



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME GIREPAM

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Etude et caractérisation de la fréquentation maritime et de son impact sur l'herbier de posidonie, le peuplement de poissons et le balbuzard pêcheur (*Pandion haliaetus*) dans la Réserve naturelle de Scandola



Rapport final
Décembre 2019



La cooperazione al cuore del Mediterraneo
La coopération au cœur de la Méditerranée



**Etude et caractérisation de la fréquentation maritime et de son impact sur
l'herbier de posidonie, le peuplement de poissons et le balbuzard pêcheur
(*Pandion haliaetus*) dans la Réserve naturelle de Scandola
*Rapport final – décembre 2019***

Commanditaire :

Parc naturel régional de Corse

34 Cours Paoli, 20250 Corte

Maison de la mer, 20245 Galeria

Contact : Jean-Marie Dominici, mail : pnrc.scandola-jm@wanadoo.fr

Responsable du GIS Posidonie :

Thomas Changeux, MIO (UMR 235 – Aix-Marseille Université et Université de Toulon)

Tel : 04 86 09 06 34 – Courriel : thomas.changeux@ird.fr

Référent scientifique de l'étude :

Professeur Charles-François Boudouresque, MIO (UMR 235 – Aix Marseille Université)

Responsable de l'étude : Thomas Schohn

Participants aux missions de terrain : Patrick Astruch, Elodie Rouanet, Thomas Schohn, Adrien Goujard, Lisa Dossmann, Anthony Colas, Sandrine Ruitton, Adrien Lyonnet, Hervé Glotin, Jean-Marie Dominici et les agents de la Réserve Naturelle de Scandola (Julien Tavernier, François Paolini, Virgile Lenormand, Saveriu-Antone Rossi, Jean-Laurent Dominici, Ange-François Chazalon, Jérémie Achilli)

Rédaction du rapport : Patrick Astruch, Thomas Schohn, Paul Best, Hervé Glotin, Marion Poupard, Jan Schluter, Maxence Ferrari, Philippe Arlotto

Dossier : 17-19

Citation du document :

SCHOHN T., ASTRUCH P., BEST P., GLOTIN H., ROUANET E., LE DREACH L., DOSSMANN L., GOUJARD A., BELLONI B., LYONNET A., POUPARD M., JEHL C., BUCHET L., FRANÇOIS M., FERRARI M., SCHLUTER J., GIRAUDET P., ARLOTTO P., DOMINICI J.M., 2019. *Etude et caractérisation de la fréquentation maritime et de son impact sur l'herbier de posidonie, le peuplement de poissons et le balbuzard pêcheur (Pandion haliaetus) dans la Réserve naturelle de Scandola. Rapport final – décembre 2019. Programme GIREPAM - Contrat Parc naturel Régional de Corse - GIS Posidonie publ., Marseille : 231 pp + Annexes.*

Sommaire

1. Introduction	9
2. Site d'étude	12
3. Evaluation de la fréquentation	17
3.1. Référentiel spatial de la Réserve naturelle de Scandola	17
3.2. Suivi de la fréquentation	17
3.2.1. Données MEDOBS	17
3.2.1.1. Méthodologie	17
3.2.1.2. Résultats	18
3.2.1.3. Conclusion	19
3.2.2. Images satellites	25
3.2.2.1. Méthodologie	25
3.2.2.2. Résultats	26
3.2.3. Suivi du mouillage par AIS	28
3.2.3.1. Méthodologie	28
3.2.3.2. Résultats	29
3.2.4. Suivi par comptage embarqué	33
3.2.4.1. Méthodologie	33
3.2.4.2. Résultats	36
3.2.4.3. Conclusion	43
3.2.5. Suivi photographique à haute fréquence	44
3.2.5.1. Méthodologie	44
Système photographique	44
Traitement des images	49
Projection des embarcations au mouillage sur un repère orthonormé	51
Estimation des points d'ancrage et calculs de densités	52
Evaluation du flux de déplacement	52
Analyse statistique	54

3.2.5.2.	Suivi du mouillage dans la baie d'Elbu	56
	Typologie des usagers et dynamique temporelle de la fréquentation	56
	Répartition spatiale de la fréquentation	63
	Temps de résidence	69
	Observations de non-respects de la réglementation	70
3.2.5.3.	Résultats dans la passe de Palazzu (DPDA Gargalu)	71
	Evaluation de la variation du flux de passage	71
	Analyse des flux de passages des bateliers	74
	Pratique des usagers vis-à-vis de la vitesse	75
3.2.6.	Enquête de perception	76
3.2.6.1.	Méthodologie	76
	Conception du questionnaire et réalisation d'enquêtes	76
	Analyses statistiques :	77
3.2.6.2.	Résultats	78
	Profils des personnes enquêtées	78
	Analyse de la sortie du jour	81
	Analyse de la perception de la connaissance de l'AMP et de sa réglementation	83
	Perception de l'effet de la Réserve	88
	Nuisances et conflits d'usages	88
4.	Evaluation de l'impact du mouillage sur l'herbier de posidonie	90
4.1.	Zone d'étude	90
4.2.	Principe et mesure du MCAI sur l'herbier de posidonie	92
4.3.	Evaluation de la qualité de l'écosystème Herbier à <i>Posidonia oceanica</i>	95
4.4.	Résultats et discussion	100
4.4.1.	Mesure du MCAI	100
4.4.1.1.	Descriptifs par station	105
	Station Elbu :	105
	Station de l'Imbuttu :	106
	Station Gargalu :	108
	Station Gattaghja :	108

4.4.2. Mesure de l'EBQI	110
5. Etude de la luminosité sous-marine	113
6. Evaluation du paysage acoustique sous-marin	114
6.1. Introduction et rappel des objectifs	114
6.2. Instrumentation de mesure acoustique sous-marine	115
6.3. Résultats	121
6.3.1. Détection des bateaux sur la série complète de l'été 2018	121
6.3.2. Empreintes acoustiques des bateaux	122
6.3.3. Estimation des délais d'arrivée (TDoA)	123
6.3.4. Robustesse à la décimation de la fréquence d'échantillonnage	129
6.3.5. Estimation de la trajectoire d'un bateau pour confirmer les mesures de TDoA	131
6.3.6. Evolution des niveaux de bruits sous-marin dans la journée	132
6.3.7. Corrélation entre accélération et niveau de bruit	138
6.3.8. Présence de bateaux au fil des journées	138
6.3.9. Rôle des bateaux dans l'augmentation du niveau de bruit	141
6.4. Conclusion	142
7. Suivi du balbuzard pêcheur <i>Pandion haliaetus</i> par acoustique aérienne	143
7.1. Matériels et sites d'étude	143
7.2. Méthode de suivi acoustique aérien du balbuzard pêcheur	146
7.3. Résultats	149
7.3.1. Définition d'un détecteur acoustique spécifique au balbuzard	149
7.3.1.1. Chant de type 1	150
7.3.1.2. Chant de type 2	152
7.3.2. Performances du détecteur	152
8. Croisement des protocoles acoustiques sous-marins et aériens	154
8.1. Incidence du trafic maritime sur les vocalises du balbuzard pêcheur	154
8.2. Impacts des niveaux de bruits sous-marins sur les enregistrements aériens	154
8.3. Variation des comportements des balbuzards	156

9. Analyse des détections des clics sous-marins, interaction entre le trafic des bateaux et les cétacés	160
10. Evaluation du peuplement de poissons	163
10.1. Objectif/Hypothèses de travail	163
10.2. Méthodologie	164
10.3. Analyses des données	167
10.3.1. Métriques utilisées	167
10.3.2. Regroupement des espèces par catégories trophiques	168
10.3.3. Regroupement des espèces par catégories spatiales	168
10.3.4. Traitement statistique des données	170
10.4. Résultats	171
10.4.1. Description générale du peuplement de poissons	171
10.4.1.1. Richesse spécifique	173
10.4.1.2. Densité moyenne de poissons	174
10.4.1.3. Biomasse moyenne de poissons	177
10.4.2. Analyse par compartiment fonctionnel (groupes trophiques)	179
10.4.3. Analyse par catégories d'occupation spatiale	187
10.4.4. Analyse de quelques espèces clefs	194
10.4.4.1. Le mérrou brun	194
10.4.4.2. Le corb	195
10.4.4.3. Le sar commun	197
10.4.4.4. La castagnole	197
10.4.4.5. La rascasse de Madère	199
11. Discussion et conclusion	200
11.1. Visites de la Réserve naturelle de Scandola	200
11.2. Un peuplement de poissons structuré par de nombreux facteurs	203
11.3. Une incidence de la pollution sonore sur le peuplement de poissons ?	204
11.4. Le comportement du balbuzard pêcheur influencé par la présence des bateaux ?	206
11.5. Des émissions anthropophoniques en dehors de la RNS	208

11.6.	Un herbier de posidonie impacté par le mouillage ?	209
11.7.	Des capacités de charge maximales atteintes ?	215
11.8.	Préconisations de gestion	217
11.8.1.	Maintien du suivi des usages et sensibilisation	217
11.8.2.	Zone de quiétude pour l'avifaune, en particulier le balbuzard pêcheur	218
11.8.3.	Appliquer cette zone de quiétude pour la faune sous-marine	219
11.8.4.	Suivi du mouillage et l'impact sur la posidonie	220
11.8.5.	Gestion du mouillage dans les zones hors RNS	221
12.	Références bibliographiques	222

1. Introduction

La connaissance de la fréquentation au sein d'une aire marine protégée comme la Réserve naturelle Marine de Scandola (RNS) est indispensable pour une gestion cohérente. Les différents usages pratiqués doivent être évalués, un état de référence posé, et des évaluations régulièrement actualisées en raison de l'évolution des pratiques, des loisirs et du développement du tourisme. La connaissance doit être à la fois qualitative et quantitative pour servir les objectifs du plan de gestion.

Le maintien et le développement d'usages durables doivent se faire en fonction des objectifs de conservation de la biodiversité et d'exploitation durable des ressources halieutiques. Dans le cadre de la gestion des aires marines protégées ces objectifs peuvent se décliner en 3 en ce qui concerne les usages : (i) **la durabilité de ces usages**, (ii) **le maintien des usages à valeur patrimoniale** et (iii) **un développement territorial équilibré et équitable** (démarche du programme PAMPA, Pelletier *et al.*, 2011).

La qualification et la quantification des pressions engendrées sur les écosystèmes par les différents usages et les impacts effectifs sur ces écosystèmes en relation avec chaque usage se font à partir de l'évaluation de la fréquentation. Les données issues des évaluations de fréquentation fournissent des métriques de pression. Passer de l'évaluation de la pression à l'évaluation de l'impact implique d'appréhender la relation entre la pression et les écosystèmes. A ce titre, de nombreux modèles conceptuels existent comme le modèle DPSIR ("Driver - Pressures - States - Impacts - Responses", en français "Force Motrice - Pressions - Etats - Impacts - Réponses" ; EAA, 1995) sur lesquels il est intéressant de s'appuyer pour comprendre et identifier les étapes de réflexion lors d'une prise de décision (Figure 1).

La prise de décision (Réponses) ainsi que les leviers d'action ne doivent être arrêtés par un gestionnaire qu'une fois que la ou les pressions sont identifiées et quantifiées, et que l'état (socio-économique ou écologique) est estimé, la relation entre ces deux derniers points permettant de mettre en évidence ou non un impact sur l'environnement (social ou écologique).

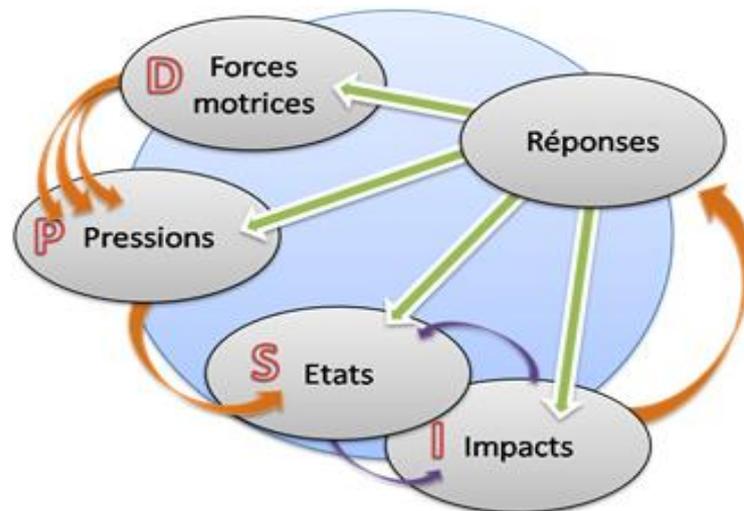


Figure 1. Schéma simplifié du modèle DPSIR (EEA, 1995).

Des travaux ponctuels sur quelques secteurs d'activité ont porté sur des évaluations plus ou moins précises de la fréquentation à Scandola. Très peu d'évaluations qualitatives et quantitatives englobant l'ensemble des usages maritimes autour et dans la Réserve sont disponibles, à savoir la fréquentation par les différents usagers (nombre, types d'usages, périodes) : plaisanciers, pêcheurs professionnels (la pêche de loisir est interdite au sein de la Réserve), plongeurs (la plongée sous-marine est interdite dans toute la Réserve), kayaks de mer et bateliers (promenade en mer). A ce jour, la dernière étude de la fréquentation au sein de la Réserve a été réalisée dans le cadre du programme Life LINDA (2006). Des comptages embarqués à l'échelle de la RNS et des dénombrements de navires au mouillage avaient alors été réalisés à partir de photos aériennes dans différents sites, à défaut d'un échantillonnage tous les 3 jours entre juillet et septembre, en 2004, 2005 et 2006.

Les activités nautiques, particulièrement développées pendant la saison estivale (de juin à septembre), induisent une pression sur les écosystèmes et pourraient avoir un impact sur les communautés aussi bien terrestres, que marines. Dans le contexte de changement global qui affecte particulièrement la Méditerranée, les écosystèmes littoraux et côtiers sont fragilisés (espèces invasives, réchauffement, nouveaux pathogènes, etc.) et donc plus vulnérables face à certaines activités humaines.

Les objectifs généraux de la présente étude sont :

- **de fournir des données à différentes échelles spatiales et temporelles** sur la fréquentation de la Réserve naturelle de Scandola (croisement d'informations issues de différentes méthodes de suivi de la fréquentation) afin de la caractériser de façon qualitative et quantitative le plus précisément possible (typologie, quantification, perception des usagers) ;

- **d'évaluer de potentiels impacts sur différentes communautés (balbuzard pêcheur, peuplement de poissons) ou sur l'écosystème à *Posidonia oceanica* (herbier de posidonie) à partir de différents descripteurs mesurés.**

L'utilisation du maximum de données disponibles sur la zone, la connaissance des écosystèmes de la RNS et l'acquisition de données complémentaires par un croisement des approches est la démarche entreprise pour mener cette évaluation. Les métriques caractérisant les usages sont calculées à partir des données issues des comptages de fréquentation et des données des enquêtes réalisées auprès des usagers.

Les approches qui ont été menées et les données récoltées permettent d'aborder certains aspects de la notion de capacité de charge au sein de la RNS (densité de mouillage, fréquence de passage de bateaux et relations avec les communautés).

2. Site d'étude

L'étude s'est déroulée au sein de la Réserve naturelle de Scandola (RNS) située sur la côte occidentale de la Corse, au cœur de la façade maritime du Parc Naturel Régional de Corse. Le territoire de la RNS s'étend de Galéria, au nord, au golfe de Girolata, au sud (Figure 2). Il s'agit d'une zone protégée aussi bien dans sa partie terrestre que marine (première en France) dont la gestion est assurée par le Parc Naturel Régional de Corse. Cette zone, remarquable par son aspect sauvage toujours préservé, a attiré l'attention de nombreux scientifiques qui, grâce à leurs travaux, ont permis la mise en évidence de la qualité exceptionnelle de ses milieux aussi bien d'un point de vue paysager que biologique. C'est donc tout naturellement que plusieurs mesures de protection ou de gestion y ont été prises :

- site classé depuis 1974 ;
- statut de Réserve naturelle depuis le 9 décembre 1975 (décret n° 75-1128) ;
- site inscrit au Patrimoine mondial de l'UNESCO depuis le 15 décembre 1983 ;
- acquisition par le Conservatoire du Littoral ;
- ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et floristique) ;
- site Natura 2000 en tant que zone de protection spéciale de la CEE (ZPS) pour les oiseaux ;
- zone d'importance pour la conservation des oiseaux (ZICO) Directive 79/409/CEE ;
- site d'intérêt planétaire dans le réseau BIOMARE des sites exceptionnels de référence pour son grand degré de naturalité et sa biodiversité remarquable ;
- réserve du réseau « des aires marines et côtières spécialement protégées de la Méditerranée » (Convention de Barcelone, 1992) ;
- site de référence pour son état de conservation dans le réseau de Féderparc et Medpan pour le milieu marin ;
- site qui détient le diplôme de catégorie A, décerné par le Conseil de l'Europe, depuis 1985 et renouvelé tous les cinq ans après expertise, pour sa bonne gestion.



Sources des données : Image satellite : ESRI ; Limite de Réserve : Parc naturel Régional de Corse

Système de coordonnées : RGF 93 - Projection Lambert 93



Figure 2. Localisation de la Réserve naturelle de Scandola.

Les fonds sous-marins de la RNS sont composés d'un assemblage de plusieurs habitats (Figure 4). La roche infralittorale à algues photophiles y est très présente et des associations remarquables de *Cystoseira* spp. y sont particulièrement développées (Ballesteros *et al.*, 2008 ; Blanfuné *et al.*, 2016). Un vaste herbier à *Posidonia oceanica*, plus ou moins large en fonction de la topographie, est visible dans l'ensemble de la RNS. On peut également y observer des fonds meubles infra- et circalittoraux comme le détritique côtier, et rencontrer des roches coralligènes plus en profondeur.



Figure 3. Falaises et faille de la Punta Palazzu ; ©Réserve naturelle de Scandola.

De nombreux travaux ont mis en avant le caractère exceptionnel de ce milieu (Ballesteros *et al.*, 2009 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2015) Des mesures de gestion ont donc été prises afin de préserver au mieux son état de conservation au fil des années :

- l'ensemble de la partie terrestre est interdite d'accès au public ;
- zone de protection intégrale dans la partie marine de 80 ha où les activités humaines sont très restreintes : uniquement le passage de bateaux et le snorkeling (nage en palme masque et tuba) y sont autorisés (Figure 2) ;
- zone de protection partielle de 588 ha où sont autorisés le mouillage des bateaux uniquement la journée et la pêche professionnelle artisanale.

Cette zone est bordée par des ports de taille relativement moyenne dans un rayon de 10 milles nautiques. Au nord, le port de Galéria, distant de 4.7 milles de la Punta Nera permet d'accueillir jusqu'à 80 bateaux à quai, et possède 110 bouées de mouillages écologiques dans sa ZMEL. Au sud, 2 ports sont situés respectivement à 3 milles et 7.4 milles nautiques : (i) Girolata d'une capacité de 85 places à quai et 73 bouées en ZMEL, et (ii) le port de Porto-Ota d'une capacité de 150 places à quai.

Cette région remarquable et sauvage, longtemps préservée des afflux touristiques par son éloignement, est un atout majeur et important pour le tourisme de la région. Une hausse significative de la fréquentation est observée ces dernières années (Tavernier et Dominici, 2014) De nombreuses activités en dépendent directement, comme la location de bateaux et le transport de passagers (bateliers). Ces derniers proposent la visite des falaises et des failles par un accès maritime et donnent l'occasion aux visiteurs

d'apprécier ces paysages atypiques ainsi que la faune sauvage présente sur les lieux (Figure 3).

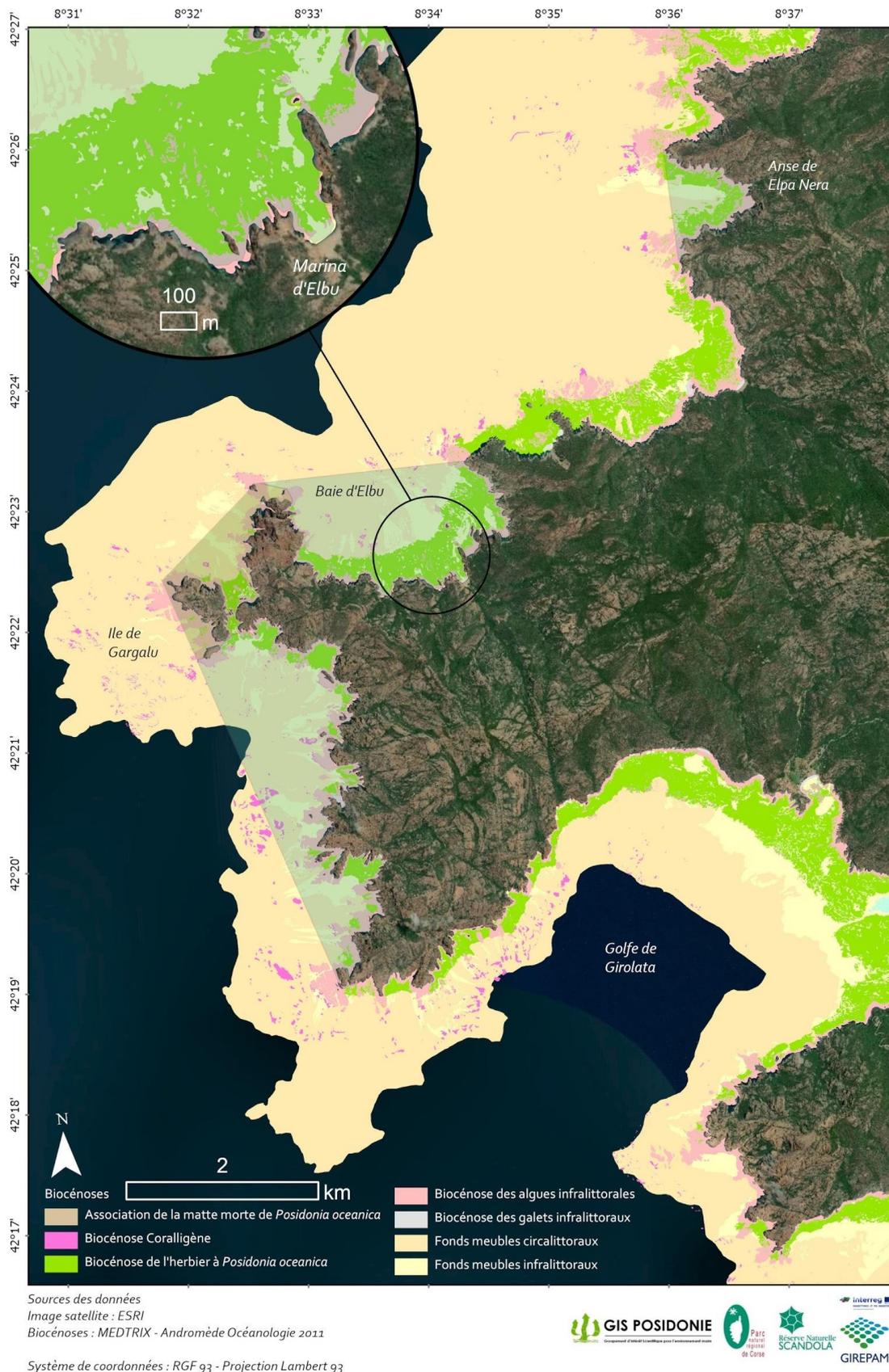


Figure 4. Cartographie des biocénoses de la Réserve naturelle de Scandola et zoom sur la zone de la marina d'Elbu.

3. Evaluation de la fréquentation

L'évaluation de la fréquentation s'effectue sur l'ensemble de la RNS, avec des focus réalisés dans différentes zones à enjeux comme la passe de Gargalu en réserve intégrale, et la baie d'Elbu en réserve partielle. Le croisement de différentes sources de données permet une lecture à différentes échelles, avec des évaluations plus ou moins précises selon les zones et les enjeux choisis.

3.1. Référentiel spatial de la Réserve naturelle de Scandola

Les différentes études de la fréquentation à l'échelle de la RNS s'appuient sur l'utilisation d'un référentiel spatial de la zone. Cette fragmentation de l'espace a été développée dans des précédentes études afin d'évaluer les efforts de pêche dans différents secteurs de la Réserve, permettant de standardiser les comparaisons sur des suivis temporels (Le Diréach *et al.*, 2002, 2015, 2019). Le zonage est utile afin de pouvoir agréger certaines données d'évaluation, comme les comptages embarqués, les données d'enquêtes de perception, etc. La zone d'étude est découpée en 15 secteurs (Figure en dessous), répartis du n°1 au n°15 respectivement du nord au sud.

3.2. Suivi de la fréquentation

3.2.1. Données MEDOBS

3.2.1.1. Méthodologie

L'observatoire MEDOBS, pour "Observatoire aérien des usages en Méditerranée" (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, www.medobs.fr) est un réseau de suivi qui collecte, depuis 2011, des données relatives (i) à la fréquentation en mer (pression des usages et des mouillages forains), (ii) à la présence de pollution, et (iii) à la détection de panaches fluviaux et de cétacés. Ces informations sont recueillies à l'aide de prises de vue aériennes obtenues à partir d'un hydravion léger et équipé de matériel optronique et infrarouge. Le secteur d'étude couvre l'ensemble de la façade méditerranéenne française, incluant le littoral corse, et quelques sites au large.

Les paramètres relevés par ce suivi sont :

- le nombre de bateaux par secteur (la côte méditerranéenne et la Corse sont divisés en secteurs afin de faciliter l'exploitation des données) ;

- zones de mouillage avec localisation, nombre de bateaux s'y trouvant, distinction des bateaux à voile et à moteur ;
- pollutions marines ;
- usages nautiques (kite-surfs, planches à voile, stand-up paddles, dériveurs, jet-skis, etc.) ;
- localisation de la pêche professionnelle ;
- appréhension du phénomène d'érosion.

Ces données ponctuelles et publiques ont été recueillies auprès de la plateforme Medtrix (www.medtrix.fr).

3.2.1.2. Résultats

Les données de la zone d'étude sont disponibles entre 2011 et 2016. Les données concernant la RNS et les alentours sont très parcellaires. Un à 4 vols par an ont été recensés, centrés uniquement sur des zones où les bateaux semblent concentrés, comme dans le golfe de Girolata.

En 2012, aucune zone de mouillage n'a été répertoriée ; seulement quelques 'spots' de plongée sous-marine et de sports nautiques (tels que le jet-ski) ont été identifiés (Figure 5). Ces deux types d'activités sont les seules observées sur l'ensemble de la période, entre 2011 et 2016.

En 2013, une zone de mouillage a été repérée durant un vol, au sud-est du golfe de Girolata, comptabilisant 9 bateaux, uniquement de petite taille (Figure 6).

Pour l'année 2014, lors de plusieurs vols, quatre zones de mouillage ont été répertoriées dans le golfe de Girolata, comptabilisant un total de 135 bateaux (Figure 7). Ces données ne sont reliées à aucune date, il n'est donc pas possible de faire le lien avec un type de jour, une saison ou même la météo. Néanmoins, 3 vols sur 4 permettent de mettre en évidence un mouillage pratiqué uniquement par des voiliers (dont 50% de petits navires) dans cette zone.

En 2015, deux zones de mouillages ont été localisées, l'une entre la baie d'Elbu et la Punta Palazzu avec 9 bateaux recensés (dont 20% de voiliers, 60% de moyens et 10% de grands), l'autre dans le port de Girolata avec 25 bateaux comptabilisés (dont 20% de voiliers, 50% de petits, 40% de moyens et 10% de grands) (Figure 8).

Enfin, pour l'année 2016, une zone de mouillage a été observée également dans le port de Girolata, avec un total de 7 bateaux au mouillage (dont 80% de voiliers, 90% de petits navires et 10% des moyens) (Figure 9).

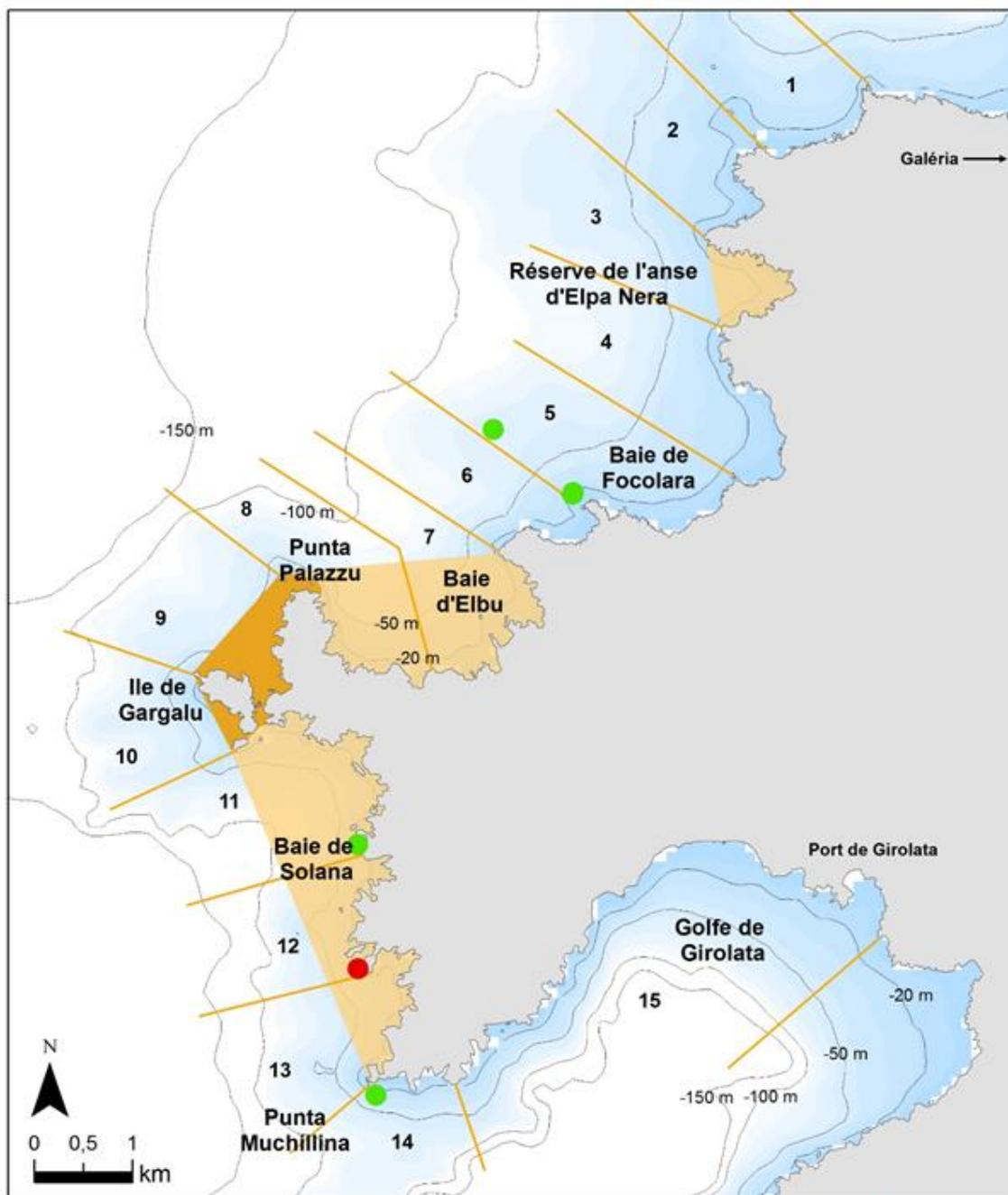
Aucune trace de pollution n'a été signalée d'après les vols MEDOBS effectués entre 2010 et 2016.

3.2.1.3. Conclusion

Les données de l'observatoire MEDOBS offrent une description assez restreinte des activités du territoire et ne procurent pas d'informations suffisantes pour une exploitation des données historiques relatives à la fréquentation.

Une première liste non-exhaustive des activités observées peut tout de même être dressée. On y recense :

- des activités de plongées dont une référencée en réserve partielle alors que c'est interdit ;
- de la plaisance (mouillage) ;
- de la voile (planche à voile) ;
- des activités de vitesse (jet-ski).



Légende

Activités (données MEDOBS 2012)

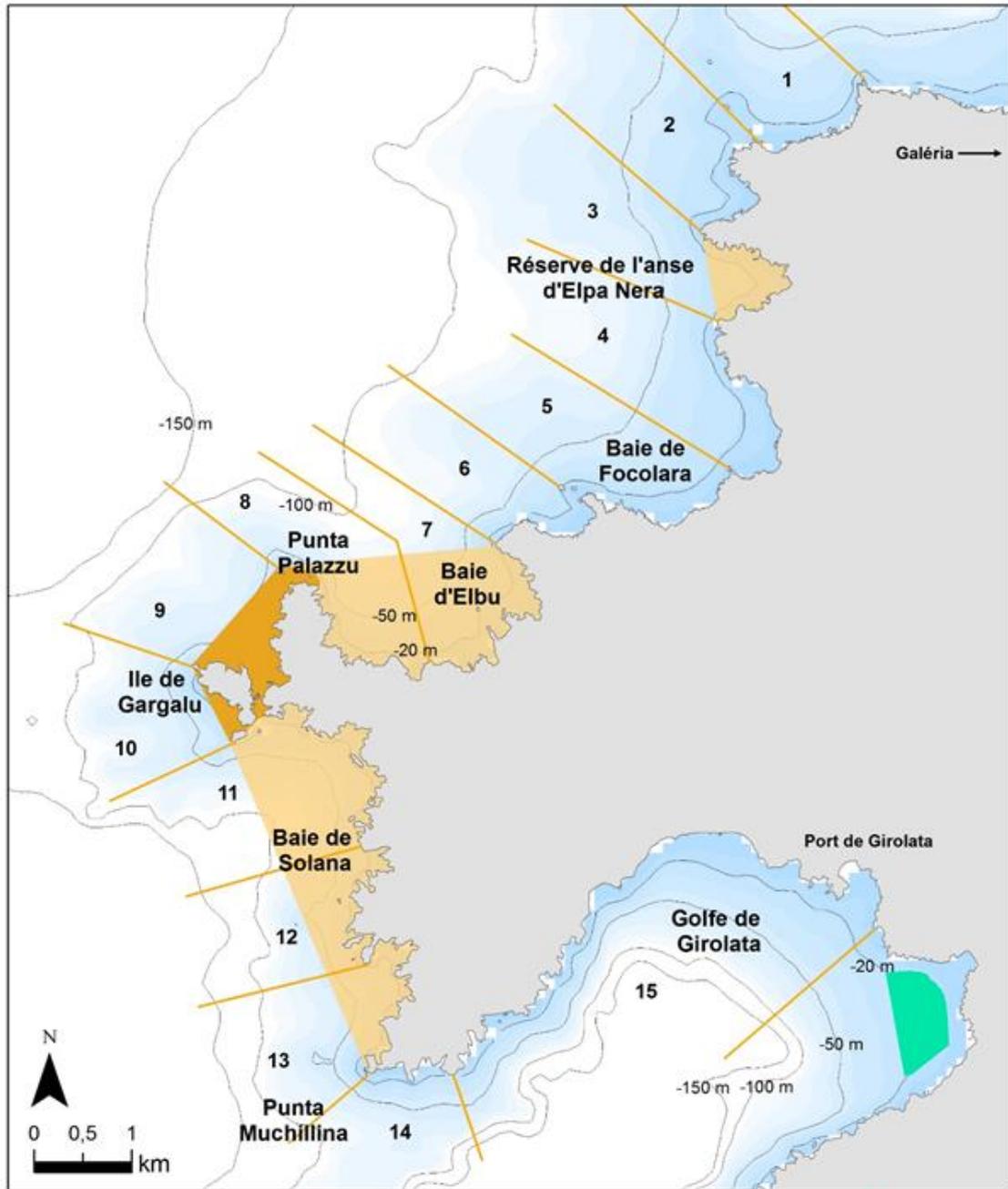
- Plongée sous marine
- Sports nautiques
- Réserve intégrale
- Réserve partielle



Source des données :
 -MEDOBS : données issues de la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr)

Système de coordonnées RGF 93
 Ellipsoïde IAG GRS 80
 Projection conique Lambert 93

Figure 5. Localisation des activités marines observées par l'observatoire MEDOBS durant deux vols de surveillance les 13 et 17 août 2012.



Légende

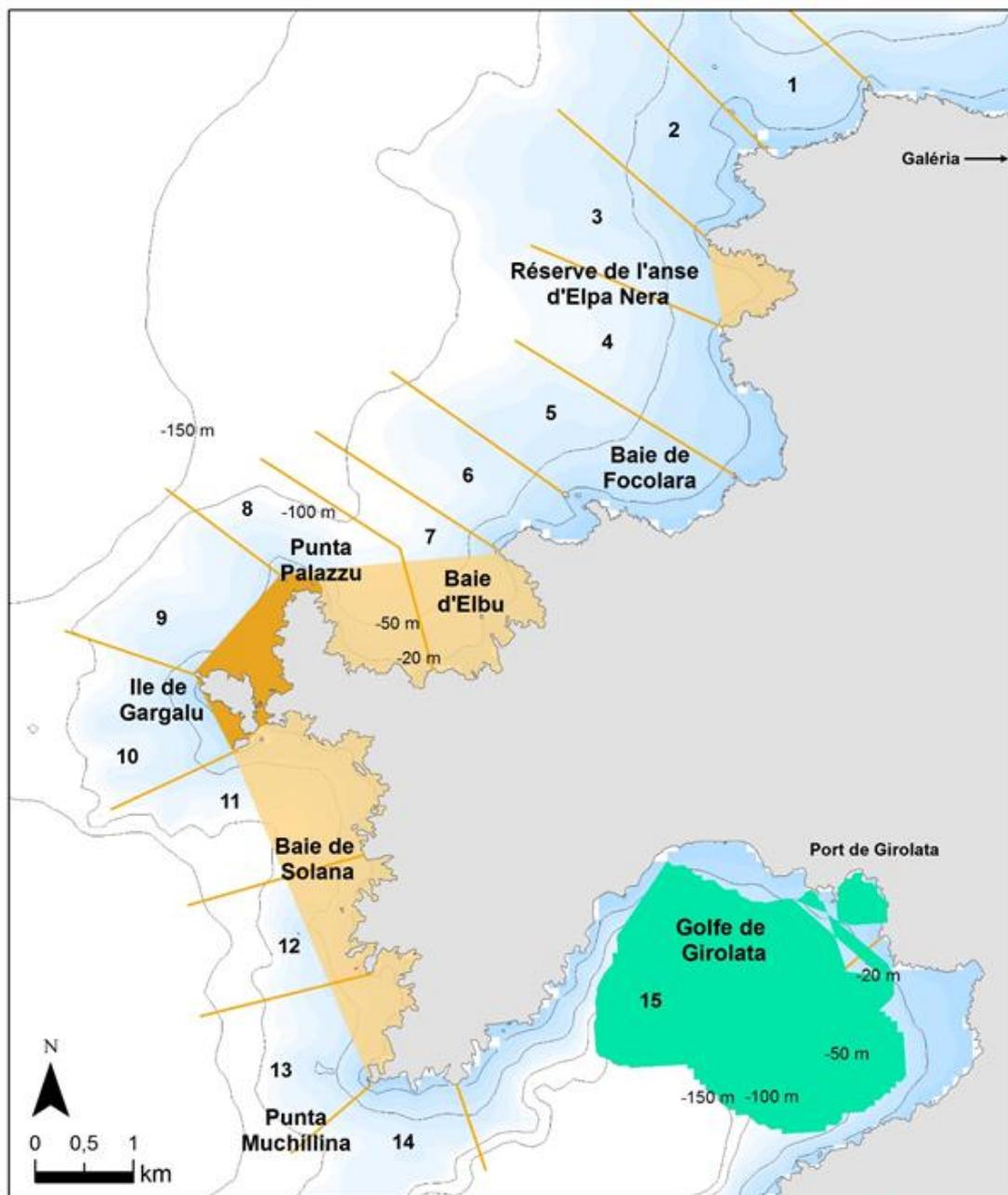
- Zone de mouillage (données MEDOBS 2013)
- Réserve intégrale
- Réserve partielle



Source des données :
 -MEDOBS : données issues de la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr)

Système de coordonnées RGF 93
 Ellipsoïde IAG GRS 80
 Projection conique Lambert 93

Figure 6. Localisation d'une zone de mouillage observée par l'observatoire MEDOBS durant un vol de surveillance réalisé durant l'année 2013.



Légende

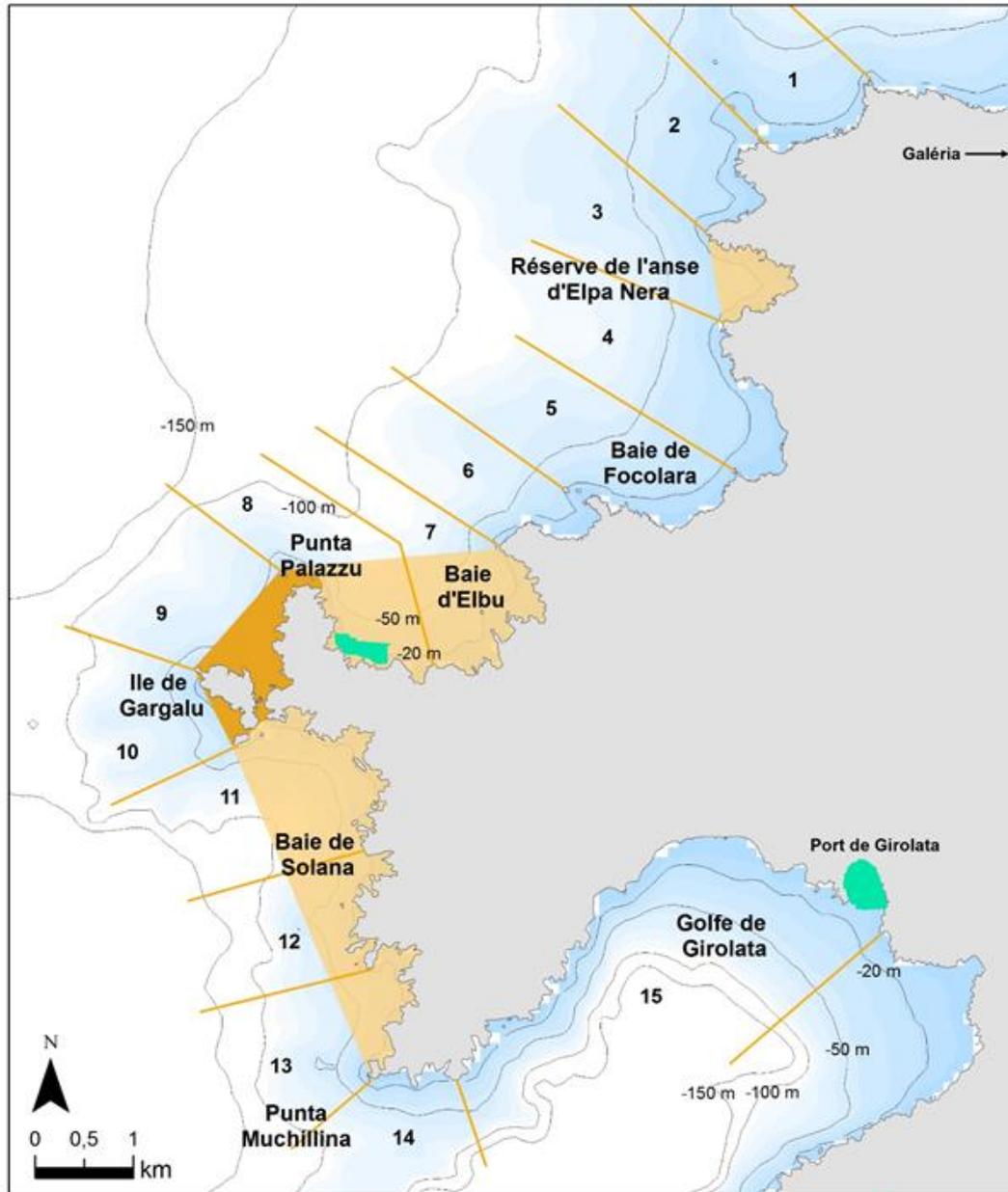
- Zones de mouillage (données MEDOBS 2014)
- Réserve intégrale
- Réserve partielle



Source des données :
 -MEDOBS : données issues de la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr)

Système de coordonnées RGF 93
 Ellipsoïde IAG GRS 80
 Projection conique Lambert 93

Figure 7. Localisation de zones de mouillage observées par l'observatoire MEDOBS durant un vol de surveillance réalisé durant l'année 2014.



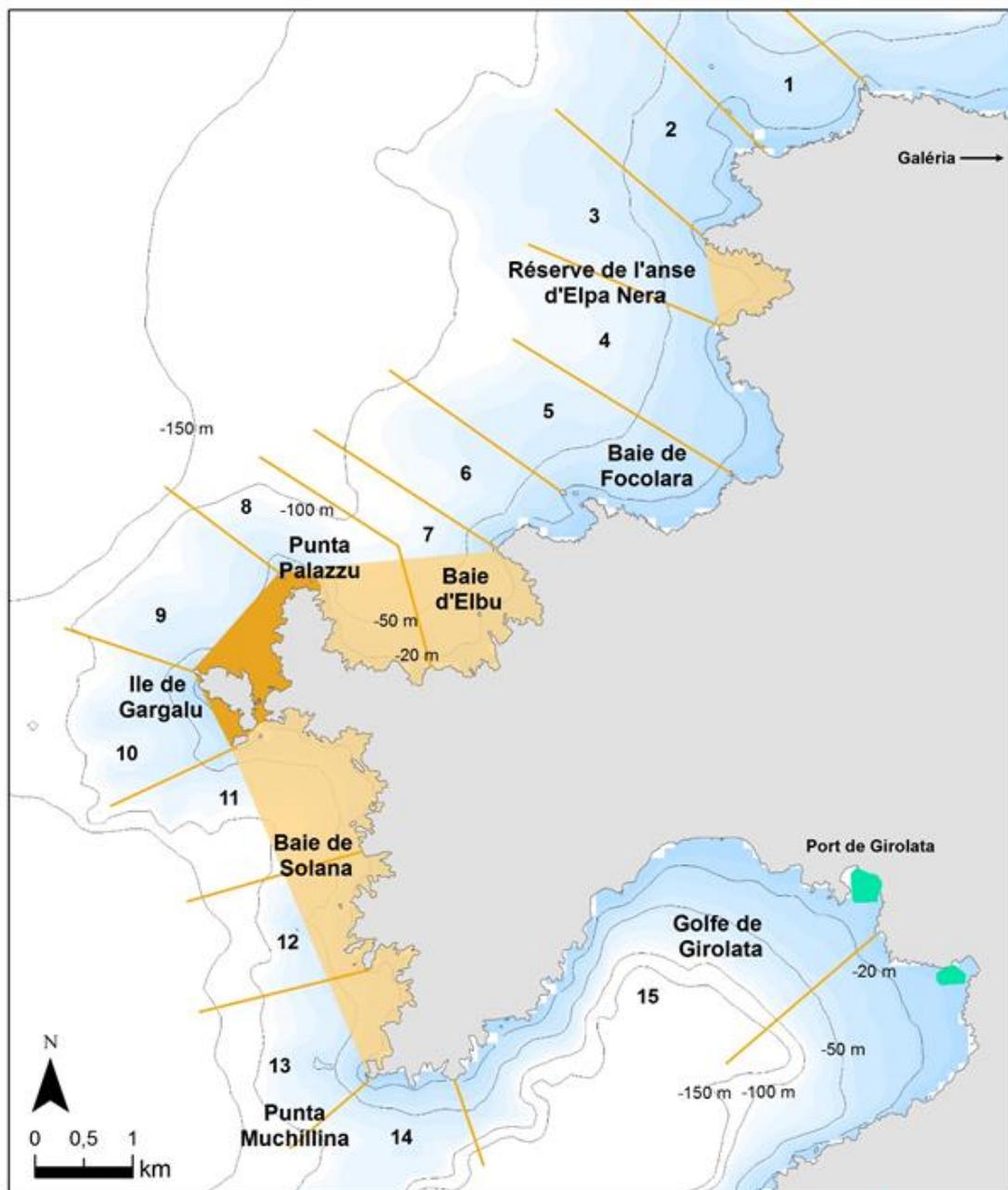
Légende

- Zones de mouillage (données MEDOBS 2015)
- Réserve intégrale
- Réserve partielle



Source des données :
 -MEDOBS : données issues de la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr)
 Système de coordonnées RGF 93
 Ellipsoïde IAG GRS 80
 Projection conique Lambert 93

Figure 8. Localisation de zones de mouillage observées par l'observatoire MEDOBS durant un vol de surveillance réalisé durant l'année 2015.



Légende

- Zones de mouillage (données MEDOBS 2016)
- Réserve intégrale
- Réserve partielle



Source des données :
 -MEDOBS : données issues de la plateforme cartographique medtrix (www.medtrix.fr)

Système de coordonnées RGF 93
 Ellipsoïde IAG GRS 80
 Projection conique Lambert 93

Figure 9. Localisation de zones de mouillage observées par l'observatoire MEDOBS durant un vol de surveillance réalisé durant l'année 2016.

3.2.2. Images satellites

3.2.2.1. Méthodologie

En complément des comptages MEDOBS, des images satellites, d'une précision suffisante pour identifier le type de navire et mesurer sa longueur, sont un bon moyen de quantifier la fréquentation d'une zone à un instant 't'. Ainsi, à partir des images historiques de Google Earth et d'une orthophographie (BD_Ortho) de l'IGN, de nouvelles informations sur la fréquentation ont été collectées.

Dans le secteur de Scandola, le logiciel Google Earth offre la possibilité de visualiser quatre images satellites qui datent du vendredi 7 août 2009, du vendredi 28 octobre 2016, du lundi 12 juin 2017 et du dimanche 31 juin 2017 (Figure 10). L'orthophotographie de l'IGN (BD_Ortho) qui a été exploitée date du vendredi 24 juin 2016.

Tous les bateaux ont été identifiés selon différentes catégories (voilier, moteur ou jet-ski) et répartis dans différentes classes de taille (< 5 m, 5 m à 7 m, 7 m à 10 m, 10 m à 24 m et > 24 m) (Figure 11), par secteur. La longueur des navires a été mesurée à partir de l'outil de mesure manuel disponible dans Google Earth ou dans un SIG (Système d'Information Géographique), ainsi que des informations telles que le mouillage ou le déplacement (au mouillage, en route, en dérive ou posé sur la plage 'beaché').



Figure 10. Illustration du comptage, de l'identification et de la mesure de la longueur des bateaux au niveau de la Marina d'Elbu (secteur 7), à partir d'une image satellite de Google Earth prise le vendredi 7 août 2009.



Figure 11. Illustration de l'identification du type de bateau et de la mesure de sa longueur par secteur à partir d'une image satellite BD Ortho (IGN) prise le vendredi 24 juin 2016 dans le secteur 8, à proximité de la Punta Palazzu.

3.2.2.2. Résultats

L'image satellite la plus ancienne date du vendredi 7 août 2009. Sur cette image, 204 bateaux ont été comptabilisés sur l'ensemble de la zone d'étude (de Galéria au port de Girolata), dont 153 bateaux à moteur et 51 voiliers. Les secteurs les plus fréquentés sont les secteurs 7 (29 bateaux ancrés), 8 qui correspond à la baie d'Elbu et à la zone située à l'est de la Punta Palazzu en réserve partielle (21 bateaux ancrés), 13 et 15. Ces quatre secteurs représentent un total de 141 bateaux, soit près de 70% du nombre total de bateaux. Dans le secteur 8, sur les 21 bateaux ancrés, 15 mesurent entre 10 et 25 m de long et 1 mesure plus de 25 m de long. Le secteur 15 est également très fréquenté par ce type de navire. Les bateaux de petite taille (< 5 m) sont surtout observés dans les secteurs 7, 11 et 15. Enfin, les très grands navires d'une taille supérieure à 25 m ayant jeté l'ancre sont observés dans les secteurs 8, 12, 13 et 15.

A partir de l'orthophotographie du vendredi 24 juin 2016 (source BD ORTHO, IGN), 16 bateaux ont été dénombrés sur l'ensemble des secteurs. Au moins 1 bateau a été observé dans chaque secteur. Les secteurs qui regroupent le plus de bateaux sont les secteurs 8 et 15, avec respectivement 5 et 4 bateaux (dont 3 ancrés). Sur les 16 bateaux, 8 font route, 5 sont ancrés, 2 sont à la dérive et 1 est beaché.

L'image du vendredi 28 octobre 2016 (source Google Earth) met en évidence une forte houle venant du nord. Aussi la fréquentation est observée uniquement dans les secteurs situés au sud et abrités de la houle par la Punta Palazzu et l'île de Gargalu (les secteurs 11, 12, 13, 14 et 15, Figure 9). Au total, 9 bateaux ont été comptabilisés, tous en navigation, hormis un bateau qui était au mouillage dans le secteur 11 et qui mesurait entre 10 et 25 m.

Enfin, le cliché du jeudi 6 juillet 2017 (source Google Earth) est l'aperçu le plus récent de la fréquentation sur la zone d'étude. Sur la totalité des secteurs, 79 bateaux ont été comptabilisés. Les secteurs les plus fréquentés sont les secteurs 7 et 15, avec respectivement 15 bateaux dont 12 ancrés et 19 bateaux dont 10 ancrés et 4 beachés sur la plage. Les bateaux mesurant entre 10 et 25 m sont pour la plupart ancrés dans les secteurs 7, 8 et 15. Ceux d'une taille dépassant les 25 m et ancrés ont été observés dans les secteurs 7 et 11.

Ces images satellites offrent un aperçu intéressant de la fréquentation dans la RNS et aux alentours. On constate d'après les quelques clichés, qu'en dehors de la haute saison, peu de bateaux naviguent ou ancrent dans la zone. Par ailleurs, lors d'événements météorologiques (présence de houle) plutôt défavorables, les bateaux naviguent au niveau des sites non exposés à la houle. Pour une journée du mois d'août, en haute saison estivale, 204 bateaux sont comptabilisés sur l'ensemble de la Réserve, contre 20 en octobre. On remarque que les sites les plus prisés pour le mouillage se situent entre la baie d'Elbu et la Punta Palazzu (secteurs 7 et 8), entre la baie de Solana et la Punta Mucchilina (secteurs 11, 12 et 13) puis dans le golfe de Girolata (secteur 15). De nombreux bateaux ont également été observés en train de naviguer entre la baie d'Elbu et le golfe de Girolata, c'est-à-dire au niveau de la RNS (zones partielle et intégrale). Au sein de la Réserve intégrale, les bateaux ont toujours été observés en train de naviguer (mouillage interdit). Ces clichés ne sont qu'un échantillon de la fréquentation à une date donnée. Le suivi embarqué et le suivi photographique haute fréquence permettront d'approfondir plus en détail les résultats d'évaluation de la fréquentation, en particulier dans la baie d'Elbu, secteur connu pour être une zone de mouillage appréciée des usagers, où un Dispositif Photographique à Déclenchement Automatique a été installé.

3.2.3. Suivi du mouillage par AIS

3.2.3.1. Méthodologie

Le système d'identification automatique (ou Automatic Identification System -AIS- en anglais) est un système d'échanges automatisés de messages entre navires par radio VHF qui permet aux navires et aux systèmes de surveillance de trafic (CROSS en France) de connaître l'identité, le statut, la position et la route des navires se situant dans une zone de navigation. L'AIS permet d'identifier les navires lorsque la reconnaissance visuelle ou le radar n'est plus possible (nuit, temps de brume, faible échos radars). En effet, les données AIS donnent des renseignements à 3 niveaux sur le navire :

- les données dynamiques : la position, la vitesse, le cap, etc. ;
- les données statiques : le nom du bateau, son numéro MMSI, ses caractéristiques ;
- les données du voyage : cargaison, destination, ETA, etc.

Toutes ces informations sont émises en continu aussi bien en haute mer qu'en navigation côtière.

Ce système est obligatoire sur tous les navires de plus de 300 tonnes et sur les navires à passagers (AIS de classe A qui émet avec une puissance de 12.5 W et une portée de transmission de 20 à 25 milles), et beaucoup de navires de pêche et des plaisanciers (AIS de classe B qui émet avec une puissance de 2 W avec une portée de transmission de 7 à 8 milles) décident de s'en équiper. Les navires équipés ne représentent donc qu'une partie des navires en circulation.

