INVERTÉBRÉS VAGILES

Nous considérons ici les invertébrés vagiles. On utilise dans ce cas, la vidéo GP3. Le champ de vision de cette caméra correspond en moyenne à une largeur de 1m sur le substrat. Le visionnage permettra de dénombrer, identifier à l'espèce (si possible) et estimer la taille des individus grâce à l'échelle lasers (25 cm).

Dans le cas de présence extrêmement dense de certaines espèces, notamment d'oursin, les photo-quadrats pourront être utilisés pour dénombrer les individus par quadrats et ainsi obtenir une densité par m².



Figure 8 : Exemple de dénombrement de 17 oursins *Stylocidaris affinis* sur un photo-quadrat de 45*45cm. $d=83,3/m^2$.

4.2.4. ESPÈCES ÉRIGÉES

La strate érigée fait l'objet de plusieurs traitements de données afin de réunir l'ensemble des paramètres souhaités pour étudier les dynamiques de populations. Les photo-quadrats sont utilisés pour mesurer des densités de colonies par m² et par espèce. Les vidéos de GP1 et GP2 sont utilisées pour estimer les taux de nécroses et mesurer les tailles (hauteur et largeur) de 30 colonies (minimum) identifiées par espèces.

Une autre méthodologie, plus rapide, utilisera les vidéos de GP1 pour déterminer la présence ou absence de nécrose (présence = nécrose >10%) sur 100 colonies¹ et leur typologie (colonisés, non colonisés ou les deux).



Figure10 : Exemple de mesure (Hauteur et Largeur) d'une colonie de *Paramuricea clavata* aux Iles Medes (Espagne).

¹ Garrabou J., Bensoussan N., Di Franco A., Boada J., Cebrian E., Santamaria J., Guala I., Grech D., Cerrano C., Pulido T., Jou M., Marambio M. & Azzurro E., 2022. Monitoring Climate-related responses in Mediterranean Marine Protected Areas and beyond: ELEVEN STANDARD PROTOCOLS. 74 pp. Edited by: Institute of Marine Sciences, Spanish Research Council ICM-CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain.

4.3. COMPARAISON DES DONNÉES

4.3.1. ÉTUDE COMPARATIVE

L'objectif de cette section est de tester la pertinence des données collectées par la méthode STEED au regard de résultats obtenus avec une méthode communément utilisée et faisant preuve d'un consensus scientifique : méthode UVC (Undewater Visual Census).

Les résultats obtenus pour la communauté benthique ne seront pas comparés, car la méthode utilisée par le dispositif STEED est identique à la méthode conventionnelle des photo-quadrats. En revanche nous vérifierons la part de photo-quadrat exploitable parmi l'ensemble des photo-quadrat acquis le long d'un transect.

Les sites de collecte de données pour cette étude sont les suivants :

- Callelongue : $43^{\circ}12.599 - 05^{\circ}21.104$, (Marseille)
- Punta Palazzu : $42^{\circ}23.040 - 08^{\circ}32.652$, (Corse)
- Macinaggio : $42^{\circ}56.870 - 09^{\circ}31.268$, (Corse)
- Iles Medes : Tasco Gros = $42^{\circ}02.520 - 03^{\circ}13.611$, 0607 et Pota del Llop = $42^{\circ}02.883 - 03^{\circ}13.561$, (Espagne)

La carte ci-dessous détaille les données de communautés biotiques utilisées pour l'étude comparative :

- Ichtyofaune : Callelongue et Tasco Gros
- Invertébrés : Callelongue et Punta Palazzu
- Espèces érigées : Tasco Gros, Pota del Llop (18 et 30m) et Macinaggio