L'utilisation de ce type de données est soumise à plusieurs biais. Tout d'abord, elle concerne une certaine catégorie de navires qui fréquentent la zone d'étude. En effet, la plupart des navires de plaisance ne sont pas concernés par la réglementation car ils ont une longueur inférieure à 24 m. Ces données ne sont donc pas forcément complètement exhaustives. A titre d'illustration, au 31 août 2019, le littoral méditerranéen français comptait 418 587 bateaux de plaisance enregistrés (à moteur et à voile) dont 79% d'entre eux avaient une longueur inférieure à 7 m, et 90% d'entre eux une longueur inférieure à 10 m (Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer, 2019). De plus, les données AIS ne donneraient accès qu'à environ 1/20 des ancrages de navires avec un biais d'échantillonnage favorisant les plus grands (Deter *et al.*, 2017). Dans le cadre de cette étude, les données AIS ont été utilisées pour apporter des informations sur la fréquentation de la RNS par la grande plaisance (navire supérieur à 24 m). Par ailleurs, cette catégorie de plaisance est concernée par l'arrêté préfectoral n°13/2019 du 3 juin 2019 fixant le cadre général du mouillage et de l'arrêt des navires.

Les données utilisées pour l'analyse proviennent du suivi d'impact du mouillage de la plateforme MEDTRIX (Deter *et al.*, 2017) qui synthétise des données AIS provenant du site internet MarineTraffic.com des années 2011 à 2018. L'analyse des données est restituée sous forme de cartes présentant des densités de mouillage globale, par année, par catégorie de taille de navires.

3.2.3.2. Résultats

Au cours de la période 2010-2018, 200 points d'ancrage provenant de navires équipés d'un AIS ont été recensés à Scandola (Figure 12 et Figure 13). Deux zones préférentielles peuvent être identifiées, la plus importante dans le golfe de Girolata (secteur 15) avec 141 bateaux comptés, et une deuxième moins importante dans la baie de Galéria (au nord du secteur 1) avec 29 bateaux enregistrés. Quelques bateaux ont été observés dans la baie de Focolara (secteurs 4, 5 hors réserve) ainsi qu'en réserve partielle dans le secteur 8. Parmi tous ces bateaux, 102 soit 51% des embarcations totales, sont ancrés dans l'herbier de posidonie. Dans le golfe de Girolata (secteur 15), ce taux est de 79%.

En termes d'évolution temporelle, très peu de bateaux sont enregistrés en 2010 et 2011 (1 et 3 bateaux AIS enregistrés). Les années suivantes sont assez hétérogènes puisque 34 bateaux AIS au mouillage ont été observés en 2012, 60 en 2013, 6 en 2014, 7 en 2015, 31 en 2016, 41 en 2017, puis 28 en 2018.

Les données AIS permettent également d'obtenir des informations sur les longueurs de bateaux par tranche de 20 m. Aucun bateau de moins de 20 m n'a été enregistré dans le site d'étude. Les classes de taille les plus observées sont respectivement celles de 40 à 60 m (38%) et de 20 à 40 m (37.5%). Ces 2 classes de taille ont aussi tendance à mouiller sur de l'herbier de posidonie, soit 65% d'entre elles. Des observations similaires sont faites dans le golfe de Girolata, avec 80% des embarcations mesurant entre 20 et 60 m, dont 68% d'entre elles sont au mouillage dans l'herbier de posidonie. Dans ce secteur, une part importante de bateaux de 60 à 80 m mouille également sur cet habitat (72%, correspondant à 13 bateaux sur les 18 observés pour cette classe de taille). A noter qu'aucun bateau de plus de 80 m possédant un AIS n'a été enregistré dans l'herbier (0 sur 8 observations).

Les données AIS donnent un aperçu de l'activité de la grande plaisance qui se déroule dans la RNS. Sans être exhaustif, le comptage de ces données montre une variabilité interannuelle forte, et ne montrent pas clairement une augmentation de cette activité dans les secteurs étudiés. Des secteurs à enjeux peuvent néanmoins être définis comme le golfe de Girolata où plus de 70% des bateaux enregistrés grâce à leur AIS et dont la taille est supérieure à 40 m sont mouillés dans l'herbier de posidonie. Il pourrait être intéressant de suivre la progression de ces données dans les années à venir, notamment

après la mise en place d'un arrêté préfectoral interdisant aux embarcations de plus de 24 m, de jeter leur ancre dans les herbiers de posidonie (Préfecture Maritime Méditerranée, arrêté préfectoral n°123/2019, le 3 juin 2019). Cette mesure de gestion pourrait entraîner un déplacement des zones d'ancrage, soit vers le large après la limite inférieure de l'herbier, soit dans des zones non répertoriées à ce jour comme zones de mouillage de la grande plaisance.

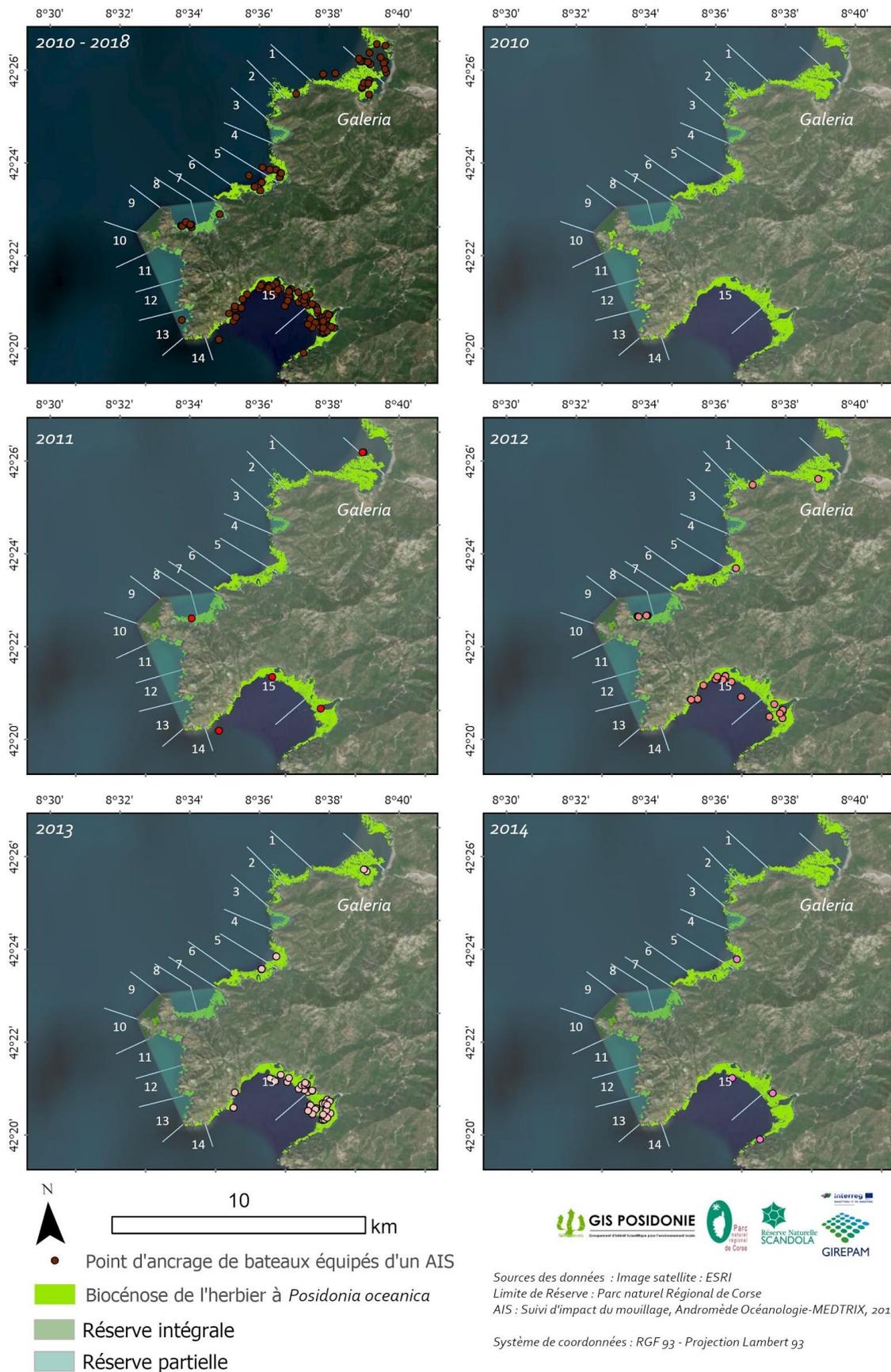


Figure 12. Localisation des bateaux équipés d'AIS par année entre 2010 et 2014.

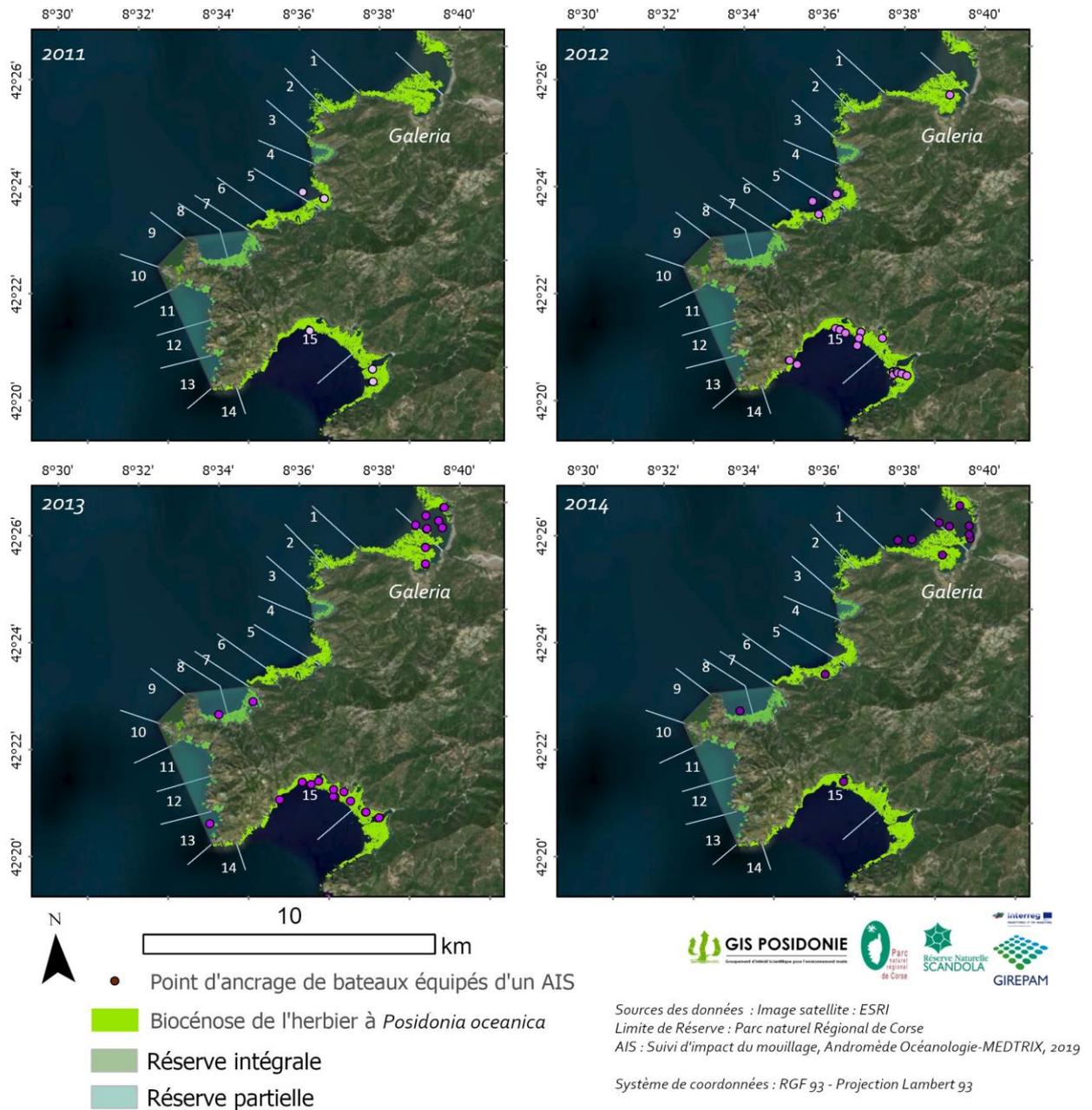


Figure 13. Localisation des bateaux équipés d'AIS par année entre 2015 et 2018.

3.2.4. Suivi par comptage embarqué

3.2.4.1. Méthodologie

Afin de caractériser la fréquentation annuelle à l'échelle de la RNS et de ses alentours, un protocole basé sur des comptages réalisés par des observateurs embarqués à bord d'un bateau a été mis en place. Cette méthodologie basée sur celle développée pendant le programme PAMPA (programme scientifique de mise en œuvre d'indicateurs de la Performance des Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages ; Le Diréach *et al.*, 2011 ; Pelletier *et al.*, 2011) a été appliquée à la zone d'étude. Ce suivi a été réalisé par les agents de la RNS. Les données recueillies respectent le format intégrable de la plateforme PAMPA pour l'analyse finale des données.

A chaque sortie, un pilote et un compteur ont parcouru l'ensemble du site selon un parcours défini et identique à chaque sortie. Le zonage en 15 secteurs du référentiel spatial a été utilisé (*cf.* 3.1) (Figure 14).

Au cours de la sortie, le comptage doit être effectué dans son intégralité. S'il doit être interrompu pour assurer les autres missions des agents de la Réserve, alors il est considéré comme nul et doit être recommencé depuis le début. Le compteur saisit sur une fiche les caractéristiques de la journée (météo), et les informations relatives à la fréquentation sont renseignées. Tous les types d'activités (professionnelles et de loisir) ont été pris en compte et consignés selon :

- le type d'embarcations : SR (semi-rigide), M (vedette à moteur), V (voilier), JS (jet-ski), KY (kayak/canoë/barque), PK (planche à voile/kite surf), Pe (Pédalo), Pa (stand-up paddle), NA (pas de bateau sur ce site/fréquentation nulle) ;
- la taille des embarcations : < 5 m (moins de 5 m), 5-7 m (de 5 à 7 m), 7-10 m (de 7 à 10 m), 10-25 m (de 10 à 25 m) et > 25 m (supérieure à 25 m).

Les journées de sorties ont été sélectionnées de manière aléatoire, indépendamment des conditions météorologiques. Un minimum de 4 comptages par mois, dont 2 en semaine et 2 en week-end (ou jours fériés) ont été planifiés. En haute saison, de mai à septembre, au moins 6 comptages par mois étaient prévus. La priorité des agents de la Réserve en termes de prévention et de contrôle durant la période estivale n'a pas permis le bon déroulement de ce protocole d'étude. Malgré le soutien de deux stagiaires universitaires (4 semaines en temps cumulé en juin et juillet 2019), seulement 35 sorties pour les comptages embarqués ont pu être réalisées entre mars 2018 et septembre 2019. De ce fait, une extrapolation des données pour une estimation de la fréquentation annuelle

dans la RNS n'est pas réalisable. L'ensemble des chiffres de fréquentation sont à prendre avec précaution dans cette évaluation par comptage embarqué car un biais évident d'observation est présent dans les estimations. En effet, les comptages ayant été réalisés lorsque les agents de la Réserve étaient moins sollicités par la surveillance au sein de la RNS, ces suivis embarqués ont été réalisés, dans la plupart des cas, lorsque la fréquentation n'était pas à son point maximal. L'absence de données tous les mois de l'année rend également impossible la construction d'une courbe de fréquentation complète et l'évaluation du nombre de visiteurs dans la Réserve à l'année avec un intervalle de confiance.

Ces données donneront néanmoins un aperçu de l'intensité de la fréquentation observée dans la RNS pendant les périodes échantillonnées, ainsi que des données intéressantes pour la caractérisation de la typologie des usagers maritimes de la Réserve.

Nom DOMINICI/TAVERNA Prénom Seu N° de suivi 3000
 Numéro de sortie 33 Date 30-05-2018 Type de jour 5 Heure de début 9h43 Heure de fin 12h15
 Météo eclairci Nuage 30% Direction du vent NE Force du vent 2 Mer helle Sens du comptage
 Pour les valeurs « chasse sous-marine_CH » et « pêche_PE », marquer avant le code le nombre de personnes pratiquant l'activité (ex.: 2CH).

Secteur	Type bateau	Taille bateau	Nb pers	Mouillage	Nature du fond si ancré	Latitude	Longitude	Act1	Act2	Commentaires	Numéro enquête
1	V	7-10m	5	AC	Sable	42.370817	8.571880	BA	PS		
2	V	10-25m	6	RO				PS		Deux Yacht clubber	
2	NA										
3	NA										
4	V	10-25m	14	RC	H			BA	R4	caboteur clubber	
4	V	<5m	2	RO				KY			
6	NA										
6	M	5-10m	13	RO				CL			
6	M	7-10m	4	DE				PAO			
7	M	5-7m	2	AC	R			PS	BD		
7	M	7-10m	13	AO				CR			
8	M	7-10m	15	AO				CR	PL	Encantr	
8	RY	2-5m	3	AO				KY			
8	Z	7-10m	24	RO				CR			
8	Z	7-10m	13	RO				CR			
9	V	10-25m	4	RO				PS			
9	V	10-25m	2	RO				AP			
9	Z	<5m	1	RO				PS			
10	Z	7-10m	13	RO				ZR			
10	Z	7-10m	12	RO				CA			
10	M	7-10m	15	RO				PL	CR		
11	Z	7-10m	11	RO				CA			
11	M	10-25m	23	KU				CA			
11	Z	7-10m	6	KU				PS			
11	M	10-25m	50	AO				CA			
11	V	10-25m	5	RO				PS			
12	M	7-10m	10	RO				CA			
12	NA										

Exemple de fiche de saisie pour le suivi embarqué de la fréquentation (comptage du 30/05/2018).

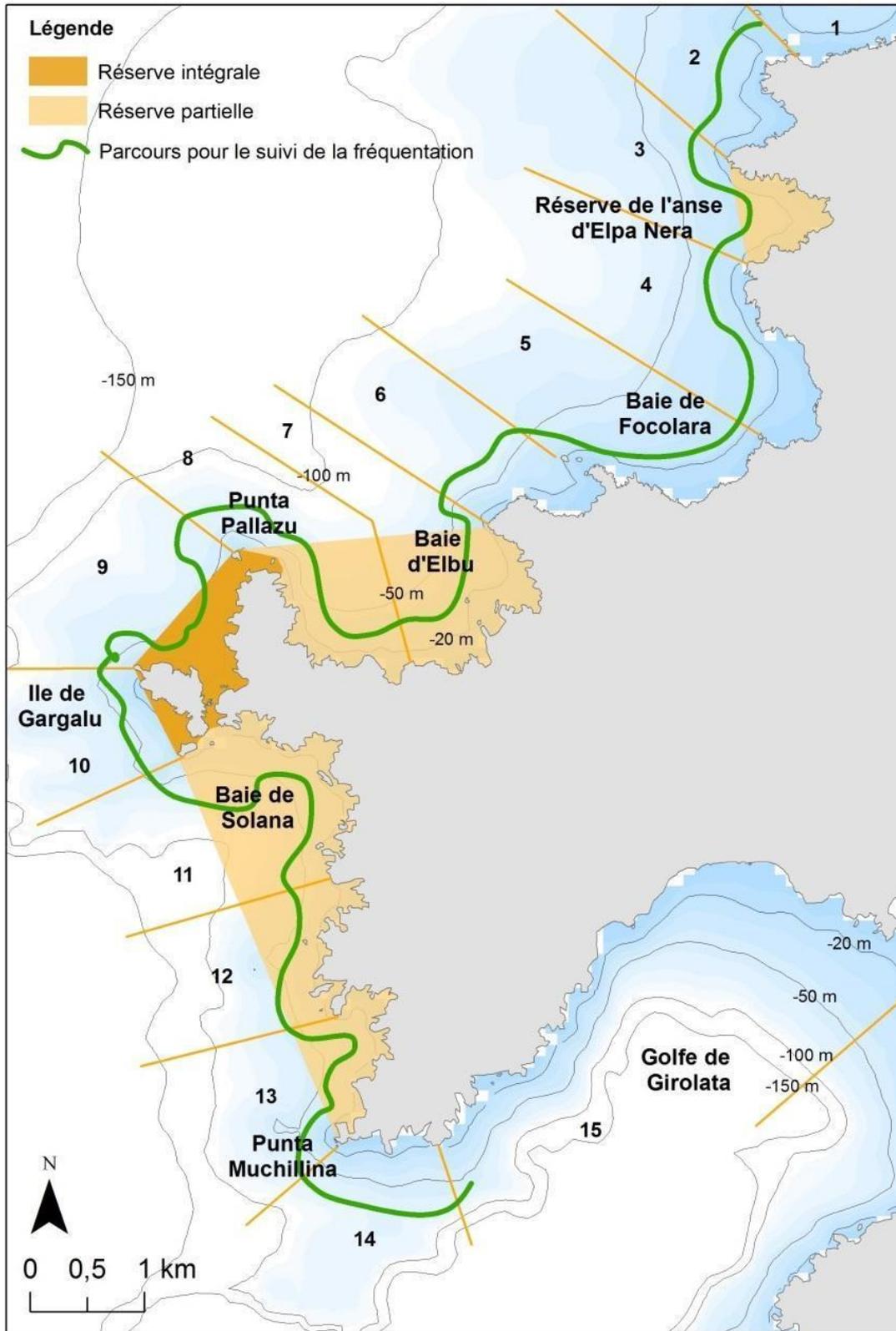


Figure 14. Zonage en 15 secteurs et parcours pour le suivi embarqué de la fréquentation.

3.2.4.2. Résultats

Un total de 35 sorties a été réalisé entre mars 2018 et septembre 2019 (Figure 15). Quatorze comptages ont été réalisés entre mars 2018 et août 2018 avec 114 embarcations recensées ; 21 comptages ont été effectués entre mars 2019 et août 2019 avec 576 embarcations recensées, soit un total de 852 embarcations (24 embarcations en moyenne par sortie réalisées). Contrairement à ce qui était prévu, seulement 3 sorties en week-end et 3 sorties durant les vacances ont été réalisées. Seulement 3 comptages ont été réalisés en haute saison en 2018, contre 18 en 2019.

L'échantillonnage n'a pas pu être réalisé à la même heure à chaque sortie. De ce fait, 71% des comptages ont été réalisés entre 10 :00 et 16 :00, période de la journée où la fréquentation est potentiellement maximale.

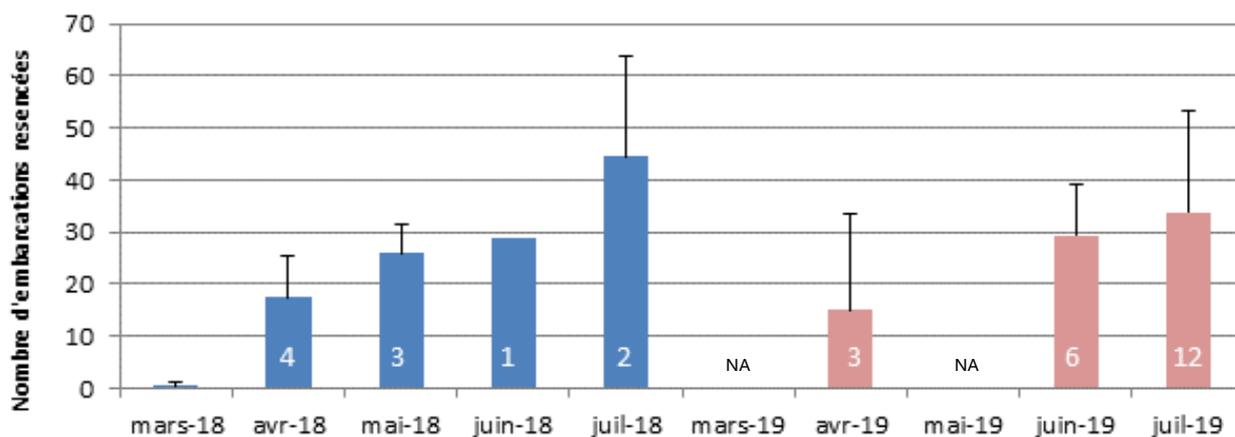


Figure 15. Fréquentation mensuelle moyenne et écart type pour l'ensemble des secteurs cumulés. Les nombres en blanc dans les histogrammes correspondent au nombre de sorties effectuées par mois.

En 2018 et sur l'ensemble de la zone (cumul des 15 secteurs), le nombre moyen mensuel de bateaux observés croît entre mars et juillet, passant de 1 ± 1 embarcation à 45 ± 19 embarcations. Ces résultats sont similaires à ceux de l'année 2019, avec une moyenne de 15 ± 18 embarcations pour avril 2019, qui croît régulièrement jusqu'à une valeur moyenne de 34 ± 20 embarcations pour juillet 2019 (Figure 15). L'augmentation de la fréquentation en période estivale est observée mais ces chiffres doivent être pris avec prudence. En effet, à titre indicatif, seulement 3 sorties sur 12 ont été réalisées entre 11:00 et 15:00 (heures de grande affluence), ces chiffres sous estiment très probablement le maximum de la fréquentation de la Réserve naturelle de Scandola.

Les paramètres météorologiques ont été relevés pendant les comptages (force et direction du vent, couverture nuageuse et état de la mer). La moyenne des embarcations

est plus élevée lorsque la force du vent est faible, l'état de la mer belle et que le ciel n'est pas nuageux (Figure 16).

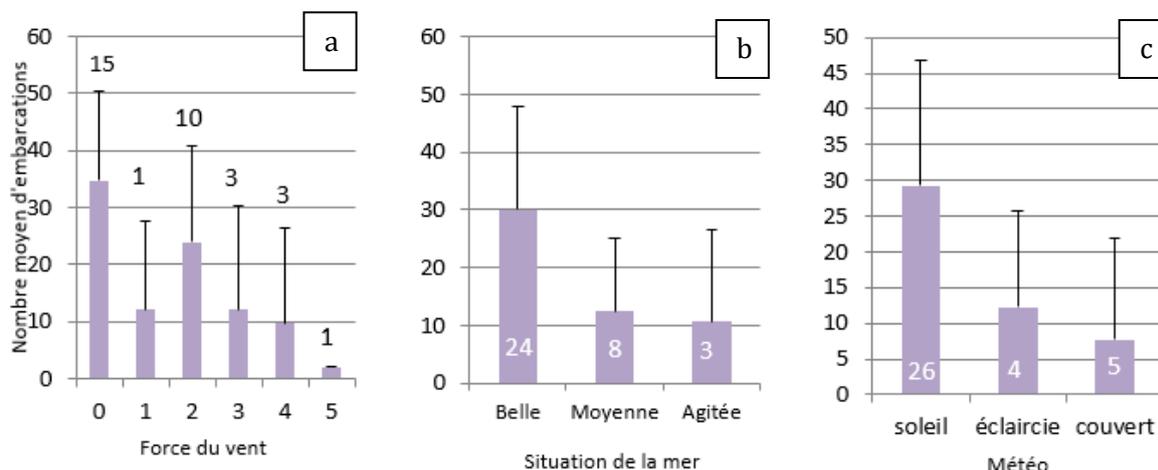


Figure 16. Nombre moyen d'embarcations recensées sur deux ans en fonction de la force du vent (a), de la situation de la mer (b) et de la météo (c).

Parmi les 852 embarcations recensées au total, les vedettes à moteurs et les semi-rigides représentent tous deux 40% des embarcations totales. Les voiliers représentent quant à eux 20% des embarcations. Les stand-up paddles, les jet-skis ainsi que les kayaks ne représentent que 2% ; les résultats concernant ces 3 derniers types d'embarcation ne seront pas développés plus en détail par la suite (Figure 17, Tableau I).

Tableau I. Total, moyenne \pm écart-type, et maximum des embarcations recensées pour les années 2018 et 2019.

	Moteurs		Semi- rigides		Voiliers		Total	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019	2018	2019
Total	81	253	80	248	35	20 13 19 6	210	642
Moyenne \pm écart-type	6 \pm 6	12 \pm 7	6 \pm 8	11 \pm 9	3 \pm 4	6 \pm 5	16 \pm 17	29 \pm 17
Max	20	24	27	40	11	17	58	60

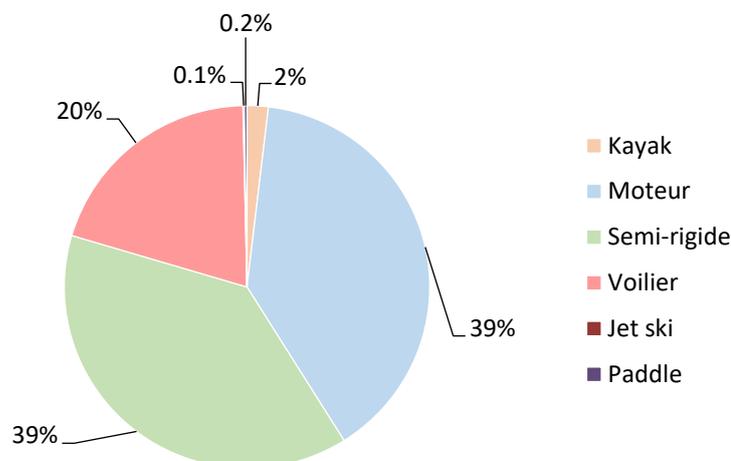


Figure 17. Proportion des types d'embarcations présents sur le site.

Le nombre d'embarcations comptées (en déplacement ou au mouillage) et la répartition des types d'embarcations sont très variables selon les secteurs de la Réserve (Figure 18). La moitié (48%) a été recensée uniquement dans les secteurs 7 et 8 en réserve partielle, 9 en réserve intégrale et 15 en dehors de la Réserve dans le golfe de Girolata. Le plus grand nombre de voiliers a été recensé dans le secteur 15, celui des vedettes à moteur dans les secteurs 8 et 15 et enfin celui des semi-rigides dans le secteur 9. Ces informations spatiales sont cohérentes avec l'ensemble des données déjà analysées telle que les données MEDOBS, imagerie aérienne et AIS.

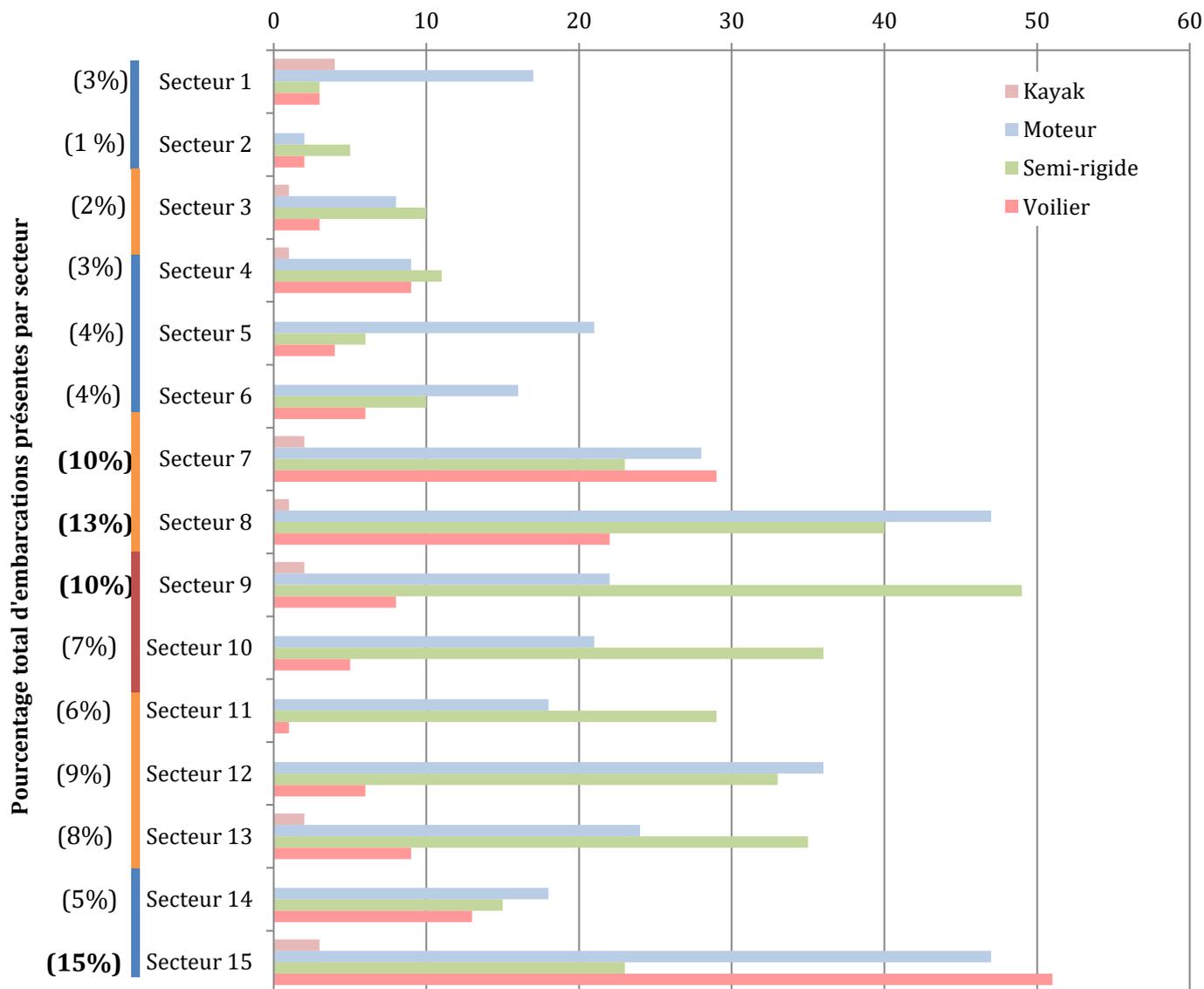


Figure 18. Nombre total d'embarcations par type et par secteur (% du nombre total) ; couleur en ordonnée : secteur bleu : hors réserve ; secteur orange : réserve partielle ; secteur rouge : réserve totale.

En termes de taille, les embarcations de 7 m à 10 m et de 10 m à 25 m représentent respectivement 40% et 41% du nombre total d'embarcations. (Figure 19). La dernière classe la plus représentée est celle des embarcations comprises entre 5 m et 7 m (15%).

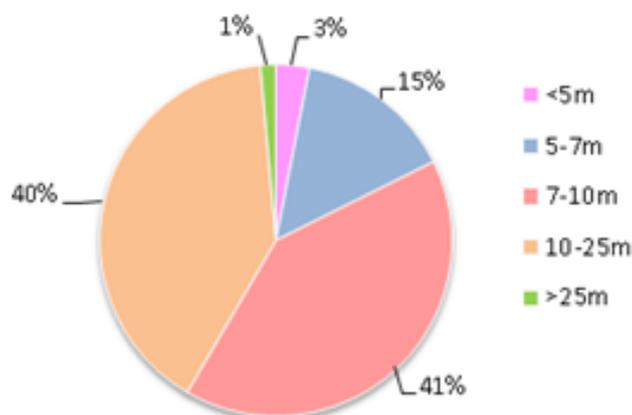


Figure 19. Pourcentage des tailles d'embarcations sur le site.

De manière générale, les semi-rigides correspondent à des bateaux de moins de 10 m et les voiliers, plus grands et habitables, sont majoritairement observés avec des tailles comprises entre 10 m et 25 m (Figure 20). Les vedettes à moteur ont des tailles plus variées, 50% ont une taille comprise entre 10 m et 25 m, l'autre moitié une taille inférieure à 10 m (25% de 5 m à 7 m et 25% de 7 m à 10 m). Très peu de bateaux de plus de 25 m (grande plaisance) ont été observés dans la zone d'étude pendant les comptages embarqués.

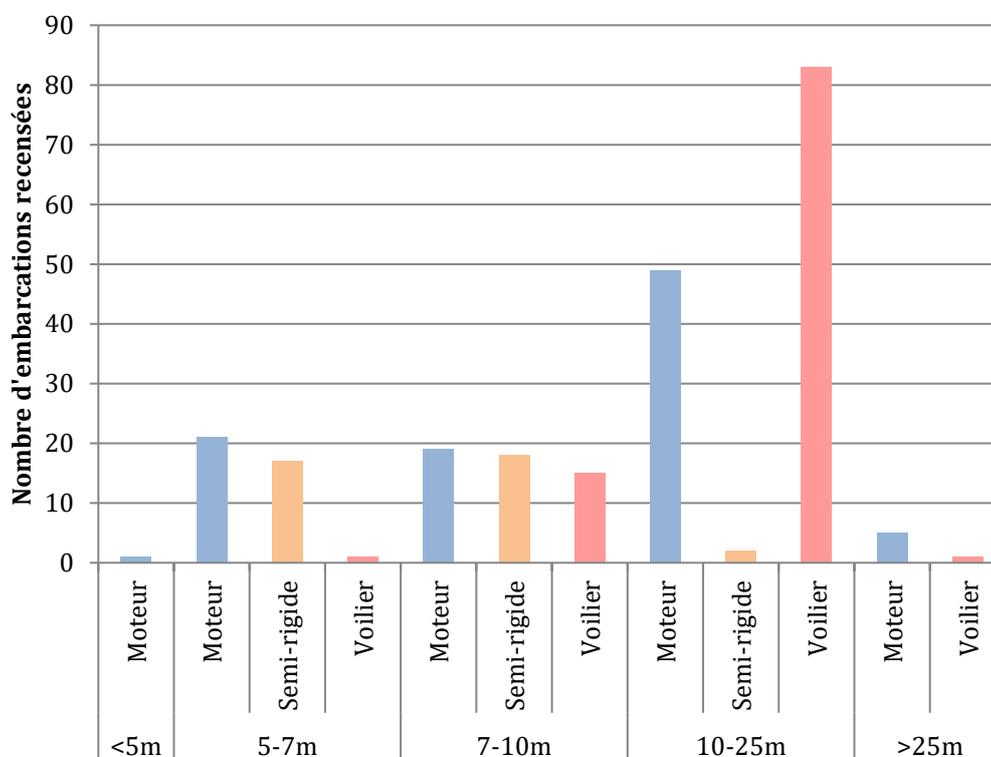


Figure 20. Nombre d'embarcations selon leur type et leur taille.

Afin d'avoir un aperçu de la pression des embarcations sur les habitats marins, la situation de chaque embarcation a été qualifiée sur l'ensemble du site (mouillage, déplacement, beaché ou en dérive ; Figure 21). Les embarcations en déplacement sont celles qui sont les plus observées pendant les comptages (70% des embarcations totales), alors que les embarcations ancrées représentent 28% des embarcations totales.

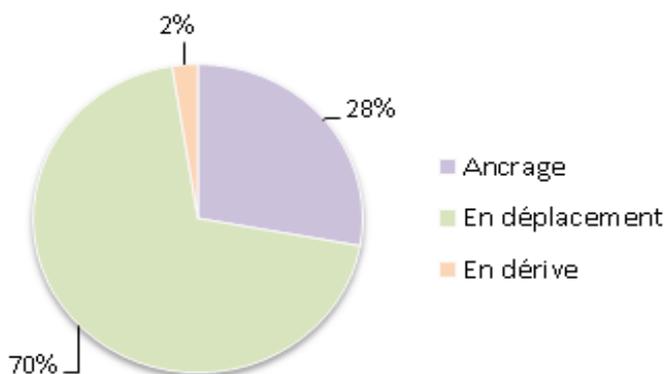


Figure 21. Proportion des embarcations observées selon leur situation.

La zone allant de l'île Palazzu à la pointe Scandola (secteurs 9 à 14) présente le moins d'embarcations ancrées quel que soit le type considéré (Figure 22). En effet le nord de cette zone (secteurs 9 et 10) fait partie de la réserve intégrale où le mouillage est totalement prohibé, quant aux autres parties (secteurs 11, 12, 13 et 14), il s'agit de secteurs peu adaptés pour le mouillage du fait de l'exposition au vent d'ouest, d'une topographie des fonds marquée par une pente forte avec des profondeurs importantes proche de la côte. Les zones allant de la pointe Validori à la pointe Palazzu en limite de la réserve intégrale (secteurs 4 à 8) et le golfe de Girolata (secteur 15), sont celles qui présentent la plus grande proportion d'embarcations ancrées (entre 38% à 68%). A noter que très peu de semi-rigides sont observés au mouillage, alors qu'ils sont le type de bateaux le plus observé en déplacement.

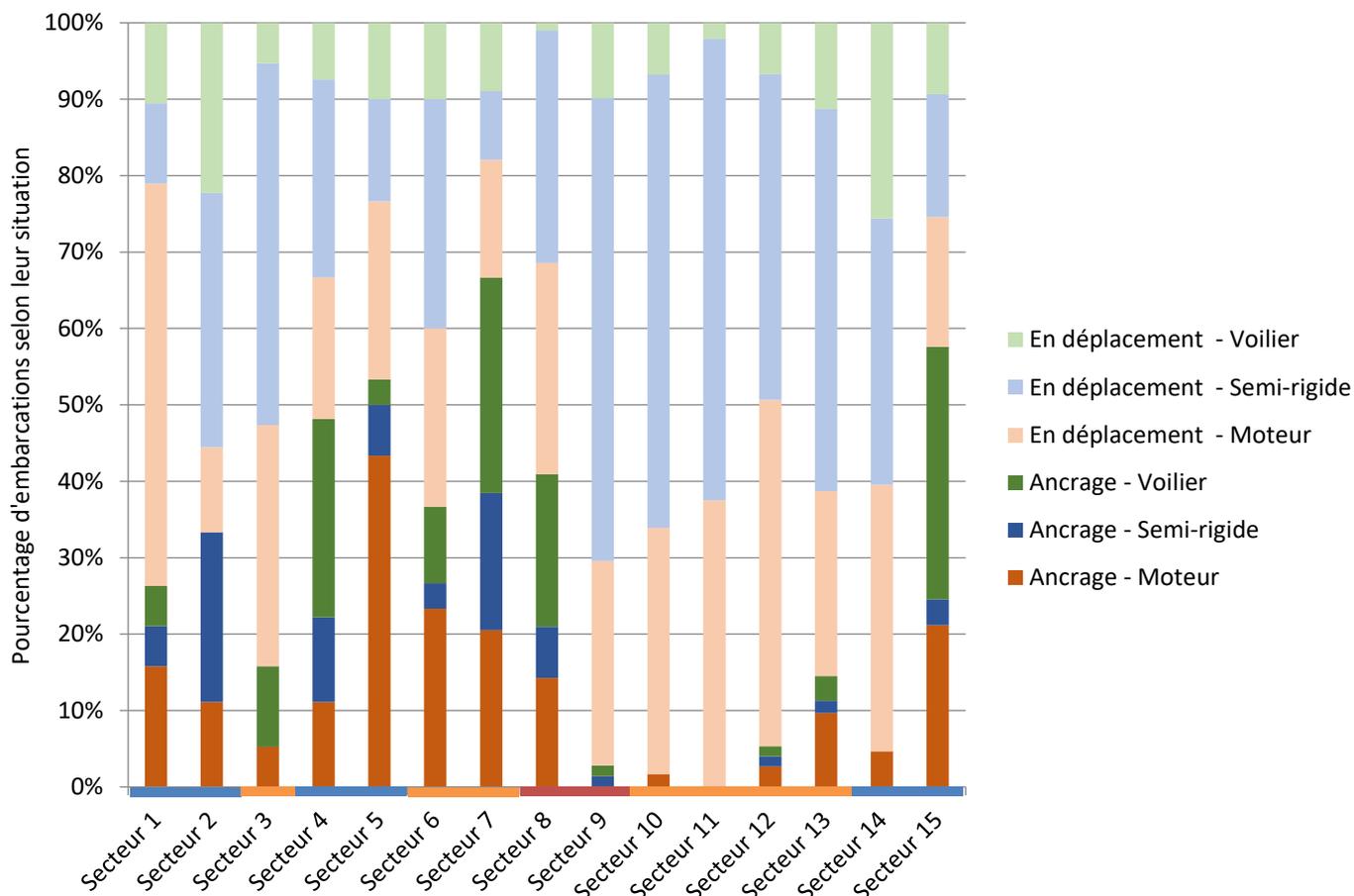


Figure 22. Proportions d'embarcations par secteur en déplacement et ancrées; couleur en abscisse : secteur bleu : hors réserve; secteur orange : réserve partielle; secteur rouge : réserve intégrale.

Les voiliers et les vedettes à moteur recensés, plutôt de moyenne et grande taille (> 10 m), sont majoritairement ancrés. Cinquante-huit pourcents des embarcations ancrées mesurent entre 10 et 25 m, et sont situées majoritairement dans la réserve partielle de la baie d'Elbu (secteurs 7 et 8) et en dehors de la Réserve dans le golfe de Girolata (secteur 15) (Figure 23 et Figure 24).

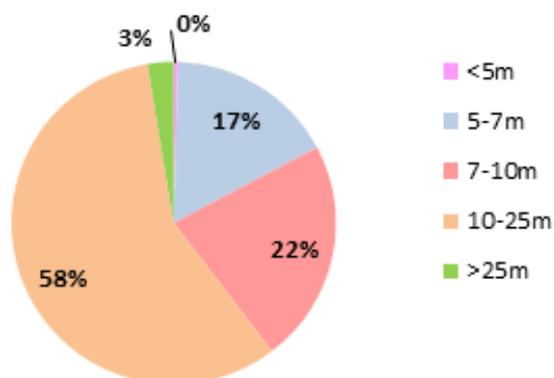


Figure 23. Pourcentage des différentes classes de taille des embarcations ancrées sur l'ensemble du site.

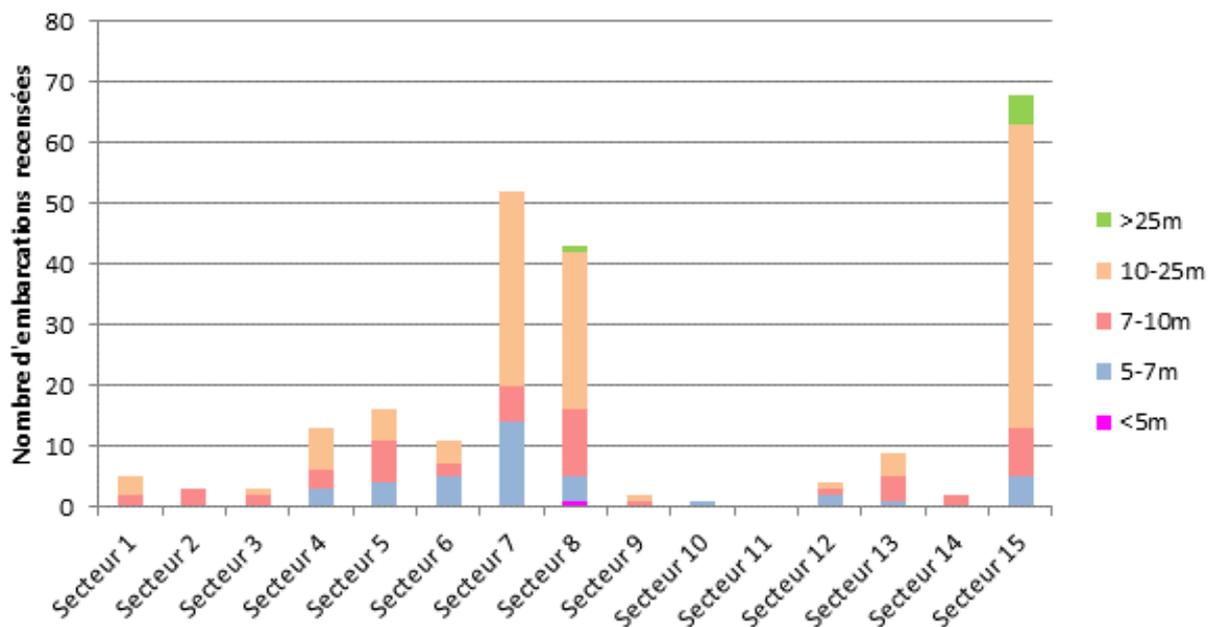


Figure 24. Classes de taille des embarcations ancrées par secteur.

3.2.4.3. Conclusion

Malgré le peu de comptages effectués au cours du suivi, une augmentation relative de la fréquentation en période estivale est observée en 2018 et en 2019. La zone est caractérisée par des embarcations en déplacement (70% des embarcations comptées) notamment en réserve intégrale (secteur 9) où un grand nombre de bateaux a été observé, traduisant en majorité, une volonté des usagers à découvrir l'ensemble du site. Quelques zones sont tout de même utilisées pour le mouillage (i) le Golfe de Girolata en dehors de la Réserve, où des voiliers et vedettes à moteur de moyenne et grande tailles (entre 10 m et 25 m) sont observés et (ii) la Baie d'Elbu en réserve partielle (secteurs 7 et 8) où la part des embarcations inférieures à 10 m est plus importante.

Le suivi, tel que prévu initialement, aurait pu apporter une information plus fiable sur la variation spatiale et temporelle de la fréquentation nautique dans la Réserve. Selon les agents de la Réserve, ce protocole s'avère incompatible avec leur activité de surveillance prépondérante, en particulier en période estivale. A l'avenir, la mise en place d'un tel suivi devra prendre en compte cette contrainte.

3.2.5. Suivi photographique à haute fréquence

Pour qualifier et quantifier la fréquentation maritime avec davantage de précision, une méthodologie basée sur un suivi photographique à haute fréquence a été déployée dans la baie d'Elbu et dans la réserve intégrale entre Palazzu et Gargalu.

3.2.5.1. Méthodologie

Système photographique

Afin d'effectuer un suivi spatial et temporel précis de la fréquentation, deux Dispositifs Photographiques à Déclenchement Automatique (DPDA) ont été déployés. Cette méthode d'estimation de la fréquentation permet de suivre l'évolution de l'occupation des bateaux sur un site (évolution de la densité de bateaux au mouillage au cours de l'année, au cours d'une journée, temps de résidence, etc.) (Bonhomme *et al.*, 2013). Les DPDA sont placés en hauteur, sur des points de vue adaptés. Les photographies sont déclenchées automatiquement selon un intervalle de temps défini sur 10 min, de 6:00 à 21:00 (Figure 5).

Un DPDA est constitué d'un appareil photographique de type réflex (Canon EOS 200D) pouvant être équipé d'un objectif de type 'fish eye' de 8 mm c'est-à-dire avec un très grand angle permettant de couvrir une très grande étendue (proche de 180°), ou d'un objectif standard de 18 mm. Le système électronique comporte (Figure 25) :

- une horloge, munie de plages horaires programmables, permettant de mettre en marche l'appareil photo ;
- un intervallo-mètre préprogrammé (modifiable) comportant plusieurs plages d'intervalles possibles (*e.g.* 5 à 30 minutes) ;
- une poignée d'alimentation spéciale Canon (grip) permettant d'alimenter l'appareil photo sur une batterie externe ;

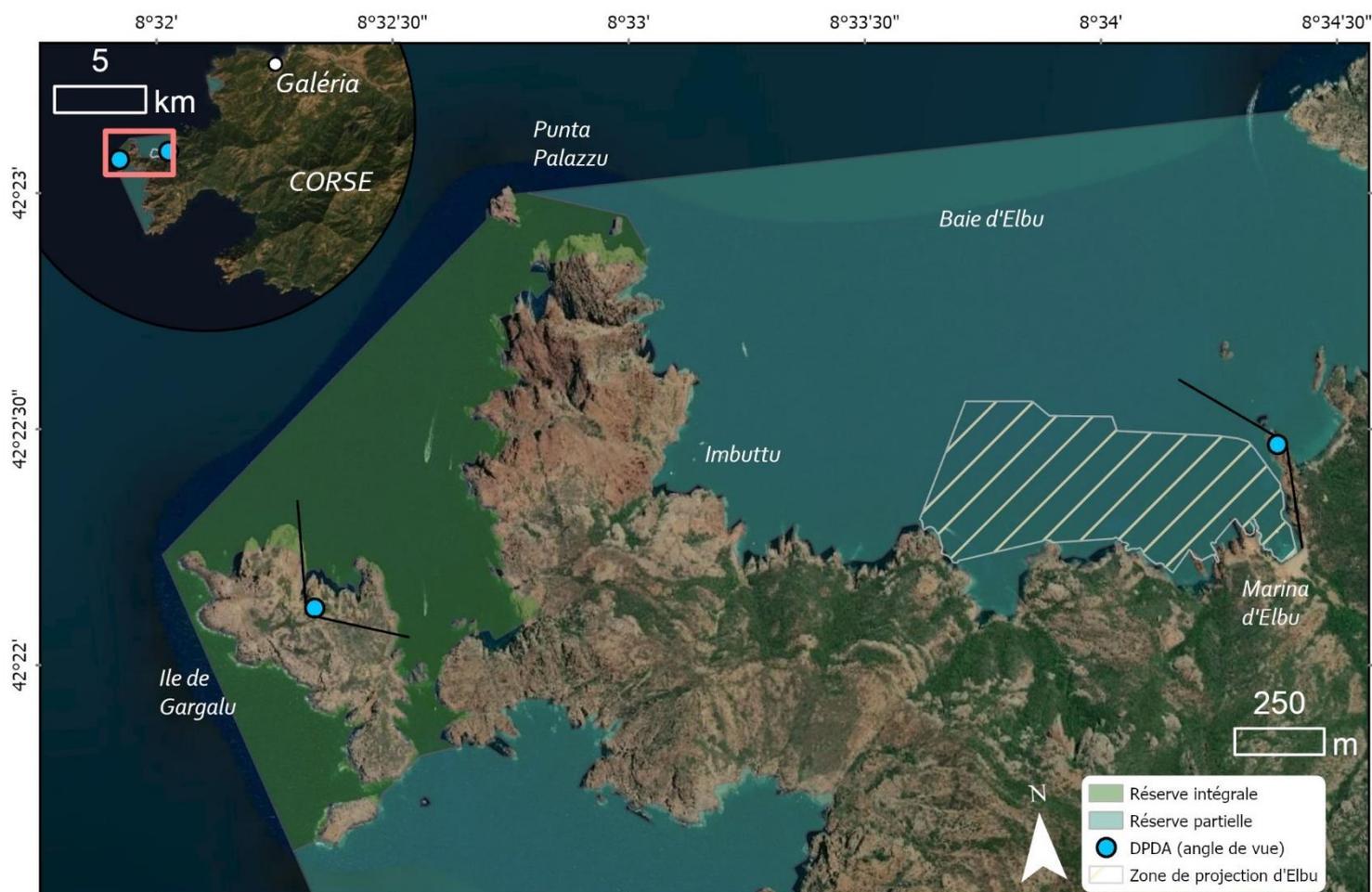


Figure 25. De gauche à droite : appareil photo et système de déclenchement électronique, caisson en contre-plaqué marine, appareil photo et son système de déclenchement électronique dans le caisson.

Les DPDA ont été disposés sur deux sites (Figure 26 et Figure 27) :

- la pointe rocheuse bordant la marina d'Elbu à l'est. Cette pointe rocheuse à Elbu offre un point de vue intéressant pour suivre notamment les zones de mouillage les plus importantes au sein de la RNS, à savoir la marina d'Elbu et les calanques alentours. A l'origine, la zone d'étude était étendue jusqu'à la calanque de l'Imbuttu, mais le plan très lointain des images photo ne donnait pas assez de précision pour exploiter les données sur un champs aussi profond. Ce site est nommé 'Elbu' dans la suite du document ;
- l'île de Gargalu, située au sein de la réserve intégrale. Il permet l'observation de l'activité nautique au niveau de la passe de Palazzu. Cette zone, caractérisée par un trafic important (zone qui concentre le passage de la très grande majorité des embarcations transitant du nord au sud et vice et versa), est une zone 'sanctuaire' pour la faune et la flore marine. Dans un contexte de potentiel dérangement de la faune par les activités anthropiques dans ce secteur, il est apparu intéressant d'évaluer l'intensité de la navigation, et d'étudier la façon dont les usagers se comportent et utilisent cet espace. Ce site est nommé 'Gargalu' dans la suite du document.

Les agents de la Réserve étaient responsables de la récupération des données photographiques acquises tous les 10 jours environ et du remplacement des batteries. L'installation des DPDA a eu lieu les 27 et 28 février 2018 respectivement à Gargalu et Elbu. L'acquisition des données porte sur la période allant du 26 mars 2018 au 17 août 2019. Entre novembre 2018 et avril 2019, il n'y a pas eu d'acquisitions de données car les accès aux dispositifs (uniquement par la mer) étaient difficiles compte tenu d'une météo compliquée dans ce secteur.



Sources des données : Image satellite : ESRI ; Limite de Réserve : Parc naturel Régional de Corse

Système de coordonnées : RGF 93 - Projection Lambert 93



Figure 26. Localisation des 2 systèmes de DPDA sur l'île de Gargalu et dans la marina d'Elbu.



Figure 27. DPDA d'Elbu (A.1), photographie prise par le DPDA d'Elbu (A.2), DPDA de Gargalu (B.1), photographie prise par le DPDA de Gargalu (B.2).