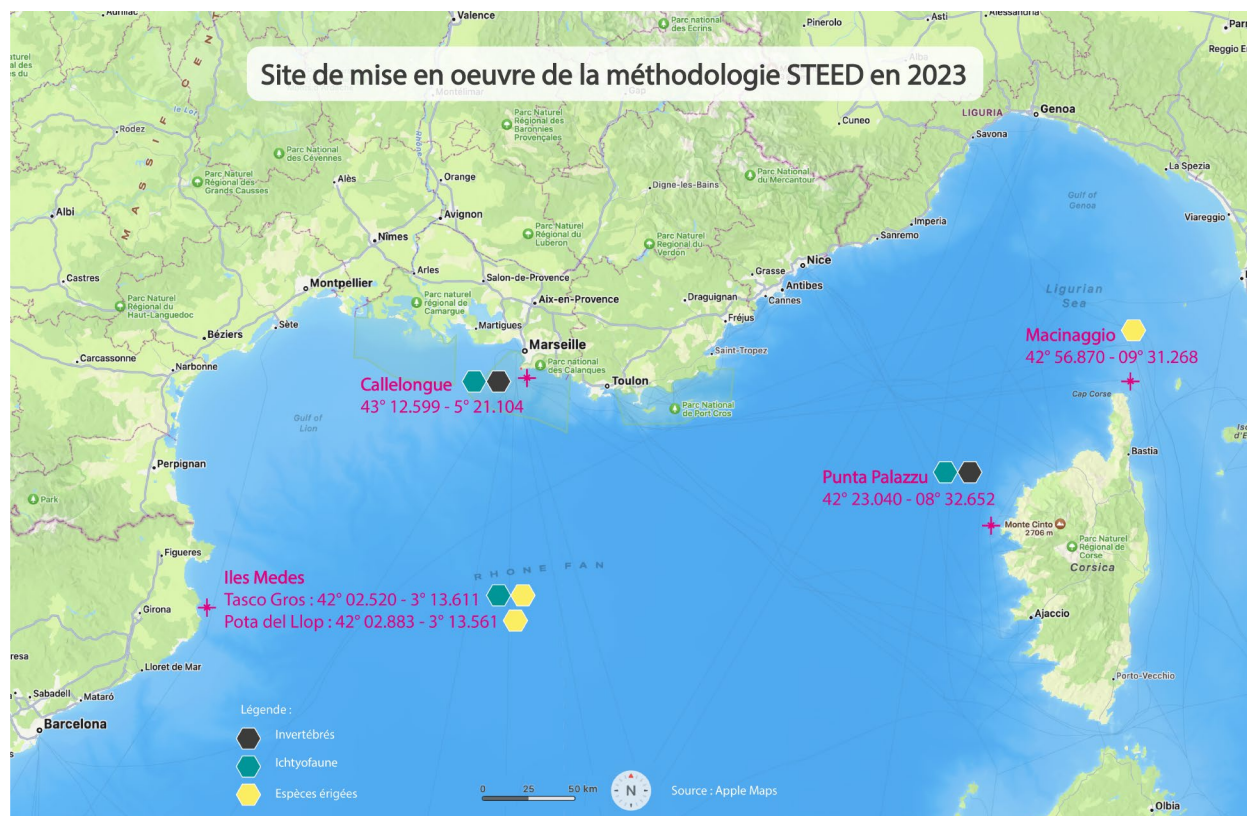


Figure11 : Carte des sites de collecte de données grâce à la méthodologie STEED en 2023. Les données de communautés utilisées pour l'étude comparative sont détaillées par site.

4.3.2. MÉTHODOLOGIE UVC

Ichtyofaune : Le plongeur dénombre et identifie chaque individu à l'espèce. Les tailles des individus ne sont pas estimées. Les transects mesurent 50m de long, 5m de large et 5m de haut. Les transects sont établis à profondeur constante et l'on implante 3 transects par site. Un seul passage est effectué le long du transect. Les mesures de tailles ne sont pas incluses dans cette étude comparative car la calibration a été vérifiée préalablement et que les différences de mesures de taille entre vidéo et plongeurs ont déjà été étudiées¹. Les espèces *Anthias anthias* et *Chromis chromis* sont exclues de l'étude.

Invertébrés : les invertébrés concernés sont les échinodermes (holothurie, étoile de mer, oursins et gorgonocéphales) et les décapodes (langoustes, cigale de mer, etc.). Ces groupes sont dénombrés par espèces le long d'un transect de 50m de long et 1m de large². Les transects sont établis à profondeur constante et l'on implante 3 transects par site. Un seul passage est effectué le long du transect.

Espèces érigées : Dans ce cas, le suivi concerne les populations de gorgonaires. Deux méthodes sont concernées.

Une méthode de suivi démographique des populations comprenant : 30 quadrat de 50*50cm dans lesquels on dénombre les gorgonaires par espèces, taux de nécroses et type de nécrose selon leur répartition (locale ou diffuse) et leur stade (récentes ou anciennes). Un quadrat de 2m² dans lequel on dénombre les gorgones par espèces en mesurant leurs tailles (hauteur, largeur)³.

Une méthode de suivi de l'impact de mortalités massives visant à déterminer sur 100 colonies la présence ou l'absence (présence= >10%) de nécrose⁴ ainsi que leur typologie (colonisés, non colonisés ou les deux).

Les données collectées avec la méthodologie STEED dans le but d'être comparées aux données acquises visuellement ont été collectées sur les mêmes transects.

Sur le site de Callelongue (43°12.599 - 05°21.104), l'ordre d'acquisition des données le long des transects a été le suivant :

- 1^{er} passage -> UVC Ichtyofaune
- 2^{ème} passage -> UVC Invertébrés + UVC Espèces érigées (2^{ème} plongeur)
- Une période de 15min minimum sans présence de plongeur sur les zones de transects
- 3^{ème} passage -> Acquisition données STEED

Sur les sites de Punta Palazzu (42°23.040 - 08°32.652), Macinaggio (42°56.870 - 09°31.268) et des Iles Medes (Tasco Gros = 42°02.520 - 03°13.611, 0607 et Pota del Llop = 42°02.883 - 03°13.561) l'ordre d'acquisition des données le long des transects a été le suivant :

- 1^{er} passage -> UVC Ichtyofaune + Acquisition données STEED (même plongeur)
- 2^{ème} passage -> UVC Invertébrés + UVC Espèces érigées par un deuxième plongeur

Les données UVC du site de Macinaggio ont été acquises par l'équipe d'Andromède Océanologie dans le cadre des réseaux de suivi RECOR de l'Agence de l'eau. Pour les sites de Tasco Gros et Pota del Llop, les données ont été acquises par l'Université de Barcelone et l'Institut de Ciències del Mar dans le cadre des programmes de suivi des effets du changement climatique dans les aires marines protégées⁵.

1 Tessier A., Pastor J., Francour P., Saragoni G., Crec'hriou R., Lenfant P., 2013. Video transects as a complement to underwater visual census to study reserve effect on fish assemblages. AQUATIC BIOLOGY. Vol. 18: 229–24. doi: 10.3354/ab00506.

2 Charles, K.E., Packham, J. Bureau, D., Lessard, J. 2022. A comparison of underwater photo, video and visual survey methods to assess nearshore algae and invertebrate communities. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 3446: vii + 37 p.

3 ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2019. Evaluation de l'état écologique du coralligène et pose de thermomètres (Lot2) – Est de la région Provence-Alpes- Côte d'Azur, Analyse des données 2019. Contrat Andromède Océanologie / Agence de l'eau. 386p.

4 Garrabou J., Bensoussan N., Di Franco A., Boada J., Cebrian E., Santamaria J., Guala I., Grech D., Cerrano C., Pulido T., Jou M., Marambio M. & Azzurro E., 2022. Monitoring Climate-related responses in Mediterranean Marine Protected Areas and beyond: ELEVEN STANDARD PROTOCOLS.74 pp. Edited by: Institute of Marine Sciences, Spanish Research Council ICM-CSIC, Passeig Marítim de la Barceloneta 37-49, 08003 Barcelona, Spain.

5 Hereu, B., Casals, D., Ortega, J., Rovira, G., Margarit, N., Zentner, Y., Linares, C. (2022). Seguiment anual de briozous, gorgònia vermella, coves i corall vermell a la Reserva Natural Parcial Marina de les Medes del Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter. Memòria 2022. Generalitat de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Direcció General de Polítiques Ambientals i Medi Natural. 100 pp.

4.4. RÉSULTATS

4.4.1. BENTHOS

L'extraction et l'exportation des photo-quadrats montre des résultats favorables. 76% des photo-quadrats sont exploitables.

En moyenne 70 photo sont acquises pour un transect de 50m générant ainsi environ 50 quadrats exploitables de 45cm*45cm.

4.4.2. ICTHYOFAUNE

4.4.2.1. Site de Callelongue

Sur les 3 transects de Callelongue, le nombre d'espèces observées est un peu plus élevé en UVC (15 contre 12).

Les abondances sont plus élevées avec la méthode STEED (on note une forte abondance de *Coris julis*).

L'espèce *Spicara smaris* est fortement représentée également.

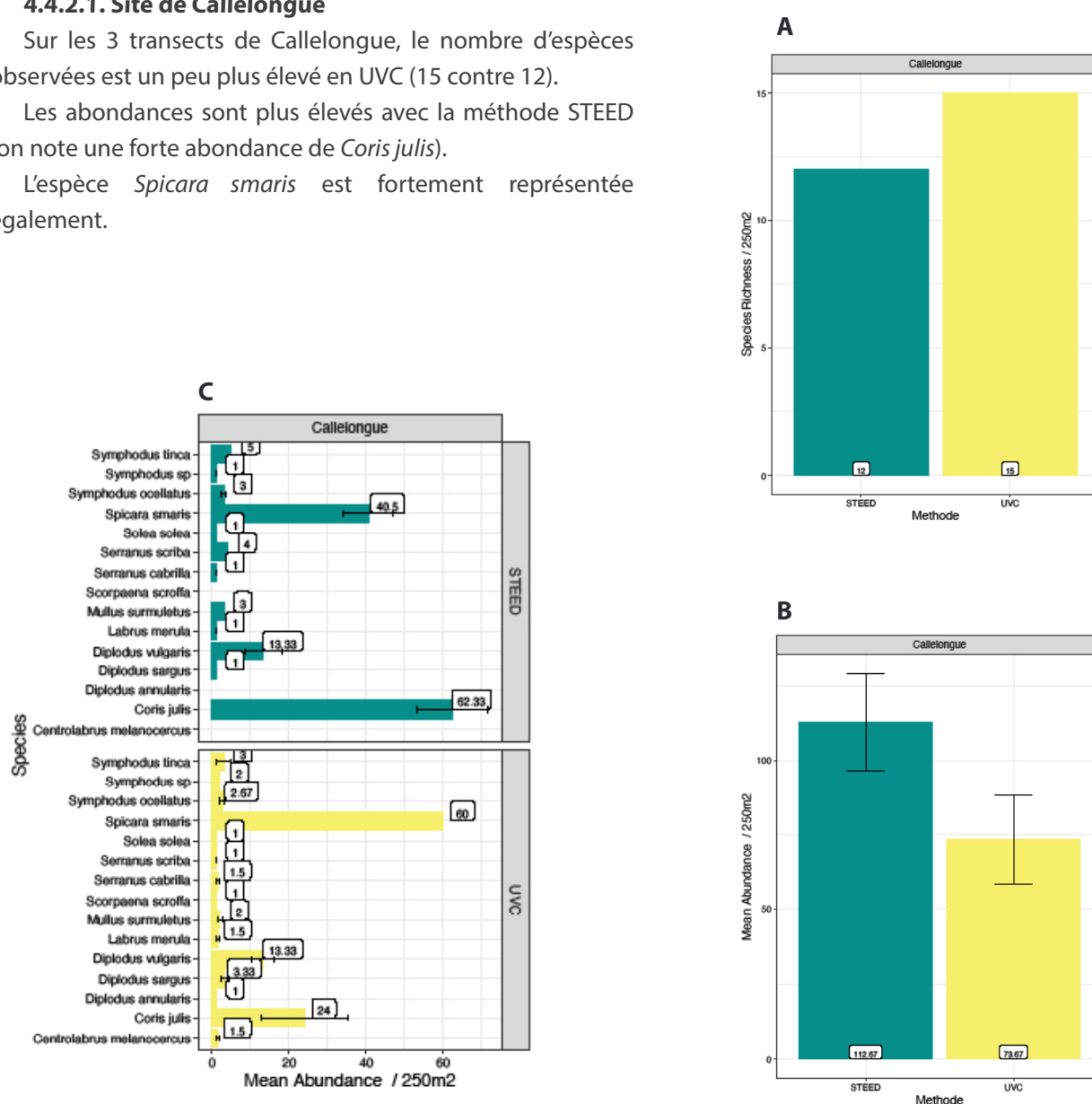


Figure 12 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

4.4.2.2. Sites de Punta Palazzu et Tasco Gros

Sur le site de Punta Palazzu, le nombre d'espèces observées est identique entre les deux méthodes (4). Sur le site de Tasco Gros, on observe 11 espèces avec la méthode STEED contre 9 pour la méthode UVC.

Les abondances sont similaires entre les deux méthodes sur le site de Punta Palazzu.

Concernant le site de Tasco Gros, les abondances sont plus élevées avec la méthode STEED.

On note une très forte abondance de *Coris julis*.