Les deux dispositifs ont également subi quelques problèmes techniques (panne d'intervallomètre, de batteries, problèmes de mise au point, de propreté du hublot (embruns)), ajoutant quelques périodes de non-acquisition au cours de la période d'échantillonnage. En effet, les dispositifs ont pu être soumis à de fortes variations de température, notamment en plein été, avec de fortes chaleurs, proche des limites d'utilisation du matériel (Tableau II).

Tableau II. Période d'activité des DPDA de Elbu et Gargalu.

Site	Elbu	Gargalu
Périodes d'acquisition en 2018	du 25/03 au 02/04 du 04/04 au 01/05 du 17/05 au 27/07 du 31/07 au 17/08 du 24/08 au 04/09 du 06/09 au 18/10 du 24/10 au 30/10 du 14/11 au 05/12	du 08/03 au 09/03 du 25/03 au 01/04 du 04/04 au 05/04 du 18/04 au 02/05 du 07/05 au 31/05 du 03/06 au 26/06 du 11/07 au 22/07 du 08/08 au 20/09 du 05/10 au 19/10 du 14/11 au 30/11
Nombre de jours en 2018	215	152
Nombre de photos analysées en 2018	17 267	12 534
Périodes d'acquisition en 2019	du 19/04 au 01/05 du 07/05 au 26/05 du 15/07 au 27/07 du 07/08 au 19/08	du 23/04 au 30/05 du 09/06 au 04/07
Nombre de jours en 2019	59	64
Nombre de photos analysées en 2019	4 080	6 000

Traitement des images

Les photographies acquises ont été traitées à partir du logiciel SIG (Système d'Informations Géographiques) ArcGIS d'ESRI®.

Une base de données géoréférencée a tout d'abord été créée sous SIG pour le stockage des données, leur exploitation et leur modification éventuelle via un logiciel de gestion de base de données comme Access (Microsoft Access®). Ceci a permis une gestion dynamique des entités cartographiées à la fois dans ArcGIS et dans Access. L'interface de Microsoft Access® permet de gérer graphiquement des collections de données dans des tables et d'établir des relations entre ces tables. Une fois les photographies importées dans Access, une date et une heure extraites de leurs fichiers EXIFs peuvent être attribuées à chaque polygone (donc embarcation) enregistrée.

Avant de débiter les traitements, toutes les photographies ont été recadrées à partir d'une photographie de référence afin de supprimer tout décalage entre les photos survenu lors de la relève des cartes mémoires et des diverses manipulations sur les appareils.

Sous SIG, chaque embarcation de chaque photographie a été enregistrée dans une unique couche vectorielle contenue dans la geodatabase (Figure 28). Une ligne (ou polygone) tracée de la proue à la poupe est représentative de la taille de chaque embarcation digitalisée. Un identifiant unique a été attribué à chaque embarcation au mouillage afin de suivre dans le temps une même embarcation restée dans une zone sur une série de photographies. Cet identifiant permet de calculer par la suite le temps de résidence et le point d'ancrage de chaque embarcation. Il est important de préciser qu'un identifiant différent est attribué à un même bateau qui se déplace et mouille à plusieurs endroits au cours de la journée, on parle ici d'un identifiant d'ancrage.

Des informations nécessaires pour caractériser la typologie de la fréquentation ont également été renseignées dans la table attributaire de la couche vectorielle telles que :

- l'identifiant de la photographie ;
- le type d'embarcation : vedette moteur M, semi-rigide SR, voilier V, catamaran à moteur CM, catamaran C, canoë kayak CK, stand-up paddle Pa, jet-ski JS, indéterminé I ;
- la catégorie de l'embarcation : bateau de plongée Pl, de pêche Pe ou batelier Ba ;
- en déplacement ou non ;
- l'identifiant d'ancrage (nul si le bateau est en mouvement) ;
- s'il y a beaching, c'est-à-dire si l'embarcation est posée sur la plage, ou non ;

- s'il y a incertitude de la part de l'observateur ou non ;
- site correspondant à la couche vectorielle (Elbu ou Gargalu) ;
- embarcation naviguant à grande vitesse renseignée uniquement pour un échantillon de photo de Gargalu (présence d'une gerbe d'eau et longue traînée derrière le bateau).

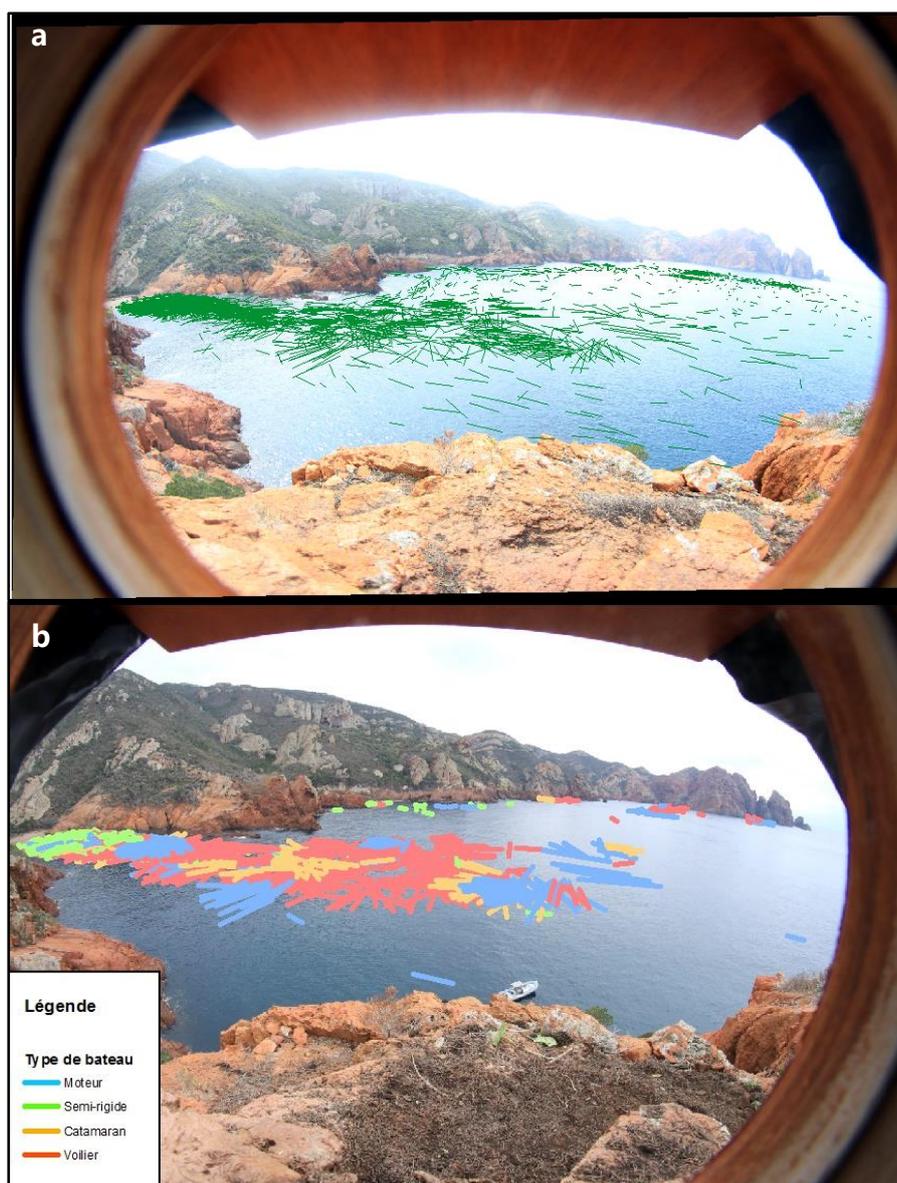


Figure 28. Digitalisation des embarcations sous SIG sur le site d'Elbu (a) et représentation des embarcations au mouillage en fonction du type d'embarcation (b).

Remarque 1 : dans cette étude, un 'catamaran' correspond à une embarcation à voiles possédant deux coques tandis qu'un 'catamaran à moteur' possède deux coques mais pas de voiles.

Remarque 2 : Un bateau en déplacement n'ayant pas d'identifiant unique peut être digitalisé plusieurs fois s'il reste en navigation plus de dix minutes dans le champ de vision de l'appareil photo. De même, s'il est observé en route vers sa zone de mouillage, en étant compté une fois en déplacement, puis une fois au mouillage avec un identifiant unique. Dans une zone très étendue comme la baie d'Elbu, ce cas de figure peut impliquer un double comptage des bateaux en déplacement. Ce cas de figure n'a pas été observé dans la passe de Palazzu puisque peu de bateaux restent plus de 10 minutes dans la zone étudiée.

Projection des embarcations au mouillage sur un repère orthonormé

Afin de projeter les informations issues des photographies acquises en vue latérale vers une carte en vue aérienne, une matrice de points faisant la relation entre les deux systèmes de projection doit être réalisée. Pour cela, un maillage théorique de 50 m x 50 m a été réalisé à partir d'une photo aérienne (BD ortho : IGN-2016). Les points d'intersection résultant des croisements entre les lignes du maillage ont été intégrés dans un GPS portatif. Une fois sur site, une photo a été prise avec le DPDA à chaque passage du bateau sur l'un des points GPS issu de la grille théorique. En digitalisant le bateau sur la photographie dont la position est connue (Figure 29.A) il est possible de faire le lien entre les coordonnées issues des photographies (numéro du pixel x, numéro du pixel y) (Figure 29.B) et celles issues du GPS (latitudes, longitudes), liées grâce aux dates et heures des photographies et des points GPS.

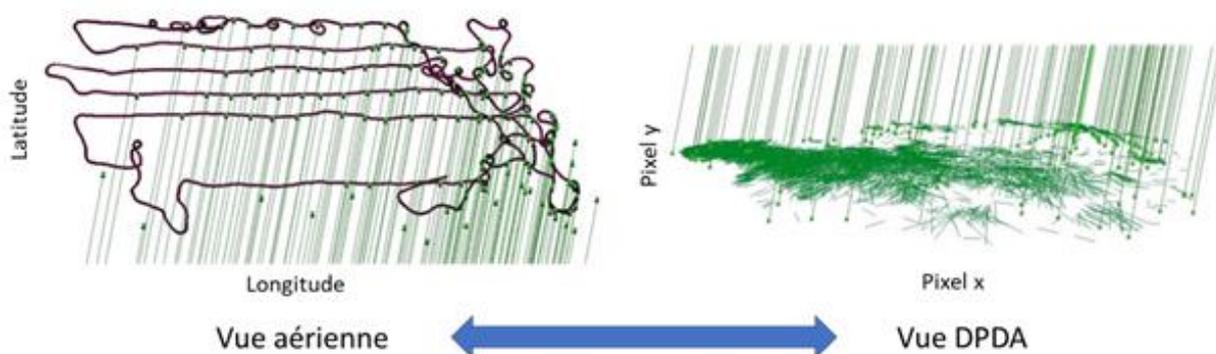


Figure 29. Liens entre les positions GPS réelles (A) et les positions du GPS sur la photographie prise avec le DPDA (B).

Les polygones digitalisés de la proue à la poupe des embarcations, une fois projetées sur le plan orthonormé, permettent d'obtenir une évaluation de leurs tailles. Pour cette évaluation, seules les embarcations situées devant les DPDA et dont l'estimation est la plus précise ont été utilisées pour évaluer des longueurs moyennes par type d'embarcation. A noter que plus on s'éloigne du DPDA, moins la projection est précise.

Cette opération n'a pas été réalisée sur le site de Gargalu puisque la fréquentation étudiée dans cette zone est uniquement liée à des flux de déplacement de bateaux. Dans la baie d'Elbu, cette manipulation de données a été réalisée uniquement dans la zone proche, pour laquelle nous considérons que la projection est représentative des données collectées, sans biais trop important (Figure 26).

Estimation des points d'ancrage et calculs de densités

Une fois la couche vectorielle projetée sur le repère orthonormé, le centroïde caractérisant le point central moyen de la proue des embarcations est calculé pour déterminer un point d'ancrage pour chaque embarcation au mouillage. L'ensemble des points d'ancrage permet de calculer des densités d'ancrage sur les sites d'étude en fonction d'unités de temps pertinentes. Les densités d'ancrage sont également évaluées en fonction du type de l'embarcation ; l'hypothèse étant que plus une embarcation est de grande taille, plus la pression physique de son ancre est importante (Milazzo *et al*, 2004). Les densités d'ancrage calculées pour chaque pixel de 1 m correspondent au nombre de points d'ancrage contenus dans un rayon de 25 m autour du pixel et sont exprimées par hectare par jour. Cette méthode permet de lisser l'information et de réduire le biais de précision que l'on instaure lors de la projection des données et de l'estimation du point d'ancrage. Les temps de résidence par pixel correspondent aux moyennes des temps de résidence (de chaque point d'ancrage) contenus dans un rayon de 25 m autour de ce pixel et sont exprimés en heures.

Des zones d'ombre ont été délimitées sur l'ensemble des cartes issues des analyses spatiales, représentant des zones non couvertes par l'appareil photo (masquées par des rochers/falaises).

Enfin, le DPDA n'ayant pas déclenché pendant l'ensemble de l'année, la densité moyenne annuelle ne peut pas être estimée précisément. Néanmoins, une extrapolation peut être réalisée en tenant compte de la moyenne mensuelle de chaque jour non échantillonné. Au vu des observations nulles ou quasi-nulles pendant les 5 premiers jours du mois de mars, de novembre et les premiers jours de décembre, une extrapolation peut être réalisée en considérant des valeurs nulles ou quasi-nulles pour les mois de janvier et février, en considérant que la fréquentation est la même pendant tous les mois d'hiver.

Evaluation du flux de déplacement

Cette évaluation concerne uniquement le site de la passe de Palazzu. Le mouillage étant totalement prohibé au sein de la réserve intégrale, l'ensemble des bateaux photographiés dans la passe depuis l'île de Gargalu sont en déplacement. La zone échantillonnée étant relativement petite, aucun bateau n'a été vu sur 2 photos successives avec 10 minutes d'intervalle. Cependant, si un bateau passe dans la zone

avec plusieurs minutes ou heures de décalage, il sera compté deux fois. On parlera alors de nombre de passages dans la passe, et non de nombre de bateaux. Le déclenchement du dispositif toutes les 10 minutes ne permet pas une capture totalement exhaustive de l'ensemble des passages. L'estimation donnée dans ce rapport est donc une estimation basse du flux réel de bateaux traversant la passe de Palazzu.

Un problème de réglage de mise au point du DPDA n'a pas permis de faire la distinction entre les vedettes à moteur et les semi-rigides pendant la première partie de l'année 2018. Ces deux types de bateaux ont donc été regroupés pour l'analyse du flux de passages.

La digitalisation de la proue vers la poupe permet d'estimer le sens de navigation des embarcations. Cela permet de déterminer si l'embarcation a franchi la passe du nord vers le sud ou du sud vers le nord.

Le dénombrement des passages des bateliers est estimé pour les embarcations les plus reconnaissables. Les grandes vedettes à moteur ou grands catamarans sont facilement reconnaissables. Le nombre de passage des bateliers utilisant un semi-rigide est sans doute sous-évalué.

Enfin, les photographies prises en 2019 ont été utilisées pour évaluer l'activité des bateliers dans ce secteur, ainsi que plus généralement, pour évaluer le comportement de navigation des usagers dans ce secteur, en répertoriant les bateaux en grande vitesse. La zone étant limitée à 5 nœuds en navigation, ces observations peuvent être visibles lorsqu'un bateau laisse une forte traînée d'écume derrière son moteur. Le bateau n'a pas été compté comme étant en déplacement à grande vitesse si la trace d'écume n'était pas franche, évitant ainsi une surestimation (Figure 30).

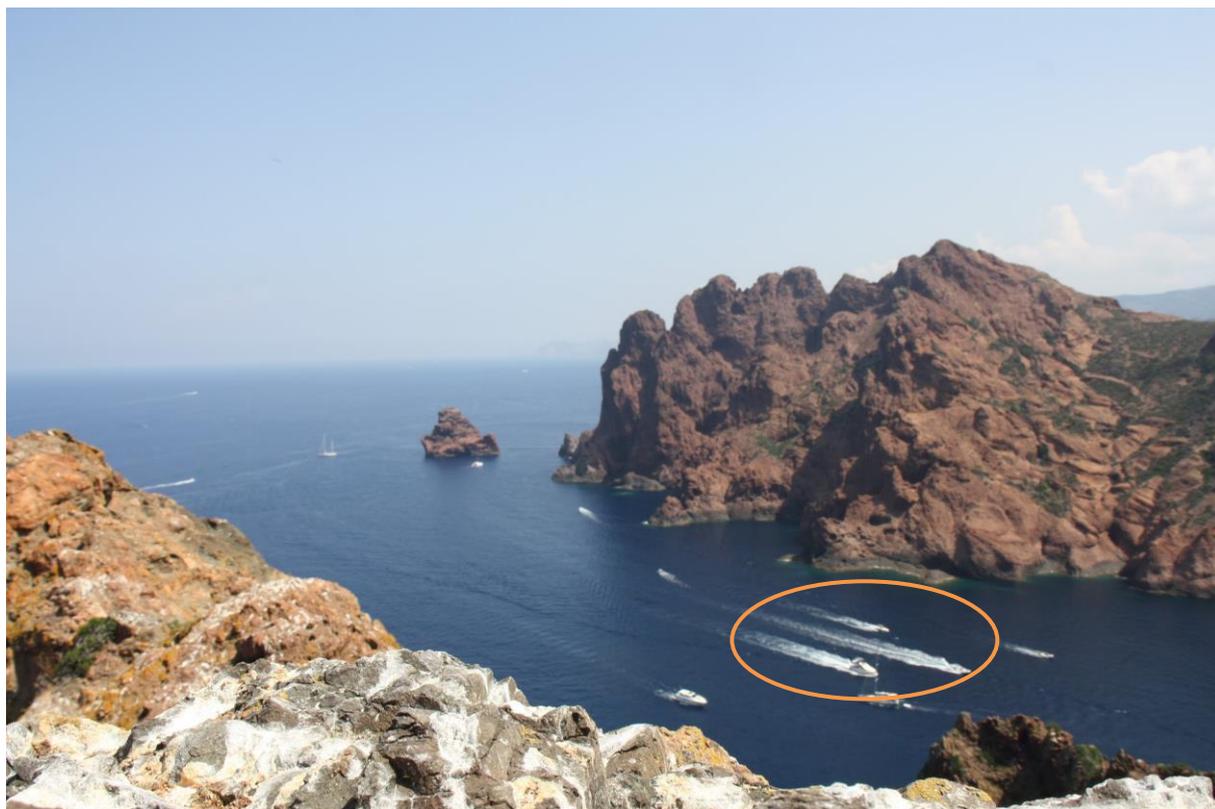


Figure 30. Entouré en orange : exemple de bateaux naviguant à grande vitesse dans la passe de Palazzu (zone limitée à 5 nœuds).

Analyse statistique

Les données de fréquentation issues du système de prise de vue photographique à déclenchement automatique (DPDA) ont été analysées sur l'ensemble de la période d'étude, mais les analyses statistiques ont été restreintes à l'année 2018, pour laquelle le suivi a été plus régulier.

Les fluctuations temporelles du nombre de bateaux ancrés par jour et le flux de passage journalier durant la période d'étude ont été analysées grâce à un modèle linéaire généralisé (GLM), à fonction de lien Binomiale Négative. Ce type de fonction, semblable à la loi de Poisson, est adaptée pour l'analyse de données de comptage, tout en tenant compte de la dispersion des données. L'effet du 'vent', des 'types de jours', des 'types de bateaux' des 'mois' ainsi que les interactions entre ces variables ont été testés dans ce modèle (Tableau III).

Le meilleur modèle statistique, c'est-à-dire celui permettant d'expliquer la variation journalière du nombre de bateaux ancrés à partir des variables significativement pertinentes, a été sélectionné à partir du critère d'information bayésien (BIC) (Schwartz, 1978). Enfin, des tests post-hoc de Tukey ont été réalisés sur les variables sélectionnées dans le modèle (significatives), afin de comparer de manière univariée l'influence de ces

modalités sur la fréquentation. Les seuils de significativité ont été fixés à une erreur de 5%.

Tableau III. Variables et modalités incluses dans l'analyse de la variation journalière du nombre de bateaux ancrés.

Variables	Modalités
Vent	<ul style="list-style-type: none">– Vent (vitesse > 10 nœuds)– Pas de vent (vitesse <= 10 nœuds)
Type de bateaux	<ul style="list-style-type: none">– Vedette moteur– Semi-rigide– Voilier
Type de jours	<ul style="list-style-type: none">– Semaine– Week-end– Férié
Mois	<ul style="list-style-type: none">– Avril– Mai– Juin– Juillet– Août– Septembre

Les valeurs des temps de résidence ont été analysées en fonction du type de bateaux et du mois de l'année. Pour cette analyse, un modèle linéaire généralisé (GLM), à fonction de lien Gamma a été utilisé.

3.2.5.2. Suivi du mouillage dans la baie d'Elbu

Typologie des usagers et dynamique temporelle de la fréquentation

Sur l'ensemble des périodes d'acquisition (2018 et 2019), 29 803 embarcations ont été digitalisées (au mouillage ou en déplacement dont 8 605 en déplacement, incluant potentiellement quelques doubles comptages¹, et 1 870 au mouillage (ou beachées).

En 2018, très peu de bateaux sont observés jusqu'à mi-avril. Le week-end de Pâques est une des premières dates où quelques bateaux profitent des beaux jours pour naviguer au sein de la RNS (Figure 31). Cette période correspond à une succession de jours sans vent, favorables à la navigation. La présence de vent est une variable importante pour expliquer la variation de la fréquentation dans la Réserve. Même en plein été, le nombre de bateaux ancrés est largement significativement plus faible lorsqu'un vent supérieur à 10 nœuds est observé (Tukey, $p < 0.001$). La fréquentation globale augmente ensuite progressivement jusqu'à l'été pour atteindre un maximum le 9 août 2018, avec 51 bateaux observés au mouillage dans la baie d'Elbu (Figure 32). La fréquentation diminue ensuite progressivement pour retomber à des valeurs quasi nulles à partir du mois d'octobre. Malgré un échantillonnage moins homogène en 2019, cette même répartition est observée avec des valeurs très faibles en avril et mai, puis avec un pic estival observé le 7 août avec 60 bateaux observés ancrés dans la journée. Les analyses statistiques permettent de montrer que les mois ont un rôle important dans la structuration des données. Les tests post-hoc de Tukey permettent de regrouper les mois en fonction de leur fréquentation. Les mois de mars, novembre et décembre, peu échantillonnés, correspondent à des mois où la fréquentation est nulle. Les mois d'avril (moyenne = 0.4 ± 0.8 bateau ancré), mai (moyenne = 1.1 ± 1.6 bateaux ancrés) et octobre (moyenne = 0.6 ± 1.3 bateaux ancrés) ne sont pas significativement différents entre eux, et sont caractérisés par un faible nombre de bateaux au mouillage mais non nuls. Un troisième groupe pour lequel la fréquentation est caractérisée de 'moyenne', correspond à l'avant et l'après saison estivale avec les mois de juin (moyenne = 5.6 ± 4.4 bateaux ancrés) et septembre (moyenne = 4.4 ± 4.0 bateaux ancrés). La haute saison estivale est caractérisée par des valeurs 3 à 4 fois supérieures à celles de juin et septembre, à savoir juillet (moyenne = 18.9 ± 12.3 bateaux ancrés) et août (moyenne = 19.2 ± 18.0 bateaux ancrés).

¹ Les bateaux en déplacement ne sont pas identifiés et suivi au cours du temps. De ce fait, un bateau peut être compté plusieurs fois à partir du moment où il reste en déplacement dans la zone de prise de vue pendant plusieurs photographies.

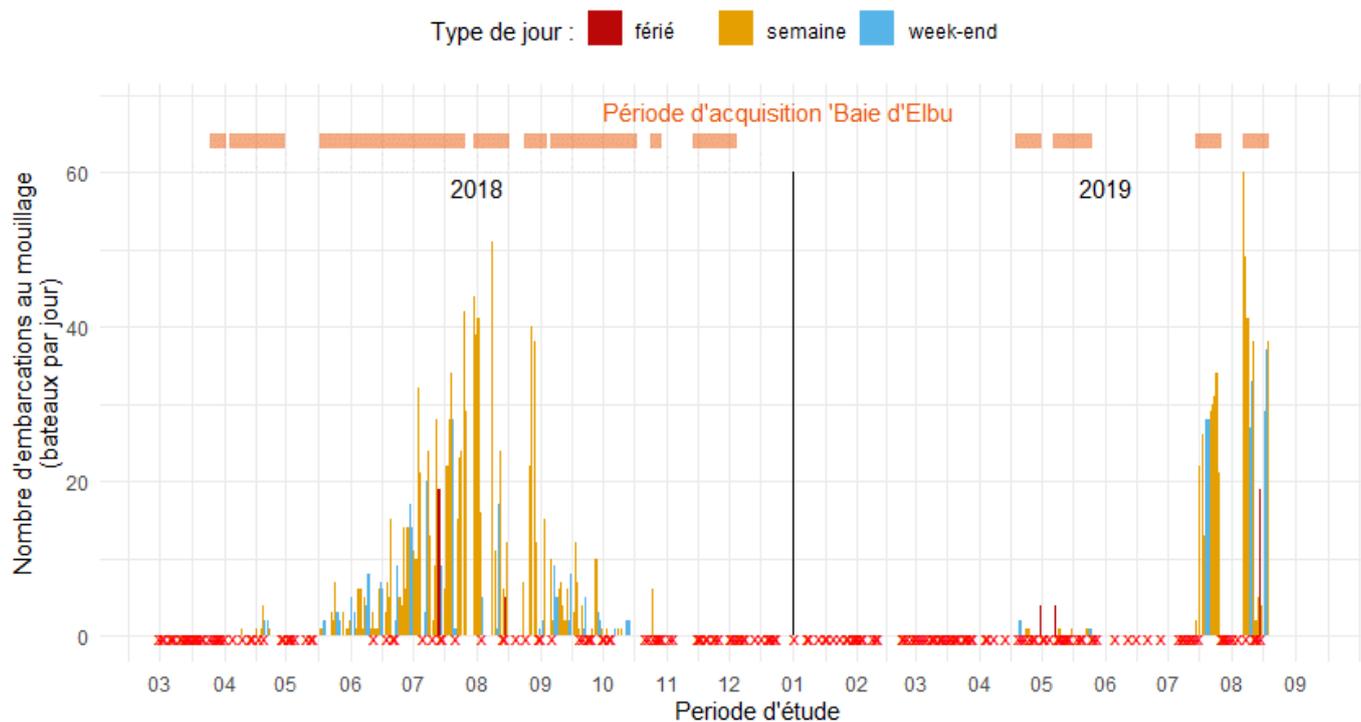


Figure 31. Variation de la fréquentation journalière des bateaux au mouillage dans la baie d'Elbu pendant l'ensemble de la période d'étude. Les croix rouges correspondent aux jours pour lesquels un vent maximum supérieur à 10 nœuds a été mesuré.



Figure 32. Journée de forte fréquentation vue depuis le DPDA de la baie d'Elbu (23 bateaux au mouillage le 07/08/2019).

Il est évident que ce pic estival, couramment observé dans les courbes de fréquentation liées au tourisme, est expliqué par la volonté des personnes en vacances de voyager et de venir visiter la RNS. La caractérisation des usagers du site par un grand nombre de vacanciers par rapport à des locaux, peut être montrée par le fait qu'aucune différence d'intensité de la fréquentation entre les jours fériés (moyenne = 14.3 ± 8.1 bateaux ancrés), jours de semaine (moyenne = 16.4 ± 14.6 bateaux ancrés) ou jours de week-end (moyenne = 11.2 ± 10.9 bateaux ancrés) ne soit observée (variable non significative dans le modèle statistique). Les moyennes du nombre de bateaux ancrés en période de moyenne et de forte fréquentation (juin à septembre) montrent même une tendance inverse avec une valeur moyenne plus faible le week-end². Cette comparaison est également valable si l'on tient compte de la présence ou non de vent.

Parmi l'ensemble de ces bateaux observés ancrés, les semi-rigides sont les plus présents et représentent 40% des observations (Figure 33). Ils sont significativement d'avantage observés que les vedettes à moteur (28%, Tukey $p < 0.01$), les voiliers (24%, Tukey $p < 0.05$) ou les catamarans (6%) (Figure 33). La même dynamique d'évolution est observée lorsque l'on s'intéresse aux différents types de bateaux (Figure 34). On observe néanmoins que c'est le nombre de semi-rigides qui augmente le plus pendant la période estivale (Figure 34.b). Les voiliers sont les premiers types d'embarcation observés au cours de l'année, ainsi que les derniers. Ce résultat peut s'expliquer (i) par une plus grande capacité des voiliers à naviguer dans des conditions météorologiques moins favorables ou bien (ii) par le fait qu'il s'agit d'une population dominée par des personnes retraitées.

² Ces résultats sont calculés à partir des données de juin à septembre, afin d'éviter l'influence des nombreux "0" observés en basse saison.

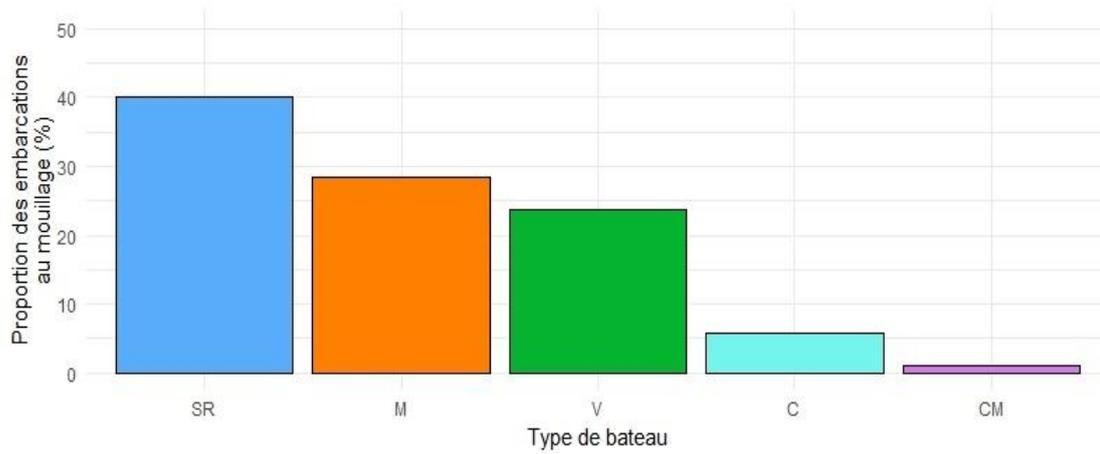


Figure 33. Proportion des types d'embarcations au mouillage ; SR = Semi-Rigide, M = Vedette à moteur, V = Voilier, C = Catamaran, CM = Catamaran à moteur.

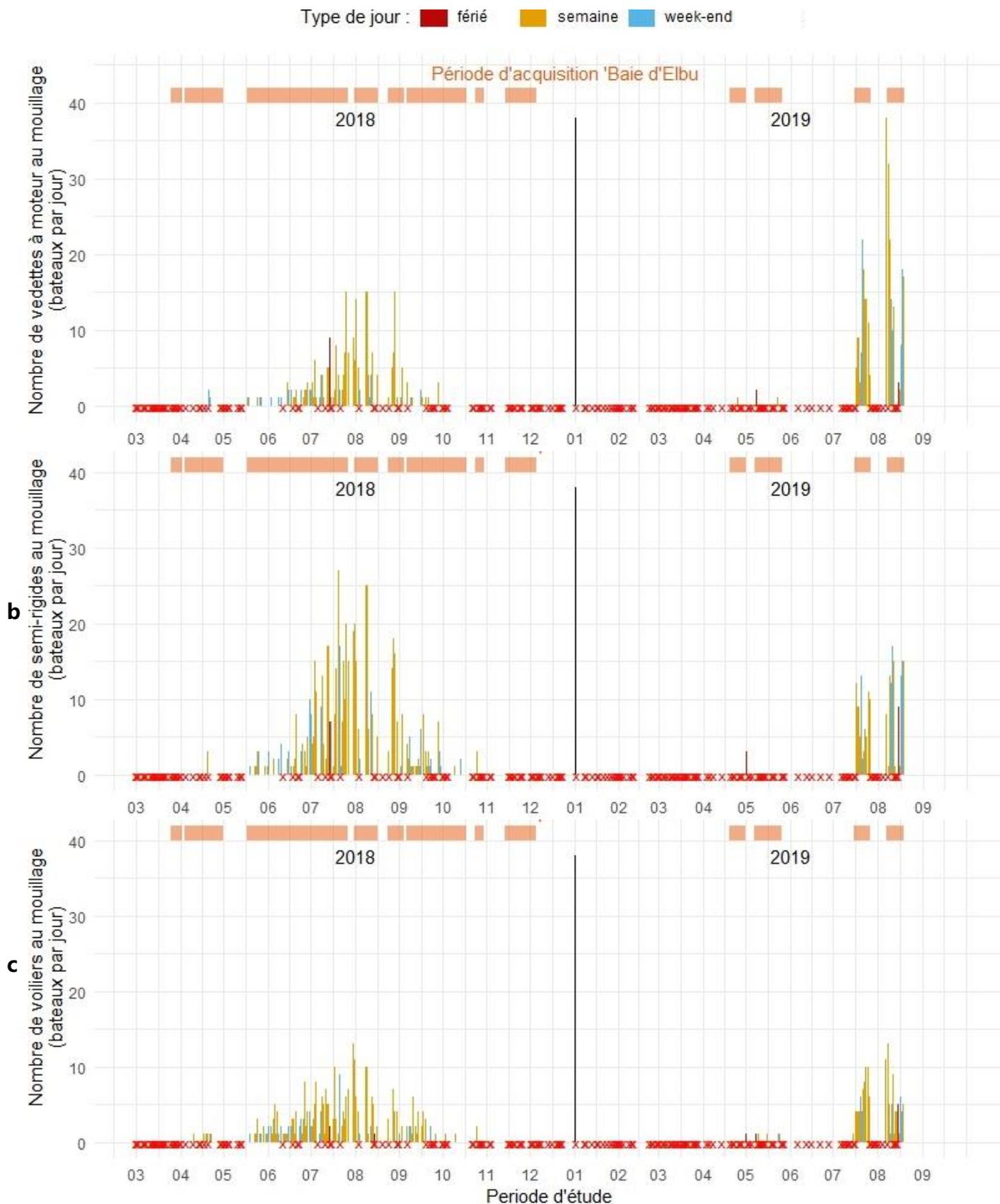


Figure 34. Variation de la fréquentation des bateaux au mouillage par type de bateaux : a : vedettes à moteur, b : semi-rigides, c : voiliers.

Le pic journalier d'arrivée des bateaux dans la baie d'Elbu se situe entre 10:00 et 13:00 (Figure 35). Les semi-rigides arrivent généralement les premiers sur site, suivis des vedettes à moteur et des voiliers. Un deuxième pic, moins élevé que le premier, est observé aux alentours de 16:00 pour les semi-rigides. Le premier pic peut être expliqué par la venue des bateaux pour le déjeuner du midi ; le deuxième plus en fin de journée, pourrait être un dernier arrêt sur le chemin du retour, avant de rentrer au port ou à la mise à l'eau.

Les départs sont très étalés dans la journée pour les vedettes à moteur et les semi-rigides (Figure 35). Un léger pic est tout de même observé aux alentours de midi pour les semi-rigides, presque au même moment que le pic d'arrivée. Le pic de départ est plutôt identifiable pour les voiliers, et se situe aux alentours de 15:00.

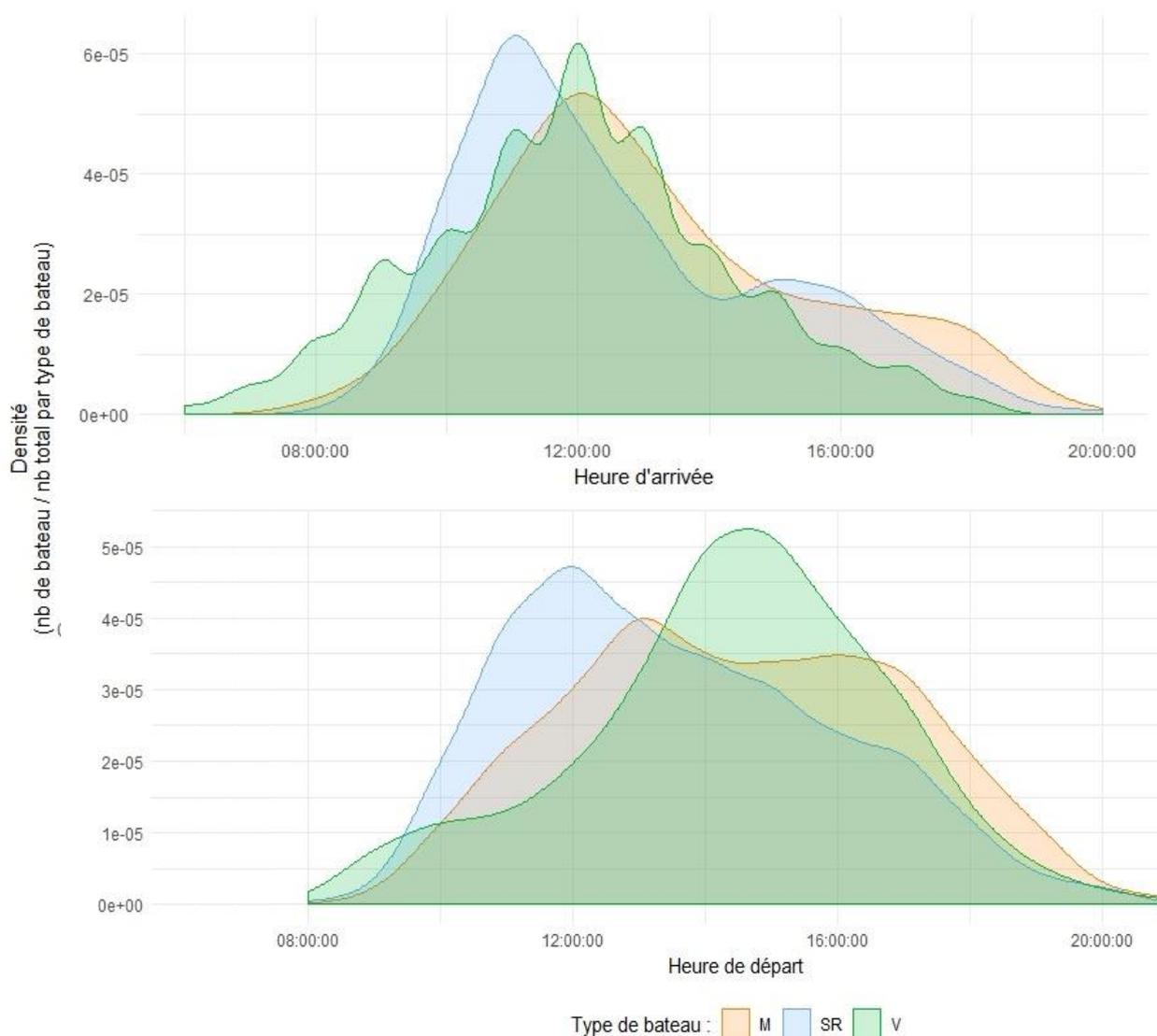


Figure 35. Distribution du nombre de bateaux au mouillage dans la baie d'Elbu par type de bateau en fonction de leur heure d'arrivée (en haut) et de l'heure de départ (en bas).

Les temps de résidence des bateaux au mouillage sont variables selon le type de bateau (la saison n'a pas d'effet significatif sur cette variable). Les grandes embarcations comme les catamarans et les voiliers, souvent habitables et relativement confortables, ont tendance à rester plus longtemps que les autres (en moyenne $2h45 \pm 2h25$, avec un maximum de temps de résidence observé de $25h00$) (Figure 36 et Figure 37). Cette valeur correspond à la différence entre l'horaire du pic d'arrivée et du pic de départ pour ces types de bateaux. Les bateaux motorisés, beaucoup plus mobiles, vont, quant à eux, rester très peu de temps sur site. Les vedettes ont été observées à l'ancrage en moyenne pendant $1h26 \pm 1h42$ (Tukey $p < 0.001$), les semi-rigides moins longtemps (56 ± 57 minutes ; Tukey $p < 0.001$).

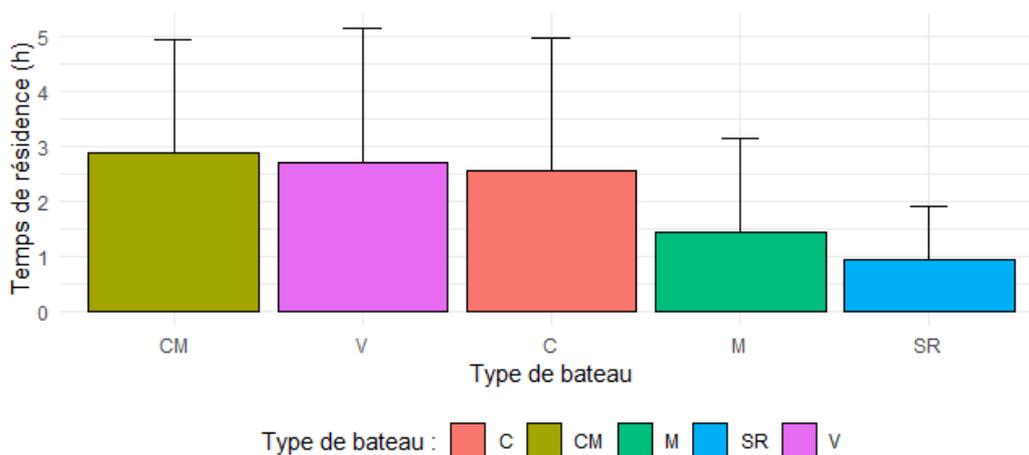


Figure 36. Temps de résidence moyen dans la baie d'Elbu en fonction du type de bateau ; C = Catamaran à voile, CM = Catamaran à moteur, M = Vedette à moteur, SR = Semi-rigide.

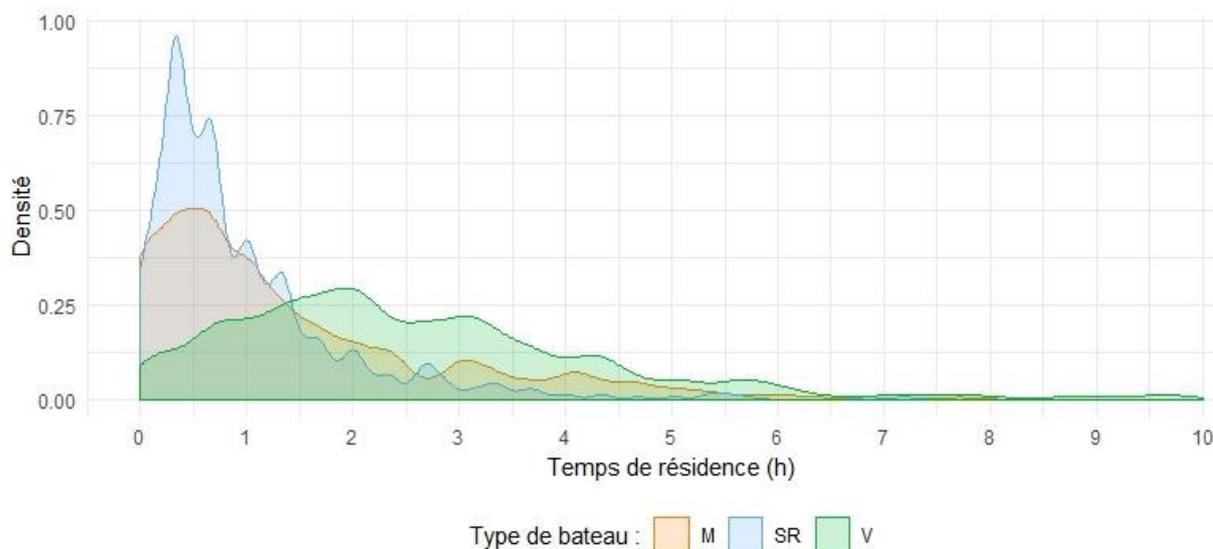


Figure 37. Distribution du nombre de type de bateaux au mouillage dans la baie d'Elbu en fonction du temps de résidence.

Répartition spatiale de la fréquentation

La grande majorité des embarcations digitalisées sont observées ancrées dans la marina d'Elbu, une petite crique placée au sud du DPDA, dans le champ proche de l'appareil photo (Figure 38). Cette zone abrite les densités les plus élevées de la baie. Ces densités forment un dégradé qui part du fond de la calanque (de la plage) avec les plus fortes valeurs pour diminuer petit à petit lorsque l'on passe sur des zones plus profondes, à l'extérieur de la calanque. En considérant l'ensemble de la période d'étude de 2018, d'avril à octobre, tous types de bateaux confondus, la densité moyenne maximale mesurée est de 16 ancrages/ha/j (Figure 38). Ces valeurs fortes sont observées près de la plage, dans le fond de la calanque, où le substrat est principalement composé de sable. En s'éloignant du fond de la calanque, les densités moyennes maximales d'ancrage diminuent avec la profondeur, à partir de la limite supérieure de l'herbier (5-6 m de profondeur) vers le large. On mesure 11 ancrages/ha/j en limite, puis, plus en profondeur dans l'herbier continu, des valeurs inférieures à 4 ancrages/ha/j sont relevées. Les données extrapolées à l'année sont plus faibles puisque la majeure partie des données manquantes proviennent de la fréquentation hivernale. La densité moyenne annuelle maximale relevée dans la marina d'Elbu pourrait donc s'élever à 10.5 ancrages/ha/j, à 7.0 ancrages/ha/j sur la limite supérieure de l'herbier de la marina d'Elbu, et à 1.8 ancrages/ha/j dans l'herbier un peu plus en profondeur.

Des pics de densité sont observés pendant la période estivale, avec la valeur maximale atteinte en juillet avec plus de 40 ancrages/ha/j dans le fond de la calanque. L'augmentation de la fréquentation à l'échelle de la baie d'Elbu (résultat temporel)

n'implique donc pas une augmentation importante de l'utilisation de l'espace pour mouiller, mais bel et bien une augmentation de la concentration des bateaux dans cette zone. La densité d'ancrage dépasse les 10 ancrages/ha/j sur la limite supérieure de l'herbier pendant ces mois de forte affluence et y est tout de même plus étalée vers le large.

Les semi-rigides sont présents en grand nombre dans le fond de la marina d'Elbu (Figure 39). C'est le type de bateaux, souvent représenté par de petites embarcations, qui vient mouiller le plus près de la plage. En période de forte affluence, ce type de bateau vient s'ancrer un peu plus au milieu de la calanque, autour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie, mais est rarement observé en dehors de la marina d'Elbu.

Les vedettes à moteur ont le même comportement général que les semi-rigides (Figure 40). Les quelques grosses embarcations de ce type sont retrouvées plus au milieu ou en dehors de la calanque pendant les mois d'été.

Les voiliers sont, quant à eux, souvent mouillés plus en profondeur au-delà de la limite supérieure de l'herbier (Figure 41). Les densités maximales sont mesurées au milieu de l'herbier de la marina d'Elbu. La pression d'ancrage y est maximale en juillet, avec 5.8 ancrages/ha/j.

Localisation des points d'ancre des embarcations recensées par DPDA, densité d'ancre et herbier à *Posidonia oceanica*

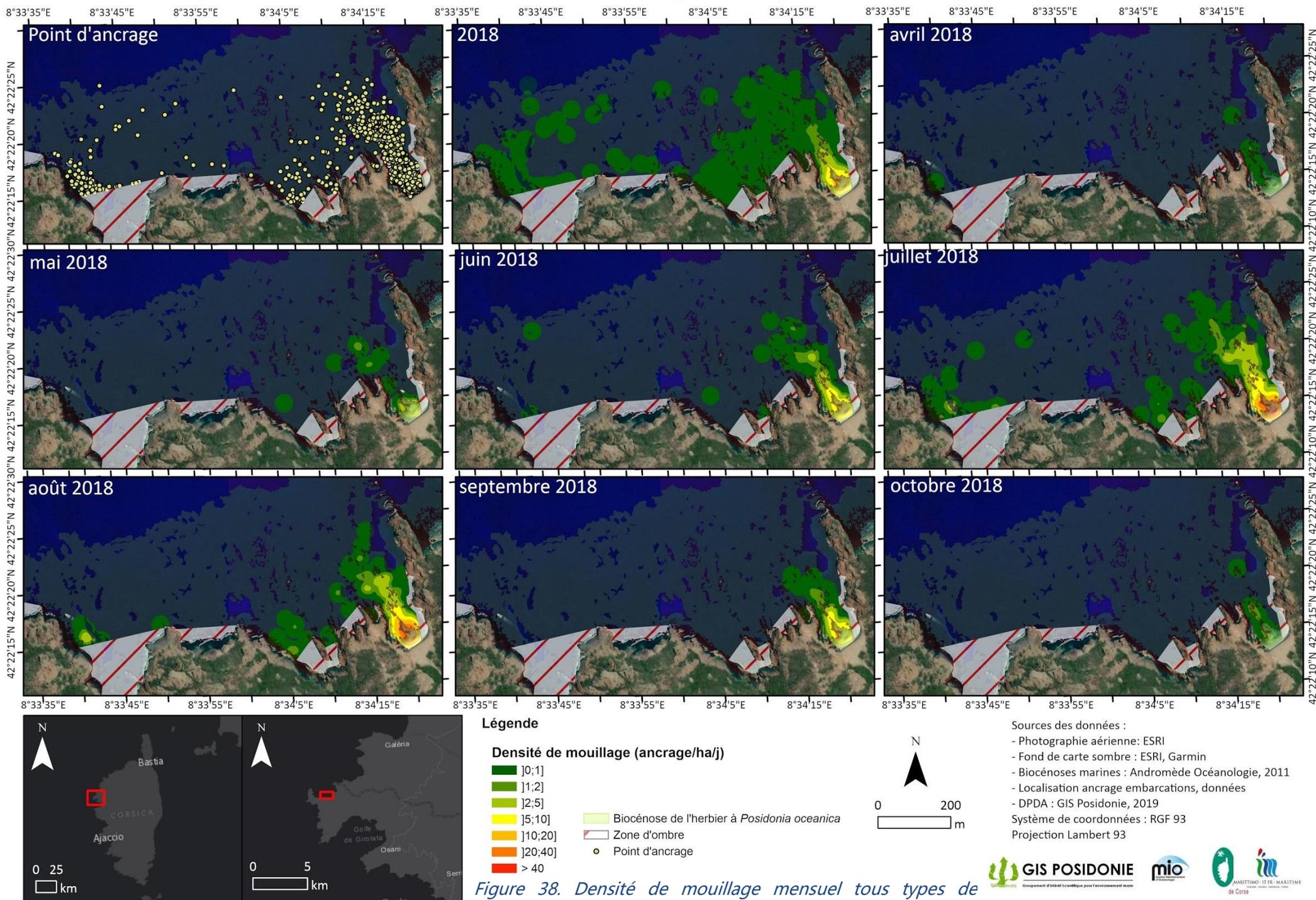
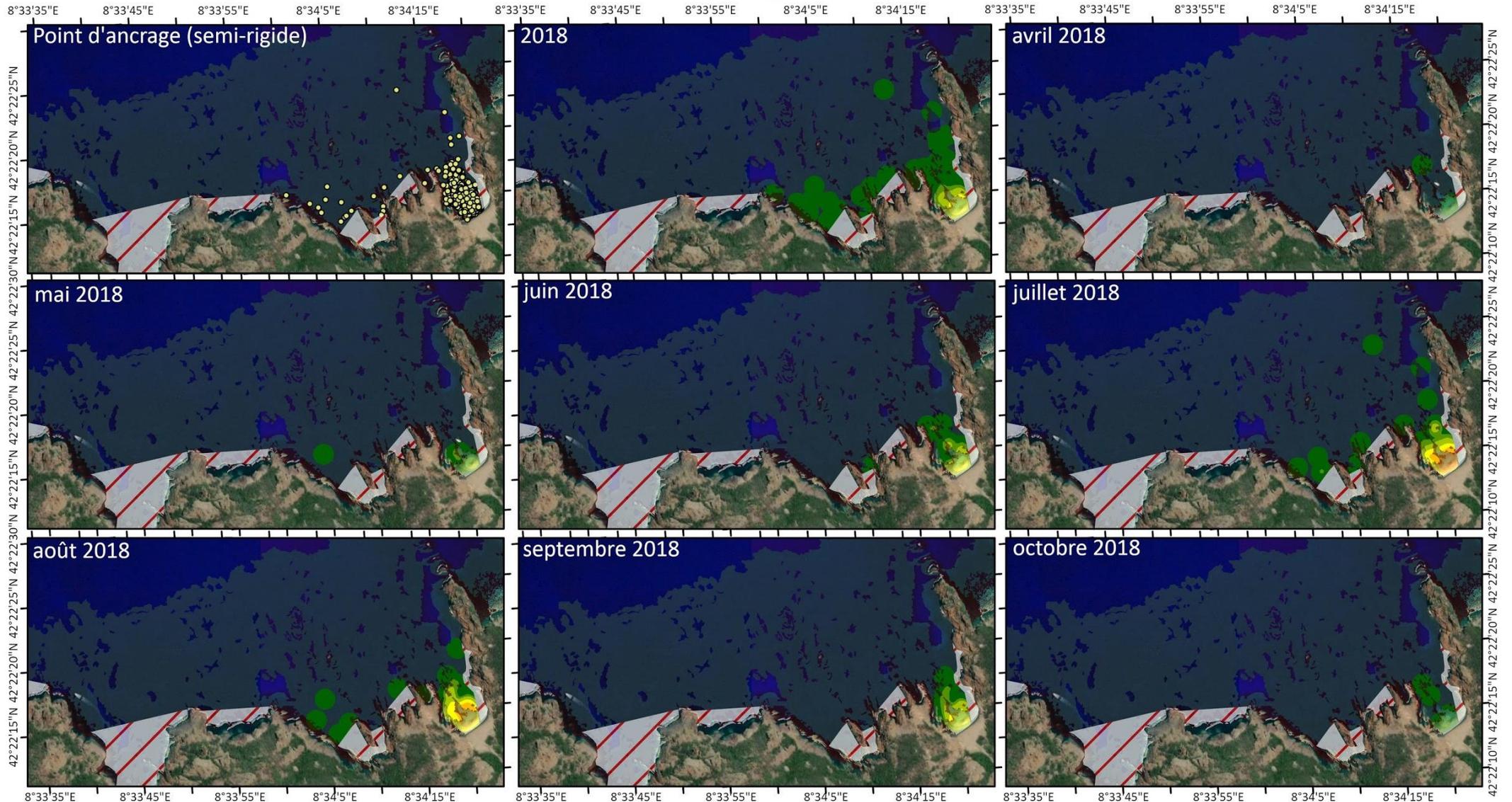


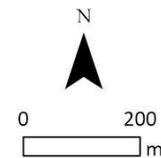
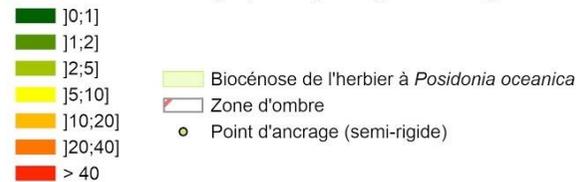
Figure 38. Densité de mouillage mensuel tous types de

Localisation des points d'ancrage des embarcations recensées par DPDA, densité d'ancrage et herbier à *Posidonia oceanica*



Légende

Densité de mouillage (ancrage/ha/j) - Semi-rigide



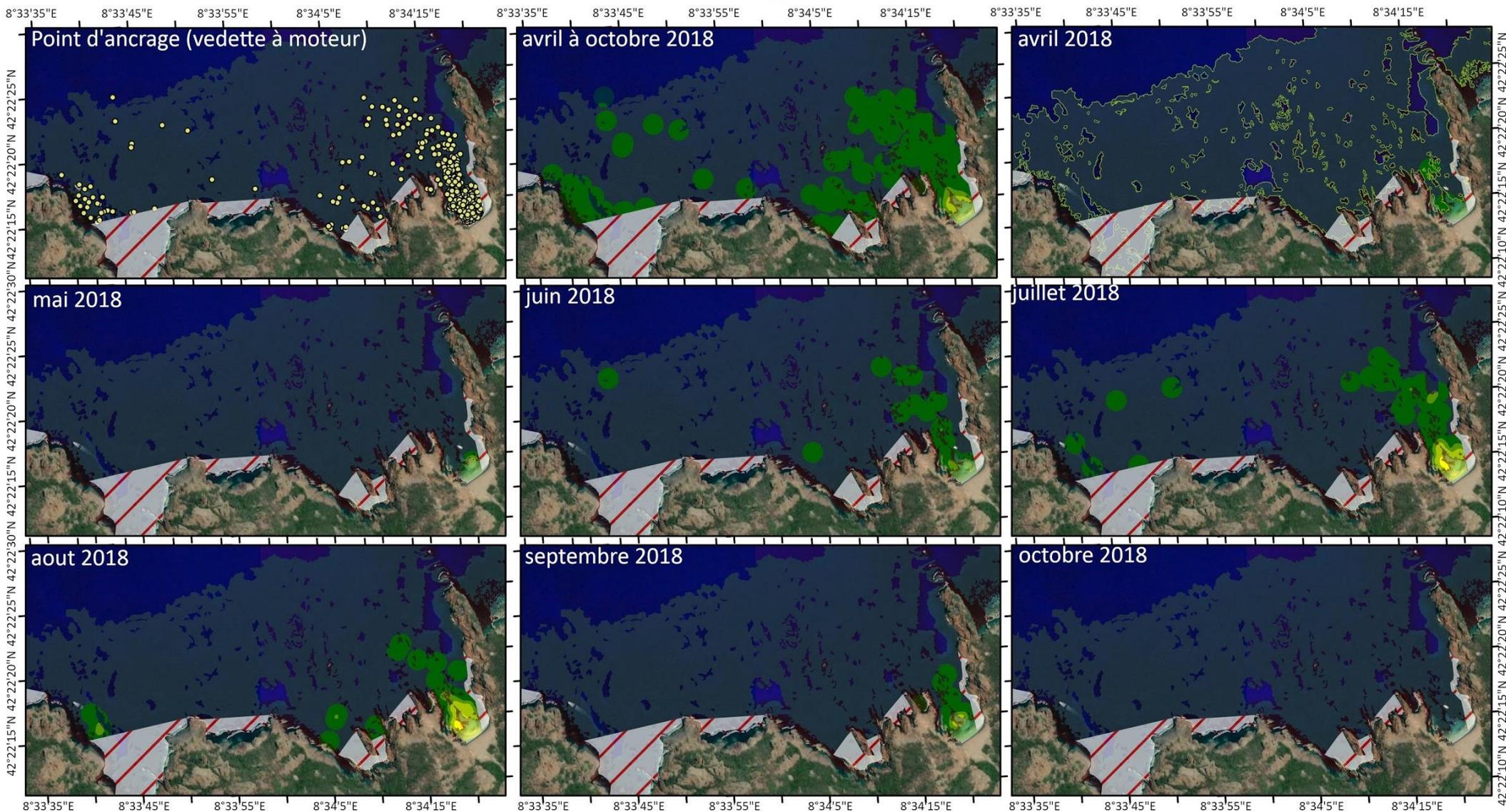
Sources des données :

- Photographie aérienne : ESRI
- Fond de carte sombre : ESRI, Garmin
- Biocénoses marines : Andromède Océanologie, 2011
- Localisation ancrage embarcations, données
- DPDA : GIS Posidonie, 2019

Système de coordonnées : RGF 93
Projection Lambert 93

Figure 39. Densité de mouillage mensuel des semi-rigides.