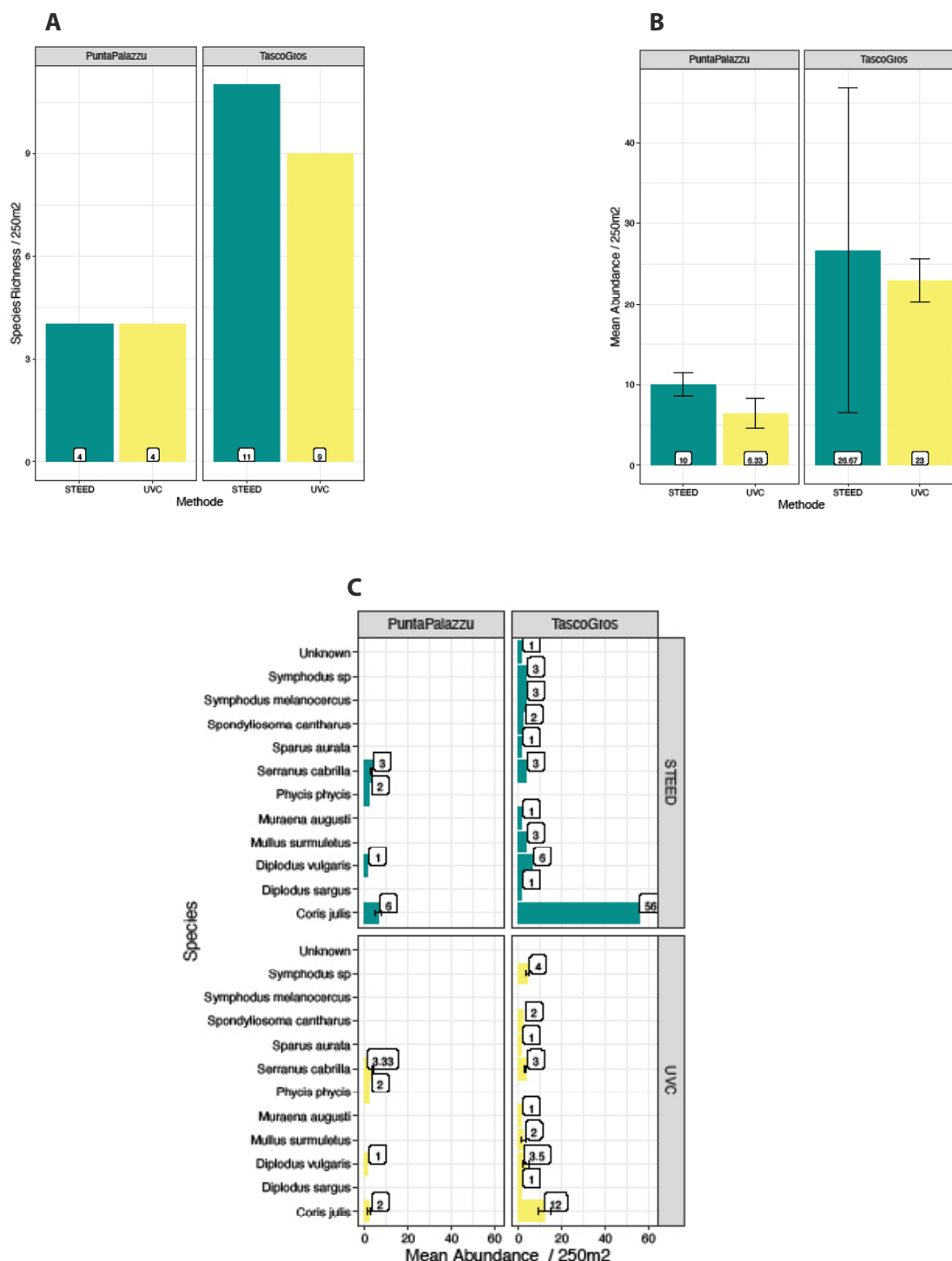


Figure 13 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

4.4.3. INVERTÉBRÉS VAGILES

On observe des scores similaires pour les deux sites suivis (Callelongue et Punta Palazzu). Dans la globalité, on observe le même nombre d'espèces pour chaque méthode (3).

Pour les deux sites, les abondances sont dominées par les holothuries. Toutefois, sur le site de Callelongue, les abondances moyennes sont plus élevées avec la méthode STEED (6) que la méthode UVC (3,67).

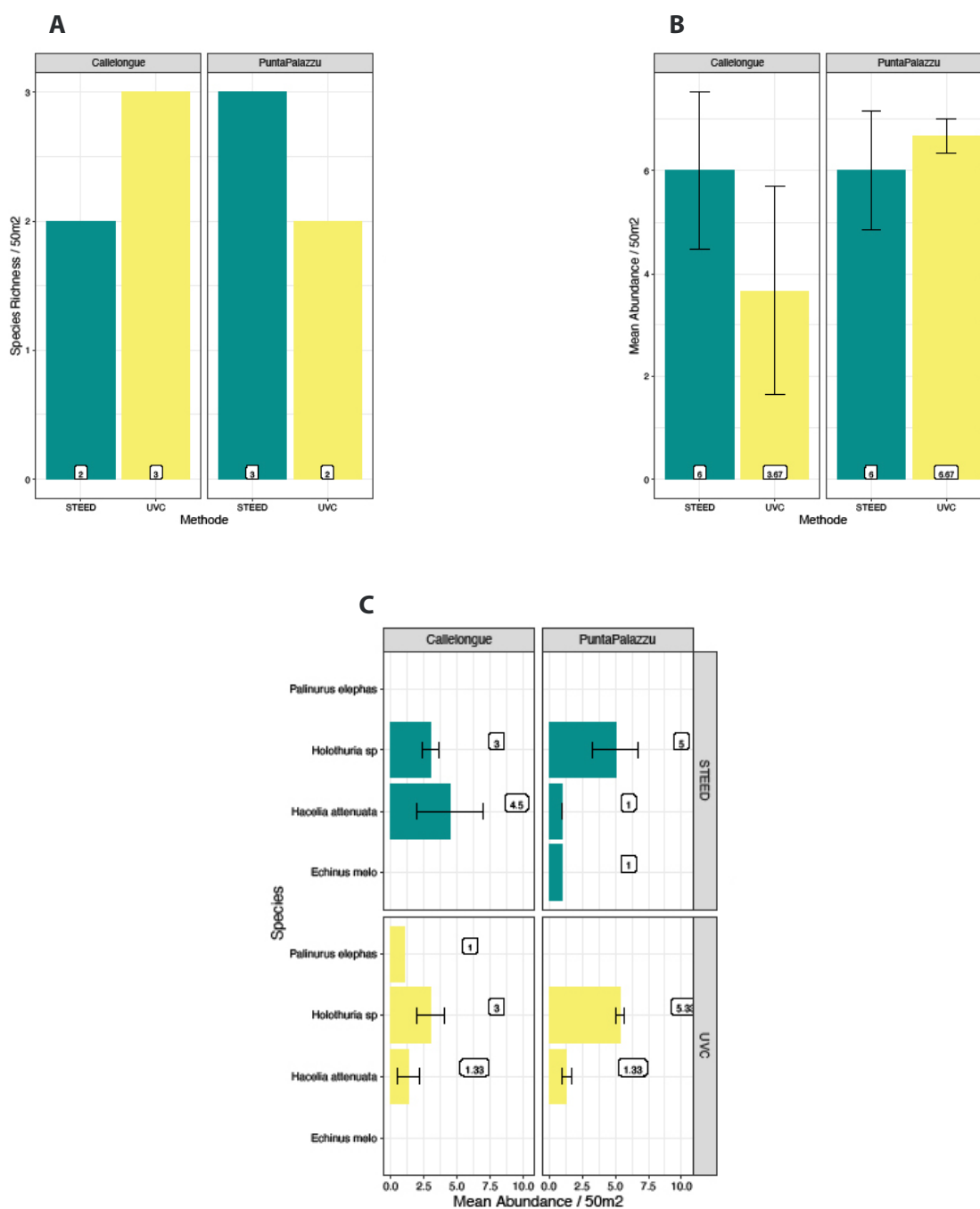


Figure 13 : A : Richesse spécifique d'ichtyofaune par site et par méthode, B : Abondance moyenne d'ichtyofaune par transect et par méthode, C : Abondance moyenne par espèces d'ichtyofaune par transect pour chaque site et par méthode.

4.4.4. ESPÈCES ÉRIGÉES

Les densités d'espèces érigées sont similaires sur les sites de Pota del Llop et Tasco Gros. En revanche, les densités sur le site de Macinaggio sont différentes (1.11 avec la méthode STEED et 7 avec la méthodologie UVC).

Les tailles des colonies de gorgonaires sont similaires entre les méthodes sur l'ensemble des sites.

Les pourcentages de colonies affectées par des nécroses sont similaires d'une méthode à l'autre pour les sites de Macinaggio et Tasco Gros. Pour le site de Pota del Llop 18m on note un score de 46% avec la méthodologie STEED et 65% avec la méthodologie UVC.

Les pourcentages de recouvrement des nécroses par colonie diffèrent sur les sites de Macinaggio où la méthodologie STEED identifie une part plus importante de nécrose supérieures à 75%. Les pourcentages diffèrent également sur le site de Pota del Llop 18m où la méthodologie UVC identifie un nombre supérieur de nécroses de plus de 75%.

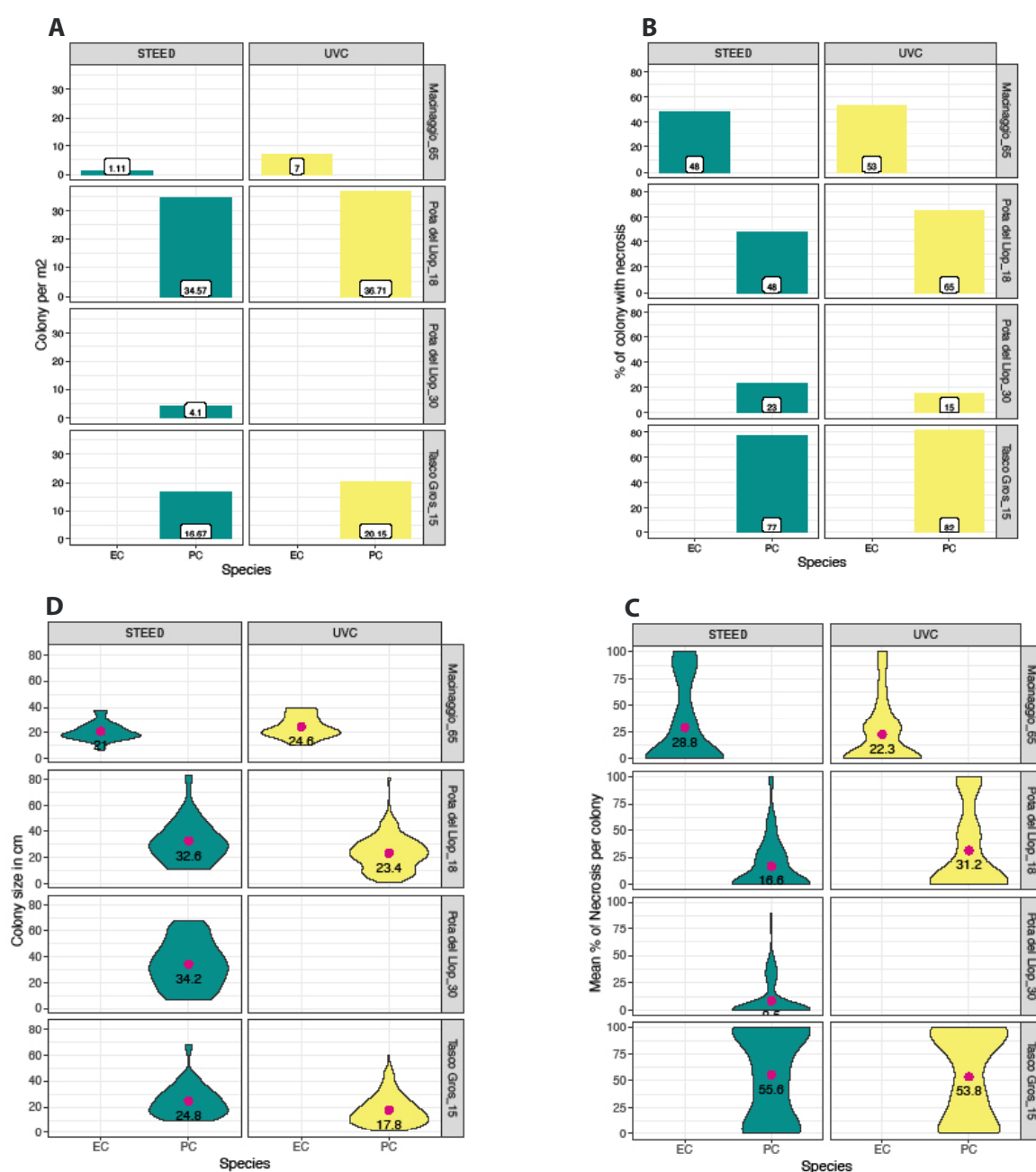


Figure 14 : A : Densité de colonies par espèce, par site et par méthode, B : % de colonies affectées par des nécroses par espèce, par site et par méthode, C : Hauteur des colonies par espèce, par site et par méthode, D : % de recouvrement de nécrose par colonie par espèce, par site et par méthode (EC = *Eunicella cavolini*, PC = *Paramuricea clavata*).