Localisation des points d'ancre des embarcations recensées par DPDA, densité d'ancre et herbier à *Posidonia oceanica*

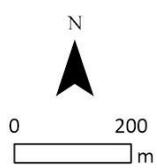


Légende

Densité de mouillage (ancre/ha/j) - Vedette à moteur

-]0;1]
-]1;2]
-]2;5]
-]5;10]
-]10;20]
-]20;40]
- > 40

- Biocénose de l'herbier à *Posidonia oceanica*
- Zone d'ombre
- Point d'ancre (Vedettes à moteur)



Sources des données :

- Photographie aérienne: ESRI
- Fond de carte sombre: ESRI, Garmin
- Biocénoses marines: Andromède Océanologie, 2011
- Localisation ancre embarcations, données
- DPDA: GIS Posidonie, 2019

Système de coordonnées: RGF 93
Projection Lambert 93

Figure 40. Densité de mouillage mensuel des vedettes à

Réserve naturelle de Scandola - Baie d'Elbu - Voiliers

Éditée le : 28/11/2019

Localisation des points d'ancrage des embarcations recensées par DPDA, densité d'ancrage et herbier à *Posidonia oceanica*

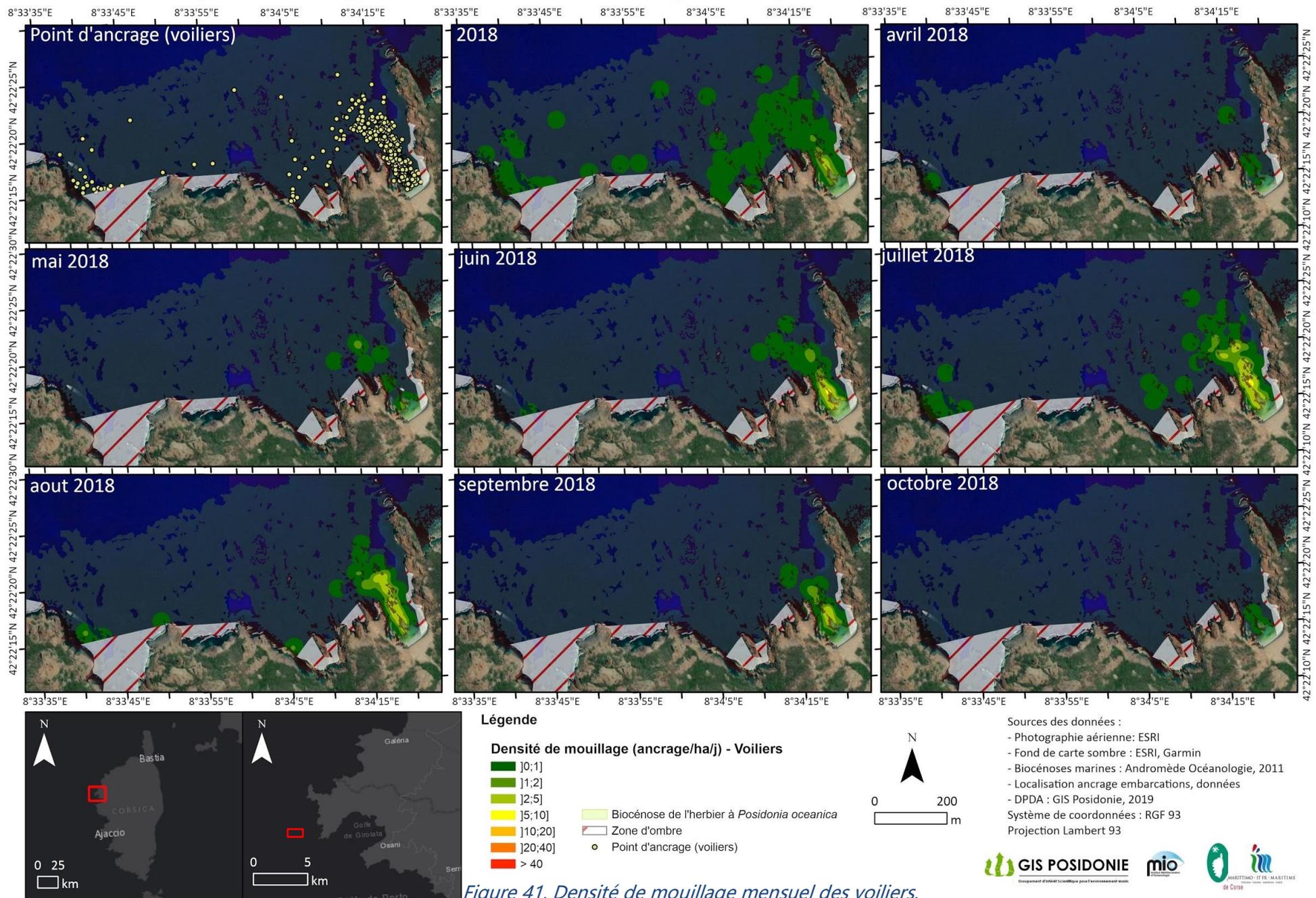


Figure 41. Densité de mouillage mensuel des voiliers.

Temps de résidence

L'analyse des temps de résidence indique que les embarcations qui viennent s'ancrer dans le fond de la marina d'Elbu (semi-rigides et certaines vedettes à moteur) sont celles qui restent le moins longtemps sur site (moyenne < 1h00) (Figure 42). Cette observation est cohérente avec l'analyse temporelle qui indiquait que les semi-rigides avaient un temps de résidence moyen d'une cinquantaine de minutes. Les voiliers ancrés plus au centre et à l'extérieur de la marina, sur l'herbier de posidonie, ont des temps de résidence plus élevés (moyenne = 2h45 ± 2h25).

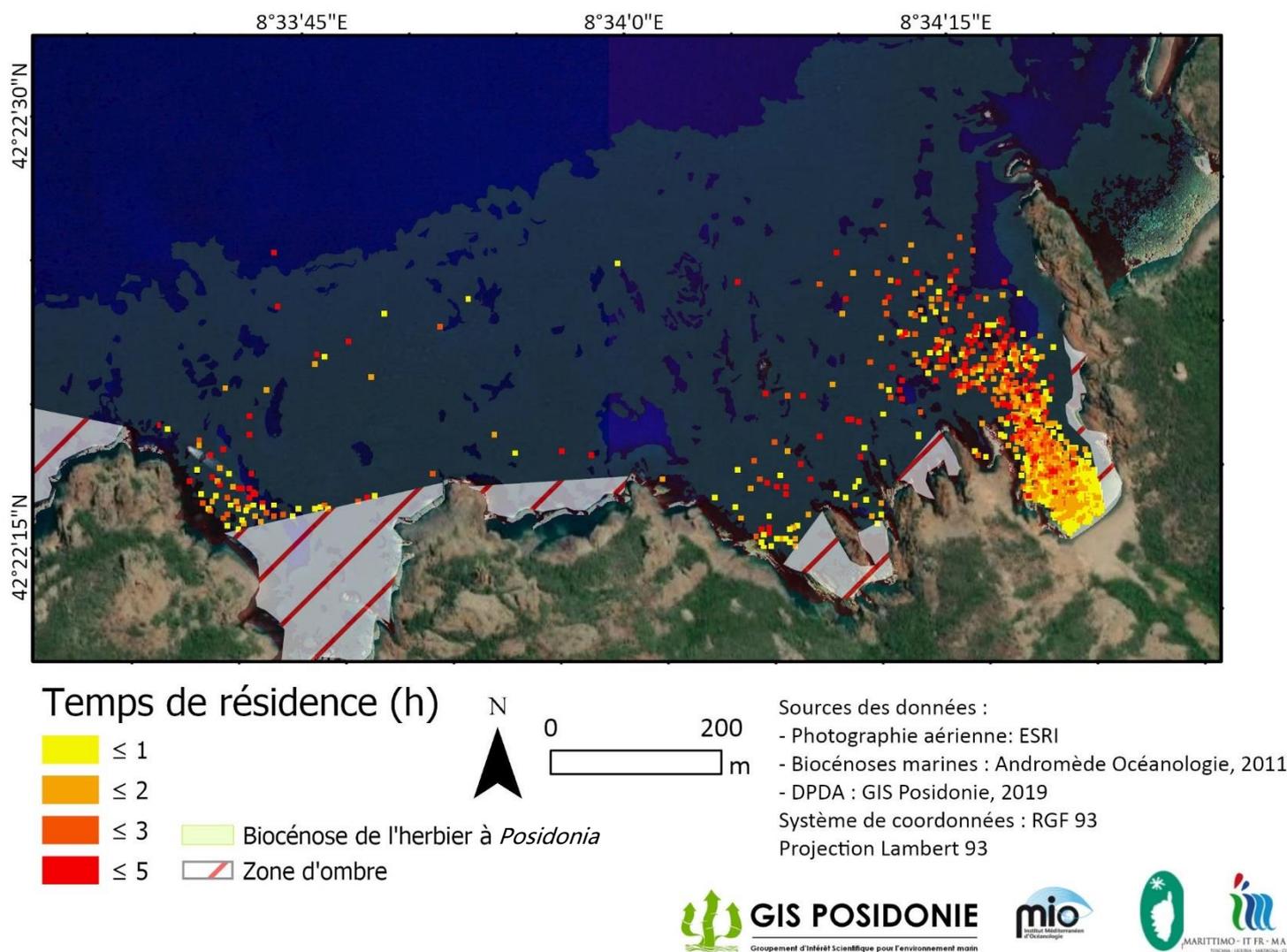


Figure 42. Répartition spatiale des temps de résidence des bateaux observés dans la baie d'Elbu.

Observations de non-respects de la réglementation

Les dispositifs ont également permis d'observer des usages ne respectant pas la réglementation en vigueur dans la zone d'étude. Au total, 5 bateaux ont été observés à l'ancrage pendant la nuit en 2018 (3 en juin, 1 en septembre et 1 en octobre) et 2 en août 2019. Ces bateaux sont des grand bateaux habitables, voiliers ou catamarans. Des bateaux en train de beacher sur la plage de la marina d'Elbu (zone terrestre interdite d'accès) faisant débarquer leurs occupants ont également été observés à de nombreuses reprises (Figure 43).

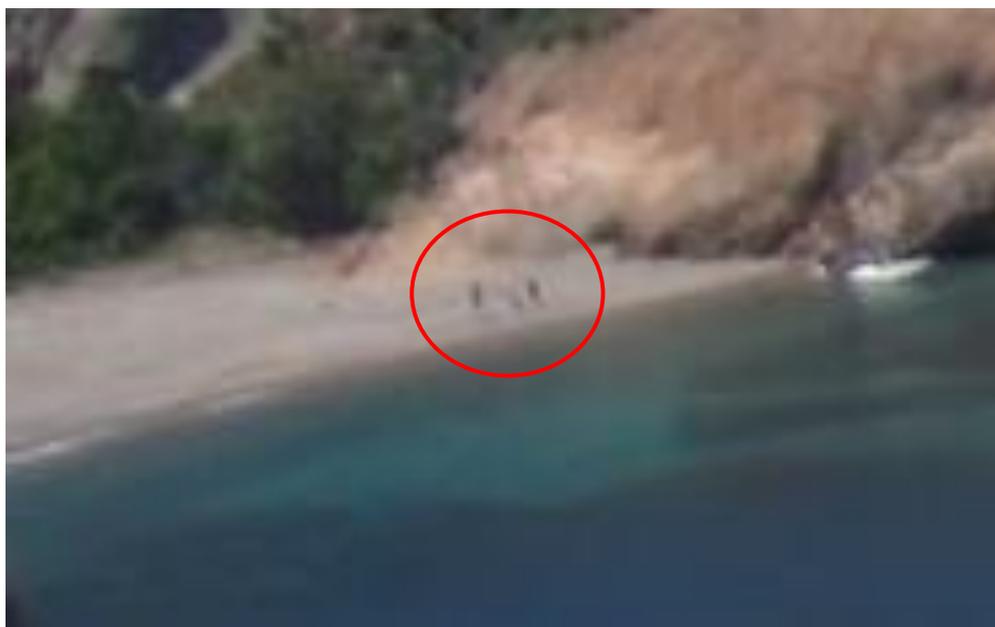


Figure 43. Entouré en rouge : usagers ayant débarqué sur la plage de la marina d'Elbu (pratique interdite).

3.2.5.3. Résultats dans la passe de Palazzu (DPDA Gargalu)

Evaluation de la variation du flux de passage

Un total de 8 605 passages a été recensé sur l'ensemble de la période d'étude. La courbe annuelle du flux journalier a une allure générale identique que celle du nombre journalier de bateaux ancrés. Très peu de bateaux sont observés en mars ou avril 2018. En mai et juin, le nombre moyen de passages observés oscille entre 18.1 ± 18.5 et 37.6 ± 34.1 passages par jour (Figure 45). Des valeurs jusqu'à 10 fois supérieures à celles mesurées en mai et juin sont observées pendant la haute saison estivale (Tukey $p < 0.001$), avec un pic à 300 passages observés pour la journée du 09/08/2019 (Figure 44), et des valeurs moyennes de 102.1 ± 72.0 en juillet et 124.3 ± 95.2 en août. Ce pic maximal, (rappel en note de bas de page) : valeur basse de l'estimation, est équivalent à un passage de bateaux dans la passe toutes les 3 minutes entre 6:00 et 21:00.

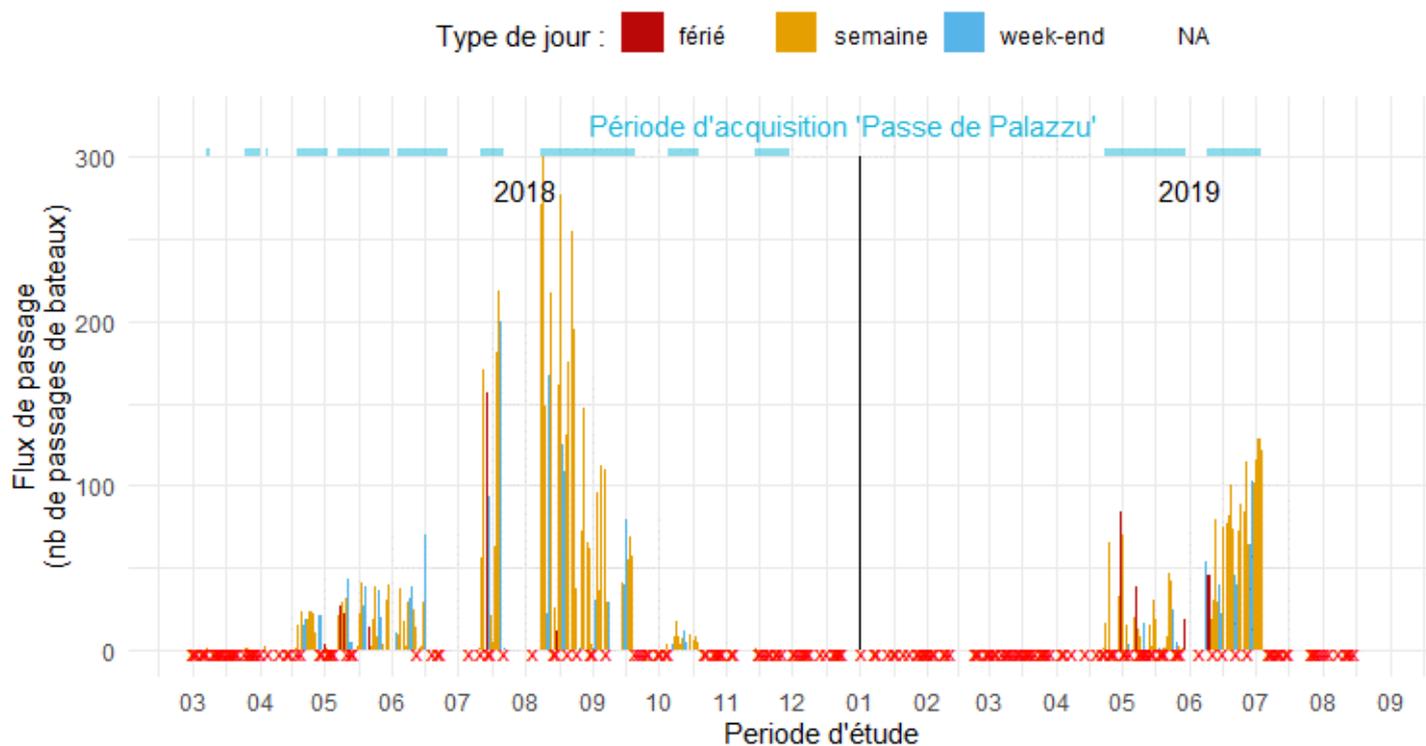


Figure 44. Photographie issue du DPDA de Gargalu le 09/08/2018 (17 embarcations comptées dans la passe de Palazzu).

Le flux mesuré pendant le mois de septembre (39.3 ± 38.1 passages en moyenne par jour) n'est pas significativement différent de ceux des mois d'avril, mai et juin. La fréquentation chute totalement en octobre avec 6.7 ± 4.6 passages par jour significativement différent des autres mois suivis (Tukey $p < 0.001$).

Tout comme pour l'analyse du mouillage dans la baie d'Elbu, le vent est un facteur qui conditionne significativement le flux de passage dans la passe de Palazzu. La

fréquentation est naturellement plus importante lorsque la météo est calme (Tukey, $p < 0.001$). Le type de jour (jours ouvrés, week-end, jours fériés) n'est pas un facteur



important pour l'évaluation du flux de la passe de Palazzu.

Figure 45. Variation de la fréquentation dans la passe de Palazzu.

La grande majorité des embarcations observées sont motorisées (92%, semi-rigides et vedettes à moteur confondus). Ce sont elles qui peuvent potentiellement causer le plus de dérangement vis à vis du bruit de leur moteur souvent plus puissant que ce des voiliers. Les voiliers correspondent à 7% des observations.

En tenant compte de l'ensemble du jeu de données, il est possible de distinguer 2 périodes de fortes affluences au cours de la journée (Figure 46). Un premier flux, le plus important de la journée, est observé entre 11:00 et 12:00 avec un grand nombre d'embarcations motorisées traversant la passe de Palazzu. L'intensité du flux de passage diminue de moitié en début d'après-midi, puis un second pic est observé entre 15:00 et 16:00. La variation du flux de passages des voiliers est moins importante, mais ces deux pics journaliers sont tout de même visibles. Une différence est également observée entre la haute saison et la basse saison. En haute saison, le pic matinal est largement supérieur au flux de passage observé en fin de journée, alors que les deux pics sont quasiment équivalents en basse saison (mais beaucoup moins de passages y sont observés).

L'analyse du sens de la direction de navigation indique qu'il y a plus de bateaux traversant la passe en direction du sud de la Réserve (55%) que d'embarcations qui vont en direction du nord (Figure 46). Aucune différence dans les sens d'aller et venue n'est observée en fonction des heures de la journée. Pour les deux sens de navigation, les deux pics de flux de passages sont observés aux alentours de 12:00 puis vers 16:00.

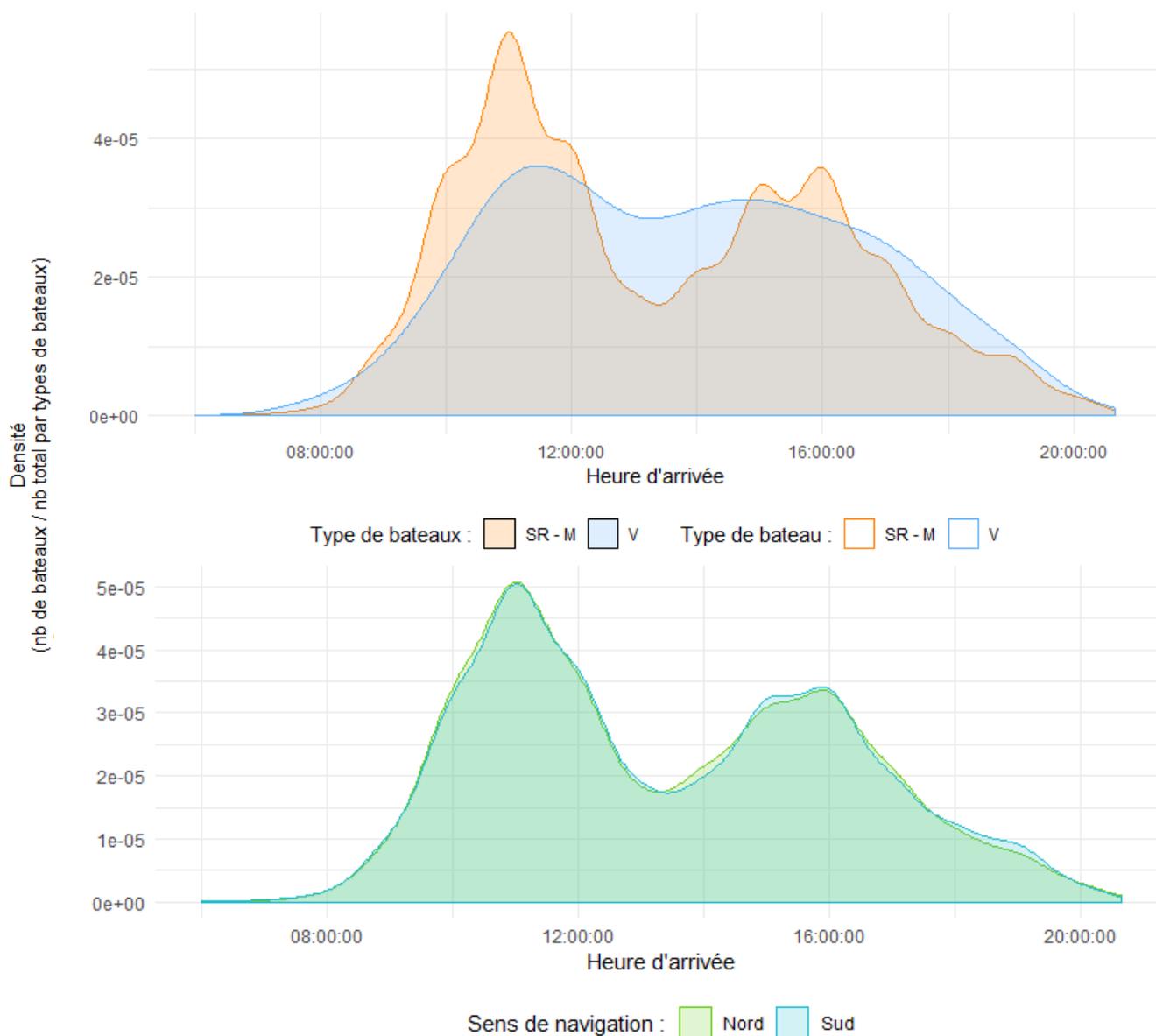
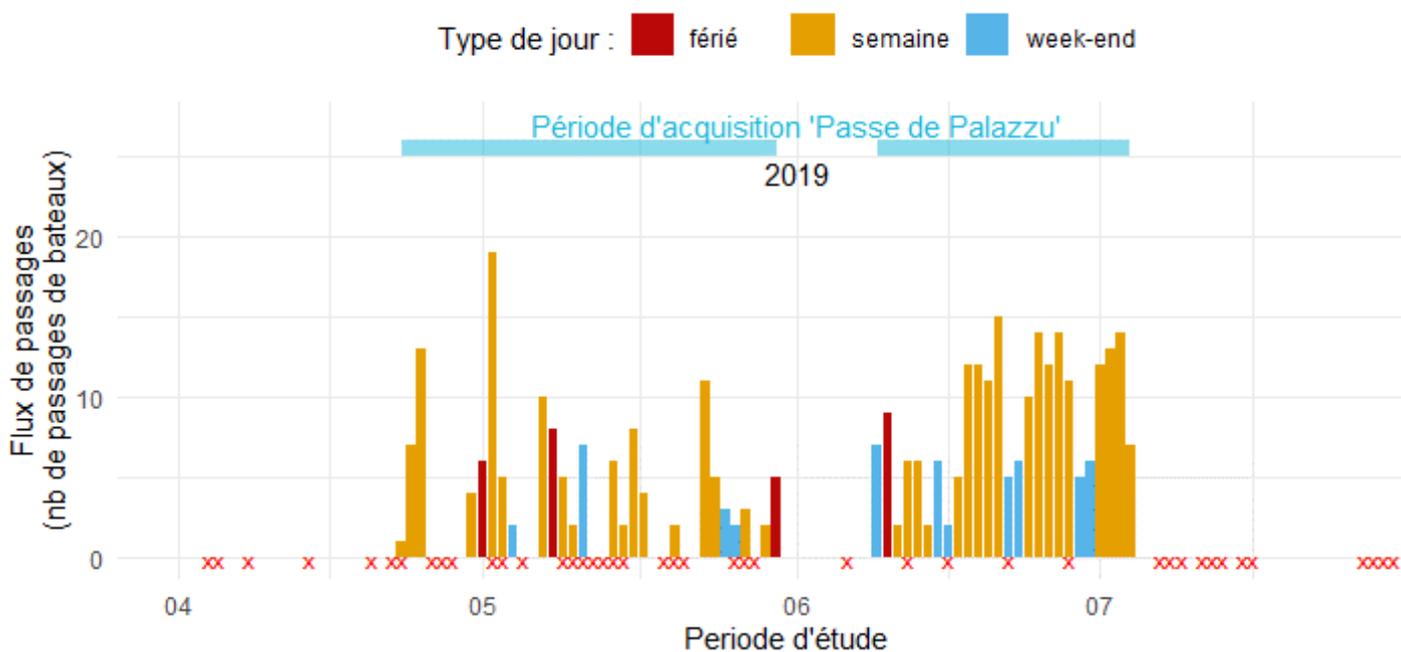


Figure 46. Distribution du nombre de passage dans la passe de Palazzu en fonction de l'heure et en fonction des types de bateaux (en haut) et du sens de passage (en bas).

Analyse des flux de passages des bateliers

L'évaluation des flux de passage des bateliers s'appuie uniquement sur les données de 2019, qui correspondent à 64 jours échantillonnés (Figure 47). Au moins 1 batelier a été observé dans 80% des jours échantillonnés. Un total de 366 passages de bateliers a donc été observé, faisant une moyenne de 5.7 ± 4.8 passages par jours. Cela correspond à 15% des passages observés dans la passe de Palazzu³.

Les nombres de passages sont plutôt réguliers lorsque les conditions météorologiques sont bonnes, avec une hausse de passages en période estivale. Le maximum observé



s'élève à 18 passages le 2 mai 2019 (pont du mois de mai).

Figure 47. Variation du nombre de passage de bateliers en 2019.

La courbe de répartition de l'activité journalière des bateliers indique une activité légèrement plus importante l'après-midi que le matin (Figure 48). Le pic matinal est plutôt observé aux alentours de 10:00, et correspond à une heure plus précoce que le pic matinal du nombre de passages total mesuré entre 11:00 et 12:00. La majorité des bateliers des ports environnants (Porto-Ota, Galéria), effectue 2 à 3 rotations par jour en période de fortes demandes. Cela coïncide avec ces pics de passages observés matin et après-midi.

³ Ceci correspond à une estimation basse puisque certains bateliers naviguant en semi-rigide ne sont pas facilement identifiables comparés à un autre usager.

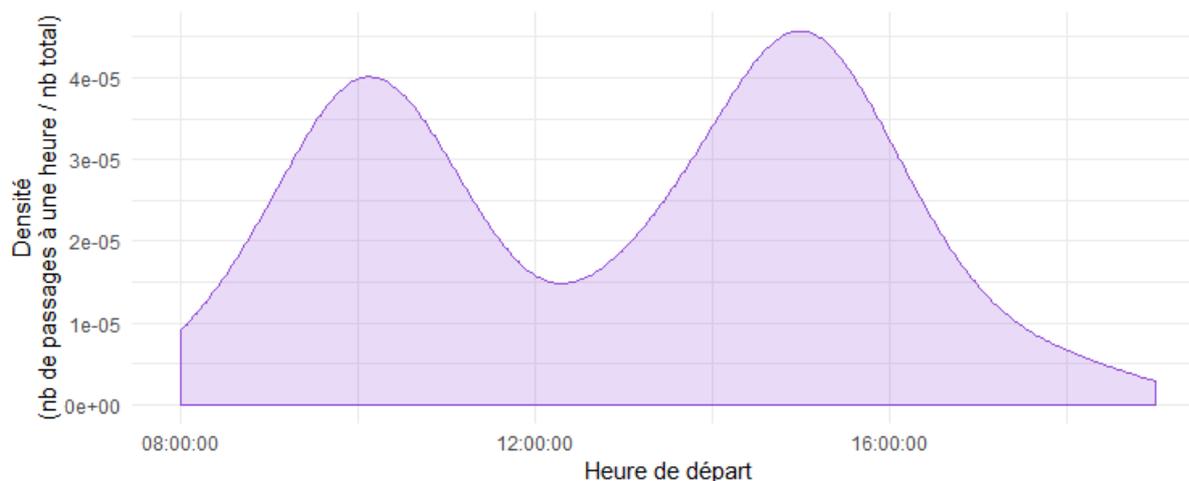


Figure 48. Distribution du nombre de passage dans la passe de Palazzu en fonction de l'heure et en fonction des types de bateaux (en haut) et du sens de passage (en bas).

Pratique des usagers vis-à-vis de la vitesse

L'analyse de la pratique des usagers de l'espace maritime au niveau de la passe de Palazzu a été réalisée sur l'échantillon de photographies prises en 2019. Pendant cette période, 2 470 embarcations ont été recensées. Parmi elles, 20% ont été définies comme naviguant à grande vitesse dans la passe de Palazzu, proche de la côte. Ces chiffres doivent être lus comme une indication de la présence d'excès de vitesse concernant plusieurs catégories d'embarcations (vedettes à moteurs et semi-rigides concernant touristes et professionnels) malgré la surveillance assurée par les agents de la Réserve. Dans une démarche d'estimation du dérangement potentiel créé par le bruit des activités nautiques, ce paramètre doit être considéré.

3.2.6. Enquête de perception

3.2.6.1. Méthodologie

Conception du questionnaire et réalisation d'enquêtes

Des métriques d'opinion peuvent être utilisées en lien avec les objectifs de gestion (Pelletier *et al.*, 2011). Ces métriques viennent compléter les données précédentes en utilisant l'avis ou la perception des usagers pour évaluer un contexte, un ressenti et, le cas échéant, la nécessité de prise de mesures de gestion.

Les métriques de pratiques comme les métriques d'opinion sont collectées à partir d'enquêtes auprès des usagers. Elles contribuent à une meilleure connaissance des pratiques (et donc des pressions), mais aussi des usagers de la Réserve naturelle de Scandola. Elles permettent de construire des typologies d'usagers caractérisant la Réserve, elles aident à choisir les actions à mettre en place.

La perception des usagers rencontrés sur un site peut renseigner sur la capacité de charge d'une zone, par rapport au niveau de bien-être ressenti par ces usagers et de tolérance envers d'autres catégories d'usagers. Par exemple, les plaisanciers au mouillage perçoivent et tolèrent un certain niveau de dérangement par les autres plaisanciers (pollution visuelle, sonore, manque de quiétude, etc.). Elle peut renseigner sur la façon dont les plaisanciers évaluent leur propre impact et celui des autres usages sur le milieu. Cette enquête a été construite pour également définir les attentes du public lorsqu'il fréquente le site d'étude. La perception et les pratiques permettent indirectement de caractériser la fréquentation du site (typologie d'usagers). Ces métriques permettent aussi de définir les populations concernées.

Un questionnaire a été élaboré et traduit en anglais et en italien afin de compléter les métriques de pression par des métriques d'opinion et de pratiques des usagers pour bien définir la fréquentation (Annexe 1). Ce questionnaire aborde, à partir de questions simples, les thèmes suivants :

- la motivation de leur présence dans la Réserve, par rapport à d'autres zones alentours ;
- leur représentation de la RNS ;
- la durée de séjour sur le site (heures) ;
- le niveau de bien-être ressenti par les usagers ; perception de la qualité de l'environnement, perception de l'impact des différentes catégories d'usagers sur le milieu ;
- leur évaluation subjective de la fréquentation, les conflits d'usages ressentis.

Des questions supplémentaires utiles à la gestion telles que la connaissance de la réglementation générale sont également posées. Chaque enquête est complétée par des renseignements sur le type et la taille du bateau, le port d'attache, le nombre de personnes à bord, la catégorie socio-professionnelle, le lieu de résidence, et pour les personnes ne résidant pas dans la région, des informations relatives à leur venue.

L'objectif des enquêtes de perception est d'affiner la typologie des usages dans la RNS. Quels usages ? Où ? Et quand ? L'origine du public fréquentant le site, les raisons ayant motivé leur visite ? Leur perception de la fréquentation, des autres usagers ? Des signes de perception négative peuvent être le signal d'une trop grande fréquentation voire d'une saturation d'un site.

Les enquêtes de perception ont été réalisées au cours de l'été 2019 par les agents de la Réserve et le GIS Posidonie. Au total, 57 enquêtes ont été réalisées. Ce chiffre reste faible et un plus grand nombre d'enquêtes aurait été nécessaire pour pouvoir disposer d'une évaluation représentative des personnes fréquentant la Réserve. Les résultats présentés ci-après sont donc à prendre avec précautions et doivent être lus comme étant de grandes tendances générales.

Remarque : cette enquête de perception pourra être renouvelée ultérieurement (à la suite de l'étude) afin d'évaluer des changements de perception pour donner suite à d'éventuelles évolutions de la gestion et/ou des pressions mais encore avec des précautions puisque le nombre d'enquête de 2019 restera insuffisant pour bien caractériser la fréquentation. Le protocole de suivi proposé dans le cadre de cette étude est donc reproductible à intervalle de temps espacé si la RNS décide de le poursuivre ou de le renouveler dans quelques années.

Analyses statistiques :

Des Analyses de Correspondances Multiples (ACM) ont été réalisées pour les données issues des enquêtes de perception, en regroupant certaines questions par objectif : (i) analyse de la sortie du jour et (ii) perception de la connaissance et de la réglementation. Ce type d'analyse vise à résumer l'information contenue dans un grand nombre de variables (les réponses issues des questions de l'enquête), afin de faciliter l'interprétation des corrélations existantes entre ces différentes réponses, par la création de nouveaux axes de corrélation permettant une projection visuelle de l'information sous forme graphique. De façon générale, on considère que (i) des réponses représentées côte à côte sont corrélées entre elles, que (ii) les réponses opposées graphiquement (sur un axe donné) sont corrélées négativement entre elles, et que (iii) des réponses projetées de manière orthogonale sont indépendantes entre elles.

Une analyse préalable de chaque variable est effectuée afin de contrôler le nombre de réponses par modalité. En effet, l'ACM est sensible aux faibles effectifs. Dans ce cas précis, les modalités de faibles effectifs sont : soit regroupées, soit les individus sont totalement retirés de l'analyse et sont considérés comme des individus isolés. Les non-réponses (notées NA) ne sont pas prises en compte dans cette analyse. Au total, 11 individus (5 NA et 6 individus isolés) ont été retirés de l'ACM concernant l'analyse du type de sortie, et aucun individu isolé n'a été observé pour l'ACM concernant l'analyse de la connaissance de la réglementation. Les modalités 'Faible' et 'Modéré' ont été regroupés pour la question sur le rôle du statut de Réserve.

Les questions à choix multiples sont traitées en pondérant le poids de la réponse pour chaque individu si besoin. Techniquement dans la construction de l'ACM, la pondération des modalités de réponse doit être égale à 1 pour chaque réponse de chaque individu. Si une personne répond avec deux choix, chacune de ses réponses aura un poids de 0.5 ($0.5 \times 2 = 1$).

Les variables considérées comme illustratives (âge, situation professionnelle, lieu de résidence, taille et type de bateau, propriétaire ou non) ont été projetées a posteriori sur les graphiques, afin de voir si ces variables pouvaient structurer les groupes de réponses corrélés, sans influencer la représentation graphique de l'ACM.

3.2.6.2. Résultats

Profils des personnes enquêtées

Remarque : attention, les personnes enquêtées sont, dans la très grande majorité des cas, celles en charge des bateaux. Ces personnes peuvent être accompagnées de la famille et/ou d'amis dont les profils peuvent être différents (lieux de résidence, catégories socio-professionnelles, âges, etc.). Bien que la perception des personnes interrogées reflète un avis général, il est important de ne pas oublier que les profils de ces personnes ne correspondent pas tout à fait à l'ensemble des usagers qui fréquentent le site d'étude.

Les personnes interrogées pour cette étude, au cours de la saison estivale 2019, sont en grande partie non-résidentes en Corse puisque 26% déclarent venir de la région Sud et 32% d'autres régions françaises. La part de personnes résidant en Corse n'est que de 14%. Cette proportion est équivalente à la part des personnes étrangères (16%) et à celles n'ayant pas déclaré leur lieu de résidence (12%) (Figure 49). Ces personnes déclarent être des visiteurs réguliers de la Réserve (61%), et pour 19% il s'agit d'une première visite.

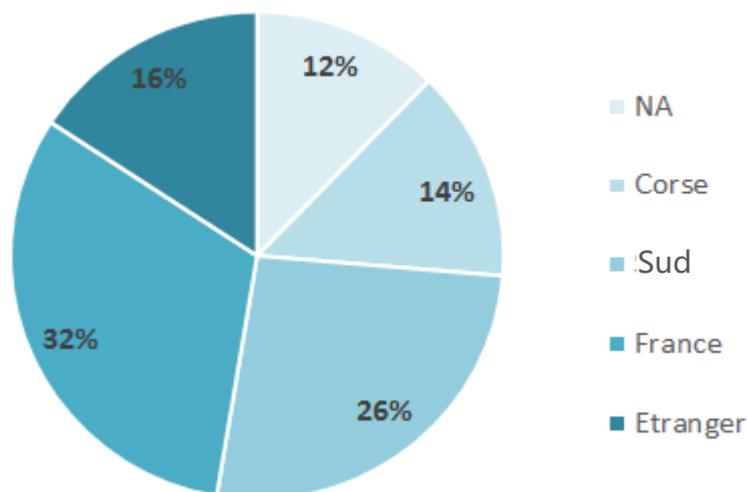


Figure 49. Lieu de résidence des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola.

Les situations socio-professionnelles des personnes interrogées sont variées (Figure 50) avec notamment la présence de retraités (23%), de cadres ou de personnes exerçant une profession intellectuelle supérieure (19%) et d'employés (11%). D'ailleurs les classes d'âge 46-60 ans et supérieur à 60 ans représentent toutes les deux un tiers des personnes interrogées. Les personnes dont l'âge est inférieur à 30 ans (5%) ou dont l'âge est compris entre 30 et 45 ans (11%) sont peu représentées dans le panel des enquêtés. La moyenne d'âge est de 54 ans (± 13 ans) et la médiane se situe à 58 ans.

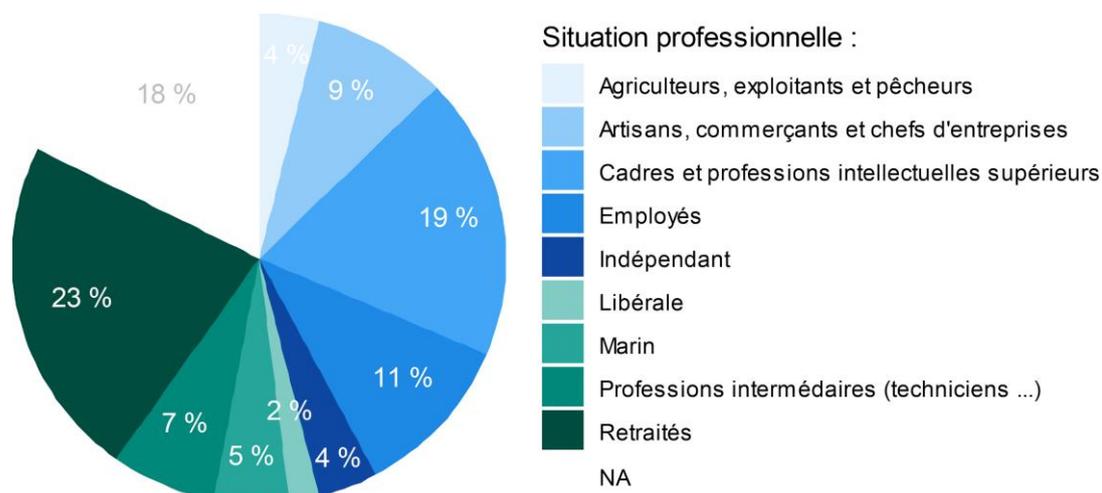


Figure 50 Catégories socio-professionnelles des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola.

Lors de leur séjour, peu de personnes interrogées séjournent dans des locations (2%), des campings (3%) ou des hôtels (5%). Dans le panel interrogé, une faible part dispose

d'une résidence secondaire (14%) et la majorité séjourne à bord du bateau (60%) ; 16% des personnes ne se sont pas prononcées.

Les personnes interrogées sont en grande partie propriétaires de leurs bateaux (63%) et peu sont locataires (32%). Elles naviguent à part équivalente soit en voilier, soit en vedette à moteur ou semi-rigides (Figure 51). Leurs bateaux sont plutôt des vedettes à moteur/semi-rigides de 7-10 m de longueur (21%), puis des voiliers de 7-10 m (18%), et de 10-15 m (18%). Peu de personnes naviguant sur des grosses unités (> 15 m), que ce soient des voiliers (4%) ou des vedettes à moteur/semi-rigides (4%), ont été enquêtées. Le public naviguant sur ce type de bateaux est plus difficile à approcher.

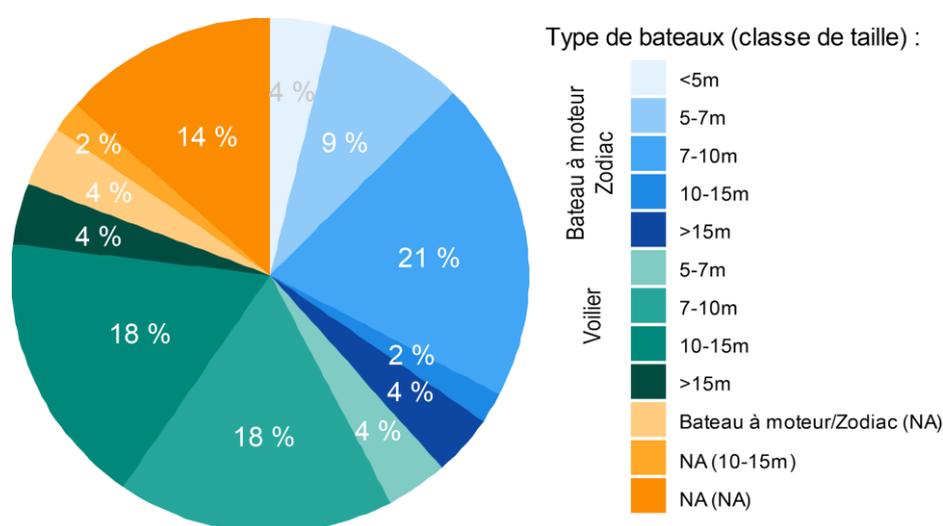


Figure 51. Type et taille des bateaux des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola.

Les enquêteurs ont majoritairement interrogé des personnes situées dans la Réserve (80%), plutôt dans la réserve partielle au Nord, entre Punta Nera et Punta Palazzu (zones 7 et 8) qui est la zone la plus fréquentée (Figure 52).

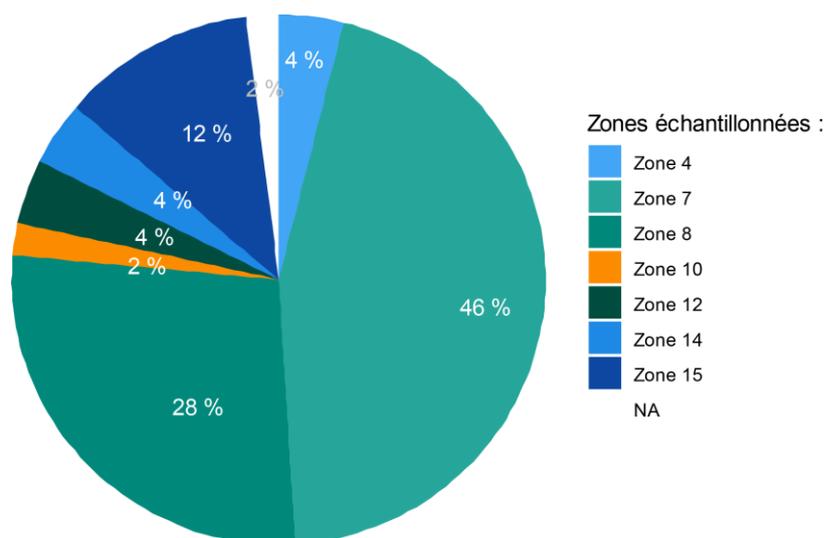


Figure 52. Répartition des enquêtes réalisées par zone dans la Réserve naturelle de Scandola.

Analyse de la sortie du jour

Les caractéristiques des sorties des plaisanciers interrogés sont des sorties plutôt à la journée voir plus (54%), et à un degré moindre à la demi-journée (32%). Les sorties de courte durée, autour d'une heure, ne représentent que 14%, ce qui est probablement dû à l'éloignement des ports de la côte. Les ports les plus proches sont ceux de Galéria (80 places + 110 bouées en Zone de Mouillage et d'Equipements Légers ; ZMEL) distant de 4.7 milles nautiques de la Punta Nera au Nord, et de Girolata (85 places + 73 bouées en ZMEL dont 33 postes pour navires entre 12 m et 20 m, interdit pour les navires plus grands) et Porto-Ota (150 places) distants respectivement de 3 milles nautiques et de 7.4 milles nautiques de la Punta Mucchilina (limite sud de la Réserve). Cet éloignement couplé à la présence de mouillages réputés comme celui de Girolata favorisent des sorties sur plusieurs jours. La moitié des personnes interrogées déclarent avoir passé la nuit précédente dans un mouillage ; l'autre moitié venant d'un port voisin.

L'Analyse des Correspondances Multiples basée sur les motifs de sortie et le choix du site projetés sur l'axe 1 (18.9% de la variabilité) et sur l'axe 2 (13% de la variabilité) permet de dessiner deux types de tendance de la fréquentation (Figure 53) aux profils caractéristiques (Figure 54). On peut distinguer d'une part (i) les personnes qui viennent dans la Réserve pour la journée afin de profiter des paysages et y prendre du repos. Ces personnes pratiquent le cabotage et passent plusieurs nuits au mouillage. Elles sont plutôt propriétaires de leurs bateaux et naviguent préférentiellement sur des voiliers, plutôt de grande taille (10-15 m). Ce sont des personnes étrangères ou venant du continent, majoritairement âgées entre 30 et 50 ans. D'autre part, on peut distinguer (ii) les personnes qui viennent dans la Réserve pour une courte durée, à la demi-journée,

depuis une marina, pour se baigner et pique-niquer. Ces personnes naviguent plutôt sur des bateaux de type vedette à moteur ou semi-rigide de petite taille (5-7 m). Il s'agit plutôt de personnes résidentes en Corse ou de personnes étrangères, certaines locataires et d'autres propriétaires du bateau. Pour les 2 tendances de fréquentation définies, toutes ces personnes fréquentent le site avant tout pour sa beauté (51%), du fait de la présence de la Réserve (17%) et pour sa tranquillité (16%).

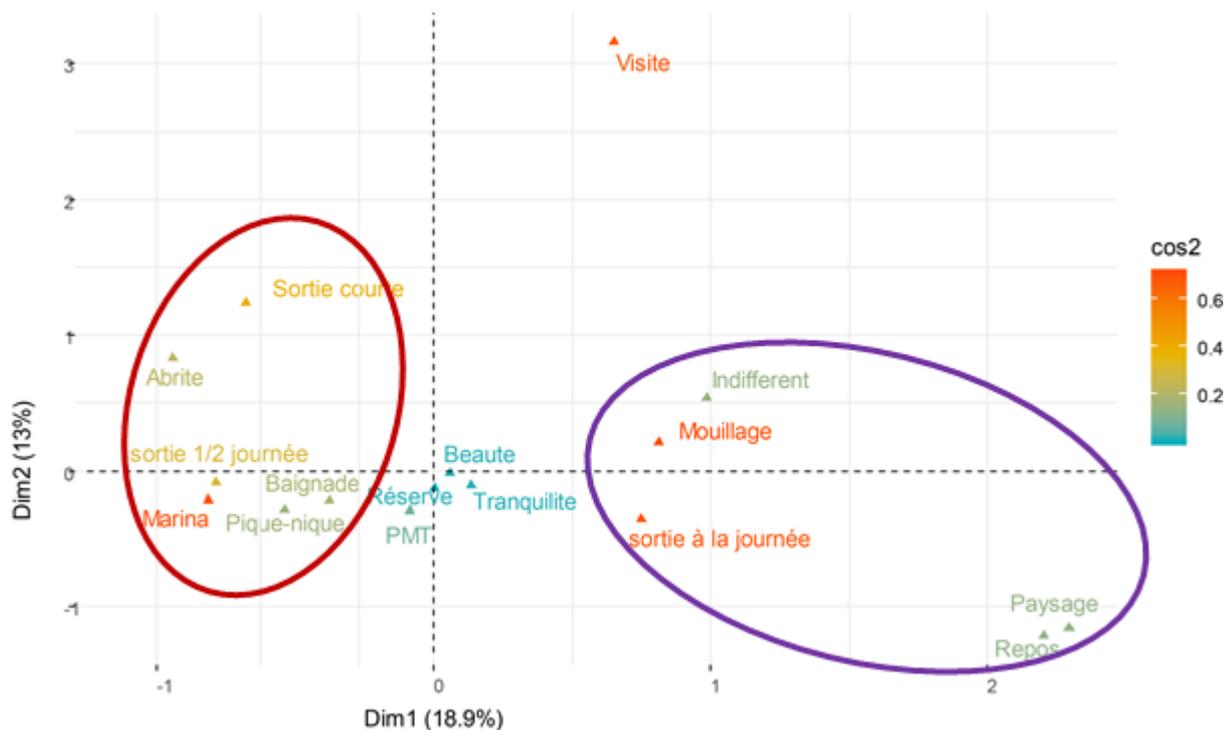


Figure 53. Analyse des Correspondances Multiples des motifs de sortie et de choix du site des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola ; cos2 : qualité de la projection de la variable sur l'axe (plus la valeur est élevée -rouge- plus la corrélation avec l'axe est forte).

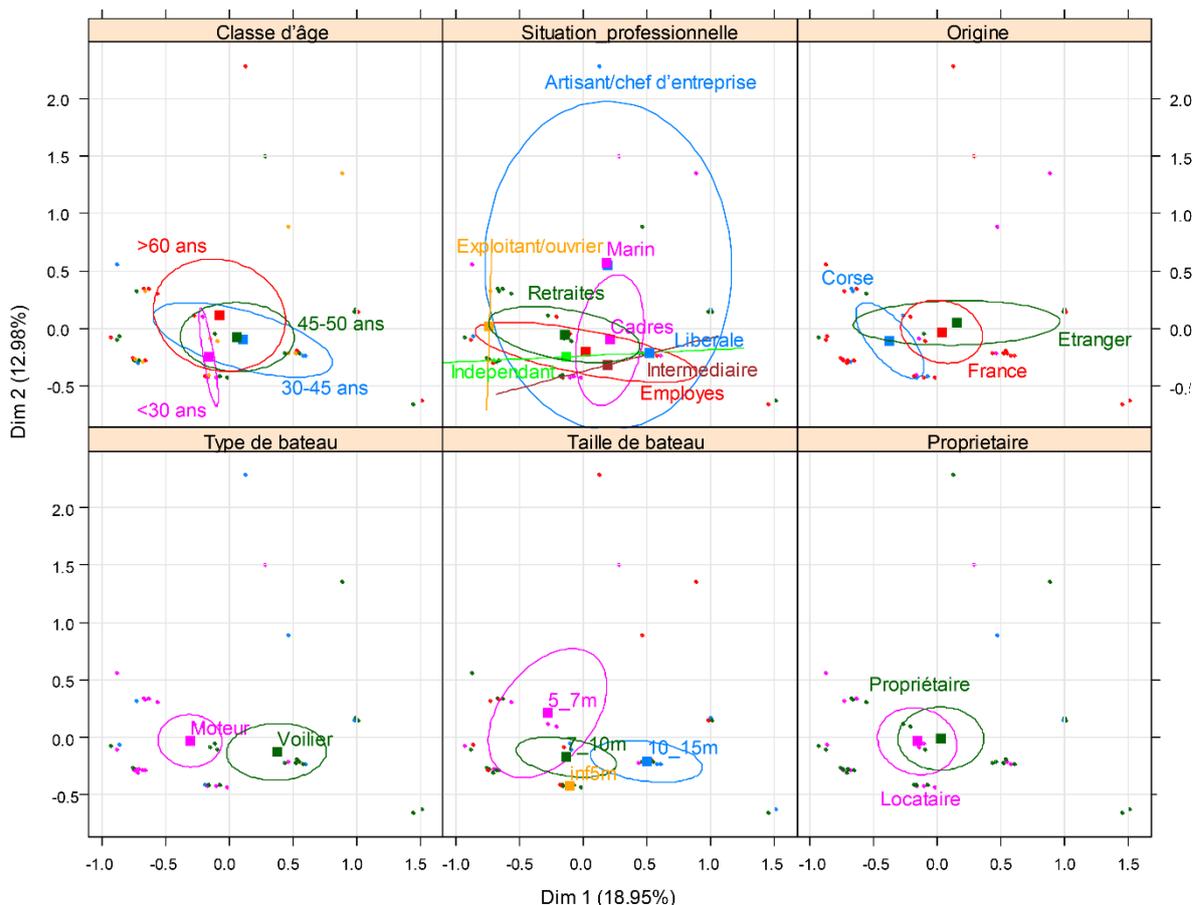


Figure 54. Variables illustratives de l'Analyse des Correspondances Multiples basée sur les motifs de sortie et le choix du site des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola.