4.5. DISCUSSION

Cette étude comparative de la méthodologie STEED et de la méthodologie UVC a été réalisée sur 5 sites et 4 niveaux de profondeurs. Les conditions environnementales telles que l'orientation du substrat ou la turbidité étaient différentes suivant les sites.

- **Benthos** : Le taux de photo quadrats exploitables est acceptable (76%). Pour chaque site environ 150 photo-quadrats sont disponibles (3 transects de 50 quadrats). Toutefois, nous pouvons noter que la résolution des photographies varie en fonction de la distance entre l'objectif et le substrat influençant ainsi le niveau d'identification des individus et des espèces. Parmi les quadrats exploitables (environ 150 par site), il est nécessaire de sélectionner ceux possédant les niveaux de résolution les plus élevés afin de permettre une identification à l'espèce.

- **Ichtyofaune** : Le site de Callelongue permet de mesurer l'effet du dispositif STEED (propulseur, éclairage et encombrement) sur l'ichtyofaune. Les résultats montrent un nombre d'espèces observées plus important grâce aux comptages UVC (15 contre 12) mais des abondances plus faibles notamment pour les espèces *Coris julis* et *Spicara smaris*.

Les sites de Punta Palazzu et Tasco Gros permettent d'analyser le champ de vision du système stéréoscopique car les comptages UVC sont acquis durant le même passage que le dispositif STEED. Dans ce cadre, le nombre d'espèces observées est égal ou supérieur avec la méthode STEED. Les abondances sont supérieures avec la méthode STEED.

De ces résultats, nous pouvons donc considérer que le champ de vision et les réglages du système stéréoscopique sont bons et permettent de qualifier et quantifier la communauté d'ichtyofaune. Nous pouvons en revanche présumer d'une légère influence du système STEED sur la diversité et la quantité d'individus détectables. Cela correspond aux résultats d'autres études ayant montrées une meilleure détection de la diversité spécifique par UVC lorsque les communautés d'ichtyofaune sont complexe et des résultats comparables lorsque l'assemblage est plus limité¹. Dans certains cas, ces différences peuvent être due à une difficulté d'identification sur les vidéos à cause de la qualité d'image.

- **Invertébrés vagiles** : Les résultats sont similaires entre les méthodes. Il semble toutefois que les individus et/ou espèces de petite taille situées dans les anfractuosités et surplombs soient plus difficiles à déceler par la méthodologie STEED. Par exemple, une langouste de petite taille (< 20cm) était présente sur un surplomb de bloc rocheux sur le transect 3 du site de Callelongue sans être décelée par la méthode STEED. Cela est dû à l'angle de vision fixe de la caméra à 45° calibrée par lasers et devra être considéré lors des analyses.

- **Espèces Érigées** : Les résultats des suivis démographiques des deux espèces de gorgones avec la méthode STEED sont cohérents avec les données collectées en UVC pour l'ensemble des indicateurs. On note une forte différence de densité mesurée sur le site de Macinaggio. Cela s'explique par une différence méthodologique puisque les suivis RECOR se concentre sur une zone au sein du site possédant une forte densité, permettant ainsi le suivi de suffisamment d'individu sur une zone restreinte. On note également une différence de pourcentage de colonies affectées par des nécroses sur le site Pota del Llop_18m (48% pour STEED et 65% pour UVC). Cela est due aux colonies affectées à 100% par des nécroses colonisées par des épiphytes qui sont moins détectées par la méthodologie STEED sur ce site de grande densité. En revanche on observe le phénomène inverse sur le site de Macinaggio à faible densité où les colonies à fort recouvrement de nécroses sont plus représentés avec la méthodologie STEED.

¹ T. Holmes and all., 2013, A comparison of visual- and stereo-video based fish community assessment methods in tropical and temperate marine waters of Western Australia, Limnol. Oceanogr.: Methods 11, 2013, 337–350

Au vu des résultats présentés, la méthodologie STEED semble collecter des données cohérentes et pertinentes sur les communautés biotiques ciblées. Ce sont les résultats d'une étude modeste faisant part d'un nombre limité de réplicas pour chacune des communautés biotiques.

Les résultats de la méthode STEED devront être analysés et discutés au vu des éléments et caractéristiques mises en avant précédemment.

Nous pouvons d'ores et déjà conclure que cette méthode représente un gain de temps et une réduction de coût pour l'acquisition de données biotiques avec quelques biais méthodologiques identifiés. La grande quantité de données collectées et l'échantillonnage conséquent permettent toutefois de réduire ces biais.

Elle représente par conséquent une bonne méthode de première mise en œuvre de caractérisation générale des écosystèmes et de leurs communautés biotiques.

Cette méthode présente l'avantage d'acquérir des données de manières standardisées et rapide à grande profondeur. Cela pourra permettre de comparer les résultats sur le plan géographique, tant horizontal que vertical et sur le plan temporel. Une fois archivées, les données pourront également faire l'objet de différents traitements et analyses en fonction des besoins et objectifs de l'étude menée.

La méthode présente également l'avantage de collecter un grand nombre d'images et d'illustrations de l'état des écosystèmes à un instant "T". Cette collection d'images pourra servir de mémoire visuelle et de matériel de communication.

Le caractère standardisé des données peut également permettre de rechercher des corrélations entre les données écologiques obtenues et des facteurs externes tels que la pression de pêche, la distance à la côte, le taux de nutriments, le gradient de pressions anthropiques et autres.