Analyse de la perception de la connaissance de l'AMP et de sa réglementation

Le questionnaire d'enquête est composé d'une série de questions visant à recueillir la perception des usagers sur la RNS et la réglementation générale qui s'applique en mer. Étant doté d'un plan de gestion, ce questionnaire a aussi pour objectif de recueillir les avis des usagers sur les mesures de gestion en place. Cette analyse de la perception permet donc de faire un point sur les perceptions actuelles et de poser une base de référence qui va alimenter les discussions sur d'éventuelles évolutions et/ou la définition de nouvelles mesures de gestion, notamment dans le cadre du projet d'extension de la Réserve.

Le site de Scandola, classé Réserve naturelle depuis 1975 et site de l'UNESCO depuis 1983, est un site réputé et bien connu de tous ; 95% des personnes interrogées ont connaissance de son existence (5% non) et 74% indiquent être suffisamment informées

des objectifs de la Réserve, de ses actions et de sa réglementation (Figure 55). De façon générale, pour l'ensemble des personnes enquêtées (ayant ou non connaissance de l'existence de la Réserve), une Réserve est considérée avant tout comme un site protégé (52%) et un outil pour la sensibilisation (21%). Peu (2%) y voient une zone à la réglementation contraignante ou un outil de gestion pour gérer l'agrément de tous, et seulement 1% considère la Réserve comme étant d'abord un outil de gestion de la pêche.

La RNS possède une réglementation propre, les personnes ont donc été interrogées sur leur connaissance et leur perception de cette réglementation qui s'applique en mer et sur les activités réglementées comme la pêche ou la plongée sous-marine. Elles déclarent bien connaître la réglementation générale (84%), mais aussi celle qui concerne la pêche (96%), la plongée sous-marine (79%) et le mouillage (75%), un peu moins celle relative à la vitesse de navigation (65%) et à la pratique du bivouac (61%) (Figure 7). Pour 46% d'entre elles, ces réglementations sont bien respectées alors que 37% estiment le contraire (18% ne se sont pas prononcées). Ces réglementations semblent adaptées pour 79% des personnes interrogées, mais 16% les trouvent insuffisantes, 2% inadaptées et 1% strictes.

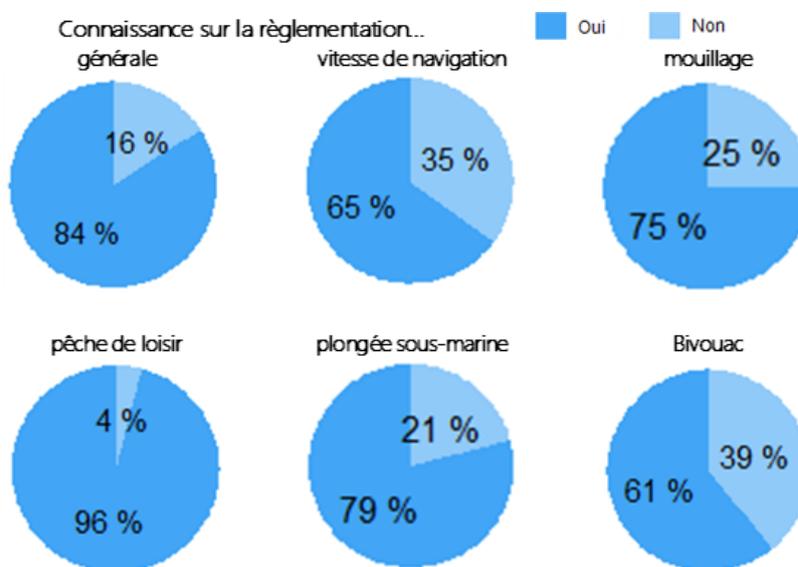


Figure 55. Connaissance des personnes interrogées sur les réglementations en mer dans la Réserve naturelle de Scandola.

Le statut de Scandola en tant que Réserve est un motif décisif dans le choix de venir dans ce lieu pour 67% des enquêtés, alors que 21% déclarent que l'influence est nulle

(Figure 56). Ces personnes viennent régulièrement dans la Réserve (61%), au moins une fois par an, alors que pour 19% il s'agissait d'une première visite ; 19% des personnes interrogées étaient en dehors du périmètre de la Réserve.

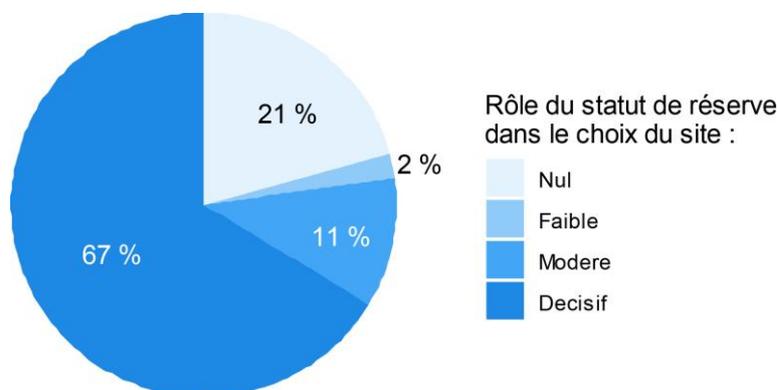


Figure 56. Influence du statut de Réserve naturelle de Scandola dans le choix de venue dans le site.

Dans ce site naturel, la plupart des personnes interrogées (58%) ne souhaitent pas d'aménagements particuliers, mais 32% d'entre elles en désirent tout de même (Figure 57). Leurs souhaits portent sur la mise en place de mouillages organisés et des poubelles flottantes, qui ne sont peut-être pas à encourager pour ne pas altérer la naturalité du site. Parmi les réponses, quelques personnes mentionnent le souhait d'installation de panneaux d'information ainsi qu'une présence plus accrue sur site des agents de la Réserve.

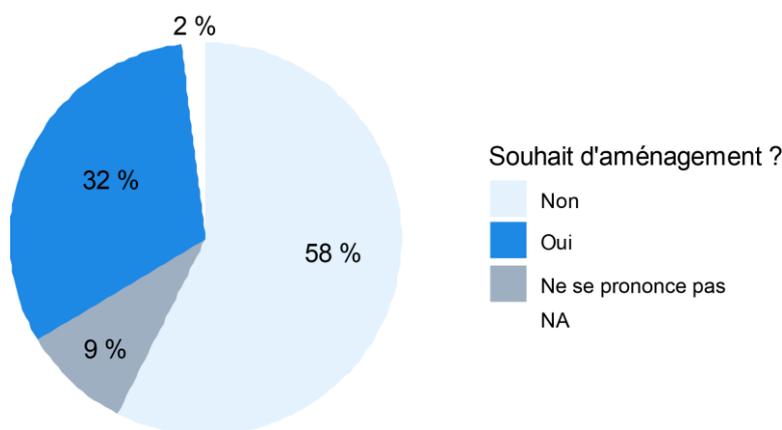


Figure 57. Souhaits formulés par les personnes interrogées sur de possibles aménagements dans la Réserve naturelle de Scandola.

La perception de la qualité du milieu sous-marin est évaluée auprès de personnes pratiquant la plongée libre (i.e. palmes-masque-tuba : PMT) car il s'agit d'une activité

devenue très populaire depuis plusieurs années ; les trois quarts des personnes interrogées déclarent pratiquer cette activité. Ces personnes ont globalement une perception similaire des fonds marins de la Réserve, à savoir des eaux propres et claires, une riche biodiversité et la présence de beaucoup de poissons avec tout de même la présence de déchets notamment des plastiques. Toutefois, quelques personnes indiquent y trouver des eaux moins claires et y observer moins de poissons qu'il y a quelques années. En termes d'évolution de la qualité du milieu marin, 30% des personnes interrogées et pratiquant la plongée libre indiquent ne pas voir de changements, là où 23% trouvent que la qualité du milieu se dégrade et 17% au contraire qu'elle s'améliore (Figure 58).

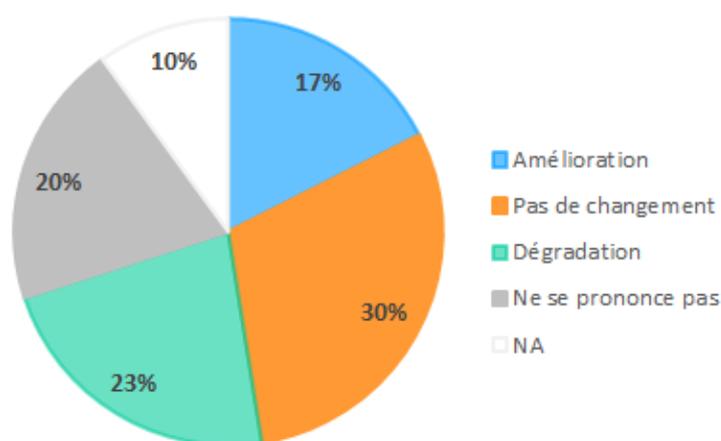


Figure 58. Perception de l'évolution temporelle de la qualité du milieu marin de la Réserve naturelle de Scandola.

L'Analyse des Correspondances Multiples basée sur les variables relatives à la connaissance de la Réserve et de la réglementation projetée sur l'axe 1 (16.7% de la variabilité) et sur l'axe 2 (12.3% de la variabilité), permet de dessiner deux types de perception (Figure 59) pour lesquels l'absence de corrélations marquées ne permet pas de définir un profil (Figure 60). Tout d'abord (i) les personnes qui viennent régulièrement dans la Réserve, du fait de son statut protégé, et qui déclarent connaître la réglementation générale et celle liée au mouillage. Elles ne souhaitent pas d'aménagements sur le territoire de la Réserve mais plutôt davantage de sensibilisation car elles estiment que la réglementation n'est pas bien respectée, et (ii) les personnes qui visitent la Réserve pour la première fois et qui ne connaissent ni la réglementation générale, ni celle du mouillage. Elles ne pratiquent pas la plongée libre.

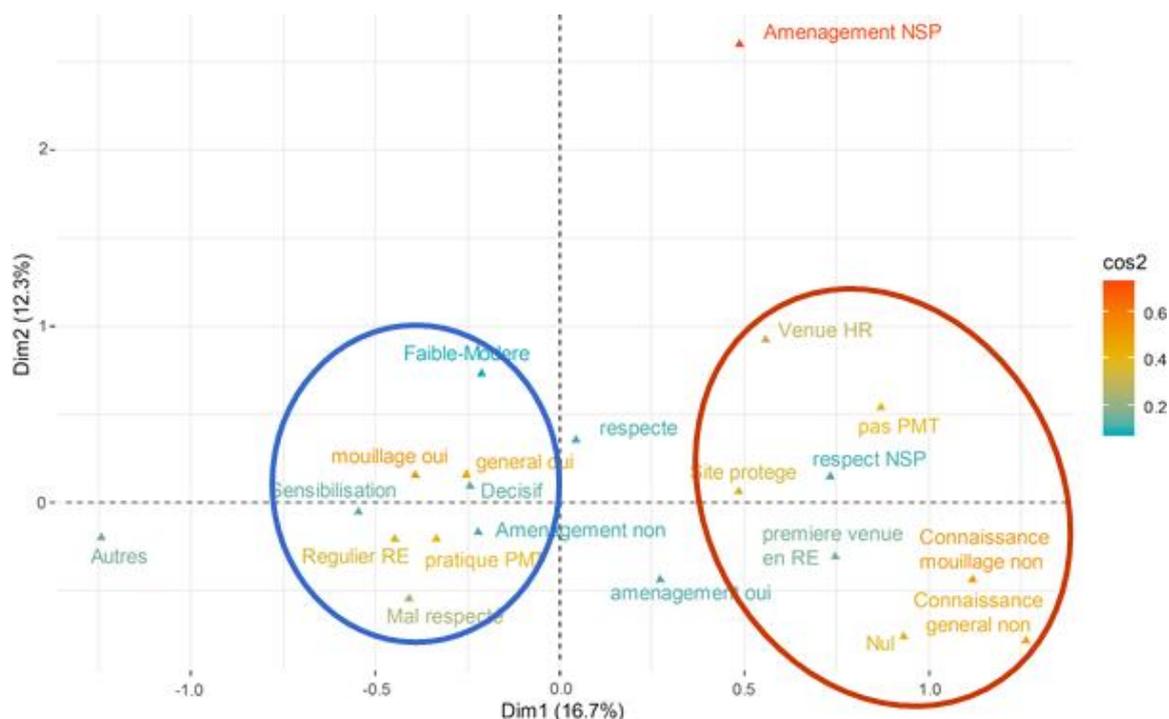


Figure 59. Analyse des Correspondances Multiples de la connaissance de la Réserve Naturelle de Scandola et de la réglementation des personnes interrogées lors des enquêtes ; cos2 : qualité de la projection de la variable sur l'axe (plus la valeur est élevée -rouge- plus la corrélation avec l'axe est forte).

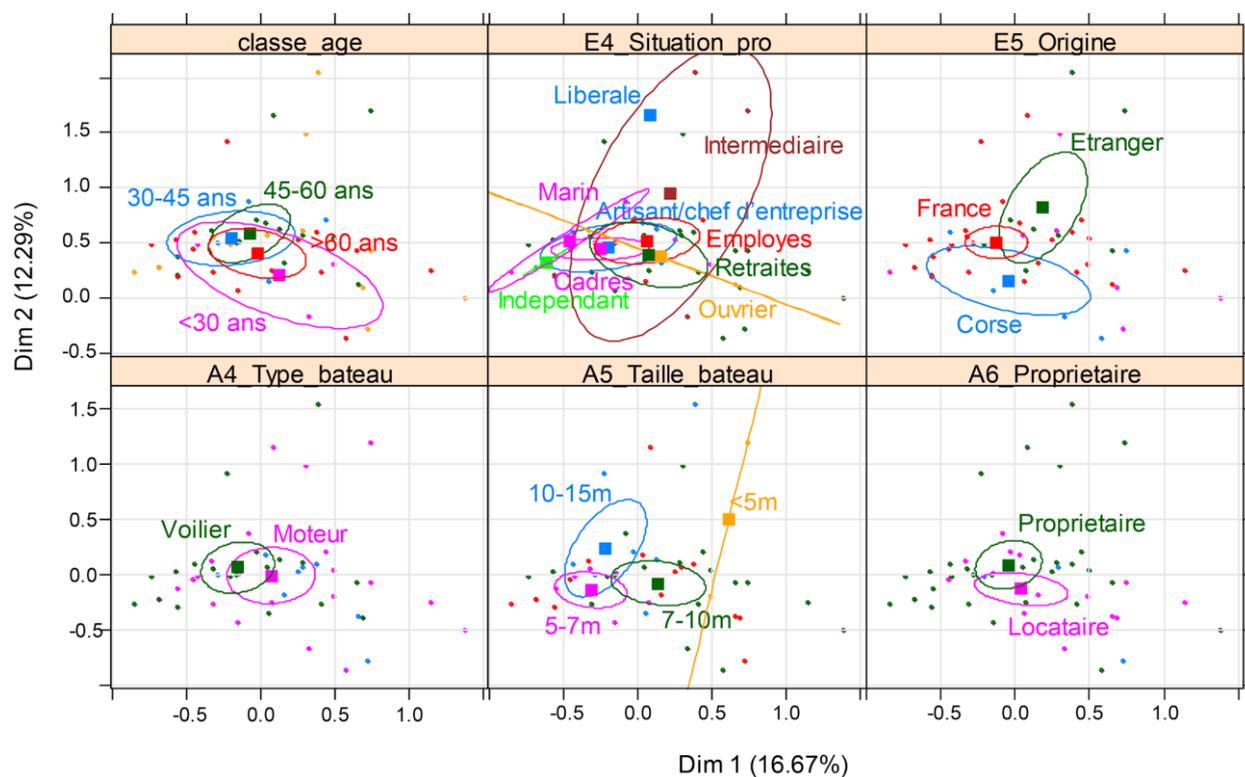


Figure 60. Variables illustratives de l'Analyse des Correspondances Multiples basée sur les motifs de sortie et le choix du site des personnes interrogées lors des enquêtes dans la Réserve naturelle de Scandola.

Perception de l'effet de la Réserve

La présence de la RNS depuis plus de 40 ans influence fortement la perception du site sur la qualité des écosystèmes ainsi que sur les différentes activités socio-économiques qui y sont liées.

De manière générale, ces personnes perçoivent des effets positifs voir très positifs sur les écosystèmes (respectivement 33% et 65%), l'économie locale (respectivement 49% et 42%) et la pratique de leur propre activité (respectivement 53% et 30%).

Toutefois, quelques personnes (4%) perçoivent un effet négatif à la fois sur leur activité et sur l'économie locale.

Nuisances et conflits d'usages

La fréquentation d'un site et le développement d'une multitude d'activités engendrent des nuisances et des conflits entre usagers. Ces questions sont récurrentes dans les aires marines protégées, et la définition des actions de gestion doit en tenir compte afin de garantir l'acceptation et le succès de leurs mises en place.

Les nuisances les plus importantes, pour les personnes interrogées, sont en premier les activités des bateliers excursionnistes (36%), suivi de la fréquentation du site (26%). Le bruit ou l'agitation du plan d'eau lors des passages des bateaux est une nuisance exprimée par 8% des personnes enquêtées. Les activités de pêche professionnelle, même si elles sont pratiquées très tôt en été (L. Le Diréach comm. pers.), gênent 8% de ces personnes. La présence de déchets en mer, aujourd'hui très répandue dans le Monde, est mentionnée par 10% des personnes enquêtées (Figure 61).

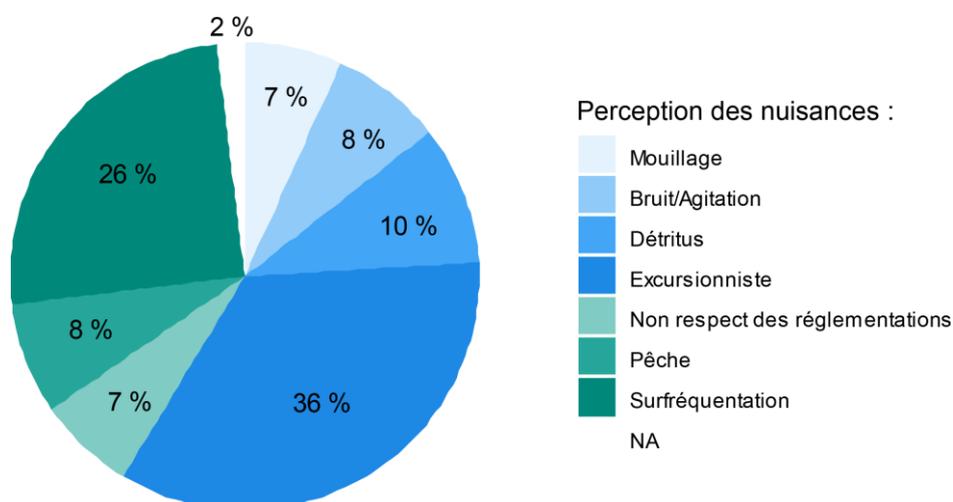


Figure 61. Proportions des principales nuisances ressenties dans la Réserve naturelle de Scandola par les personnes interrogées.

Globalement sur le site, les personnes interrogées déclarent leurs relations avec les autres usagers bonnes ou inexistantes, si ce n'est avec les jet-skis où les relations sont plutôt conflictuelles (33%). En plus des chiffres présentés sur la Figure 62, même s'ils témoignent de peu de conflits, les commentaires critiques recueillis permettent aussi de déterminer les perceptions qu'ont les uns sur les autres. Certaines personnes interrogées pensent que les bateliers excursionnistes "ne respectent pas les règlements" et qu'ils "font trop de bruit". Concernant les pêcheurs professionnels, elles pensent qu'ils "signalent mal leur filets" et qu'ils ne sont "pas contents lorsque l'on passe à côté d'eux". Enfin, les jet-skis, qui constituent la population générant le plus de conflits avec les autres usagers, sont caractérisés par un grand nombre de critères comme "dangereux", "trop rapide", "ne respectent pas la réglementation" ou encore "trop bruyants". De fait, les jet-skis ne sont pas autorisés dans l'ensemble de la Réserve.

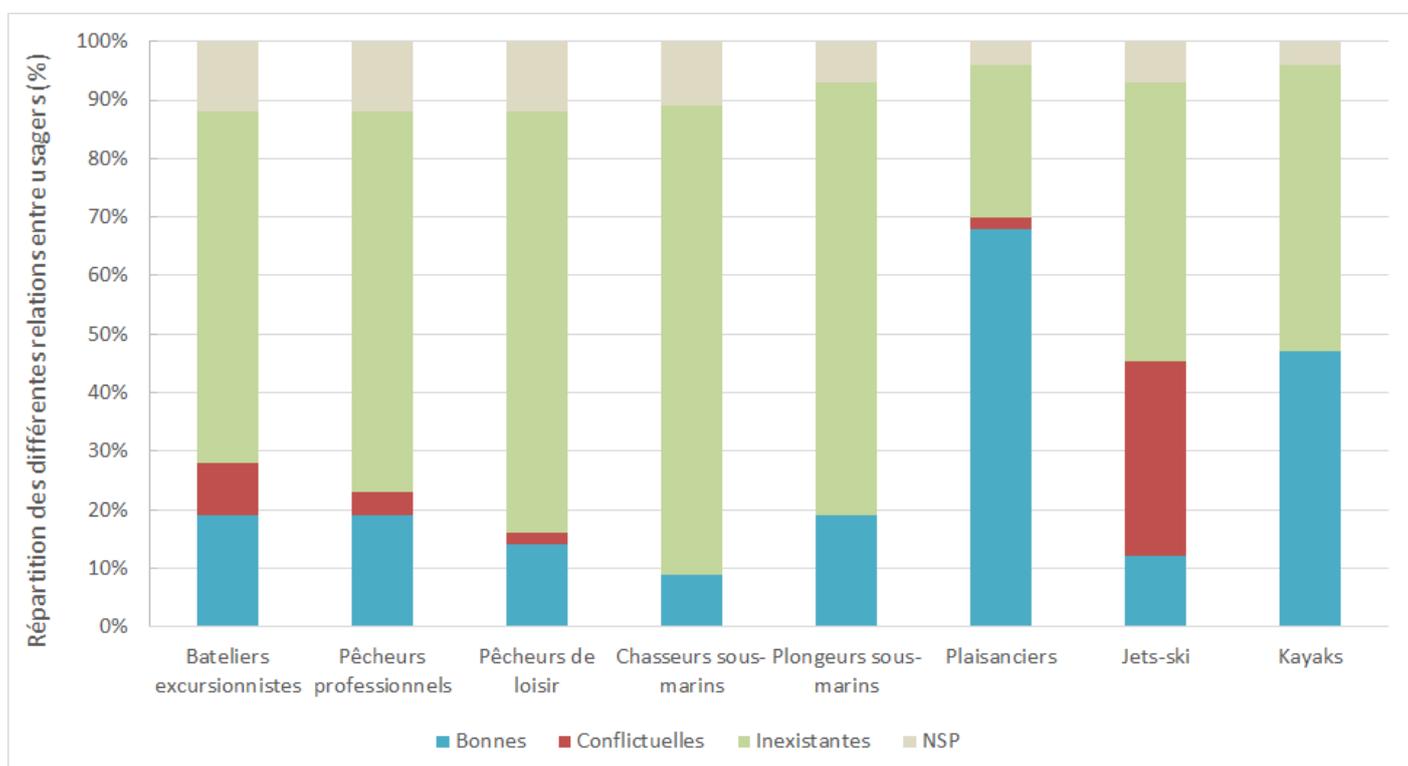


Figure 62. Qualité des relations entre usagers perçue dans la Réserve naturelle de Scandola.

4. Evaluation de l'impact du mouillage sur l'herbier de posidonie

En avril, août et octobre 2018, des descripteurs permettant d'évaluer l'impact du mouillage et la qualité de l'écosystème herbier à *Posidonia oceanica* ont été collectés en plongée sous-marine.

4.1. Zone d'étude

Les zones de mouillage de bateaux de plaisance se situent le plus souvent dans des zones abritées où l'herbier de posidonie peut se développer. C'est le cas dans la Réserve naturelle de Scandola. La marina d'Elbu et la calanque de l'Imbuttu sont les deux sites les plus fréquentés par la plaisance au sein de la RNS (cf. 3.2).

L'incidence du mouillage sur l'herbier peut être double :

- une dégradation physique mécanique liée à la pose de l'ancre et de sa chaîne ;
- une dégradation chimique de la qualité de l'eau liée aux rejets d'eaux grises ou noires des bateaux habitables non équipés de cuve de récupération ;
- une dégradation acoustique liée au bruit de chaîne.

Le mouillage de nuit est interdit dans la Réserve, limitant ainsi les pressions. Cependant, les pressions de mouillage peuvent être importantes en journée, physique par l'action mécanique des ancres et chimique par le rejet d'eau noires ou grises, en particulier pendant la haute saison touristique. Le croisement des différentes méthodes d'évaluation de la fréquentation a permis d'obtenir une évaluation précise de l'intensité et de la localisation de la pression physique liée au mouillage. Le passage de l'évaluation de la pression à l'évaluation de l'impact se fait en recherchant des signes tangibles de la relation entre la pression et la réaction des différents compartiments de l'écosystème à *Posidonia oceanica*. Cependant, le mouillage n'est pas la seule activité qui exerce des pressions sur l'herbier. D'autres pressions anthropiques et naturelles peuvent agir en synergie et conditionnent également la vitalité de l'herbier.

Dans ce contexte, une évaluation de l'impact physique du mouillage sur l'herbier de posidonie avant et après la saison estivale a été réalisée sur les sites de la marina d'Elbu, la calanque de l'Imbuttu, la passe de Gargalu et la calanque de Gattaghja (Figure 63).

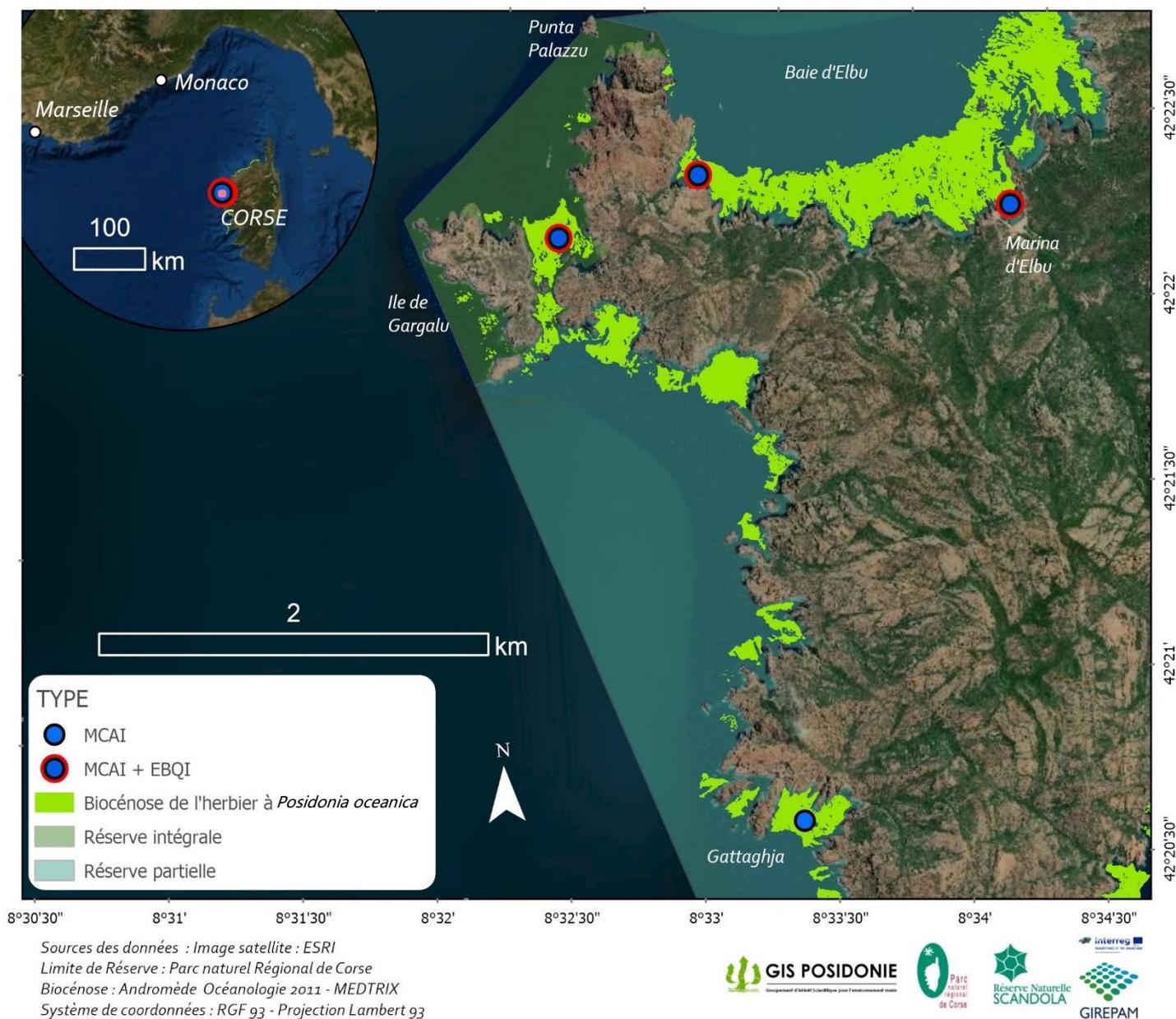


Figure 63. Localisation des stations d'étude de l'herbier de posidonie MCAI et EBQI.

4.2. Principe et mesure du MCAI sur l'herbier de posidonie

L'évaluation de l'impact du mouillage sur l'herbier de posidonie a été estimée à partir du calcul du MCAI (Multi-Criteria Anchoring Index ; Rouanet *et al.*, 2012 et 2013) qui résulte de la combinaison de 9 descripteurs (Tableau IV) :

- (1) le recouvrement de l'herbier ;
- (2) la densité de faisceaux de posidonie ;
- (3) le déchaussement des rhizomes de posidonie ;
- (4) la proportion de rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier ;
- (5) les densités de rhizomes arrachés ;
- (6) la compacité de la matte (Figure 64. Compacimètre utilisé pour la mesure de la compacité de la matte dans l'herbier.) ;
- (7) le morcellement de l'herbier ;
- (8) la densité de nacres vivantes ;
- (9) la proportion de nacres cassées/mortes.



Figure 64. Compacimètre utilisé pour la mesure de la compacité de la matte dans l'herbier.

Tableau IV. Liste des descripteurs permettant le calcul du MCAI.

Descripteurs	Pondération	Méthode d'évaluation
(1) Recouvrement de l'herbier (%)	3	30 mesures par station à l'aide d'un quadrat de 30 cm x 30 cm
(2) Densité de faisceaux de posidonie	2	20 mesures par station à l'aide d'un quadrat de 20 cm x 20 cm
(3) Déchaussement des rhizomes de posidonie	1	30 mesures par station de la hauteur d'un rhizome dépassant le substrat dans l'herbier.
(4) Rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier	2	3 fois 10 mesures par station de la proportion de rhizomes plagiotropes (croissance horizontale) et orthotropes (croissance verticale)
(5) Densité de rhizomes arrachés	3	Comptage le long de 10 transects de 10 m x 1 m des rhizomes arrachés
(6) Compacité de la matre	2	30 mesures par station à l'aide d'un compacimètre (piquet muni d'un poids permettant de mesurer de façon standardisée l'enfoncement du dispositif dans la matre)
(7) Morcellement de l'herbier	1	15 transects de 10 m x 1 m, à chaque changement (sable, matre morte, herbier vivant, etc.), la distance sur le transect est notée à 10 cm près).
(8) Densité de nacres vivantes	1	30 transects de 10 m x 1 m. Les nacres sont recherchées le long des transects à l'aide d'une pige de 1 m de long. Chaque nacre est mesurée (hauteur hors sol et largeur maximale)
(9) Proportions de nacres cassées/mortes	3	30 transects de 10 m x 1 m. Sur les mêmes transects que pour le descripteur précédent, les nacres mortes et cassées sont annotées.

La valeur moyenne de chaque descripteur est ensuite classée selon une échelle de 0 à 3 (0 : médiocre, 1 : moyenne, 2 : bonne) (Tableau V). Un facteur de pondération (entre 1 et 3) est attribué à chaque descripteur en fonction de leur importance vis-à-vis de l'analyse de l'impact du mouillage (e.g. le recouvrement et la proportion de nacres cassées ont une pondération de 3 alors que le déchaussement et la densité de nacres vivantes ont une pondération de 1).

$$MCAI = \sum_{i=1}^9 (D_i \times P_i)$$

D : valeur du descripteur i (0, 1 ou 2) ;

P : facteur de pondération du descripteur i (1, 2 ou 3) ;

i : descripteur variant de i = 1 à 9.

En additionnant l'ensemble des descripteurs, on obtient une valeur (MCAI) comprise entre 0 et 36. On considère les notes globales supérieures à 25 comme bonnes, entre 25 et 15 comme moyennes et inférieures à 15 comme mauvaises. En divisant le total par 36, on obtient une note entre 0 et 1.

Tableau V. Correspondance entre la valeur des descripteurs et leur note, facteur de pondération et source ayant permis d'établir ces correspondances.

Descripteurs	Pondération	Note			Source
		0	1	2	
Recouvrement (%)	3	< 40%	40-80%	> 80%	Charbonnel <i>et al.</i> (2000)
Densité de rhizomes (nb fais. /m ²)	2	Mauvais	Moyen-Médiocre	Bon-Très Bon	Pergent (2007)
Déchaussement (en cm)	1	> 20 cm ou < 1 cm	15-20 cm ou 1-5 cm	5-15 cm	Charbonnel <i>et al.</i> (2000)
Rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier (%)	2	> 30%	11-30%	0-10%	Boudouresque <i>et al.</i> (2006)

Descripteurs	Pondération	Note			Source
		0	1	2	
Densité de rhizomes arrachés (pour 100 m ²)	3	> 200	100-200	< 100	Rouanet <i>et al.</i> (2012)
Compacité de la matte (en cm)	2	> 90 cm	30-90 cm	< 30 cm	Poulain (1996)
Morcellement de l'herbier (nombre d'intermatte par 10 m)	1	> 5	3 à 5	< 3	Rouanet <i>et al.</i> (2012)
Densité de nacres vivantes (pour 100 m ²)	1	< 1	1 à 5	> 5	Rouanet <i>et al.</i> (2012)
Proportion de nacres cassées (%)	3	> 30%	10-30%	< 10%	Rouanet <i>et al.</i> (2012)

4.3. Evaluation de la qualité de l'écosystème Herbier à *Posidonia oceanica*

L'EBQI (Ecosystem-Based Quality Index ; Personnic *et al.*, 2014 ; Ruitton *et al.*, 2017) est un indicateur mis au point par l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO, UMR CNRS-Aix-Marseille Université-IRD) pour répondre aux objectifs de la Directive Cadre Stratégie Milieu Marin (DCSMM), afin d'évaluer la qualité des habitats selon une approche écosystémique. Contrairement à d'autres indicateurs, plus simples, qui permettent d'évaluer uniquement l'état de la structure de l'habitat (cas des indices PREI et BiPo pour l'herbier de posidonie ; Gobert *et al.*, 2009 ; Lopez y Royo *et al.*, 2010), l'EBQI considère l'écosystème dans son ensemble en évaluant directement ou indirectement l'ensemble des compartiments de l'écosystème sur la base d'un schéma conceptuel du fonctionnement de l'écosystème (Figure 65).

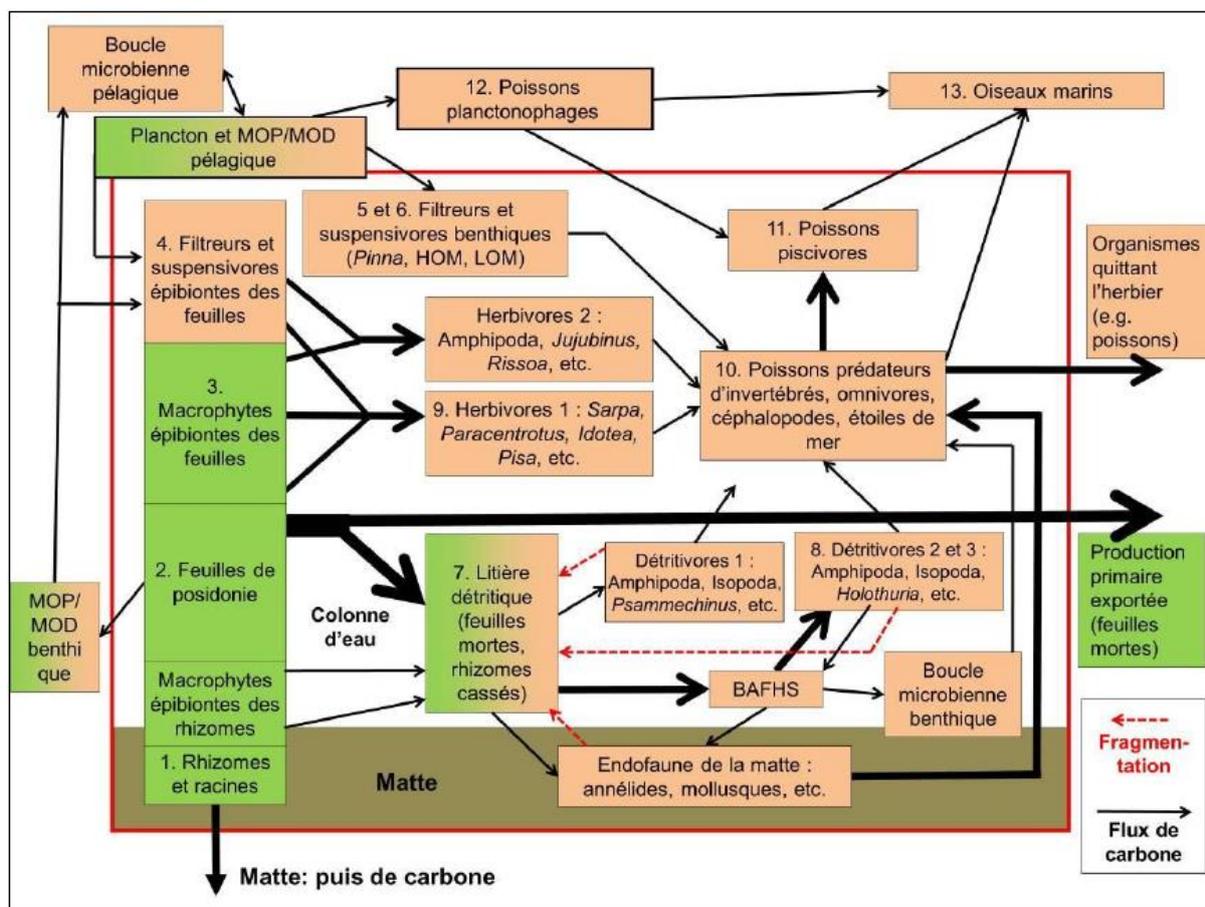


Figure 65. Modèle conceptuel représentant les compartiments fonctionnels intervenant dans le fonctionnement de l'écosystème 'Herbier à *Posidonia oceanica*' (d'après Personnic et al., 2014 et Ruitton et al., 2017).

Les descripteurs utilisés pour le calcul de l'EBQI sont évalués selon le protocole recommandé par Personnic *et al.* (2014). Les 13 compartiments mesurés sont présentés dans le Tableau VI.

Tableau VI. Descripteurs utilisés pour l'évaluation de l'EBQI sur l'herbier de posidonie.

Compartiments	Méthode d'évaluation selon Personnic <i>et al.</i> (2014)	Prof. (m)
---------------	---	-----------

Compartiments	Méthode d'évaluation selon Personnic <i>et al.</i> (2014)	Prof. (m)
1 - <i>P. oceanica</i> , racines et rhizomes	30 mesures aléatoires <i>in situ</i> (la croissance annuelle du rhizome correspondant à la longueur occupée par la base des 8 dernières feuilles). La croissance correspond à l'année antérieure à l'observation	15 m
2 - <i>P. oceanica</i> : feuilles	20 mesures aléatoires de la densité de faisceaux (quadrat de 0.16 m ²)	15 m
	30 mesures aléatoires du recouvrement	15 m
3 - Epiphytes producteurs primaires	Estimation de la biomasse épiphytique sur deux feuilles âgées de 30 faisceaux choisis aléatoirement	15 m
4 - Epiphytes filtreurs et suspensivores		
5 - filtreurs (<i>Pinna nobilis</i>)	Densité de <i>Pinna nobilis</i> le long de 20 transects de 10 m x 1 m de large	15 m
7 - Litière	Evaluation au sein de 5 quadrats aléatoires de 0.01 m ²	15 m
6 - Autres filtreurs	Abondance des filtreurs autres que <i>Pinna nobilis</i> mesurés au sein de 30 quadrats aléatoires de 1 m ²	15 m
8 - Détritivores	Abondance de <i>Holothuria</i> spp. mesurée au sein de 30 quadrats aléatoires de 1 m ²	
9 - Herbivores	Abondance de <i>Paracentrotus lividus</i> mesurée au sein de 30 quadrats aléatoires de 1 m ²	5 m
	Pourcentage de feuilles adultes et intermédiaires présentant une trace de consommation par <i>Sarpa salpa</i> , mesuré sur 30 faisceaux	5 m
10 - Prédateurs Téléostéens	Toutes les espèces de téléostéens sont dénombrées le long de 10 transects de 50 m de long et 2 m de large	15 m

Compartiments	Méthode d'évaluation selon Personnic <i>et al.</i> (2014)	Prof. (m)
11 – Piscivores Téléostéens		
12 – Planctonophages Téléostéens		
9-12 – Richesse spécifique relative de Téléostéens		
13. Oiseaux marins	Localisation des sites de nidification les plus proches de <i>Phalacrocorax</i> spp. et <i>Pandion haliaetus</i>	-

Un indice de confiance (IC) est attribué à chaque compartiment évalué. Cet IC est défini en fonction de la qualité de la donnée permettant l'évaluation d'un compartiment. L'IC est défini par le respect de la méthodologie préconisée, l'ancienneté de la donnée, le dire d'expert (Personnic *et al.*, 2014 ; Ruitton *et al.*, 2017).

Une fois les statuts de chaque compartiment définis, il est possible de calculer l'EBQI selon la formule suivante :

$$EBQI = \left[\frac{\sum_{i=1}^{13} (W_i \times S_i)}{\sum_{i=1}^{13} (W_i \times S_{max})} \right] \times 10$$

Avec : W_i est le facteur de pondération du compartiment i

S_i est le statut du compartiment i

S_{max} le statut maximal (= 4) d'un compartiment

i le numéro du compartiment (variant de 1 à 13).

La note finale obtenue est comprise entre 0 et 10, puis 5 classes d'état de l'écosystème sont définies dans le Tableau VII.

Tableau VII. Définition des classes en fonction de la note de l'EBQI.

EBQI	Etat de l'écosystème
> 7.5	Très bon
$6.0 \leq \text{EBQI} < 7.5$	Bon
$4.5 \leq \text{EBQI} < 6$	Modéré
$3.5 \leq \text{EBQI} < 4.5$	Faible
< 3.5	Médiocre

L'EBQI a été mesuré sur 3 stations d'herbier de posidonie, marina d'Elbu, calanque de l'Imbuttu et passe de Gargalu au cours du mois d'août 2018 (Figure 63).

4.4. Résultats et discussion

4.4.1. Mesure du MCAI

Les valeurs moyennes de chaque descripteur mesuré sur les 4 sites d'étude sont présentées dans le Tableau VIII.

Tableau VIII. Synthèse des résultats obtenus pour les différents descripteurs utilisés pour chaque station de mesure avant la saison estivale (avril) et après la saison (octobre).

Descripteurs de vitalité	Elbu		Imbuttu		Gargalu		Gattaghja	
	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18
Profondeur (en m)	8-10 m		8-10 m		8-10 m		8-10 m	
Recouvrement (%)	79	75	99	54	96	74	88	74
Densité de rhizomes (nb fais. /m ²)	648	753	399	565	348	599	363	531
Déchaussement (en cm)	1.5	5.4	2.6	7.5	3	8.1	9	8.1
Rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier (%)	12	18	9	5	10	3	4	8
Densité de rhizomes arrachés (pour 100 m ²)	17	96	1	58	0	7	66	49
Compacité de la matte (en cm)	21.4	21.5	15.2	15.1	13.2	18	23.1	23.8
Morcellement de l'herbier (nombre d'intermatte par 10 m)	3.7	3.9	3.2	5.9	3.1	4.5	3.1	3.9
Densité de nacres vivantes (pour 100 m ²)	0	0	0	0	0	0	0	0
Proportion de nacres cassées (%)	50	75	0	25	0	8	100	9

Les interprétations des résultats pour chaque descripteur mesuré sur les 4 sites sont présentées dans le Tableau IX. Un indice MCAI est alors calculé pour chaque station pour avril (avant saison) et octobre (après saison) 2018 (Tableau X).

Tableau IX. Note des descripteurs de vitalité de l'herbier de posidonie pour chaque station de mesure avant la saison estivale (avril) et après la saison (octobre).

Descripteurs de vitalité	Elbu		Imbuttu		Gargalu		Gattaghja	
	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18
Profondeur (en m)	8-10 m		8-10 m		8-10 m		8-10 m	
Recouvrement (%)	1	1	2	1	2	1	2	1
Densité de rhizomes (nb faiscs. /m ²)	2	2	1	1	1	1	1	1
Déchaussement (en cm)	1	2	1	2	1	2	2	2
Rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier (%)	1	1	2	2	2	2	2	2
Densité de rhizomes arrachés (pour 100 m ²)	2	2	2	2	2	2	2	2
Compacité de la matte (en cm)	2	2	2	2	2	2	2	2
Morcellement de l'herbier (nombre d'intermatte par 10 m)	1	1	1	0	1	1	1	1
Densité de nacres vivantes (pour 100 m ²)	0	0	0	0	0	0	0	0
Proportion de nacres cassées (%)	0	0	2	1	2	2	0	2

Tableau X. Evaluation du MCAI avant la saison estivale (avril) et après la saison (octobre) sur la base des notes attribuées à chaque descripteur et de leur facteur de pondération.

Descripteurs de vitalité	Poids	Elbu		Imbuttu		Gargalu		Gattaghja	
		avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18
Profondeur (en m)		8-10 m		8-10 m		8-10 m		8-10 m	
Recouvrement (%)	3	3	3	6	3	6	3	6	3
Densité de rhizomes (nb faiscs. /m ²)	2	4	4	2	2	2	2	2	2
Déchaussement (en cm)	1	1	2	1	2	1	2	2	2
Rhizomes plagiotropes au sein de l'herbier (%)	2	2	2	4	4	4	4	4	4
Densité de rhizomes arrachés (pour 100 m ²)	3	6	6	6	6	6	6	6	6
Compacité de la matte (en cm)	2	4	4	4	4	4	4	4	4
Morcellement de l'herbier (nombre d'intermatte par 10 m)	1	1	1	1	0	1	1	1	1
Densité de nacres vivantes (pour 100 m ²)	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Proportion de nacres cassées (%)	3	0	0	6	3	6	6	0	6
Note globale MCAI		21	22	30	24	30	28	25	28
Classe		Moyen	Moyen	Bon	Moyen	Bon	Bon	Bon	Bon
Note /1		0.58	0.61	0.83	0.67	0.83	0.78	0.69	0.78

Le MCAI mesuré en avant-saison (avril) et en après-saison (octobre) 2018 pour les 4 stations est qualifié de moyen à bon. La note varie de 21 à 30. Le résultat du calcul est le même entre l'avant et l'après saison pour toutes les stations à l'exception de celle de l'Imbuttu. Les différences observées sur l'Imbuttu sont attribuées à une baisse du recouvrement ainsi qu'à une augmentation du morcellement de l'herbier. Les stations de Gargalu et de Gattaghja se distinguent par un indice qualifié de bon, des stations d'Elbu et de l'Imbuttu avec un indice qualifié de moyen (à l'automne).

En raison de la mortalité importante de grandes nacres (100% en octobre ; Figure 66) en lien probable avec la présence d'un protozoaire pathogène (*Haplosporidium pinnae*; Catanese *et al.*, 2018), la pertinence des descripteurs concernant la grande nacre peut être remise en cause. Un MCAI a été calculé sans les descripteurs 'densité de nacres vivantes' et 'proportion de nacres cassées'. Les résultats sont présentés dans le Tableau X. Selon ce mode de calcul, l'indice est qualifié bon en avant-saison (avril) et moyen en après-saison (octobre), à l'exception de la station Elbu où l'indice est moyen aux deux saisons.



Figure 66. Grandes nacres *Pinna nobilis* mortes rencontrées dans l'herbier de posidonie.

Tableau XI. Evaluation du MCAI avant la saison estivale (avril) et après la saison (octobre) sur la base des notes attribuées à chaque descripteur et de leur facteur de pondération sans tenir compte des descripteurs concernant la grande nacre.

	Elbu		Imbuttu		Gargalu		Gattaghja	
	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18	avr-18	oct-18
MCAI sans descripteurs grandes nacres	20	21	23	21	23	21	24	21
Classe	Moyen	Moyen	Bon	Moyen	Bon	Moyen	Bon	Moyen
note / 1 sans descripteurs grandes nacres	0.67	0.70	0.77	0.70	0.77	0.70	0.80	0.70

En regardant les résultats des différents paramètres mesurés, quelques singularités sont à relever. La densité de faisceaux est nettement plus élevée en après-saison qu'en avant-saison, quelle que soit la station. Inversement, le recouvrement est nettement plus faible en après-saison en automne par rapport aux mesures effectuées en avant-saison au printemps (à l'exception de la station Elbu où le recouvrement est stable) ; le cycle foliaire annuel de la posidonie peut être à l'origine de ces différences d'observations. Le déchaussement est plus important en après-saison (à l'exception de la station Gattaghja), ainsi que la densité de rhizomes arrachés (là aussi à l'exception de la station Gattaghja). La compacité est particulièrement stable et varie très peu entre les deux saisons. Le morcellement de l'herbier est plus ou moins important en après-saison, l'augmentation du morcellement est davantage marquée sur la station de l'Imbuttu. Quant aux grandes nacres, aucun individu vivant n'a été rencontré. Dans la station Elbu, 50 à 75% des nacres mortes observées étaient cassées contre 0 à 8% dans la station Gargalu. En 2008, dans la marina d'Elbu, la densité de grandes nacres mesurée par Astruch *et al.* (2008) était comprise entre 0 et 7.5 individus par 100 m², jusqu'à 14 individus par 100 m² à l'échelle de la Réserve (Vicente, 2010)

4.4.1.1. Descriptifs par station

Station Elbu :

Située dans la Marina d'Elbu, site de mouillage important de la Réserve, cette station abrite un herbier de posidonie fortement conditionné par la dynamique hydro-sédimentaire (rivière de retour, tombants de matre, herbier de colline ; Figure 67). Cette station a été suivie dans un premier temps par Meinesz *et al.*, (1988) en 1984, puis plus récemment par Astruch *et al.* (2008) en 2008.

La plupart des paramètres mesurés à la fois en 2008 et 2018 sont du même ordre de grandeur (densité, recouvrement, déchaussement, morcellement). Le recouvrement de l'herbier est assez important (75-79%), la densité est plus élevée que dans les autres stations, le déchaussement est faible à moyen.

Les rhizomes plagiotropes sont plus abondants que dans les autres stations (12-18%). Peu de rhizomes arrachés ont été observés, avec une densité maximale en après-saison de 96 rhizomes/100 m².

La compacité de la matre est bonne et le morcellement de l'herbier est modéré. Les valeurs du MCAI sont faibles avec 21 et 22 points respectivement pour l'avant et l'après saison. Sans pouvoir conclure à un impact avéré du mouillage dans la station Elbu, la configuration particulière de l'herbier de la zone (hydrodynamisme, tombants de matre) explique les valeurs obtenues. Il s'agit d'un herbier présentant une bonne vitalité mais potentiellement vulnérable face aux pressions d'ancrage. Ce constat est cohérent avec celui présenté par Astruch *et al.* (2008).



Figure 67. Illustration de l'herbier de posidonie de la marina d'Elbu.

Station de l'Imbuttu :

Également située dans la baie d'Elbu, il s'agit d'un des sites les plus fréquentés par les bateaux de plaisance. L'herbier forme un recouvrement continu sur un fond meuble constitué de graviers et de galets traduisant un hydrodynamisme important dans la zone (Figure 68). La pente est relativement importante limitant la zone favorable au mouillage des bateaux. Alors que le recouvrement était de 99% en avant-saison, il n'était que de 54% en après-saison en raison d'une longueur moyenne des feuilles plus courte, laissant apparaître plus d'intermattes.

La densité est qualifiée de moyenne bien que plus importante en après-saison. Le déchaussement est également moyen et plus important en après-saison par rapport à l'avant-saison. Le taux de rhizomes plagiotropes dans l'herbier est très faible (5-9%) ainsi que la densité de rhizomes arrachés (58 rhizomes par 100 m² en après-saison).

La compacité de la matre est bonne. Le morcellement de l'herbier, assez faible en avant-saison (3.1 intermattes par 10 m) a quasiment doublé en après-saison (5.9 intermattes

par 10 m), ce qui est cohérent avec les résultats de recouvrement décrits précédemment. La proportion de nacres cassées est moindre que dans la station Elbu.

La valeur du MCAI est qualifiée de moyenne en après-saison alors qu'elle était bonne en avant-saison, en raison notamment de la baisse importante du recouvrement et de l'augmentation du morcellement de l'herbier. La pression du mouillage est moins importante dans la calanque de l'Imbuttu par rapport à la Marina d'Elbu en termes de nombre de bateaux (*cf.* 3.2), bien que la calanque de l'Imbuttu ait tendance à abriter des navires de plus grande taille dont l'impact de l'ancrage peut être plus grand. Un impact du mouillage n'est pas à exclure, en particulier dans les profondeurs jusqu'à 15-20 m, mais ne peut pas être affirmé à ce jour. Tout comme la Marina d'Elbu, les conditions hydrodynamiques locales rendent l'herbier plus vulnérable face à la pression d'ancrage.



Figure 68. L'herbier de posidonie dans la calanque de l'Imbuttu et un plongeur scientifique effectuant des mesures de densité au sein de l'herbier.

Station Gargalu :

Située dans la passe de Gargalu, cette station est en plein cœur de la réserve intégrale, où le mouillage y est strictement interdit. Cette station correspond donc à la station de référence du plan d'échantillonnage.

Comme pour la station de l'Imbuttu, le recouvrement, quasiment maximal en avant-saison (96%) diminue en après-saison (74%). Inversement, la densité, qui est moyenne, augmente entre l'avant et l'après-saison (de 348 à 599 faisceaux par m²).

Le déchaussement des rhizomes est moyen (compris entre 3.0 et 8.1 cm), les plagiotropes peu abondants (3-10%) et les rhizomes arrachés quasiment absents (7 pour 100 m² en après-saison contre 0 en avant-saison). L'herbier est légèrement plus morcelé en après-saison par rapport à l'avant-saison (respectivement 4.5 et 3.1 intermattes/10 m).

Malgré l'abondance de nacres mortes (jusqu'à 10 individus par 100 m² en après-saison), seulement 8% sont cassés. Les valeurs du MCAI sont les plus élevées de l'échantillonnage (30 en avant-saison et 28 en après-saison), traduisant un herbier de référence présentant une bonne vitalité et aucun signe d'impact lié au mouillage (Figure 69).

Les variations de recouvrement correspondent à la saisonnalité de la longueur des feuilles qui diminue le 'volume' de la canopée, induisant une estimation plus faible par rapport au printemps.



Figure 69. L'herbier de posidonie dans la passe de Gargalu, au sein de la réserve intégrale.