5. STRATÉGIES D'ANALYSES



5.1. NIVEAUX D'ANALYSE ET OBJECTIFS DE SUIVI

Un des avantages de la méthode STEED réside dans la collecte de données par imageries permettant ainsi un traitement et une analyse *a posteriori*. La donnée collectée est standardisée et contient toujours le même niveau d'information. En revanche les critères de traitement et d'analyse peuvent être ajustés en fonction des objectifs de l'étude et des moyens humains disponibles.

Selon si l'on souhaite connaître les écosystèmes présents ou évaluer leur état de conservation, les indicateurs et les niveaux de précisions ne seront pas les mêmes.

Le tableau ci-dessous propose des indicateurs et des niveaux de précision possibles en fonction de la thématique d'approche de l'étude menée. On peut distinguer une thématique de description des écosystèmes faisant référence à la caractérisation et l'amélioration de la connaissance des écosystèmes présents sur le site. L'autre thématique vise à établir l'état de conservation des écosystèmes et la présence d'impacts anthropiques.

Les temps référencés dans le tableau ne prennent pas en compte le temps de calibration de la stéréoscopie (45min/site), le temps de recadrage des photo-quadrats avant traitement (120min/site) et le temps d'analyse dans le logiciel R (120min/site).

				Communautés biotiques					
				Ichtyofaune	Benthos	Invertébrés	Espèces érigées	Autres	Temps Total
Stratégie d'analyses	Description des écosystèmes	Rapide	Indicateurs	Espèces Abondance	Groupes Typologie d'habitat	Espèces Abondance	Espèces Densité Nécrose simple	Facteur abiotique (luminosité, température, courant, etc.)	
			Temps humain	60min/Site	90min/Site	45min/Site	60min/Site	30min/site	4h45/Site
		Détaillée	Indicateurs	Espèces Abondance Biomasse	Espèces Typologie d'habitat	Espèces Abondance Biomasse	Espèces Hauteur de canopé Densité	Facteur abiotique (luminosité, température, courant, etc.)	
			Temps humain	120min/Site	180min/Site	60min/Site	120min/Site	30min/site	8h30/Site
	Conservation des écosystèmes	Rapide	Indicateurs	Espèces commerciales Abondance espèces commerciales	Taux de Nécroses Sédimentation	Abondance brouteurs Espèces envahissantes	Taux de Nécroses	Abondance de macro déchets	
			Temps humain	60min/Site	60min/Site	45min/Site	45min/Site	45min/Site	4h15/Site
		Détaillée	Indicateurs	Espèces Abondance Biomasse Niveau trophique Espèces envahissante	Taux et types de Nécroses Sédimentation Destruction structurelle d'habitat Espèces ingénieuses	Abondance brouteurs Bioturbateurs Espèces envahissantes	Taux et types de nécroses Dégradation d'individu	Abondance et types de macro déchets	
			Temps humain	120min/Site	180min/Site	60min/Site	60min/Site	75min/Site	8h15/Site

Figure15 : Tableau de proposition d'indicateurs et de niveau de précisions pour le traitement et l'analyse des données obtenues par la méthode STEED.

5.2. RESSOURCES NÉCESSAIRES

En considérant des sites au-delà de 60m de profondeur (maximum 150m) et faisant l'objet d'une seule profondeur de suivi (équivalent à 3 transects de 50m). La méthode STEED génère un coût estimé de 2400€ TTC contre 5700€ TTC pour la collecte de données UVC. Concernant le traitement des données nous considérons que la méthode STEED nécessite 3 fois plus de temps humain pour un coût de 600€ TTC / site contre 200€ TTC / site pour l'UVC.

En incluant la collecte et le traitement des données, la méthode STEED a l'avantage d'être plus économique que la méthode UVC, avec un coût total deux fois moins élevé (8220€ TTC pour l'UVC contre 3600€ TTC pour STEED).

A noter que les coûts référencés dans le tableau ne prennent pas en compte les coûts d'analyse statistique et les coûts de rédaction car ils sont communs aux deux méthodes. Les coûts de traitement de données avec la méthode STEED ont été calculé sur la base d'une stratégie d'analyse : description détaillée des écosystèmes (voir chapitre 5.1.). Pour les calculs, nous avons considéré un site de suivi comprenant une profondeur unique de suivi (3 transects).

UVC Method			
Data collection	Unit Price HT	Unit	Total HT
2 divers ECCR	1400	3	4200
Boat + Pilot	500	3	1500
Sout Total			5700
Data treatment	Unit Price HT	Unit	Total HT
Labor time	400	0,5	200
Sub Total			200
TVA			2320
Total TTC / Site			8220

STEED Method			
Data collection	Unit Price HT	Unit	Total HT
2 divers ECCR	1400	1	1400
STEED system rent	500	1	500
Boat + Pilot	500	1	500
Sout Total			2400
Data treatment	Unit Price HT	Unit	Total HT
Labor time	400	1,5	600
Sub Total			600
TVA			600
Total TTC / Site			3600

Figure16 : Tableau des coûts de collecte et de traitement des données selon les méthodes utilisées.

6. RECOMMENDATIONS & PERSPECTIVES



6.1. RECOMMANDATIONS TECHNIQUES

Grâce au déploiement sur sites et à l'analyse de données proposée dans cette étude, il est possible d'identifier des points d'améliorations techniques et méthodologiques.

Afin de perfectionner l'outil et de réduire les biais méthodologiques, il est souhaitable de :

- Inclure l'identification des espèces (sans prendre en compte les abondances) sur les images de GP3 et les photo-quadrats afin d'affiner la richesse spécifique d'ichtyofaune, notamment pour les espèces cryptiques. Dans le cas d'une présence avérée, on cherchera à la mesurer avec GP1 et GP2. Si cela n'est pas possible, une estimation de taille pourra être faite avec GP3 grâce à l'échelle laser.
- Rajouter une quatrième Gopro (GP4) couplée à GP3 afin de pouvoir réaliser des mesures stéréoscopiques sur les espèces cryptiques, les invertébrés et les individus d'espèces érigées de petites tailles.
- A la suite des collectes de données, et si le temps le permet, il serait utile de collecter des photos permettant l'identification d'espèces grâce à l'appareil photo détachable de la structure du STEED.
- Augmenter la puissance du système d'éclairage de l'appareil photo afin de pouvoir acquérir la donnée nécessaire à la reconstruction de modèles photogrammétriques du substrat.
- Utiliser un système de propulsion silencieux de manière à réduire le dérangement sur l'ichtyofaune et diminuer le biais méthodologique identifié.