Station Gattaghja :

Il s'agit d'un site de mouillage localisé dans la partie sud de la Réserve, en zone de protection partielle. L'herbier de posidonie de la station de Gattaghja présente une bonne vitalité et un indice MCAI bon. La densité des faisceaux est néanmoins moyenne (la plus faible mesurée sur les quatre stations). Le déchaussement est moyen, la proportion de rhizomes plagiotropes dans l'herbier est faible (4-8%), ainsi que la densité de rhizomes arrachés (49-66 rhizomes par 100 m²). La compacité de la matte est bonne et l'herbier est modérément morcelé. Quant aux grandes nacres, les deux nacres mortes observées en avant-saison étaient cassées contre seulement 9% en après-saison (2 sur 11 individus). Ces résultats ne permettent pas de conclure à un impact avéré du mouillage à Gattaghja. Néanmoins, la structure de l'herbier, avec plusieurs intermattes déferlantes formant des tombants de matte localement jusqu'à 2 m de hauteur, peut paraître vulnérable face à une pression d'ancrage. Plusieurs blocs de matte ont été observés effondrés à la base des tombants (Figure 70). Il serait intéressant d'évaluer la densité de bateaux présents au cours de la saison estivale dans cette zone.



Figure 70. L'herbier de posidonie dans la calanque de Gattaghja présentant des rhizomes et des blocs de matte arrachés, ainsi que des grandes nacres cassées.

4.4.2. Mesure de l'EBQI

Les sites d'étude sont tous les 3 classés en état 'modéré', avec des notes de 5.65, 4.85 et 5.12 respectivement à Elbu, Gargalu et Imbuttu (Tableau XII). Ces notes plutôt homogènes sur l'ensemble des stations, sont le résultat d'une certaine hétérogénéité de l'état des différents compartiments au sein de chaque station. En effet, de très bons scores sont obtenus dans les compartiments mesurant l'état des rhizomes, des racines et des feuilles de posidonie, ainsi que les compartiments relatifs aux poissons planctonophages omnivores et à la diversité spécifique des sites. *A contrario*, on relève un mauvais état du compartiment "filtreur benthique *Pinna nobilis*", lié notamment à la mortalité observée de grandes nacres (*cf.* 4.4.1), et des compartiments poissons piscivores et poissons zooplanctonophages. Aucune grande différence au niveau des compartiments n'est observée entre les sites, bien que les statuts de protection soient différents. On peut tout de même noter que l'indice de broutage par les saupes est plus faible à l'Imbuttu (noté 2) qu'à Elbu et Gargalu (noté 4). Ces résultats sont cohérents avec ceux de Francour (1991), sur les assemblages de poissons de l'herbier de posidonie. En effet, l'auteur démontre qu'il n'y a pas d'effets marqués du niveau de protection sur le peuplement de poissons de l'herbier dans la RNS. Cependant, les notes sont plus faibles que l'évaluation présentée par Personnic *et al.* (2014) (station Gargalu : EBQI = 5.7).

Tableau XII. Valeurs et classes des descripteurs permettant l'évaluation de l'EBQI sur les 3 stations d'herbier de posidonie ; IDC = Indice de Confiance.

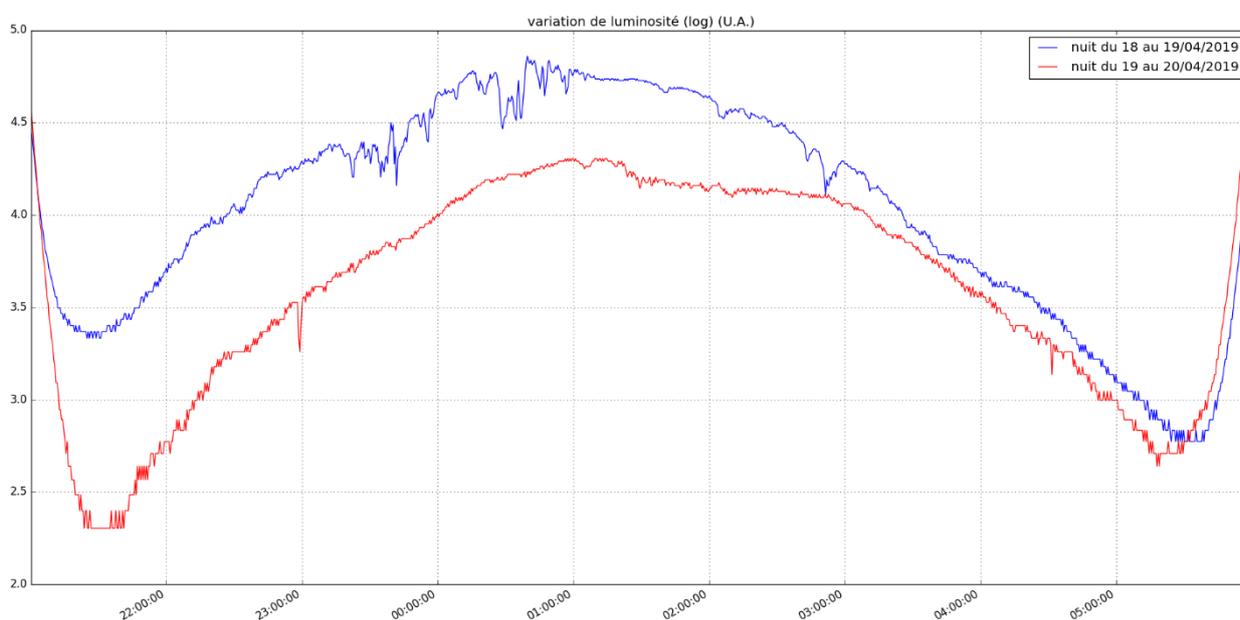
Paramètres mesurés	Elbu			Gargalu			Imbuttu		
	Mesure	Statut	IDC	Mesure	Statut	IDC	Mesure	Statut	IDC
Croissance annuelle du rhizome (mm/a)	17.5	4	4	14.37	4	4	11.1	4	4
Densité de faisceaux (feuilles/m ²)	641.56	4	4	475.62	3	4	427.81	3	4
Recouvrement de l'herbier de posidonie (%)	77	3	4	80	3	2	98	3	4
Biomasse sèche des épibiontes (g.MS/faisceau)	0.06	1	4	0.05	1	4	0.05	1	4
Densité de <i>Pinna nobilis</i> (individus/100m ²)	0	0	4	0	0	4	0	0	4
Densité des filtreurs HOM (High Organic Matter) (individus/m ²)	0.3	3	4	0.13	3	4	1.03	2	4
Densité des filtreurs LOM (Low Organic Matter) (individu/m ²)	2.47	2	4	1.57	2	4	3.37	2	4
Masse sèche de litière détritique (g.MS/m ²)	370	4	4	2218	4	4	1744	4	4
Densité d'holothuries (individus/10m ²)	1.33	4	4	0	1	4	0	1	4
Densité de <i>Paracentrotus lividus</i> (individu/m ²)	0.03	1	4	0	1	4	0.03	1	4
Indice de broutage de saupe (% feuilles)	49.33	4	4	40.15	4	4	79.61	2	4

Paramètres mesurés	Elbu			Gargalu			Imbuttu		
	Mesure	Statut	IDC	Mesure	Statut	IDC	Mesure	Statut	IDC
broutées)									
Biomasse des poissons prédateurs d'invertébré, omnivores, céphalopodes (kg.MH/100m ²)	0.6	2	4	0.32	1	4	0.65	2	4
Biomasse des poissons piscivores (kg.MH/100m ²)	0.04	0	4	0	0	4	0	0	4
Biomasse des poissons zooplanctonophages (kg.MH/100m ²)	0.11	0	4	0.26	0	4	0.76	2	4
Biomasse des poissons planctonophages omnivores (kg.MH/100m ²)	0.15	4	4	0.13	4	4	0.04	4	4
Indice spécifique de diversité (SRDI) (espèces/transect)	7.8	3	4	7.6	3	4	7.8	3	4
Distance au site de nidification <i>Phalacrocorax</i> spp. (km)	8	2	2	8	2	2	8	2	2
Distance au site de nidification <i>Pandion haliaetus</i> (km)	1	4	4	1	4	4	1	4	4
Note globale de l'EBQI		5.65 (modéré)	3.98		4.85 (modéré)	3.86		5.12 (modéré)	3.98

5. Etude de la luminosité sous-marine

Le suivi de l'intensité lumineuse sous-marine sert à appréhender une activité bioluminescente. Il peut également permettre de suivre l'évolution de l'intensité lumineuse au cours du suivi pour mettre en évidence des variations qui pourraient expliquer certains résultats (évolution de la couverture nuageuse, lune, etc.).

Le luxmètre a été positionné sur la station d'écoute sous-marine de l'Imbuttu. Il montre une phase forte avec le lever de la lune sur l'Imbuttu (Figure 71). Le masquage de rayon lunaire est visible (baisse locale). Dans tous les cas on ne mesure donc pas de



bioluminescence nocturne au pied des falaises de Scandola.

Figure 71. Diel diagramme de la luminosité relative des nuits du 18 avril et du 19 avril 2019 sur Imbuttu par -36m. Abscisse : le temps (h). Ordonnée : quantité relative de lumière en échelle log.

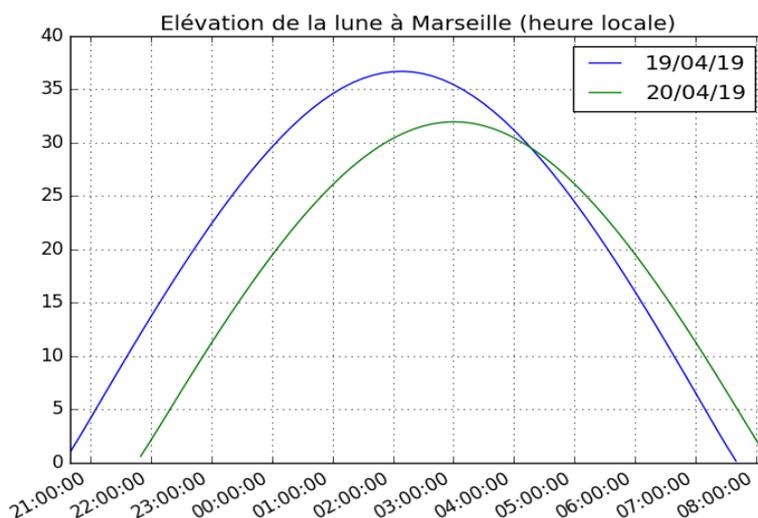


Figure 72. Elévation de la lune en degré. La pleine lune a eu lieu le 19/04 à 13h00.

6. Evaluation du paysage acoustique sous-marin

6.1. Introduction et rappel des objectifs

Les instruments, algorithmes et concepts des analyses qui sont conduites sur les données acoustiques enregistrées d'avril 2018 à avril 2019 sont présentées ci-dessous. À la suite des premières mesures (avril 2018), le LIS a complété le protocole initial en rajoutant de l'instrumentation non prévue de mesure acoustique terrestre afin de décrire les effets des bateaux sur le comportement vocal des balbuzards.

A partir de ces données acoustiques, notamment croisées entre terrestres et sous-marines, l'objectif sera de détecter les bateaux et leur mouvement (variation des délais d'arrivées du signal), d'analyser la production de bruit associé, le flux de bateaux et d'apporter des éléments de réponse aux questions suivantes :

- Quelles sont les comportements typiques les plus bruyants ?
- Quel est le niveau d'émission sonore durant la séance d'observation ?
- Quel est le niveau d'émission sonore à la remise des moteurs en quittant la zone d'observation ?



Figure 73. Le site de l'expérience, zone marine et falaise équipées d'instruments acoustiques.

6.2. Instrumentation de mesure acoustique sous-marine

Le passage répété de bateaux peut générer un bruit dont les incidences sur les communautés aquatiques sont inconnues. Ainsi, lors de la première mission en avril 2018, 2 dispositifs de caméras acoustiques passives (hydrophones à 4 voies, permettant une localisation de la source du bruit) qui permettent d'enregistrer à la fois les bruits d'origine anthropique (essentiellement le trafic maritime) et d'origine biologique (communautés benthiques, poissons, mammifères marins, etc.) ont été déployés (Tableau XIII). Les dispositifs ont été positionnés au niveau de deux secteurs très fréquentés : la passe de Palazzu, au niveau du rocher des orgues, et la baie d'Elbu. Un troisième dispositif aurait dû être déployé dans la baie de l'Imbuttu, mais un problème technique a empêché son installation. Une deuxième acquisition a eu lieu en août 2018, au cœur de la haute saison avec cette fois, les 3 dispositifs. De nouveaux enregistrements ont également été effectués lors d'une mission complémentaire en avril 2019 avec les 3 dispositifs, permettant ainsi de compléter les données d'avril 2018, correspondant aux périodes de basse fréquentation, et ainsi obtenir une plus grande quantité de données acoustiques.

Un dispositif acoustique est constitué d'une carte JASON, 4 voies, de piles, et de 4 hydrophones SQ26 sphériques à 10 kHz et haute sensibilité (Figure 74). La carte JASON enregistre à 200 kHz Fe 16 bits sur un disque dur de 1 To pour permettre une mesure fine des délais d'arrivée des signaux des moteurs des bateaux. La carte et les piles sont placées dans un caisson étanche cylindrique usiné spécialement pour l'étude, tandis que

les hydrophones sont positionnés au sommet de 4 tubes galvanisés servant de structure maîtresse (Figure 14) et formant une antenne acoustique.

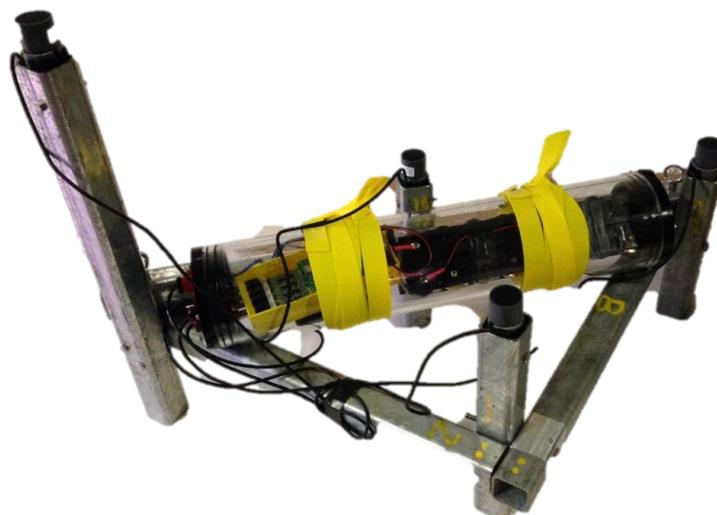


Figure 74. Dispositif acoustique sous-marin.

Tableau XIII. Bilan des enregistrements sous-marins durant les 2+1 sessions (avril et août 2018 et 2019). Certaines sessions ont subi des arrêts ou des pertes de données durant le transport des disques durs en bateau à la pose ou à la récupération (des chocs violents sur les disques durs en écriture ont endommagé des pistes) ; HDD = Disque dur, Fe = Fréquence.

<i>Date début</i>	<i>Date fin</i>	<i>Station</i>	<i>Nombre de fichiers</i>	<i>Durée enregistrement (h)</i>	<i>Nombre de voies x Fe</i>
19 avril 2018	23 avril 2018	Orgues	577	96	4 x 400 kHz
07 août 2018 (erreur HDD)	09 août 2018 (erreur HDD)	Orgues (erreur HDD)	330	48	4 x 400 kHz
07 août 2018	14 août 2018	Elbu	929	192	4 x 400 kHz
18 avril 2019	21 avril 2019	Orgues	385	84	3 x 100 kHz
18 avril 2019	21 avril 2019	Imbuttu	403	84	3 x 100 kHz
Total			2624	504	

Les dispositifs acoustiques ont été immergés du 18 au 25 avril 2018. Celui de la Marina d'Elbu a été immergé à 35 m sur un fond de sable, en limite de l'herbier de posidonie (42°22'27.6"N – 8°34'04.7"E) (Figure 77). Tandis que le second a été placé près du rocher des Orgues à 19.5 m (42°22'47.7"N – 8°33'05.4"E) (Figure 77). Entre le 9 et le 14 août 2018, 3 dispositifs ont, cette fois, pu être installés, dont le 3^e au large de la calanque de l'Imbuttu à 36 m de profondeur (42°22'24.4"N – 8°33'17.0"E), au-delà de la limite inférieure de l'herbier de posidonie.



Biocénoses

- Association de la matre morte de *Posidonia oceanica*
- Biocénose Coralligène
- Biocénose de l'herbier *Posidonia oceanica*
- Biocénose des algues infralittorales
- Biocénose des galets infralittoraux

- Fonds meubles circalittoraux
- Fonds meubles infralittoraux
- Acoustique sous-marine
- Réserve intégrale
- Réserve partielle

GIS POSIDONIE



Sources des données : Image satellite : ESRI
 Limite de Réserve : Parc naturel Régional de Corse
 Biocénoses : Andromède Océanologie 2011, METRIX
 Système de coordonnées : RGF 93 - Projection Lambert 93

Figure 75. Localisation des stations acoustiques sous-marines et illustrations des dispositifs.

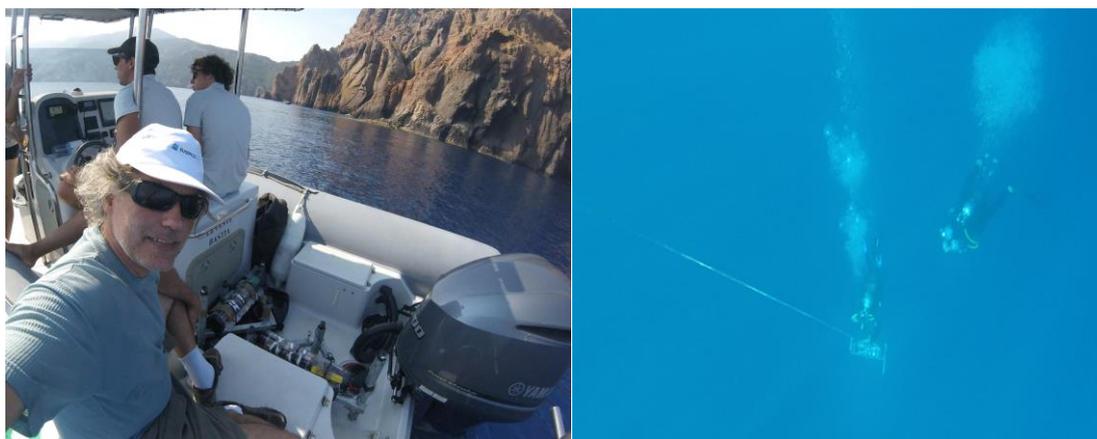


Figure 76. Transport et installation des tubes et station (visible sur le fond du zodiac).



Figure 77. Mesure du niveau du système acoustique du rocher des Orgues (gauche) et pose du système à Elbu à -35.8 m (droite).

Les tubes d'enregistrement multi-hydrophone ont été placés, comme spécifié dans le protocole, entre -30 m et -40 m suivant les points. Les premiers résultats de détection et de suivi de bateaux ont permis de vérifier que la fréquence d'échantillonnage est suffisante. Ainsi, il a été possible de la réduire sans perdre en précision afin d'augmenter la durée des plages temporelles d'enregistrement.

Pour présenter les méthodes, nous donnons l'exemple de la station d'Elbu en avril 2018, par -35.8 m. La thermocline se situe entre -20 m et -25 m, la température de l'eau à 20°C. La direction de l'axe H1 vers H3 est de 340°.

Les distances (cm) mesurées sur site entre les hydrophones sont :

- $d(1,2) = 46.0$ cm
- $d(1,3) = 71.8$ cm
- $d(2,3) = 40.3$ cm

Les coordonnées (cm) des hydrophones par rapport à un plan horizontal porteur du tube sont :

	x	y	z
H1	0	0	34
H2	34	-23	13.5
H3	675	0	9.2

avec une surface de la mer plane à + 35.8 m.

Les distances inter-hydrophones calculées sur cette base orthonormée sont :

- $d(1,2) = 45.9$ cm
- $d(1,3) = 71.9$ cm
- $d(2,3) = 40.8$ cm

6.3. Résultats

6.3.1. Détection des bateaux sur la série complète de l'été 2018

Dans un premier temps, les occurrences possibles d'un bateau sur l'ensemble des enregistrements, sont calculées à l'aide d'un filtre passe-bas avec une fréquence de coupure de 500 Hz permettant de visualiser l'énergie au fil du temps. Une énergie élevée indique la présence possible du bruit du bateau (Figure 78 et Figure 79).

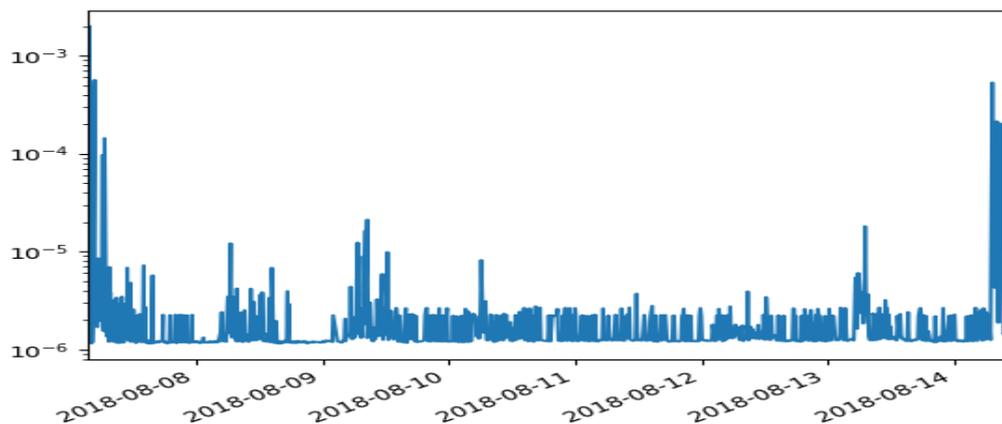


Figure 78. Détection des bateaux sur toute la période d'enregistrement (environ 8 jours) montrant les nombreux passages chaque jour entre le 8 août et le 14 août 2018.

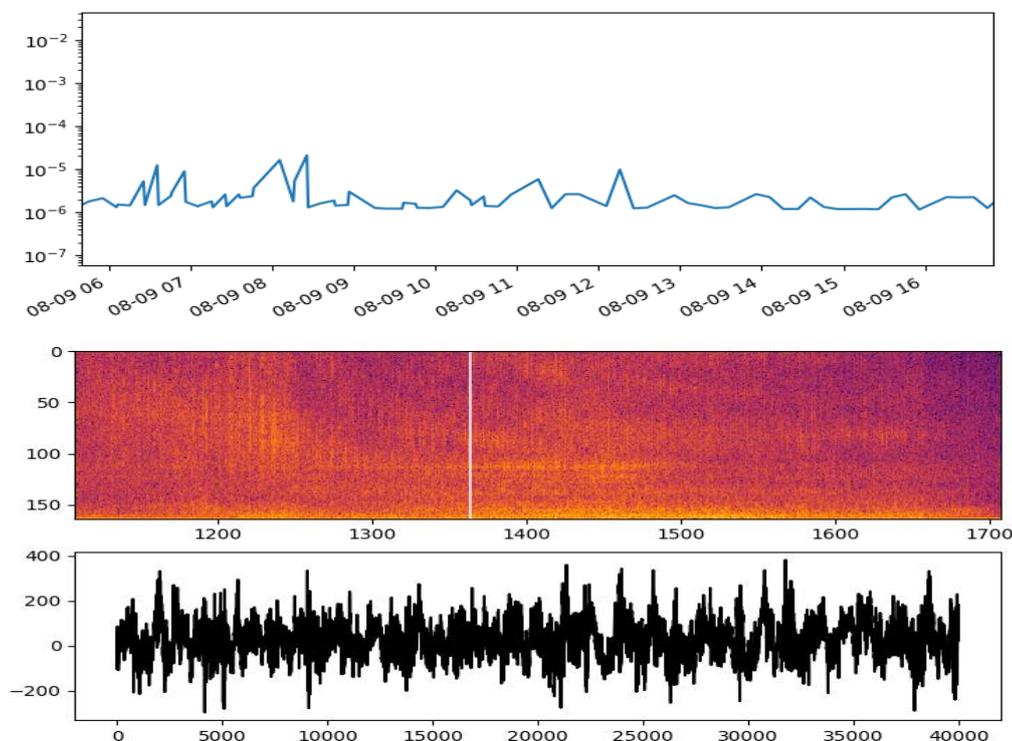


Figure 79. Zoom sur un jour (09/08/2018, de 6:00 à 16:00). Les pics sont des occurrences de bateaux.

6.3.2. Empreintes acoustiques des bateaux

Chaque moteur de bateau possède une empreinte acoustique qui le caractérise. Ces empreintes sont représentées en détails, de basse à haute fréquence d'émission sur 100 secondes environ (Figure ci-dessous). Le spectre est en échelle Mel (logarithmique en fréquence), entre 0 et 200 Hz. On note la perte de sensibilité de l'hydrophone vers 90 Hz (spécification propre). Ces figures temps-fréquence sont les signatures de chaque moteur, et sont de véritables empreintes acoustiques permettant de reconnaître chaque bateau (utilisable en cas de suivi de bateaux).

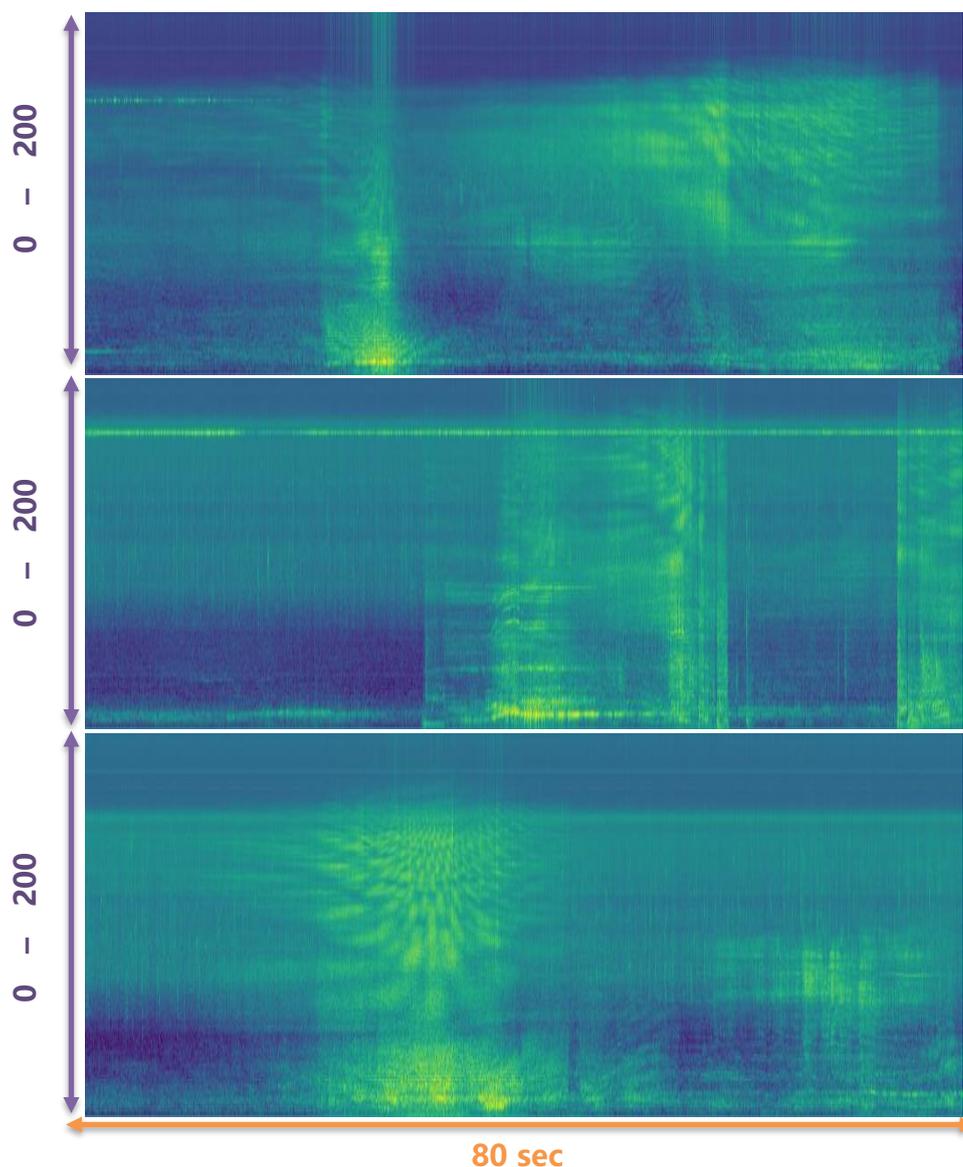


Figure 80. Trois passages de bateaux en Temps - Mel Hz sur 80 sec à 400 kHz, montrant la qualité de l'enregistrement. De haut en bas : le 9 août 2018 à 8:54; 9 août 2018 à 11:15, 11 août 2018 à 11:35.

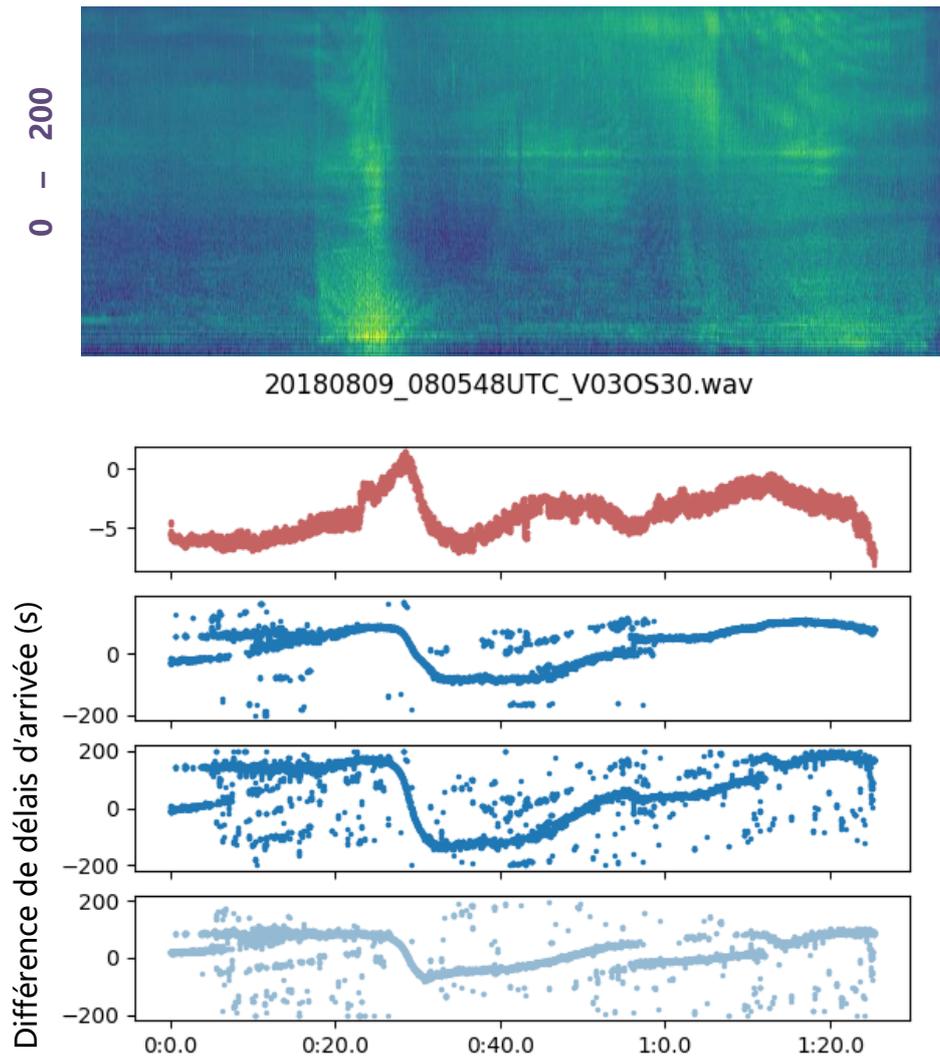
6.3.3. Estimation des délais d'arrivée (TDoA)

La technique TDoA consiste à mesurer l'instant d'arrivée d'un signal sonore en plusieurs points de l'espace et à comparer la différence entre les instants mesurés à chaque récepteur. Si on connaît l'emplacement de chaque récepteur, on peut alors en déduire une estimation de l'emplacement de la source des émissions sous réserve que tous les récepteurs soient synchronisés temporellement. Ces mesures permettent *in fine* d'estimer la position des moteurs (donc des bateaux) qui émettent les bruits enregistrés.

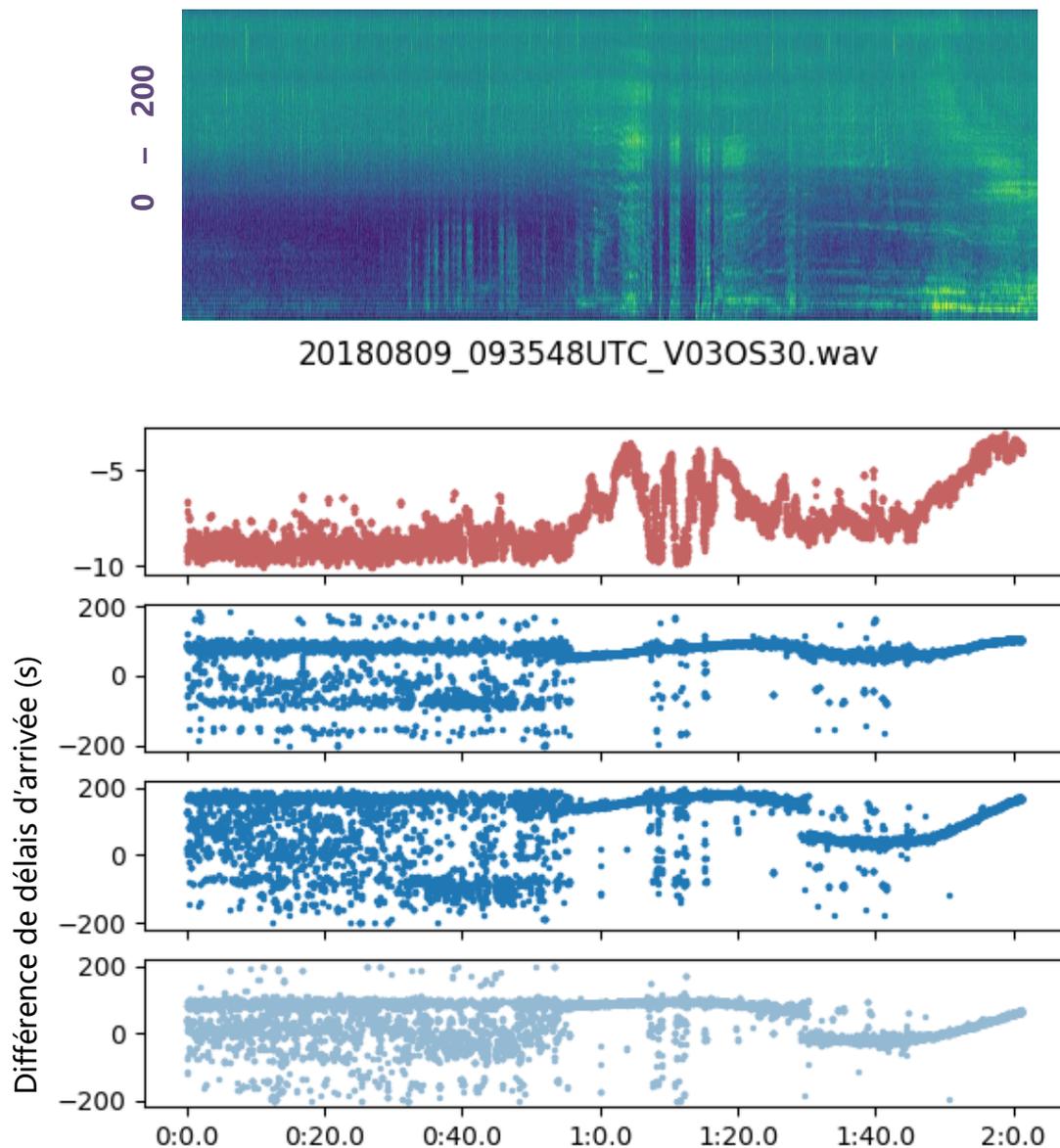
Cinq enregistrements contenant des bateaux sont présentés ci-dessous. Pour chaque enregistrement, les différences de délais d'arrivée (TDoA en anglais pour Time Delay of Arrival) sont calculées en utilisant les trois premiers hydrophones. Dans chaque graphique, en haut, nous présentons le spectrogramme (temps-fréquence) sur environ 2 minutes, à échelle Mel (compression log en fréquence), avec le temps de gauche à droite. Ces graphes démontrent la précision des mesures de TDoA, qui peuvent être exploitées directement comme proxy des déplacements des bateaux

Ci-dessous, la courbe rouge représente l'énergie de la détection (le produit de la corrélation croisée alignée des TDoA), les deux graphes suivants montrent les TDoA indépendants (canaux 0 à 1 et 0 à 2) et le dernier volet représente le troisième TDoA (canaux 1 à 2, de couleur plus claire).

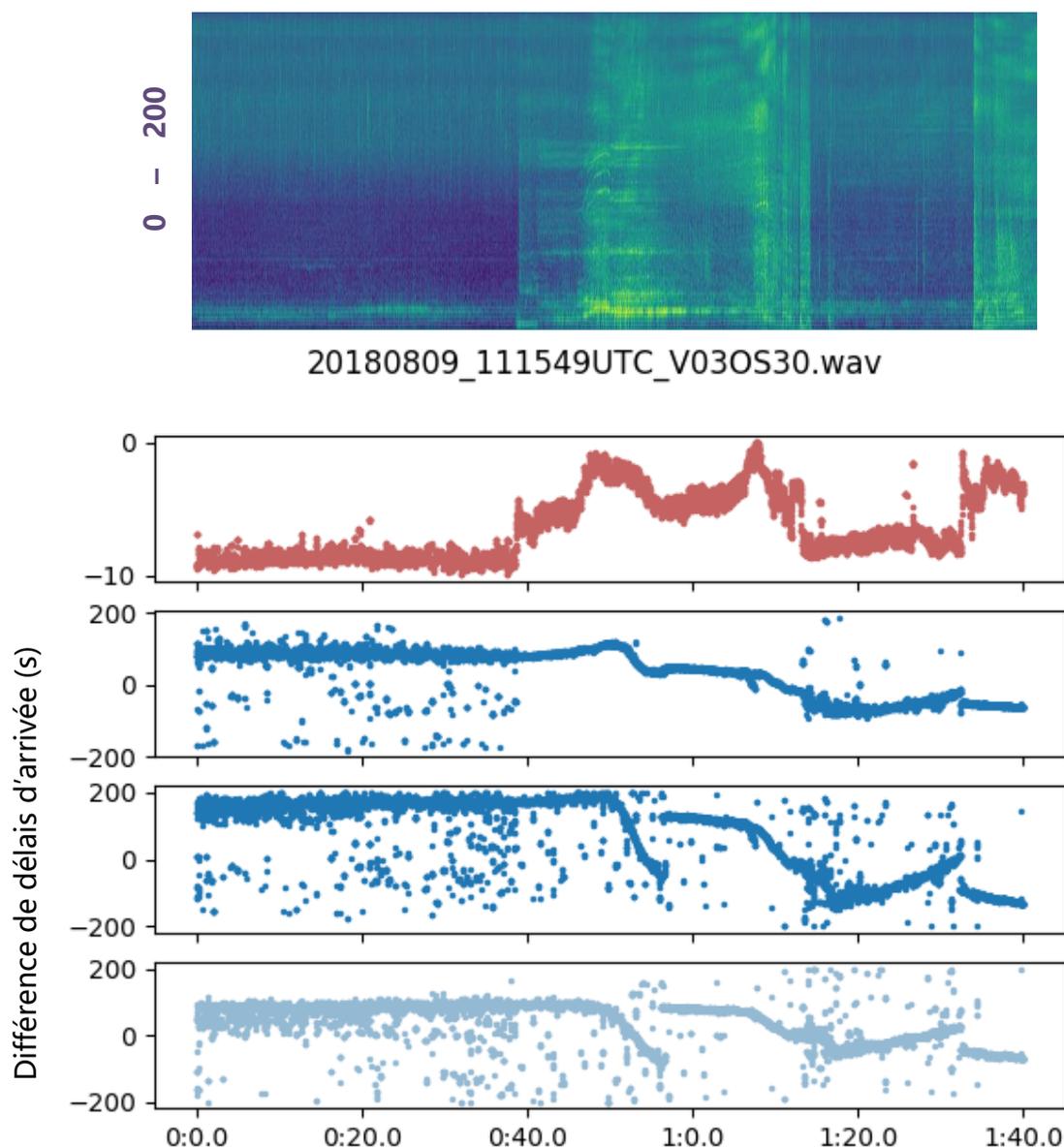
Les signaux sont audibles dans l'URL donnée en légende.



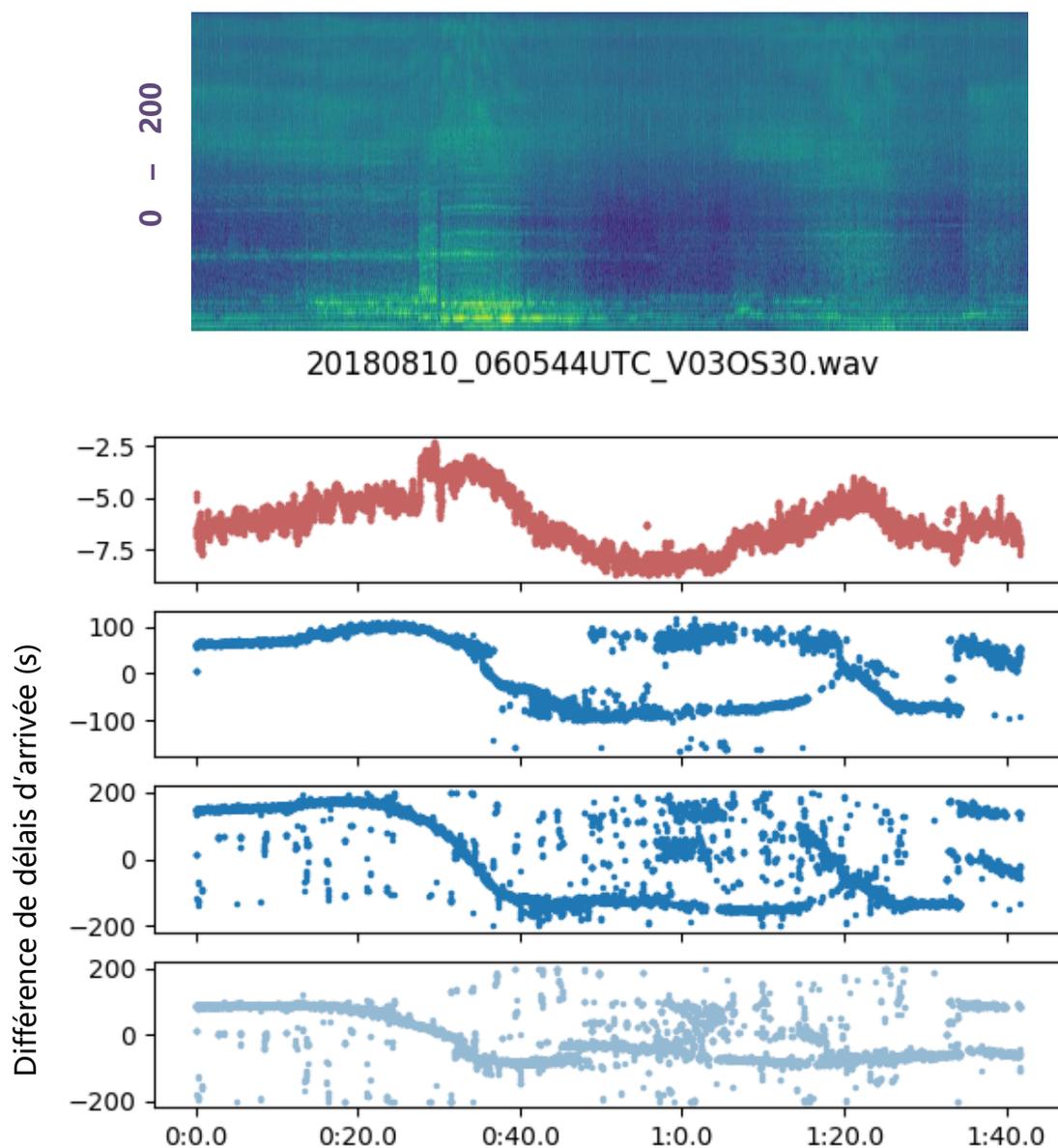
Exemple : http://sabiody.univ-tln.fr/scandola_2018/20180809_080548UTC_V03OS30.ogg, haut le spectrogramme Abscisse: le temps (sur 80sec), Ordonnées Fréquence etn MelHz de 0 à 200 Hz, puis TDoA pour les paires hydrophones, abscisse temps, ordonnées TDoA (sec).



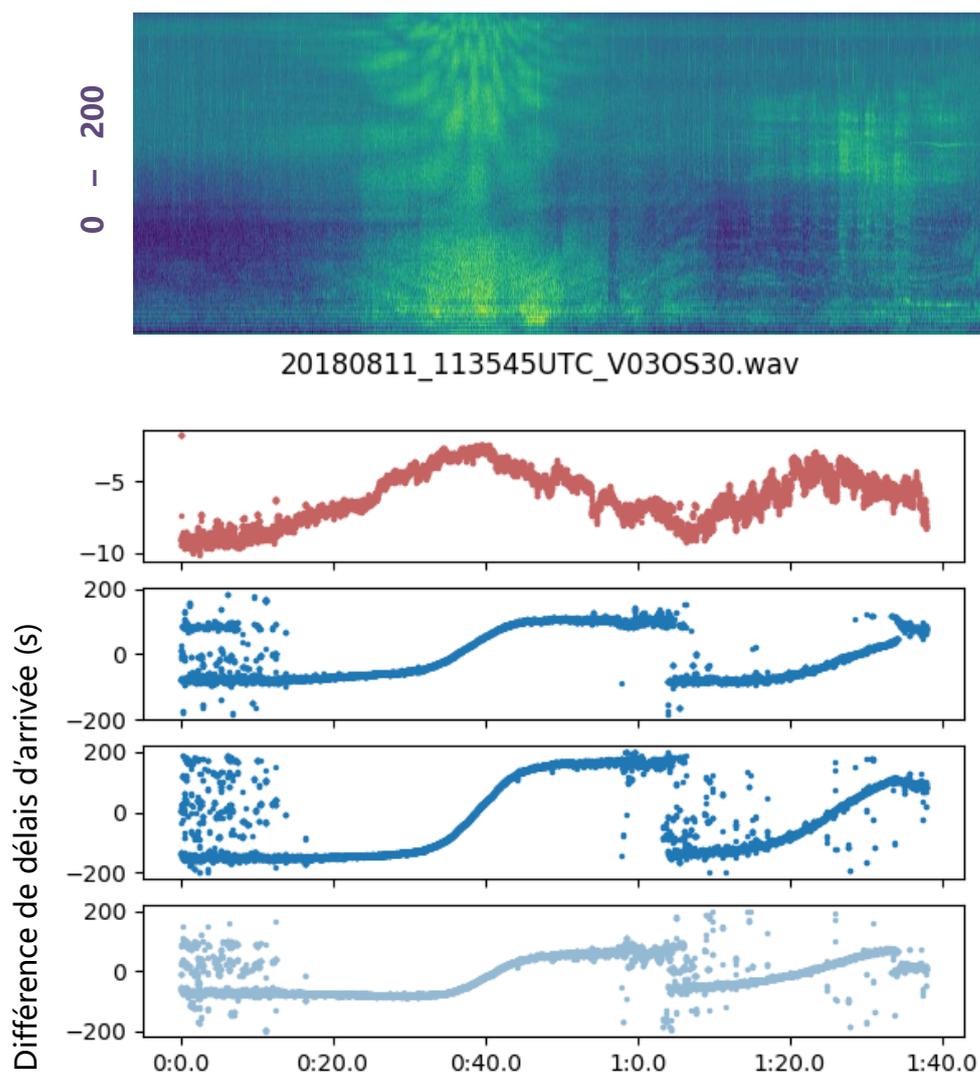
Exemple : http://sabiody.univ-tln.fr/scandola_2018/20180809_093548UTC_V03OS30.ogg, haut le spectrogramme Abscisse: le temps (sur 80sec), Ordonnées Fréquence etn MelHz de 0 à 200 Hz., puis TDoA pour les paires hydrophones, abscisse temps, ordonnées TDoA (s)



Exemple : http://sabiod.univ-tln.fr/scandola_2018/20180809_111549UTC_V03OS30.ogg, haut le spectrogramme Abscisse: le temps (sur 80sec), Ordonnées Fréquence etn MelHz de 0 à 200 Hz., puis TDoA pour les paires hydrophones, abscisse temps, ordonnées TDoA (s).



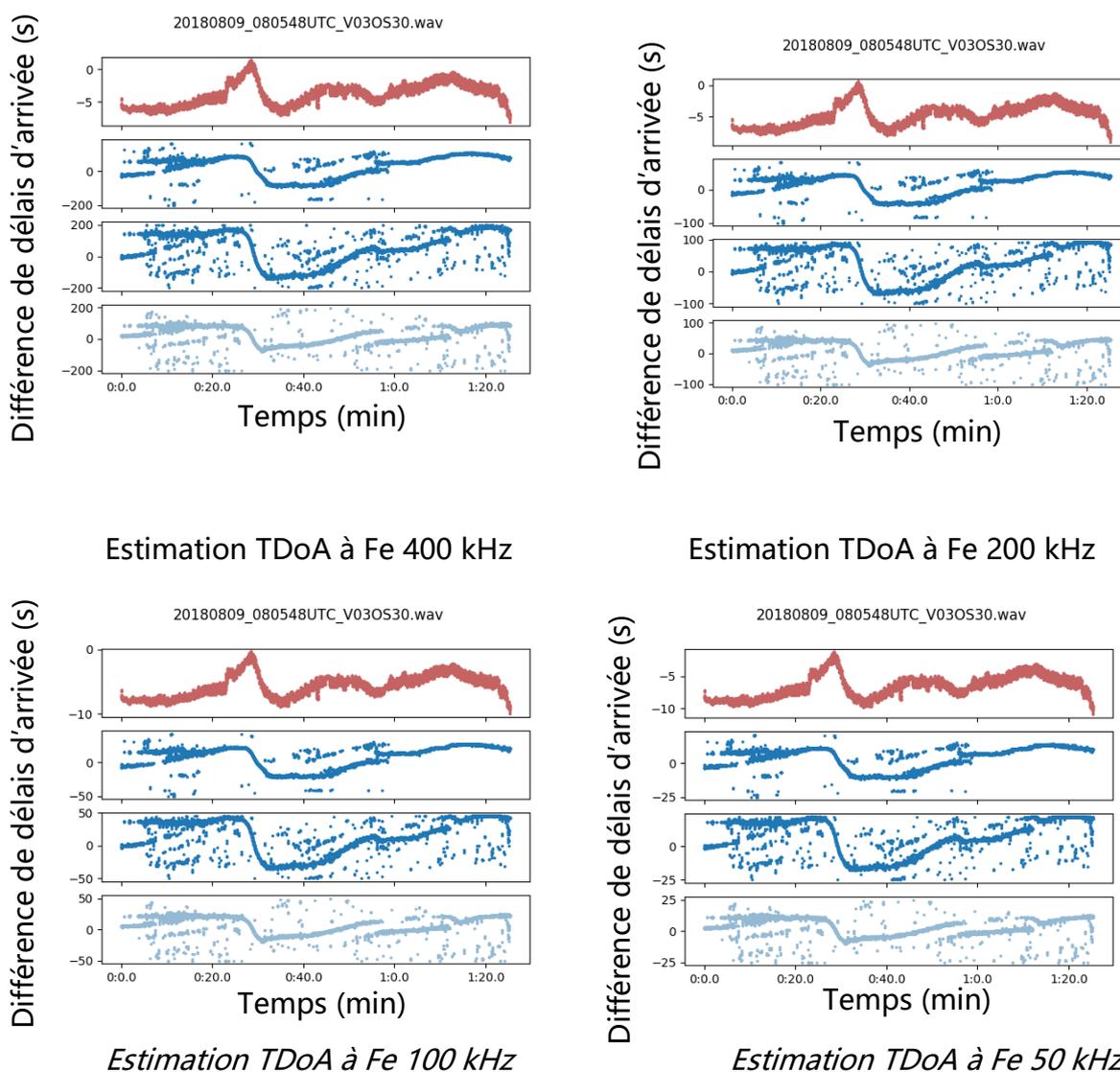
Exemple : http://sabiod.univ-tln.fr/scandola_2018/20180810_060544UTC_V03OS30.ogg, haut le spectrogramme (Abscisse: le temps (sur 80sec), Ordonnées Fréquence etn MelHz de 0 à 200 Hz), puis TDoA pour les paires hydrophones, abscisse temps, ordonnées TDoA (s).

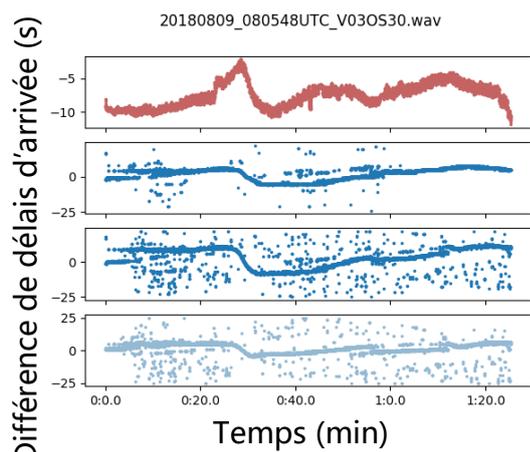


Exemple : http://sabiody.univ-tln.fr/scandola_2018/20180811_113545UTC_V03OS30.ogg, haut le spectrogramme (Abscisse: le temps (sur 80sec), Ordonnées Fréquence etn MelHz de 0 à 200 Hz.), puis TDoA pour les paires hydrophones, abscisse temps, ordonnées TDoA (s).

6.3.4. Robustesse à la décimation de la fréquence d'échantillonnage

L'enregistrement de hautes fréquences est très coûteux en espace de stockage. Afin de réduire la taille des fichiers d'enregistrement, et donc pouvoir gagner en capacité de stockage une simulation de la perte de la précision d'enregistrement a été réalisée. Différents niveaux de qualité d'enregistrement ont été testés pour voir si la détection des bruits de moteur était toujours réalisable. Pour cela, la robustesse des estimations de TDoA, à une fréquence d'échantillonnage d'enregistrement inférieure, a été testée à partir du premier enregistrement décimé, de la fréquence d'échantillonnage d'origine de 400 kHz à 200 kHz, 100 kHz, 50 kHz et 25 kHz. Dans les cinq cas, le signal a été traité avec un filtre passe-bande de 1 à 7 kHz avant le sous-échantillonnage et le calcul TDoA.





Estimation TDoA à Fe 25 kHz

Figure 81. Validation de l'observation du déplacement des bateaux par décimation de la fréquence d'échantillonnage à fréquence d'échantillonnage réduite de 400 kHz à 25 kHz.

Les TDoA sont mesurés sur les pics d'énergie (max et second max) à différentes fréquences d'échantillonnage (tableau dessous).

Tableau XIV. Mesure des pics maximum et second maximum de la corrélation à différentes fréquences.

sample_rate in Hz	Position sec	c0c1 in samples	c0c2 in samples
400 000	28.45	58	80
400 000	79.87	100	186
200 000	28.45	29	40
200 000	79.87	50	93
100 000	28.45	15	20
100 000	79.87	25	47
50 000	28.45	7	10
50 000	79.87	12	23

Ces analyses montrent qu'une fréquence d'échantillonnage de 100 kHz est suffisante pour l'étude de suivi des bateaux. Cette fréquence, 4 à 8 fois plus couvrante en durée

d'observation a été utilisée en avril 2019 en complément d'information. A noter cependant que cette fréquence est une fréquence limite pour les mesures de présence de cétacés (qui n'étaient pas les cibles prioritaires dans cette étude).

6.3.5. Estimation de la trajectoire d'un bateau pour confirmer les mesures de TDoA

Un régression non linéaire multiple appliquée sur les TDoA permet de calculer les positions des sources d'émissions du bruit (moteur) toutes les 10 ms d'enregistrement. Les déplacements d'un bateau au niveau de la surface de la mer (altitude $Z = 0$ m) durant un enregistrement d'une durée de 1'20" sont présentés (Figure 82 et Figure 83).

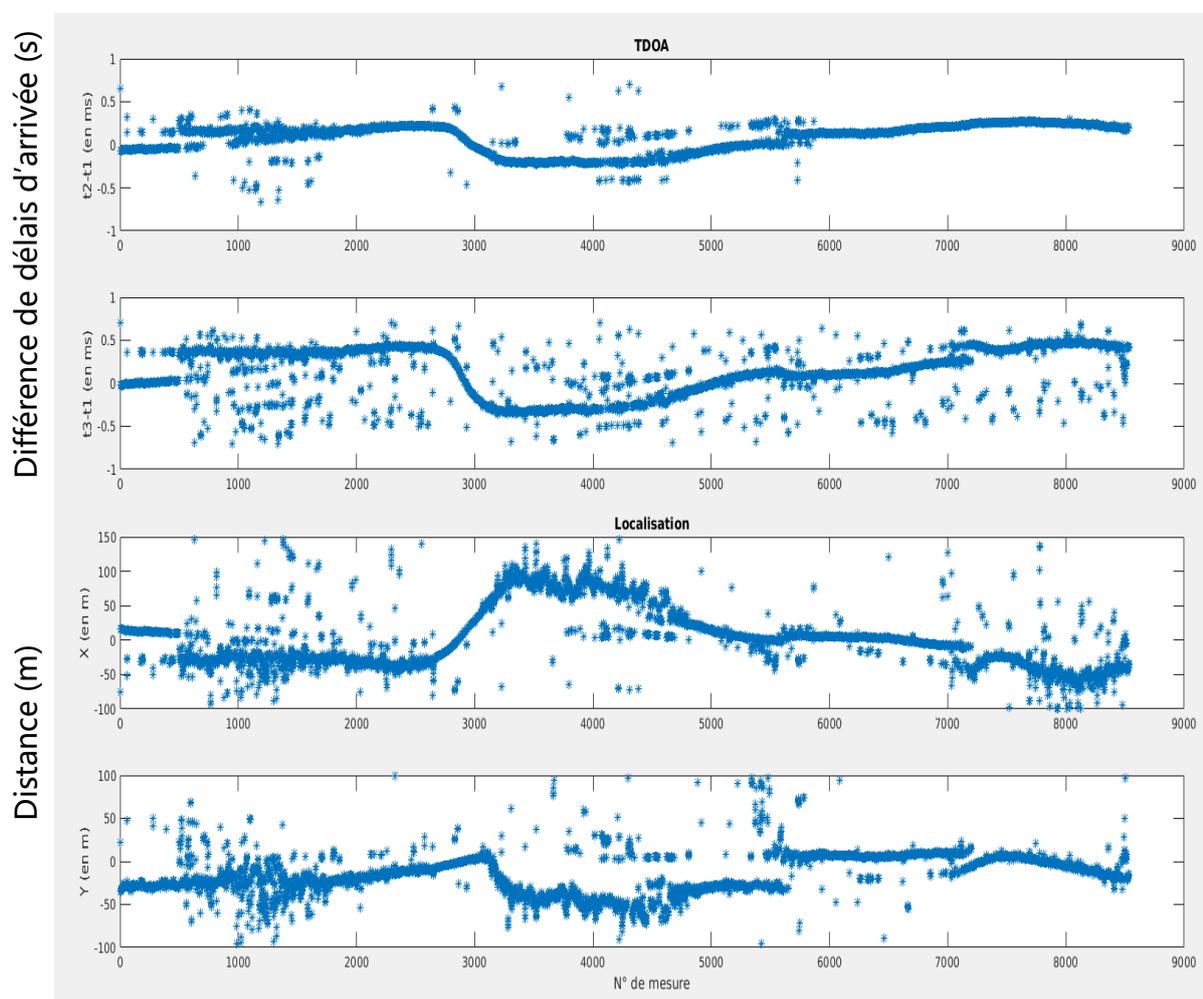


Figure 82. (de haut en bas) TDoA H2H1, H3H1, résolution en X (axe H1H3) et en Y (orthogonal à X), pour Z en surface = 0 m. On voit clairement le déplacement du bateau sur 200 m en X et 50 m en Y avec des virages.

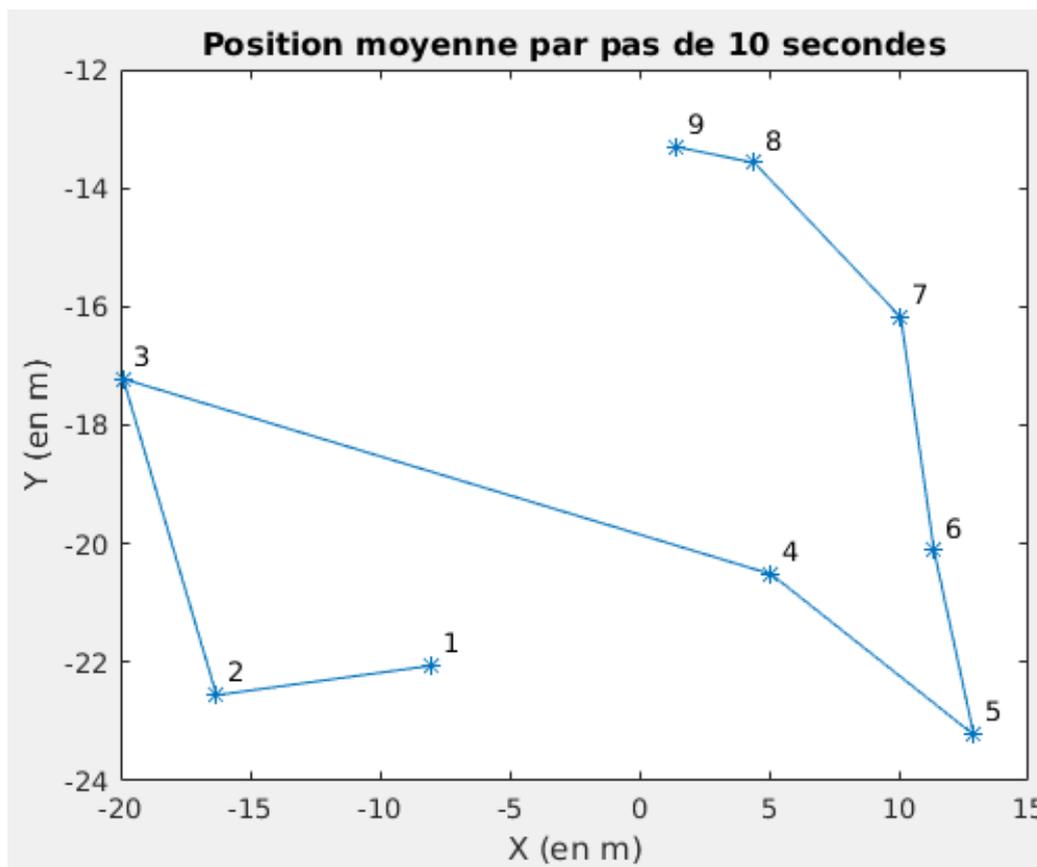


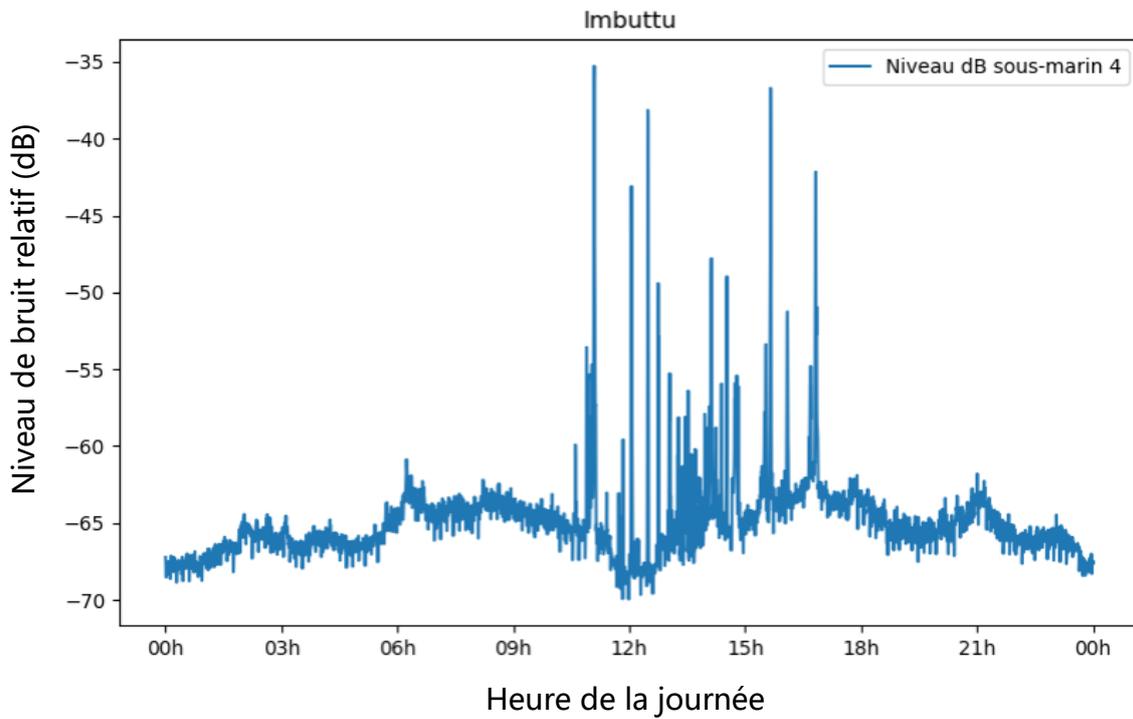
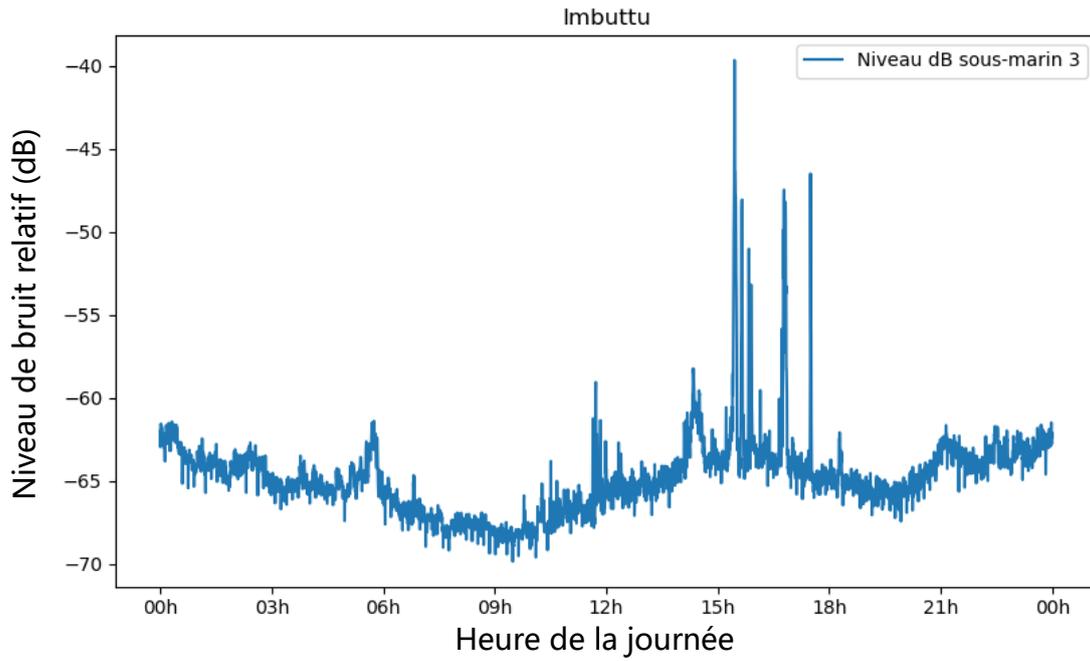
Figure 83. Trajectoire idem à la précédente, mais en XY ($Z = 0$ m, X orienté 340° , ~ Nord), montrant le caractère STATIONNAIRE du bateau effectuant un parcours en huit. La station acoustique du rocher des Orgues est en $X=Y=0$.

La trajectoire du bateau est correctement caractérisée pendant 1'20", où un déplacement en huit par jambe de 30 m est observé avec sursaut de bruit moteur.

6.3.6. Evolution des niveaux de bruits sous-marin dans la journée

Les graphiques ci-dessous représentent l'évolution du niveau dB sous-marin entre 500 Hz et 1000 Hz au fil des heures de la journée, pour les deux stations d'écoute, pour différentes journées. Ceux-ci confirment bien les fortes activités acoustiques liées au tourisme de 9:00 à 18:00 environ.

Les résultats montrent également que les différents hydrophones ont enregistré une information très comparable. La portée des dispositifs acoustiques est telle qu'elle se recoupe entre les stations.



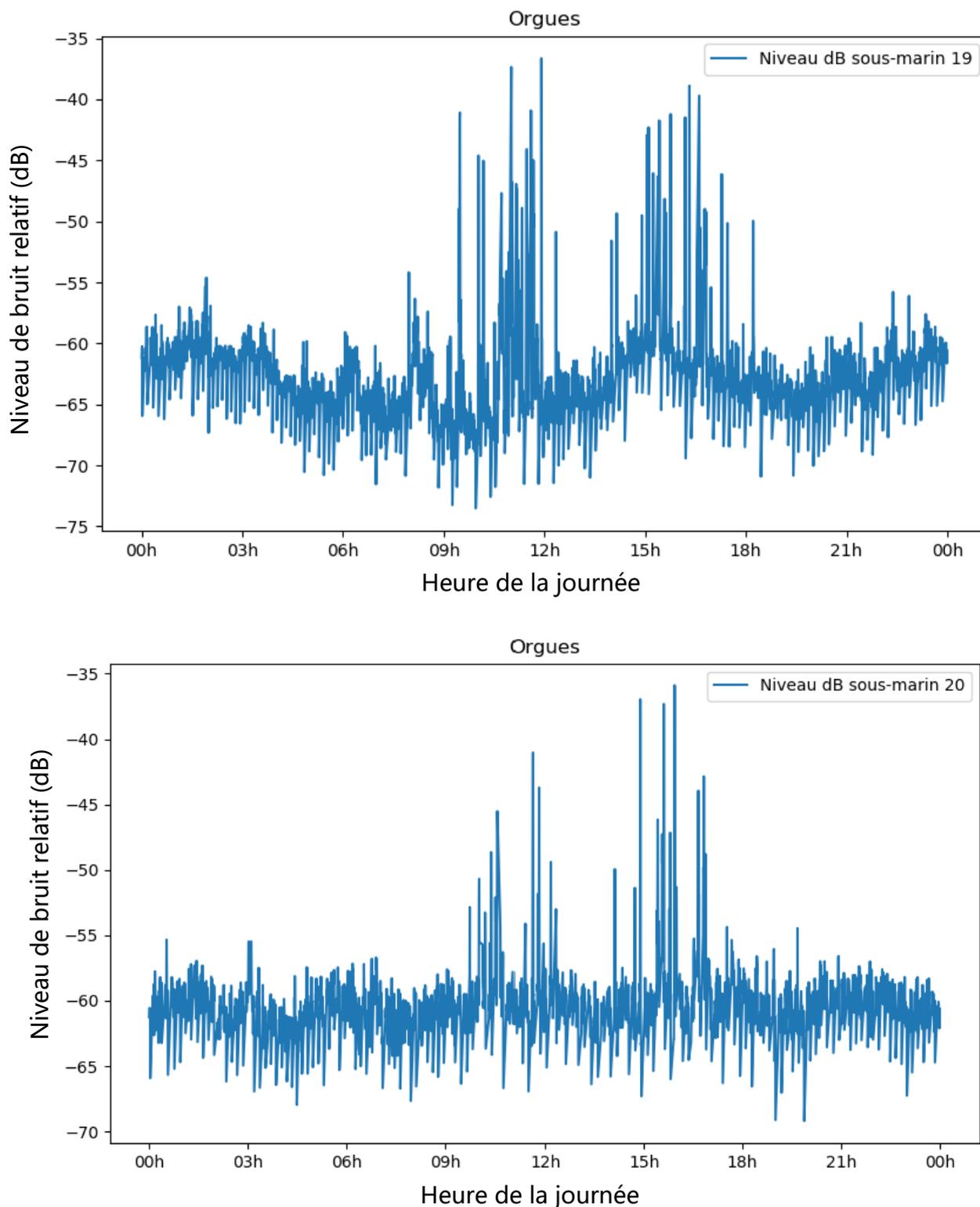


Figure 84. Niveaux dB sous-marins durant 48h du 18 au 21 avril 2019 sur Imbuttù et Orgues, qui sont résumés en cycle de 24h dans les figures suivantes

Les Figure 85, Figure 86, Figure 87, Figure 88 et Figure 89 ci-dessous agrègent les niveaux dB entre 500 et 1 000 Hz pour différentes stations en moyennes horaires. Des pics de

pollution sonore sont observés entre 11:00 et 12:00 UTC ainsi qu'entre 16:00 et 17:00 UTC.

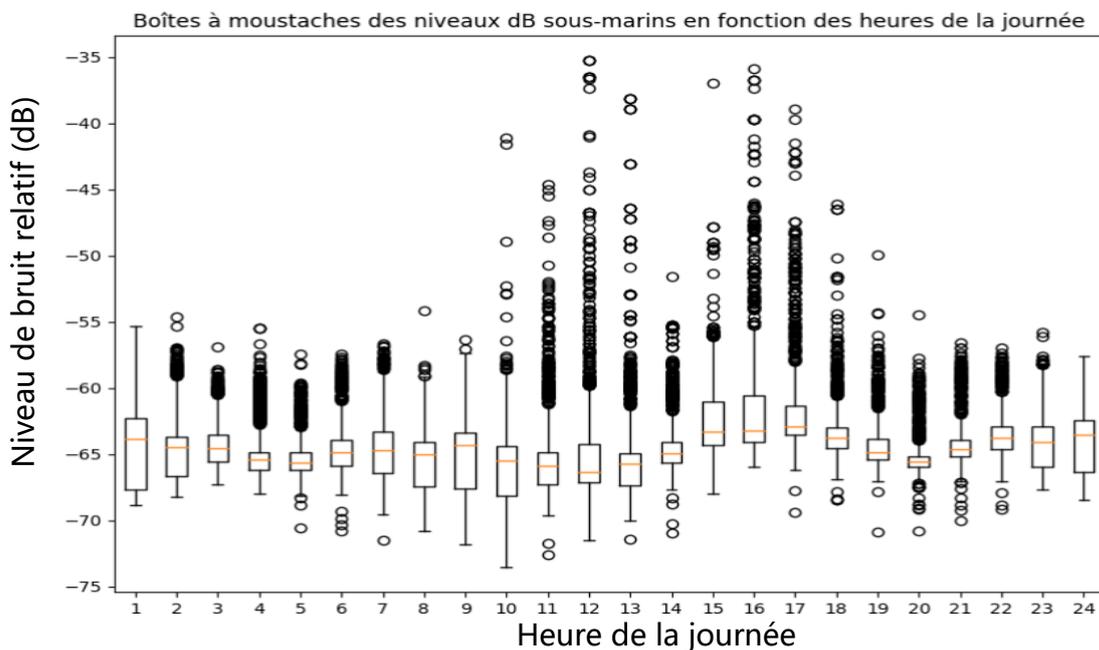


Figure 85. Niveau de bruit sous-marins corrélés avec les moteurs bateaux, en fonction du cycle de 24h, compilés sur les mesures des 2 stations : Imbuttu et Orgues dans la session d'avril 2019. Abscisse : heures (UTC), ordonnées dB.

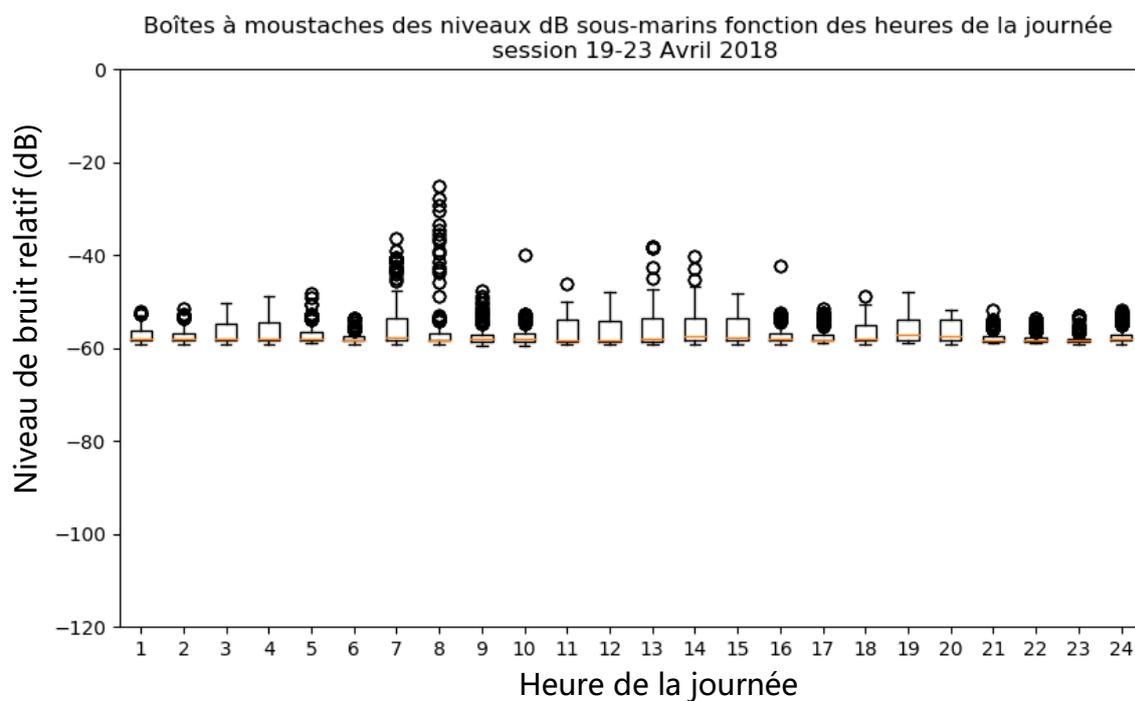


Figure 86. Moyenne et écart-type horaire des niveaux dB sous-marins dans 500 Hz à 1 000 Hz mesurés sur les stations du 19 avril au 23 avril 2019.

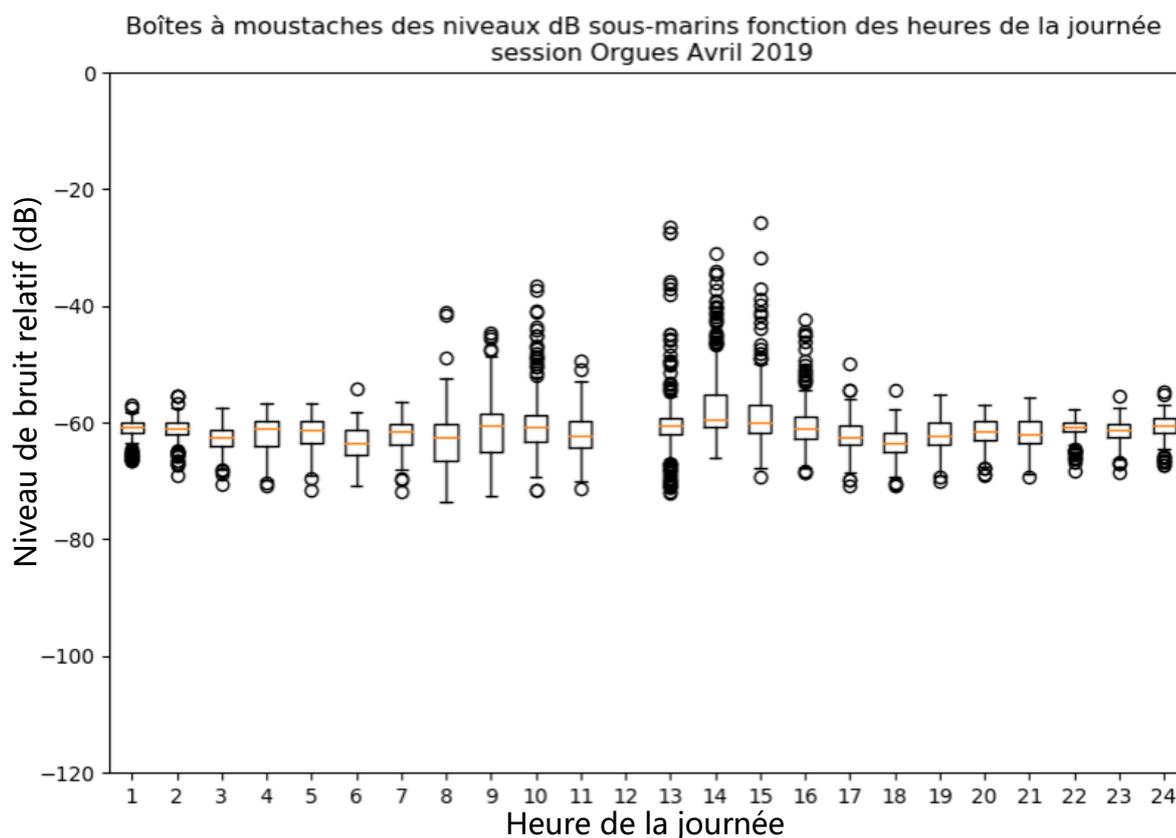


Figure 87. Moyenne et std horaire des niveaux dB sous-marins dans 500 Hz à 1 000 Hz mesurés sur la station des Orgues du 19 avril au 23 avril 2019.

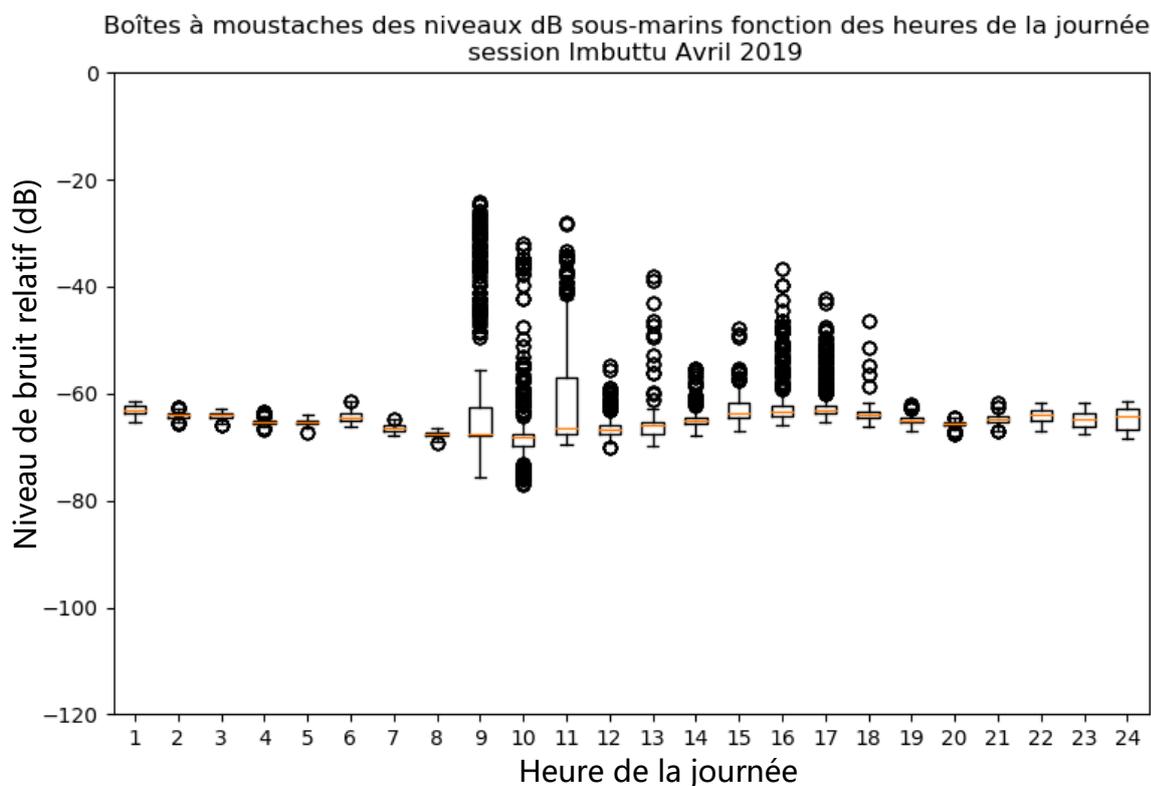


Figure 88. Moyenne et std horaire des niveaux dB sous-marins dans 500 Hz à 1 000 Hz mesurés sur la station de l'Imbuttu du 19 avril au 23 avril 2019.

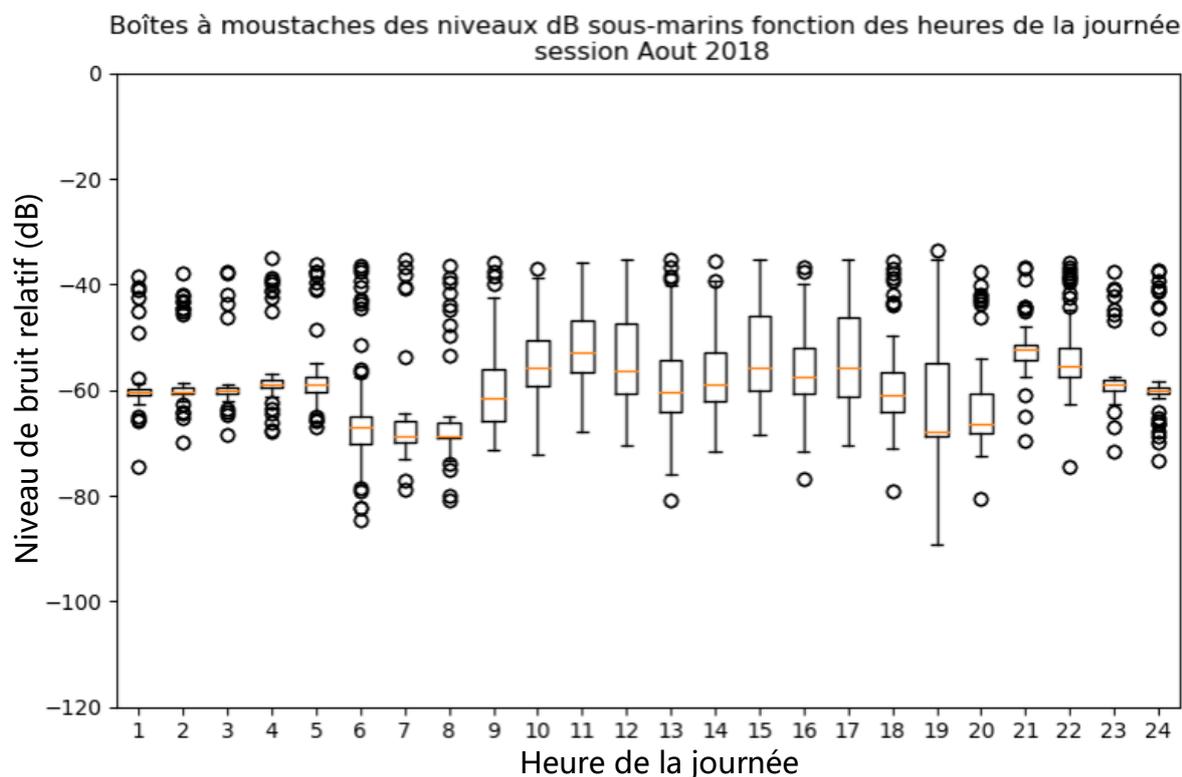


Figure 89. Mesure dB en graphique diel sur la session de l'été 2018 montrant un niveau de +10 dB (= 3 fois plus de bruit que normal) produit par bateau entre 9h et 12h et 14h et 19h, soit durant 8h

Les niveaux de bruits augmentent largement dès 9:00 du matin, retombent en fin de matinée pour remonter fortement vers 15:00. Les nuits sont calmes, avec un niveau dB de référence à -60 dB (sources de bruits naturels). Les pics dépassent souvent 20 dB par rapport au niveau de référence, ce qui correspond à un triplement de l'énergie du paysage acoustique normal.

Le pattern d'évolution dB dans la journée varie peu d'une station à l'autre en avril. Ceci est constaté d'une saison à l'autre, du fait de la qualité acoustique du milieu qui conduit très bien toutes les sources au loin.

Les mesures des dB pour l'été 2018 comparées à avril montrent que la durée d'exposition au bruit est plus longue en été (10h) qu'en avril (4h environ), pour une intensité moyenne de +10 dB l'été, contre +3 dB en moyenne en avril.

La nuisance peut donc être qualifiée de plus forte l'été. Le bilan de la nuisance anthropophonique sur la faune est en effet en première approche le produit de la durée de l'exposition par son niveau dB.

En été, la nuisance dans cette octave [500 Hz ; 1 000 Hz] est alors de 80 dB.h en été, contre 12 dB.h en avril, donc 6 fois plus en août qu'en avril.

6.3.7. Corrélation entre accélération et niveau de bruit

Le graphique ci-dessous met en évidence l'émission acoustique forte liée au passage d'un bateau. D'abord, les TDoA sont présentées et montrent l'identification du bateau et son mouvement. En dessous, pour la même fenêtre de temps, les niveaux dB sont en augmentation lorsque le bateau est en mouvement.

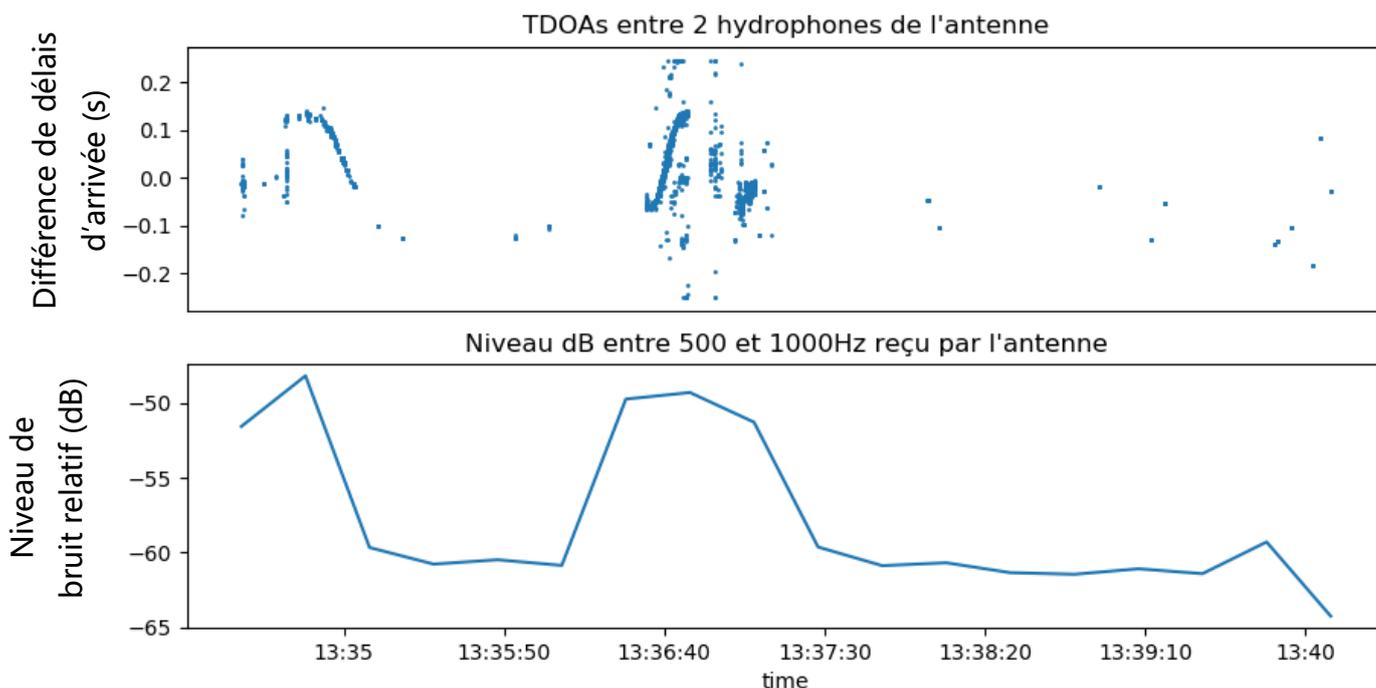


Figure : Mise en évidence de la corrélation entre variance de TDoA (haut) et niveaux dB dans l'octave des bruits de bateaux (basse fréquence).

6.3.8. Présence de bateaux au fil des journées

Pour décompter les bateaux au fil des journées, la variance des TDoA sur une fenêtre glissante de 100 points a été utilisée (Figure 90). En premier filtrage, seulement les TDoA possédant un produit de corrélation croisée supérieur à la moyenne plus l'écart-type des produits de corrélation croisée du fichier sont gardés. Cela permet de ne garder que les TDoA pertinentes, majoritairement celles liées aux bateaux. La ligne rouge est le seuil de variance permettant de détecter un émetteur acoustique stable (défini à 4 ms^2). Si la variance des TDoA passe en dessous de 4 ms^2 , le signal d'un émetteur acoustique est localisé.

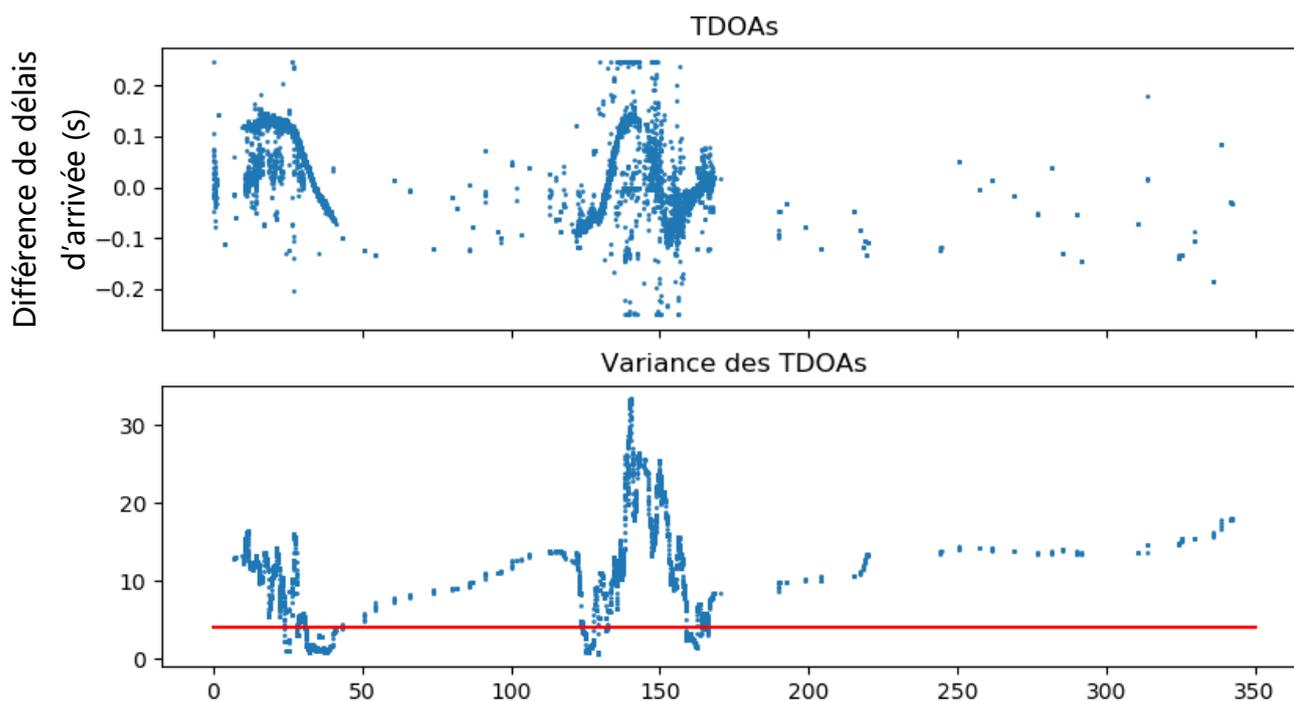


Figure 90. Principe de seuillage de la variance du TDoA qui montre l'arrivée et le départ du bateau. Chaque passage au niveau du seuil caractérise un arrêt ou un redémarrage des moteurs. Le nombre de manœuvres peut alors être estimé.

Les occurrences de variances de TDoA dépassant le seuil sont comptabilisées pour chaque fichier son et permet de savoir si un bateau a été entendu dans le fichier. Les évolutions de la présence des bateaux lors de 3 journées d'enregistrement sont présentées Figure 91. Les bateaux sont détectés en continu toute l'après-midi entre 14:30 et 18:00 le 18 avril 2019.

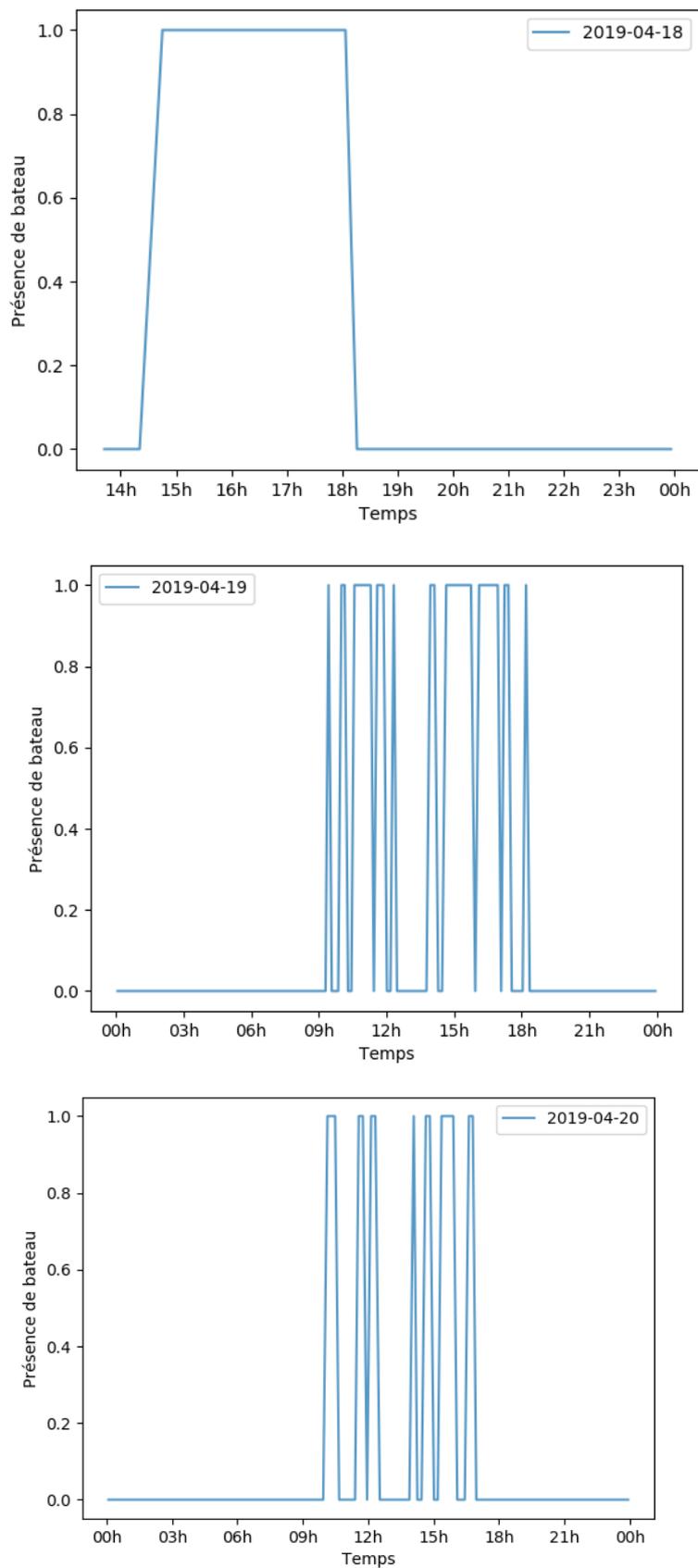


Figure 91. Haut : cumul des présences des bateaux en fonction de l'heure de la journée le 18, 19 et 20 avril 2019.

Le décompte des bateaux sur les stations montre 5 manœuvres à très grande variance de mouvement (attribuable chacune à un bateau) en avril, corrélées aux pics de nuisances acoustiques. Ce schéma est régulier sur toute la base de données en avril, et se densifie en été, parfois jusqu'à une dizaine de manœuvres très bruyantes, l'été, par demi-journée, du fait d'accélération trop fortes.

Ces résultats montrent l'importance de ne pas s'arrêter uniquement au dénombrement des embarcations à moteur, mais de bien dénombrer le nombre d'accélération (arrêt et/ou reprise du moteur). L'hypothèse principale formulée est qu'une flotte nombreuse de bateaux à la conduite respectueuse serait moins impactante qu'une flotte plus réduite, mais au comportement bruyant par des pilotages brusques.

Nous montrons donc qu'il ne faut pas que compter les bateaux, mais dénombrer le nombre d'accélération (arrêt, reprise). Une hypothèse est que des bateaux aux conduites plus respectueuses seraient moins impactants qu'une flotte plus réduite mais mal pilotée.

6.3.9. Rôle des bateaux dans l'augmentation du niveau de bruit

La répartition des niveaux dB entre 500 et 1 000 Hz enregistrés en présence ou non de bateaux (détectés par le protocole décrit dans le paragraphe 6.3.8) est présentée Figure 92. En présence de bateaux, une augmentation significative de +10 dB du niveau médian est observé et correspond au doublement de la médiane du bruit du paysage acoustique normal (ce qui représente un doublement du bruit de fond). Ceci démontre la responsabilité des bateaux dans l'augmentation du niveau dB moyen du site.

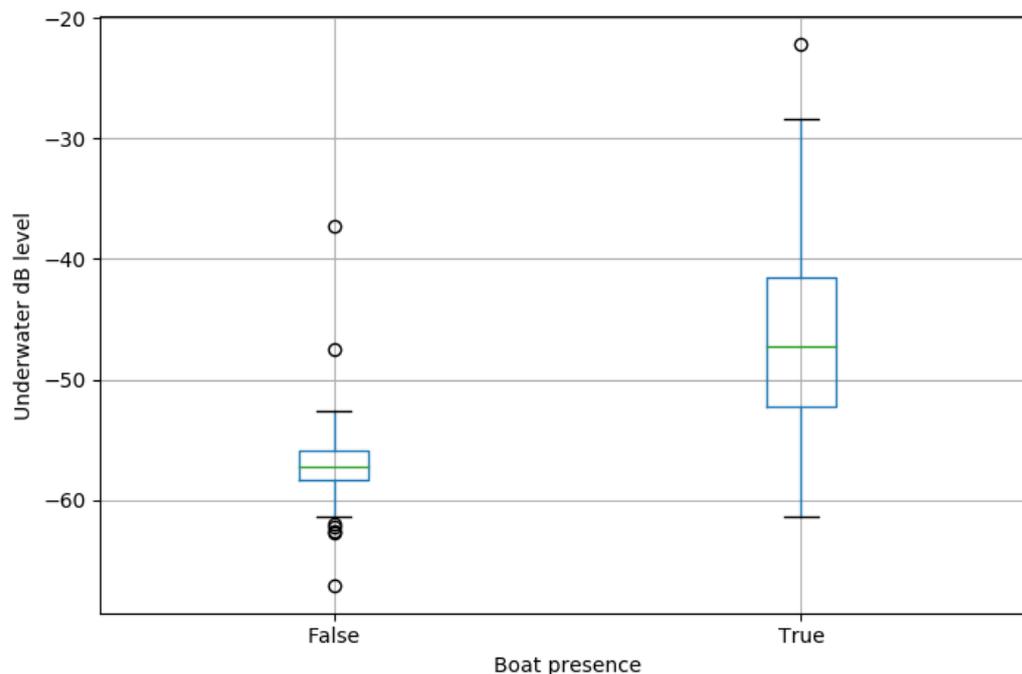


Figure 92. Répartitions de niveaux dB entre 500 Hz et 1 000 Hz enregistrés en présence ou non de bateaux, montrant un gain médian de 10 dB en présence de bateau.

6.4. Conclusion

La méthode de détection des bateaux par TDoA est fonctionnelle et permet d'estimer un doublement du niveau de bruit du paysage acoustique de la Réserve par la présence des bateaux à moteur. Les enregistrements montrent également des pratiques de pilotage pouvant être relativement brusques lorsque les bateaux essayent de rester stationnaires (utilisation de marche-avant et marche-arrière). Le redémarrage du moteur est également un des bruits relevés comme potentiellement dérangeant.

Les enregistrements sont larges en fréquence, puissants en basse fréquence, et montrent que les bateaux ont des raies spectrales au-delà de 50 kHz, donc dans les fréquences propices à la communication ou la chasse des cétacés. Cela pourrait impliquer une potentielle perturbation pour la faune. Ces fréquences sont détectables par des enregistrements de fréquence de 100 kHz, permettant une acquisition en continu et sur une plus grande durée qu'avec l'enregistrement de fréquences plus élevées. Les TDoA pourront également servir à estimer la localisation des bateaux et ainsi connaître leurs déplacements. Les formes en hautes fréquences pourraient également permettre d'identifier chaque bateau pour des besoins de gestion.

7. Suivi du balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus* par acoustique aérienne

Le taux de nuisance acoustique émis dans l'air par la circulation maritime aux abords des nids de balbuzard pêcheur est étudié dans cette section. Ces analyses pourront aider à interpréter le comportement du balbuzard pêcheur au sein de la Réserve naturelle de Scandola.

7.1. Matériels et sites d'étude

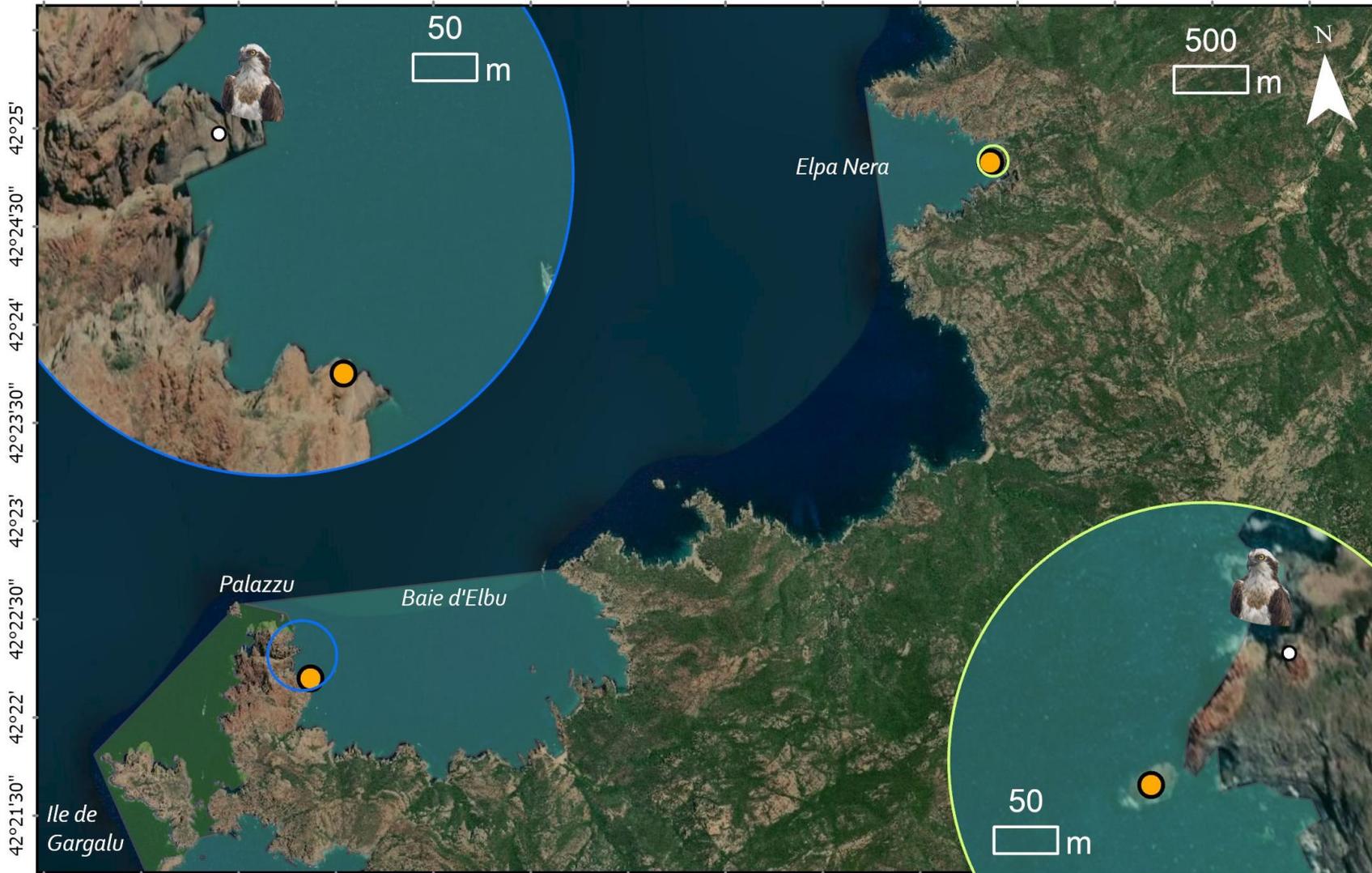
Au cours des missions d'avril 2018, août 2018 et avril 2019, des microphones aériens ont été installés plusieurs jours par le LIS (entre 4h et 12h d'écoute par jour), à l'entrée des grottes de Palazzu à proximité d'un nid occupé par un couple de balbuzards pêcheurs (Figure 93 et Figure 94). Ces micros ont enregistré le bruit des bateaux qui s'approchent du nid ainsi que différents chants du couple de balbuzards. Les séquences aériennes coïncident pour la plupart avec des séquences sous-marines (Tableau XV).

Tableau XV. Bilan des enregistrements sous-marins (rappel) et terrestres, avec en couleur identique les plages se recouvrant et permettant l'analyse croisée pour la démonstration de la perturbation des bateaux sur le balbuzard.

Type d'enregistrement	Date début	Date fin	Position
Sous-marin	19 avril 2018	23 avril 2018	Orgues
	07 août 2018	16 août 2018	Elbu
	18 avril 2019	21 avril 2019	Orgues
	18 avril 2019	21 avril 2019	Imbuttu
Aérien	20 avril 2018	20 avril 2018	Orgues
	24 avril 2018	24 avril 2018	Orgues
	09 Août 2018	13 août 2018	Orgues
	19 avril 2019	19 avril 2019	Orgues
	19 avril 2019	26 avril 2019	Elpa Nera

8°31'30" 8°32' 8°32'30" 8°33' 8°33'30" 8°34' 8°34'30" 8°35' 8°35'30" 8°36' 8°36'30" 8°37' 8°37'30" 8°38'

scandola



- Réserve intégrale
- Réserve partielle
- Acoustique terrestre
- Nid du couple de Balbuzard pêcheur

Sources des données : Image satellite : ESRI
 Limite de Réserve : Parc naturel Régional de Corse
 Système de coordonnées : RGF 93 - Projection Lambert 93



Figure 93. Localisation des stations d'écoute terrestre à proximité des nids de balbuzard pêcheur aux Orgues et à Elpa Nera.



Figure 94 Pose des dispositifs acoustiques terrestres à Elpa Nera et photographie des instruments.

7.2. Méthode de suivi acoustique aérien du balbuzard pêcheur

Les différentes périodes ont été choisies afin de comparer la fréquentation anthropique avec la présence des balbuzards, en avril en période de nidification et en août en période de fréquentation maximale. Les enregistrements ont été réalisés en stéréo avec une fréquence d'échantillonnage de 44 100 Hz sur un enregistreur "ZOOM HN1". Le système était posé sur une petite plateforme naturelle de la falaise.

Un total de 80 Go de données d'écoute aérienne a été enregistré.

Un détecteur automatique de vocalises d'oiseaux inspiré de Lasseck (2014) a été conçu. Les principales étapes de l'algorithmes sont :

- calculer le spectrogramme (représentation temps / fréquence) de l'enregistrement ;
- calculer une image binaire grâce à une coupure à la médiane par bande de fréquence et par tranche de temps. Si la valeur d'un pixel est supérieure à 3 fois la médiane + 3 fois l'écart type de sa rangée et 3 fois la médiane + 3 fois l'écart type de sa colonne, le pixel est changé à 1, sinon à 0 ;
- appliquer un filtre de "rapprochement" de chaque pixel et de "dilatation" afin d'enlever le bruit ;
- étiqueter tous les pixels connectés entre eux et enlever les pixels seuls ;
- délimiter par zone d'intérêt rectangulaire correspondante.