6.2. PERSPECTIVES SCIENTIFIQUES

Initialement imaginé et conçu en 2022, la méthodologie STEED a été déployée et testée en 2023.

La phase de mise en œuvre de l'outil ainsi que l'analyse des données ont permis de mettre en évidence la pertinence du système et sa maniabilité. L'étude a également démontré son intérêt pour l'amélioration de la connaissance et de la compréhension des écosystèmes mésophotiques à travers des données standardisées et l'utilisation d'indicateurs écologiques connus.

Ces conclusions permettent d'envisager d'autres déploiements et un changement d'échelle.

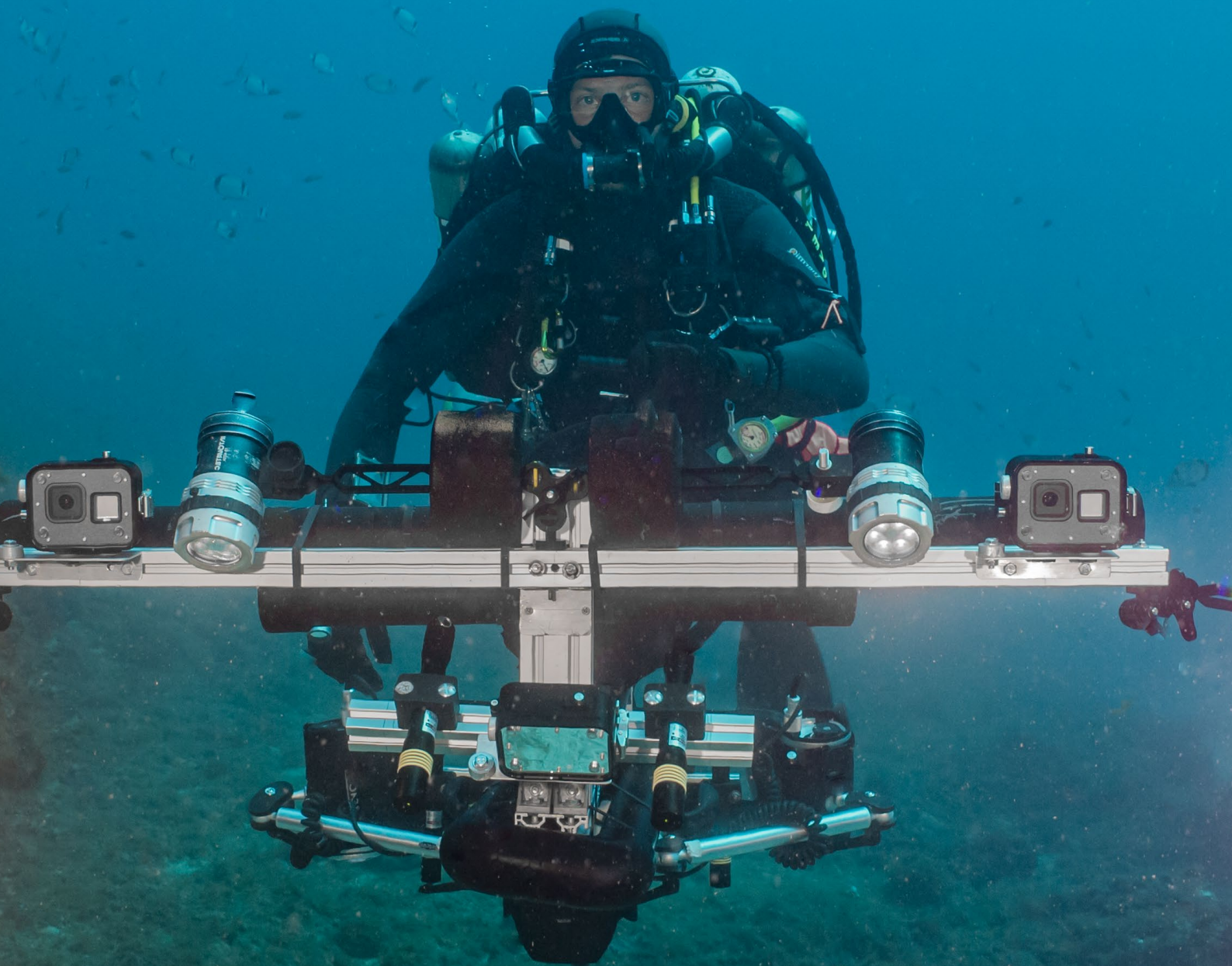
Plusieurs perspectives sont envisageables. Tout d'abord, il est souhaitable d'envisager l'utilisation de cet outil pour une collecte de données à plus large échelle spatiale (nationale ou internationale). De plus, en conservant le caractère standardisé des données, il serait possible de réunir l'ensemble des données collectées sur une base de données accessible en ligne dans le but de pouvoir créer du lien et comparer les données sur un plan spatial et/ou temporel.

Par ailleurs, cette première phase de déploiement visée des sites compris dans des profondeurs modeste (maximum 65 m) et comprenant une station de suivi unique (pas de gradient de profondeur).

En vue d'exploiter toutes les capacités du système, il serait pertinent de mettre en œuvre une étude en zone mésophotique profonde (100 à 150 m) et/ou le long de gradients de profondeurs.

Par ailleurs, la connectivité des écosystèmes mésophotiques avec l'écosystème environnant peut être étudiée à travers des études ciblées sur les zones de connectivités (écotones) mais également à travers les gradients de profondeurs ou spatiaux. Dans ce cadre, l'outil STEED pourrait grâce à la standardisation des données, être mis en œuvre dans le but d'étudier les connectivités écosystémiques.

Steed



Seastems

Siret : 834 481 889 000 22

Thomas Pavy

thom.pavy@gmail.com

+33(0)7 72 07 38 07