Le résultat de cet algorithme automatique très rapide est donc un nombre d'émissions acoustiques clairement séparées du bruit. En différenciant les différentes sources, oiseaux et autres, il est alors possible par la suite de calculer le nombre d'individus acoustiquement actifs dans l'écosystème, de classer les espèces, et de corrélérer les vocalises et leurs formes avec les pressions anthropiques occasionnées. Des exemples avec les sons enregistrés en URL sont données ci-dessous. On y discerne clairement les cris de balbuzards et autres sources dont **le discours touristique émis par le bateau** (Figure 16, Figure 17 et Figure 18).

Des exemples avec les sons enregistrés en URL sont données Figure 95, Figure 96 et Figure 97. On y discerne clairement les cris de balbuzard et autres sources de bruit.

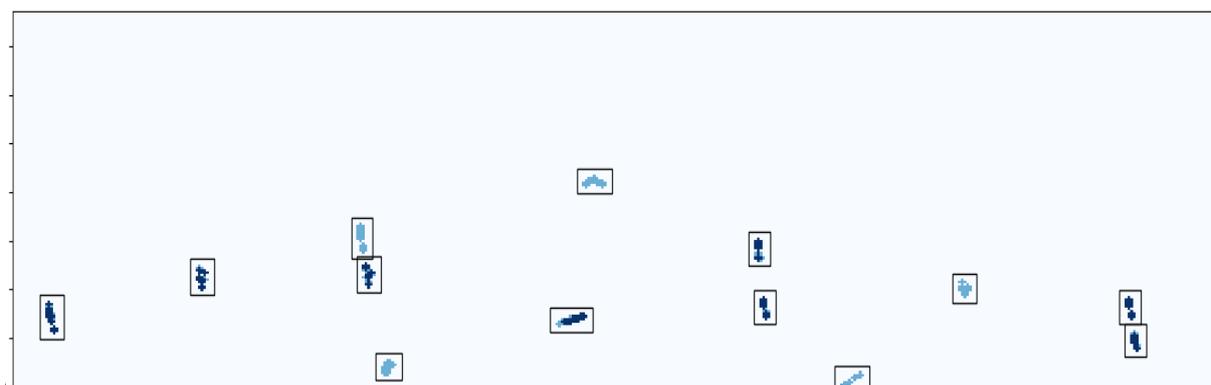
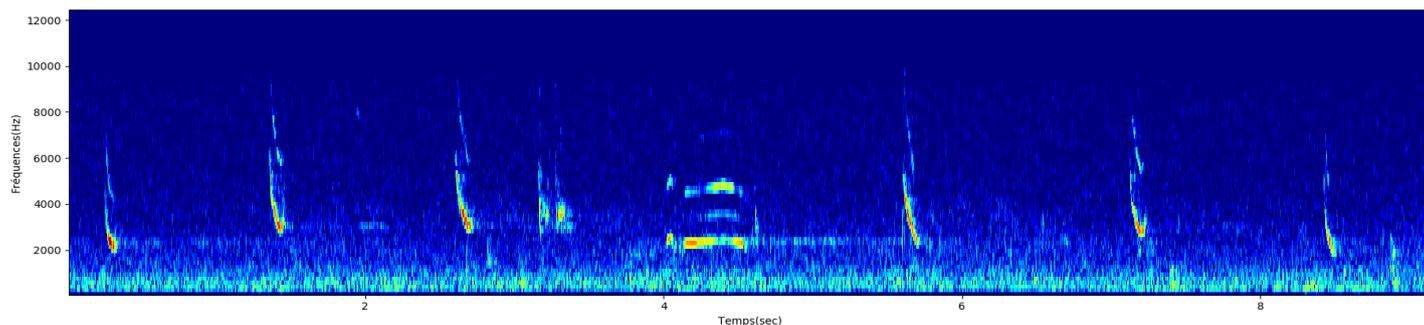


Figure 95. Représentation de 8 secondes de signal (20_04_18_balbuzard_1.wav) de balbuzard, en haut : signal brut, en bas, résultats du détecteur d'oiseaux (bleu clair sur la voie 1 et bleu foncé sur la voie 2). Enregistrement disponible : http://sabiiod.univ-tln.fr/scandola_2018/20_04_18_balbuzard_1.wav

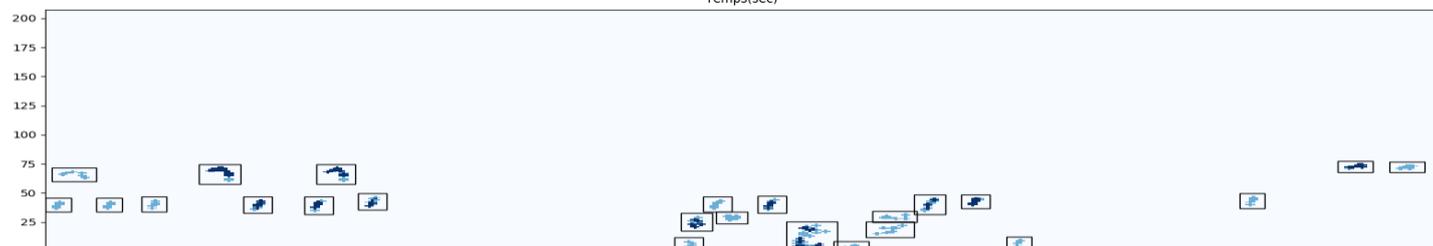
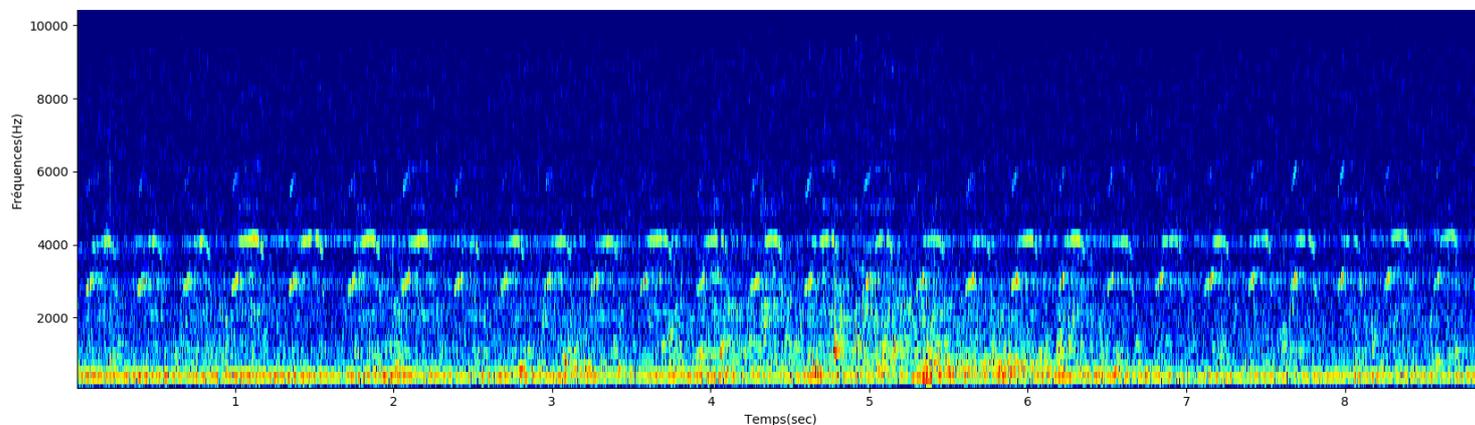


Figure 96. Représentation de 9 secondes (20_04_18_balbuzard_2.wav) cris de balbuzard, en haut : signal brut, en bas, résultats du détecteur d'oiseaux (bleu clair sur la voie 1 et bleu foncé sur la voie 2). Enregistrement disponible : http://sabiiod.univ-tln.fr/scandola_2018/20_04_18_balbuzard_2.wav

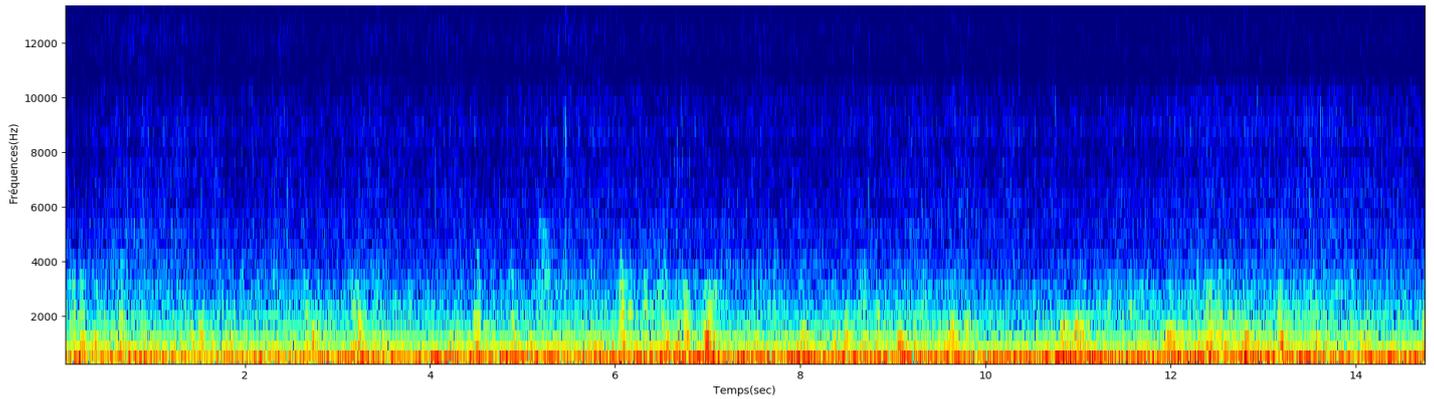


Figure 97. Représentation de 15 secondes de signal (10_08_18_bruit_bateau_voie.wav) contenant du bruit de bateau mais également la voix du guide sur ce bateau, en haut : signal brut, en bas, résultats du détecteur, qui a détectés des bruits anthropiques (bleu clair sur la voie 1 et bleu foncé sur la voie 2). Enregistrement disponible : http://sabiiod.univ-tln.fr/scandola_2018/10_08_18_bruit_bateau_voie.wav

7.3. Résultats

7.3.1. Définition d'un détecteur acoustique spécifique au balbuzard

Le détecteur acoustique de balbuzards se base sur le ratio entre l'énergie (Densité Spectrale de Puissance) du signal sur des bandes de fréquences spécifiques par rapport au reste du signal. Il a été nécessaire de combiner plusieurs bandes de fréquences, car les chants de balbuzards sont souvent constants sur le court terme, mais varient en fréquence sur le long terme. Aussi, les ratios minimums sont spécifiques à chaque bande de fréquence car les niveaux de bruits moyens des différentes bandes varient (Références acoustiques en Annexe 3).

Les bandes de fréquences et ratios associés ont été définis grâce à un processus de tests et d'itérations, en visualisant la détection ou non sur différents exemples de bruit et de chants de balbuzards (Stowell et al., 2018).

La détection est définie par l'équation suivante :

$$SNR_i = \log\left(\frac{Bande_i}{Référence - Bande_i}\right)$$

Bande_i est définie par la somme des DSP dans le temps et dans les fréquences incluses.

Référence est définie par la somme des DSP dans le temps et dans les fréquences incluses.

Une bande référence a été définie pour chaque type de chants (2)

Ratio_i est un réel défini par itération

Détection_i = TRUE \Leftrightarrow $SNR_i > Ratio_i$

Deux types de chants différents ont été répertoriés lors de l'ensemble des analyses.

7.3.1.1. Chant de type 1

Ce chant correspond à des émissions de fréquence constante (environ 2 500 Hz) avec un rythme d'environ 5 émissions par seconde (Figure 98).

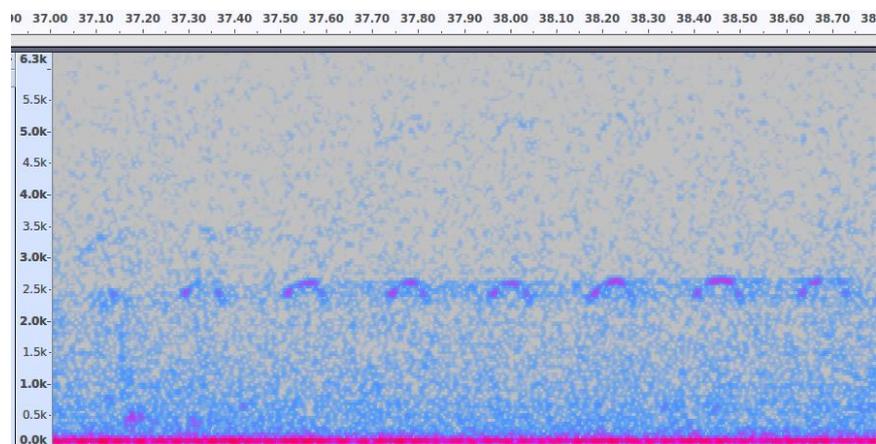


Figure 98. Chant très répétitif, constant en fréquence, environ 5 émissions par secondes.

La bande de référence pour ces chants a été définie entre 2 et 10 kHz.

Les bandes de fréquences relevées pour le chant de type 1 (en Hz), avec leur ratio associé sont :

- [2 300, 2 700] : -0.25
- [2 600, 3 000] : -0.5
- [2 700, 3 200] : 0
- [3 700, 4 300] : -1.1
- [4 200, 4 900] : -1
- [4 900, 5 400] : -1

20-04-2018/ZOOM0001.WAV 0 days 00:16:50

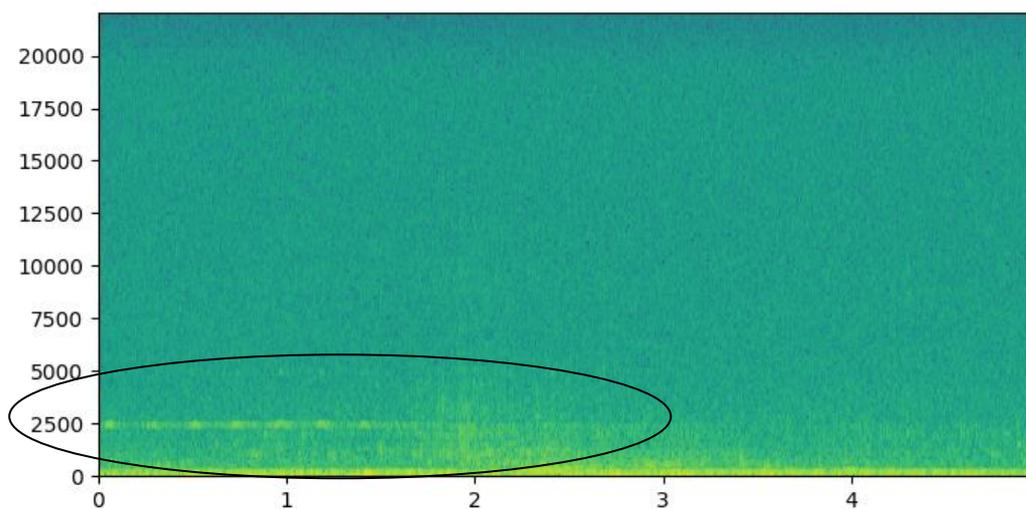


Figure 99. Exemple de spectrogramme avec détection de balbuzard sur la bande [2 300 Hz, 2 700 Hz].

24-04-2018/ZOOM0008.WAV 0 days 03:12:40

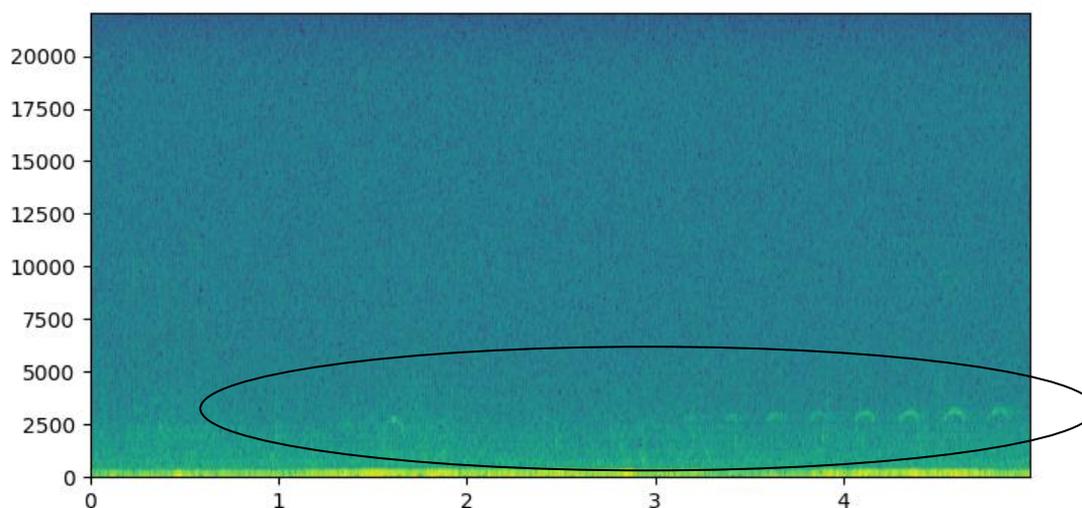


Figure 100. Exemple de spectrogramme avec détection de balbuzard (cercle noir) sur la bande [2 600 Hz, 3 000 Hz].

7.3.1.2. Chant de type 2

Ce chant correspond à des émissions de fréquence variable entre 15 000 et 20 000 Hz environ avec un rythme d'environ 5 émissions par seconde (Figure 101).

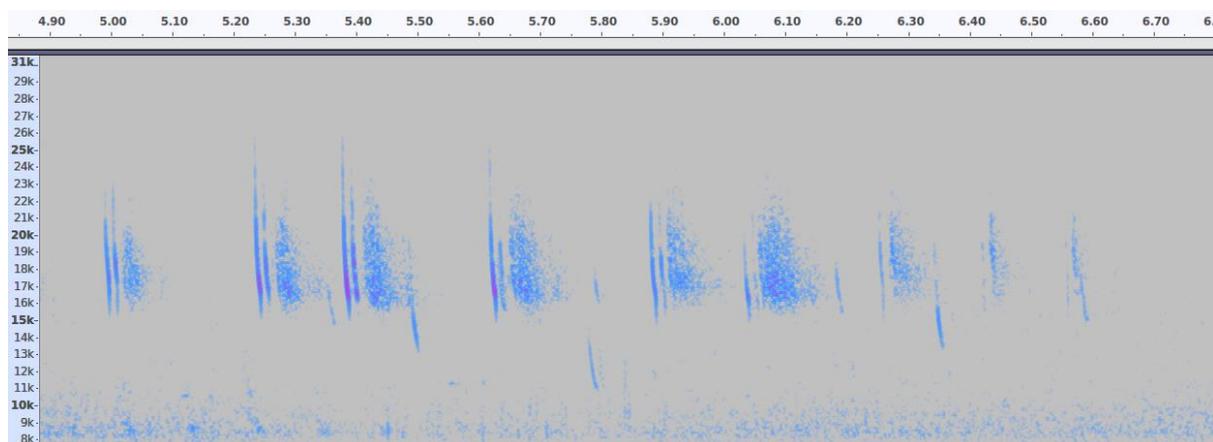


Figure 101. Exemple de chant enregistré dans le protocole, très haut en fréquence, environ 5 émissions par secondes.

La bande de référence pour ces chants a été définie entre 10 000 et 30 000 Hz. Les ratios associés sont :

- [12 000, 21 000] : 1.5
- [15 000, 18 000] : 0
- [18 000, 22 000] : -1.3

7.3.2. Performances du détecteur

Pour mesurer les performances du détecteur, 50 exemples détectés positifs et 50 exemples négatifs ont été tirés au hasard. Ces exemples ont ensuite été annotés positif ou négatif en visualisant leur spectrogramme.

Sur les exemples négatifs (pas de balbuzard détecté), 2 exemples ont été annotés positifs.

Sur les exemples positifs (balbuzard détecté), 6 exemples ont été annotés négatifs.

La précision globale du détecteur est donc de **92%**.

24-04-2018/ZOOM0009.WAV 0 days 02:37:55

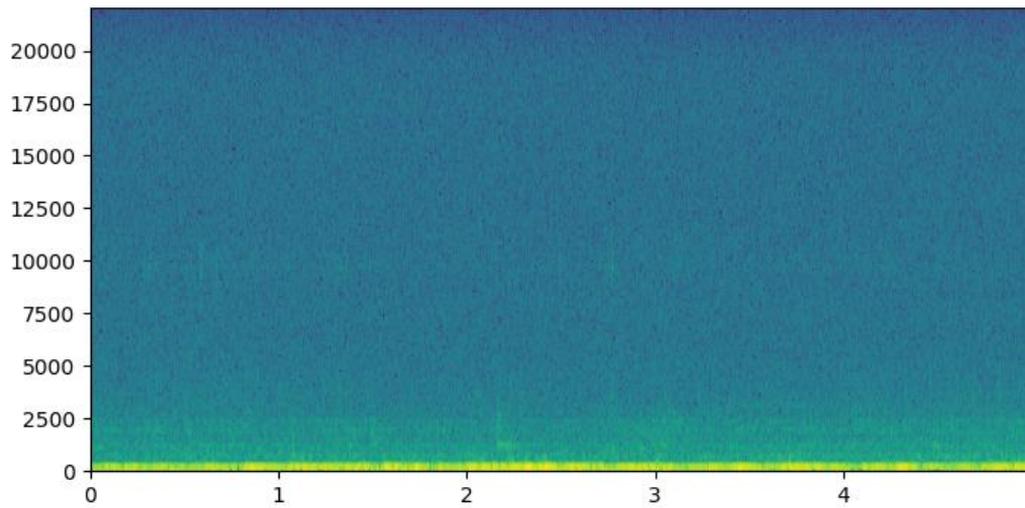


Figure 102. Exemple de détection de balbuzard avec annotation négative

12-08-2018/ZOOM0013.WAV 0 days 00:15:55

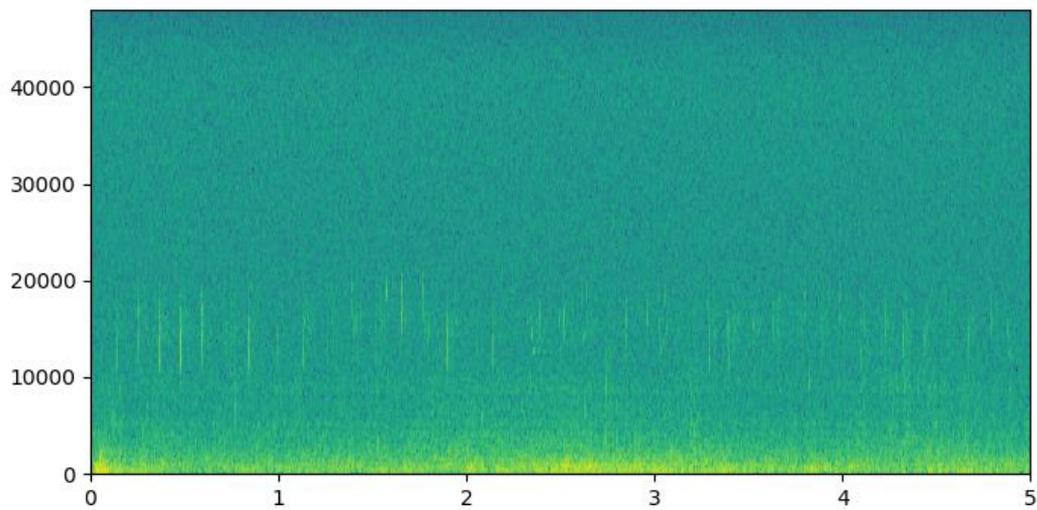


Figure 103. Exemple de non-détection de balbuzard avec annotation positive

8. Croisement des protocoles acoustiques sous-marins et aériens

8.1. Incidence du trafic maritime sur les vocalises du balbuzard pêcheur

L'objectif de cette partie est de mesurer l'influence des bateaux dans la Réserve naturelle de Scandola sur l'activité des balbuzards sur les falaises. Des enregistrements sous-marins ont été effectués pour mesurer l'activité acoustique des bateaux. Pour chaque instant d'enregistrement aérien, avec détection ou non, le niveau d'énergie entre 500 Hz et 1 000 Hz (fréquences habituelles émises par les bateaux) en décibels a été extrait et les corrélations avec les comportements vocaux des balbuzards pêcheurs ont été testés.

8.2. Impacts des niveaux de bruits sous-marins sur les enregistrements aériens

Avant de mesurer la relation éventuelle entre détection de balbuzard et haut dB sous-marin, il faut s'assurer que le haut dB sous-marin n'empêche pas la détection des balbuzards. Les bi-histogrammes ci-dessous présentent en abscisse le niveau dB sous-marin entre 500 et 1 000 Hz, et en ordonnée la densité spectrale de puissance (DSP) aérienne. Ils montrent que l'augmentation en dB sous-marins n'implique pas d'augmentation des DSP aériens, et donc que le détecteur n'est pas perturbé par le bruit des bateaux.

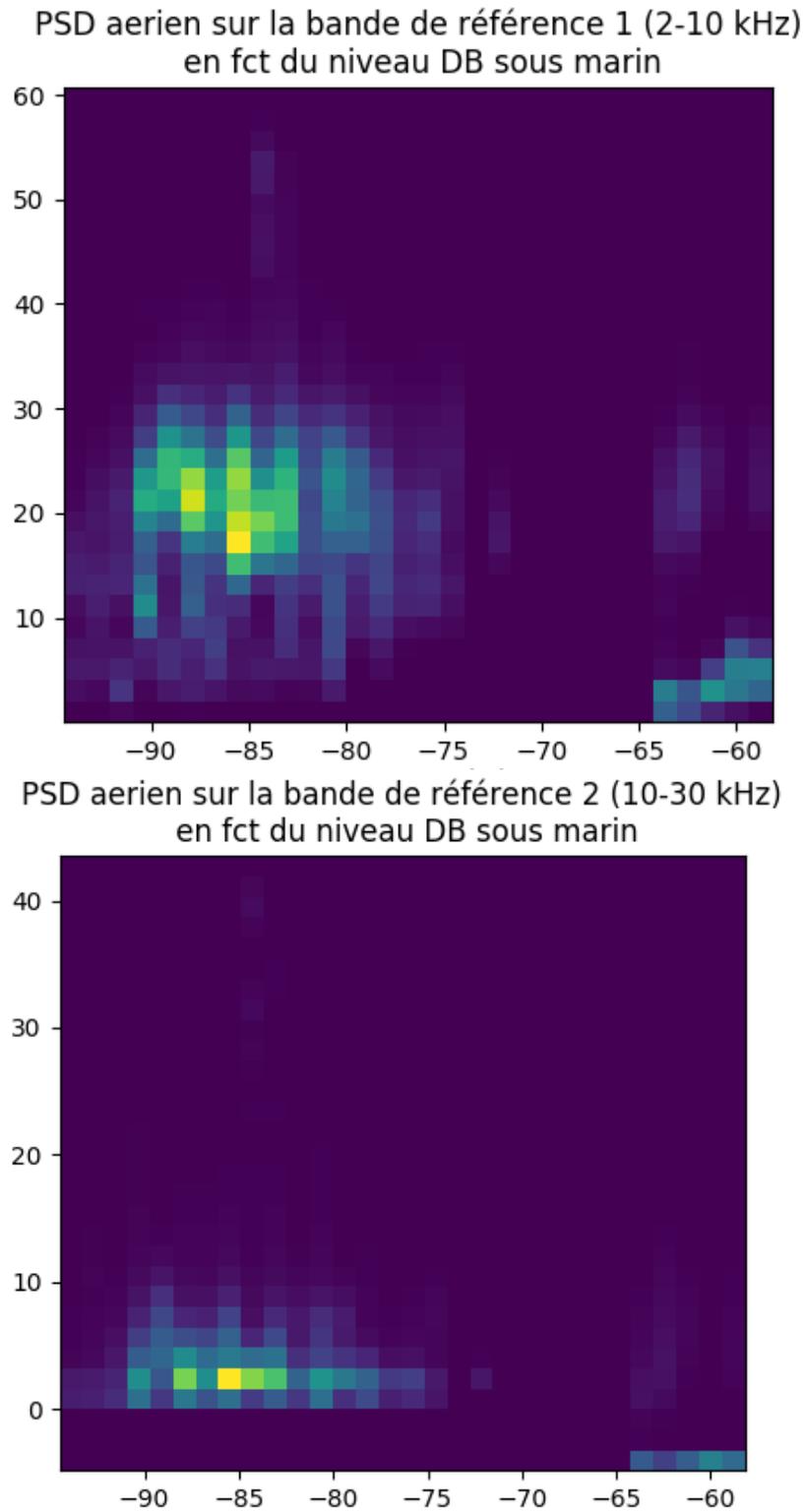


Figure 104. Bi-histogramme des événements acoustiques, en abscisse le niveau DB sous-marin entre 500 et 1 000 Hz, et en ordonnée la DSP (densité spectrale de puissance) aérienne.

En considérant la relation des niveaux dB sous-marins avec la présence des bateaux (forte augmentation de 10:00 à 18:00), nous pouvons considérer le niveau dB sous-marin comme significatif de la présence des bateaux. De plus, les bi-histogrammes ci-dessus démontrent que ces niveaux dB sous-marins n'impliquent pas d'augmentation des niveaux dB aériens, et donc pas de perturbation pour notre détecteur acoustique. Ainsi, les dB sous-marins peuvent être utilisés dans l'étude de la corrélation entre présence de bateaux et chants de balbuzards.

8.3. Variation des comportements des balbuzards

Les histogrammes ci-dessous présentent d'abord le nombre d'échantillons pour chaque niveau de dB sous-marins émis, puis les proportions d'occurrences des 2 types de chants du balbuzard également pour chaque niveau de dB sous-marins émis dont la formule est :

$$\text{Proportion Chant 1 } (x) = \frac{\text{card}(\text{chant1} = \text{True} \cap \text{dB} = x)}{\text{card}(\text{dB} = x)}$$

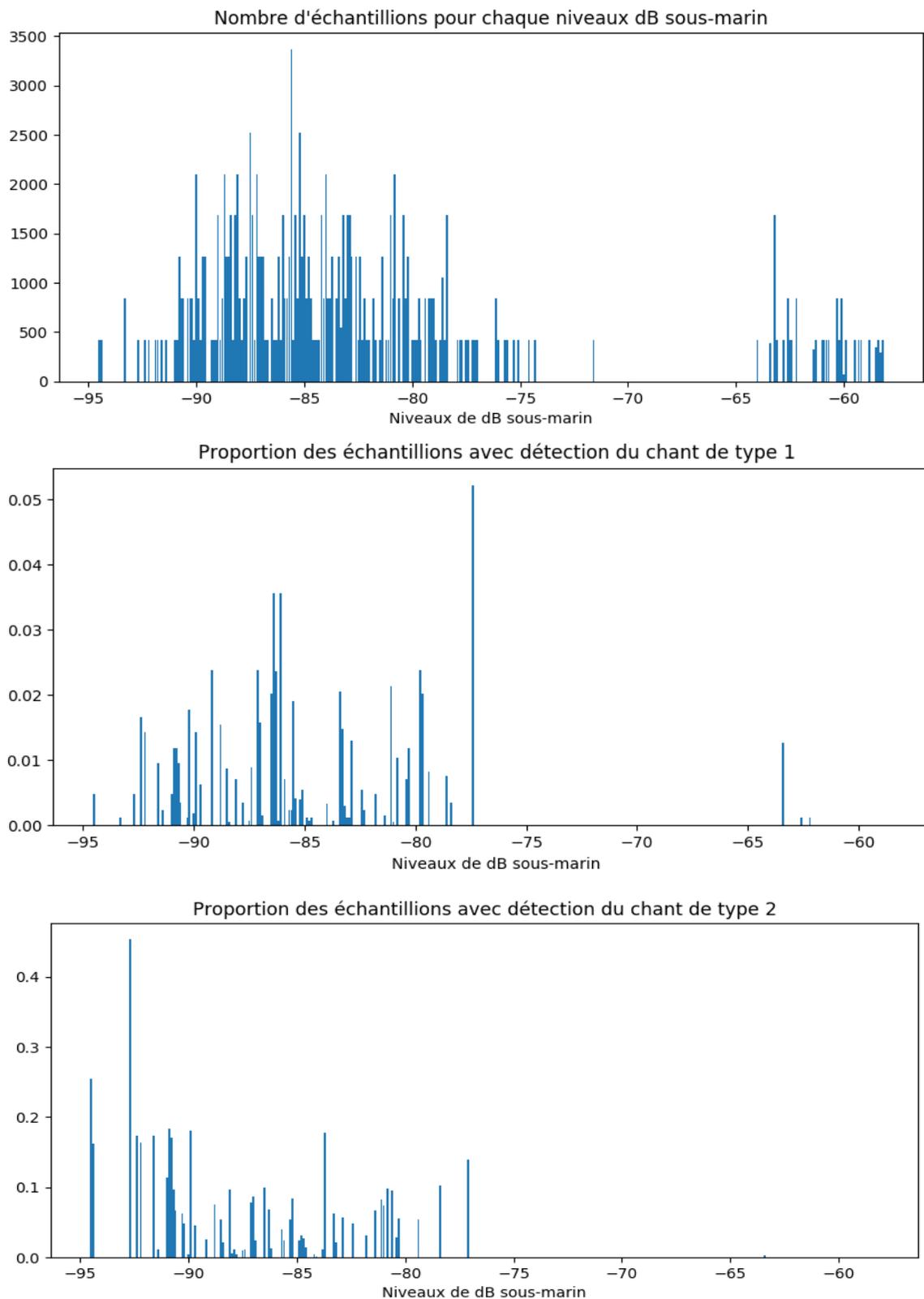


Figure 105. Histogramme des d'échantillons acoustiques en fonction du niveau dB sous-marins (octave 500-1 000hz) analysés par antenne sous-marine (haut), montrant une distribution bimodale : condition normale versus manœuvres bateau d'observation. Bas : proportions des 2 types de chants du balbuzard relativement à chaque niveau dB sous-marins dans la même octave.

L'histogramme des échantillons acoustiques en fonction du niveau dB sous-marins analysés par antenne sous-marine, voir ci-dessus, démontre une distribution bimodale des bruits. Cette distribution est à comprendre comme la condition de bruit faible à normal, versus en dB très élevé dû à au bruit des manœuvres de bateaux. Les proportions d'occurrences des 2 types de chants du balbuzard relativement à chacun de ces niveaux de bruit dB sous-marins dans la même octave montrent l'absence de chant pour la condition -65dB (niveau déjà supérieur au niveau moyen) sauf pour les cris de type 1. La moyenne des bruits marins pour l'émission la plus fréquente des chants de type 1 est -86 dB, contre -91dB pour le chant de type 2 (donc en condition de bruit environ deux fois plus faible).

Ces distributions montrent une réduction du chant de type 2 lors de fortes émissions de bruit sous-marin, tandis que les occurrences du chant de type 1 semblent plus rares, et moins impactées par ce dernier. **Nous pourrions émettre l'hypothèse que le chant de type 1 est un chant d'alerte, émis lors de présence de bateau.** Des échantillons de ces signaux sont donnés en annexe (Annexe 3).

Les mesures de bruit sur les microphones posés sur la zone donnent aussi une preuve de l'impact des passages des bateaux touristiques sur le paysage acoustique du site (Figure 106). En effet, les niveaux dB aériens calculés sur deux après-midis entières montrent un pic dB très court de 3 dB vers milieu de matinée et milieu d'après-midi le 10 août 2018 (bruits deux fois plus forts que normal dans le paysage à cette même heure, même site).

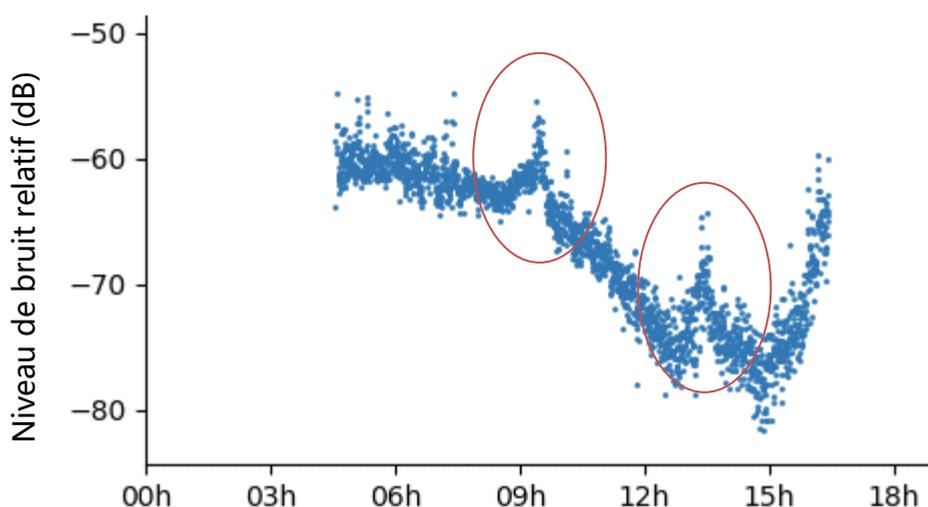


Figure 106. Evolution temporelle des pics de dB aériens de +6dB (bruit deux fois plus fort), dus au passage de bateaux touristiques durant la journée du 9 août 2018. On note ces pics vers 10:00 et 14:30 (octave 500 à 1 000 Hz).

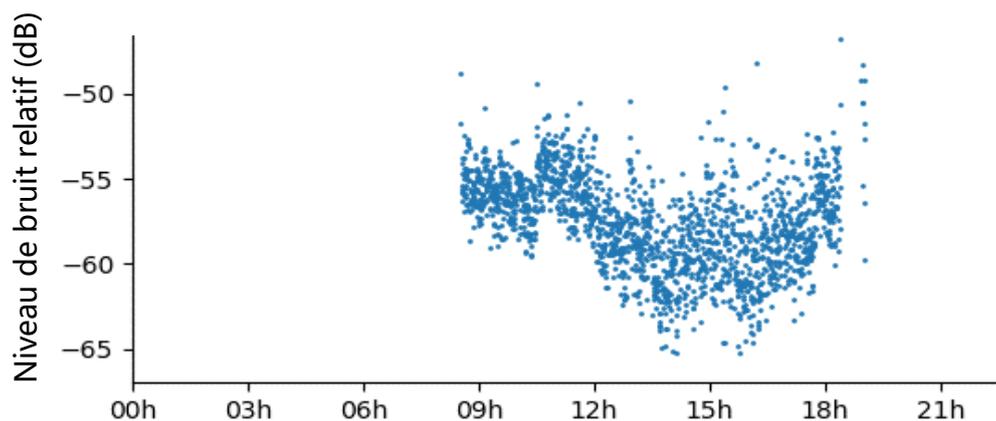


Figure 107. Evolution des dB aériens le 10 août 2018 montrant des pics moyens de bruit en milieu de matinée (10:30), et reprise vers 13:30h et toute l'après-midi, heure de passage des activités touristiques ; analyse dans le même octave (500-1000 Hz).

Les sons relatifs à ces moments, qui sans surprise sont notamment des bruits de voix humaines discutant du paysage depuis le bateau, en plus du bruit des bateaux (Annexe 3).

9. Analyse des détections des clics sous-marins, interaction entre le trafic des bateaux et les cétacés

Les enregistrements effectués sont faits à haute fréquence d'échantillonnage, et montrent que les bateaux ont des raies spectrales au-delà de 40 kHz, dans des fréquences propices à la communication et à la chasse des odontocètes. L'hypothèse peut être faite d'une sous-fréquentation de la zone par ces mammifères alors que la bathymétrie est remarquable et propice à leur alimentation. Pour l'estimer, le nombre des détections des clics centrés sur 40 kHz est donné Figure 108, qui sont attribuables notamment au passage des dauphins (très probablement le grand dauphin *Tursiops truncatus*) sur la zone.

Il en ressort une probable fréquentation des dauphins l'été dès 7:00 et jusqu'à 13:00, puis une chute de leur fréquentation de la RNS. Il est possible que cela soit corrélé avec la superposition des fréquentations de bateaux depuis le milieu de matinée et au cours de la journée expliqué par un seuil de tolérance peut être dépassé par les dauphins.

Les cachalots eux émettent à des fréquences de l'ordre de 12 à 24 kHz (Figure 109). Une autre recherche pour ces clics démontre leur présence possible en avril et en août non loin de la Réserve. On donne un échantillon d'un individu d'environ 13 mètres (IPI de 5 ms, Abeille *et al*, 2012). Ce constat démontre la très bonne propagation acoustique du site. Si l'on détecte cette espèce abyssale, alors les bruits des bateaux passant dans la zone de la pose des hydrophones sont aussi perçus par cette espèce.

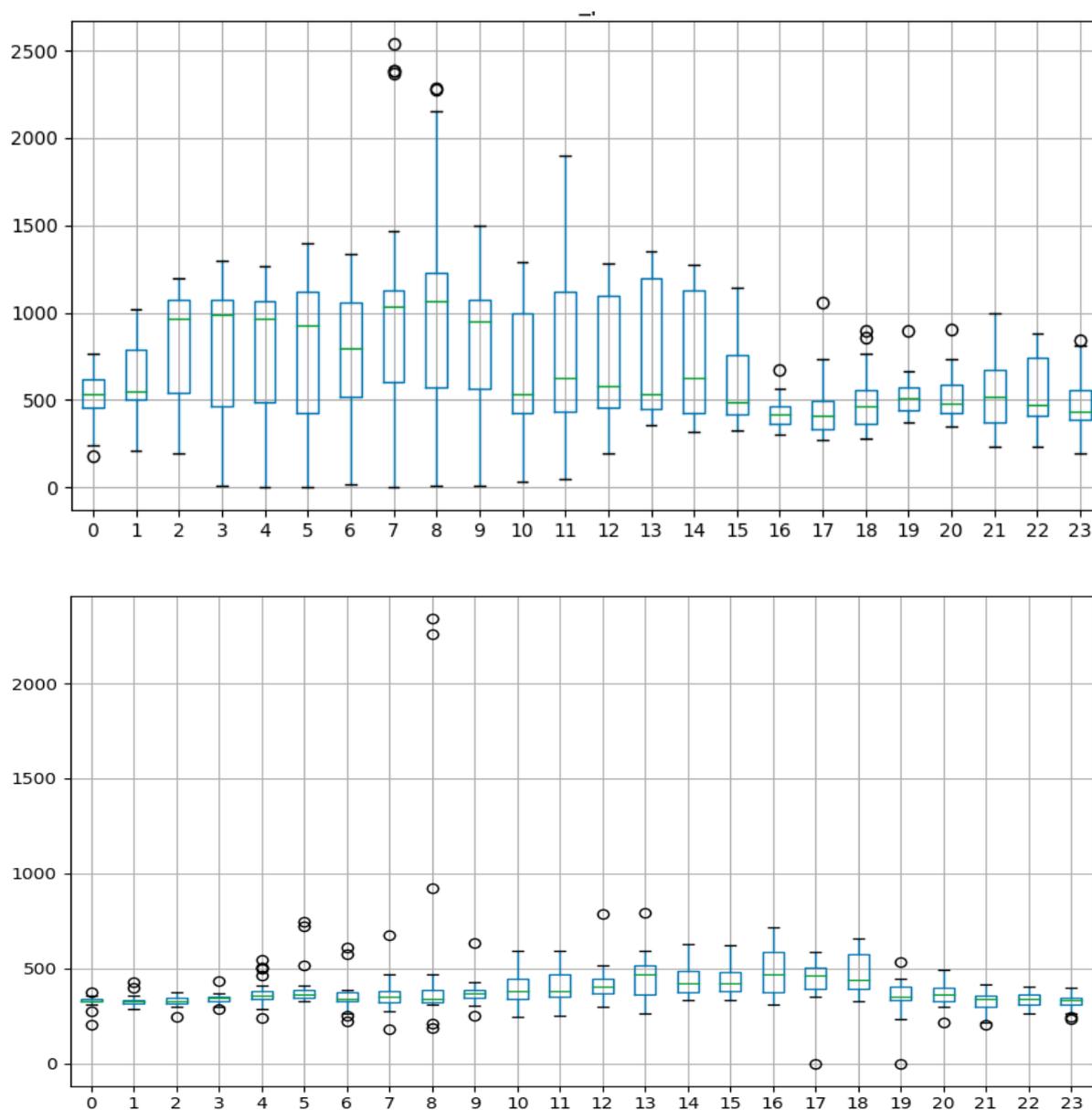


Figure 108. Evolution horaire moyenne et std sur tous les enregistrements du nombre de détection de clics vers 40 kHz, notamment attribuables à la présence de cétacés dans la baie. Plus l'indice est fort (somme des détections sur une heure), plus la probabilité de présence d'un odontocète (notamment le tursiops) augmente. Haut : été à Elbu, août 2018. Bas : printemps aux Orgues, avril 2019. Ces courbes suggèrent un niveau de référence à faible présence pour 400 détections (autres sources biophoniques) et une présence de cétacés l'été (environ 1 000 détections de clics par heure) entre 2:00 et 14:00, puis une fuite de la zone dès 14:00.

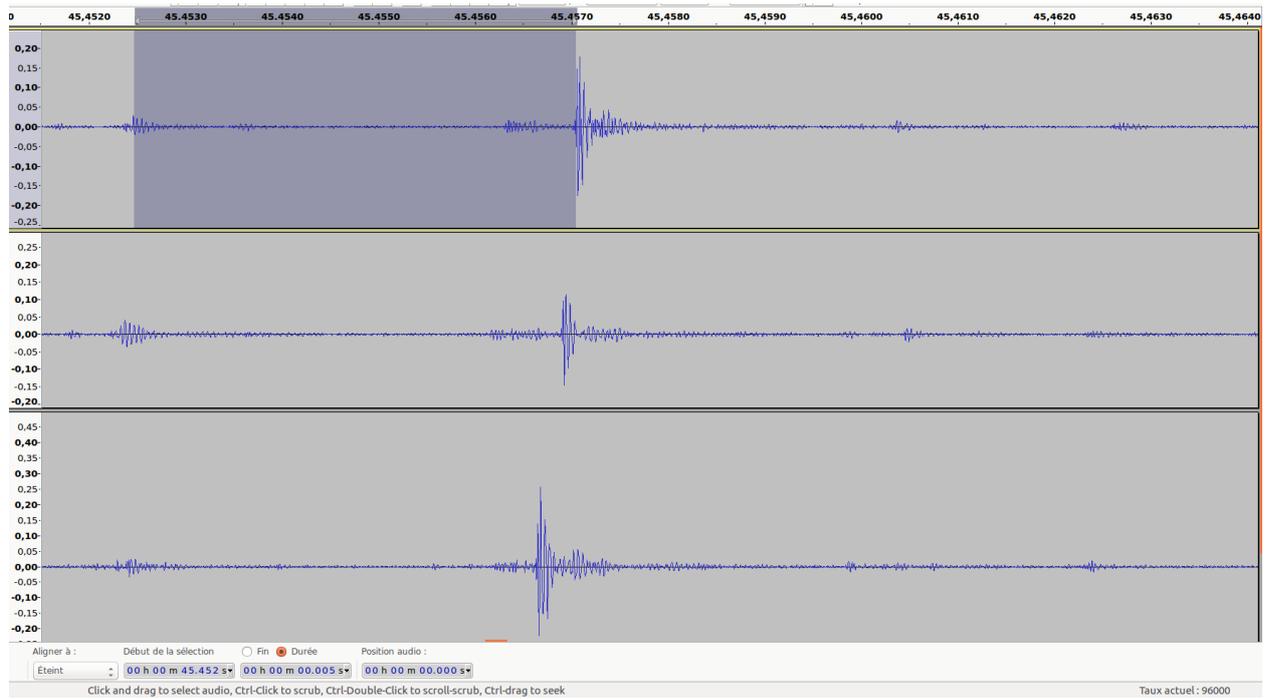


Figure 109. Clic de cachalot enregistré sur la station Orgues en 3 canaux, le 19 avril 2019 à 0:26 UTC, montrant un Intervalle inter-pulse IPI (Abeille et al., 2014) de 5 ms, plutôt donc d'un juvénile d'environ 13 m.

10. Evaluation du peuplement de poissons

10.1. Objectif/Hypothèses de travail

La qualité des assemblages de poissons dans la Réserve naturelle de Scandola est la résultante :

- (i) de la qualité des eaux et de la qualité des habitats sous-marins de son territoire ;
- (ii) de la gestion en place depuis 1975. La protection intégrale et partielle a permis l'installation d'un peuplement diversifié accueillant des géniteurs de grande taille. Le mérrou brun *Epinephelus marginatus* et le corb *Sciaena umbra* sont deux 'emblèmes' du succès de cette gestion ;
- (iii) des usages pratiqués dans et autour de la Réserve. La pêche (professionnelle dans la zone partielle et récréative à l'extérieur de la Réserve) influence la composition du peuplement et la taille des individus. La possibilité d'actes de braconnage, malgré la surveillance des agents de Réserve est à ajouter aux impacts potentiels du prélèvement par toutes les formes de pêche (professionnelle et récréative).

L'incidence du dérangement sur le peuplement de poissons, en particulier du bruit, est mal connue. Une des hypothèses que l'on peut chercher à tester dans le cadre de ce travail est une influence des émissions sonores dues aux bateaux sur la répartition verticale (colonne d'eau) et horizontale (stations) des poissons engendrant des patrons de composition du peuplement différents selon que les sites sont exposés ou non à ce facteur de dérangement. Il est supposé que certains niveaux sonores sont tels qu'ils induisent un dérangement de la faune et peuvent engendrer un déplacement d'une partie du peuplement en dehors de la zone de dérangement : soit plus loin, soit plus en profondeur.

Sur la base des connaissances acquises sur la fréquentation dans ce travail (nombre d'embarcation, flux, étude par acoustique passive), plusieurs catégories de niveau sonore (fort, faible et nulle/négligeable) ont été définies (Tableau XVI).

L'évaluation des peuplements de poissons à partir de comptages visuels a pour objectifs d'obtenir des informations sur la composition du peuplement en fonction des émissions sonores tout en considérant les différents modes de gestion (réserve intégrale, réserve partielle et hors-réserve) en comparant (i) les campagnes où la fréquentation est forte (été) et moyenne à faible (printemps et automne ; (ii) les stations les moins bruyantes (à

une campagne donnée) à celles les plus soumises à la nuisance sonore (celles de la passe de Palazzu et du rocher des Orgues).

L'emploi de catégories trophiques et de catégories spatiales pour analyser le peuplement de poissons permet de tenter de déceler des patrons différents en fonction de la campagne ou à certaines stations ou l'influence du niveau sonore peut devenir une pression sur le peuplement et induire une différence de comportement ou un déplacement pour s'éloigner de la source. Notre hypothèse est que l'augmentation saisonnière de la fréquentation peut peut-être induire des modifications dans le peuplement de poisson décelables par comptages visuels en analysant les données après regroupement en catégories descriptives. Les catégories trophiques et spatiales définies par Bell et Harmelin-Vivien (1983) et Harmelin (1987) intègrent le comportement des espèces, en particulier les catégories spatiales, et nous voulons tester si elles peuvent permettre de mettre en évidence des modifications

10.2. Méthodologie

Des comptages visuels de poissons ont été menés sur la roche infralittorale à algues photophiles au niveau de 6 stations : 2 en réserve intégrale (S1 Palazzu et S2 Gargalu extérieur), 2 en réserve partielle (S3 Orgues et S4 Solana) et 2 en dehors de la Réserve (S5 Porri et S6 Caletta) (Tableau XVI, Figure 110). Les stations ont été classées en fonction du niveau de nuisance sonore dû à la fréquentation maritime ; celle-ci est forte au niveau de S1 Palazzu et de S3 Orgues. Elle est considérée comme négligeable ou nulle au niveau de S2 Gargalu extérieur et faible aux autres stations.

Tableau XVI. Stations de suivi, niveau de nuisance sonore supposé, niveau de protection et nombre de réplicats suivis par station et par campagne.

Station	Niveau de nuisance sonore	Niveau de protection	Aout 2018	oct-18	avr-19	Total par station
S1 Palazzu	Forte	Réserve intégrale	10	10	10	30
S2 Gargalu extérieur	Nulle	Réserve intégrale	10	10	10	30
S3 Orgues	Forte	Réserve partielle	10	10	10	30
S4 Solana	Faible	Réserve partielle	10	10	10	30
S5 Porri	Faible	Hors réserve	10	10	10	30
S6 Caletta	Faible	Hors réserve	10	10	10	30
Total			60	60	60	180

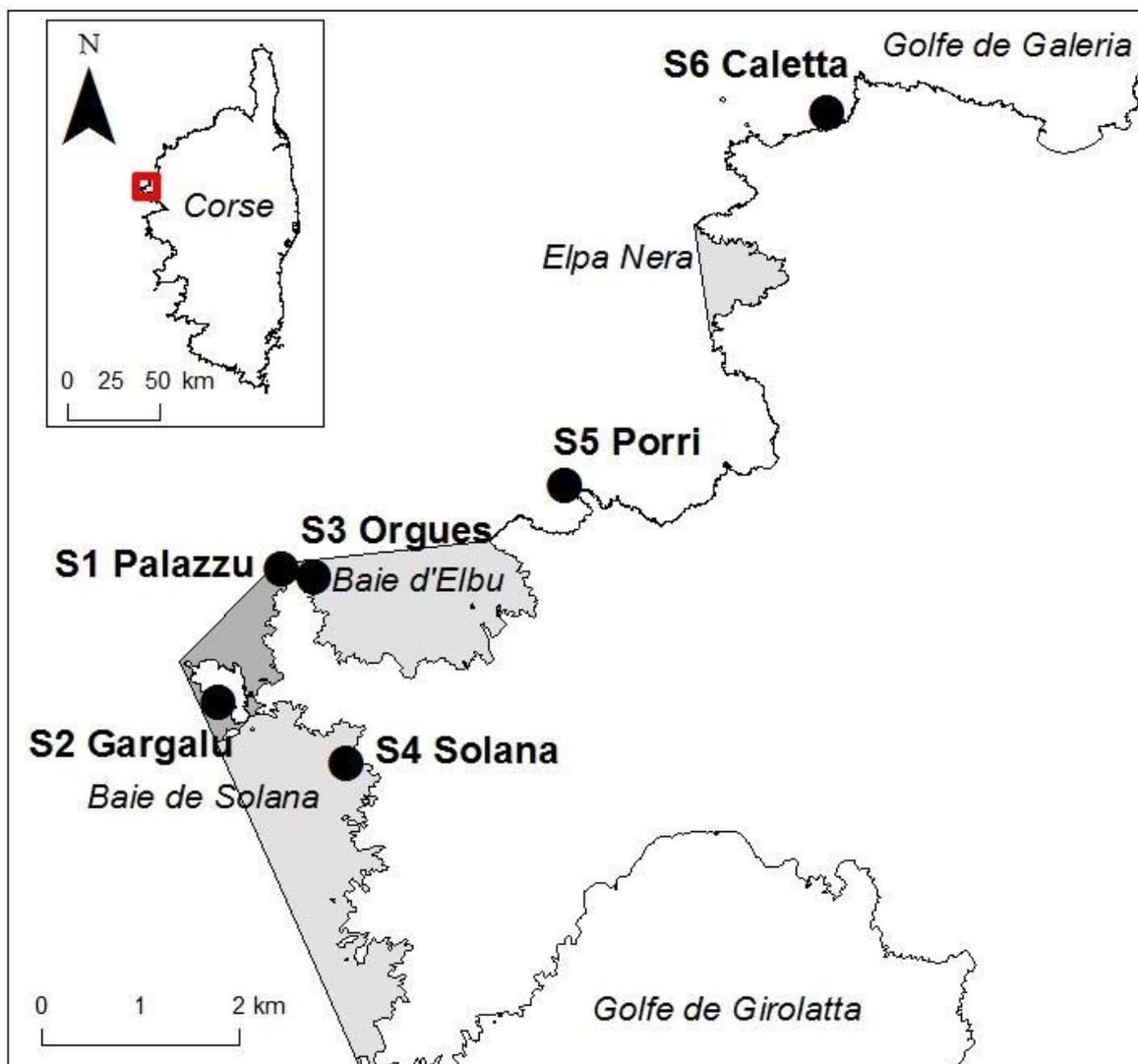


Figure 110. Localisation des stations de comptages visuels de poissons en plongée sous-marine (gris clair : zone de protection partielle ; gris foncé : réserve intégrale).

Les comptages visuels se sont déroulés sur roche infralittorale entre 10 et 15 m de profondeur environ. Ils ont eu lieu en août (période de plus forte fréquentation), octobre 2018 et avril 2019 (périodes où la fréquentation est plus faible).

Au sein de chaque station, le peuplement de poissons a été recensé le long de transects de 25 m de long et de 4 m de large (10 transects par station ; Figure 111). Chaque individu ou groupe d'individus a été identifié au niveau taxonomique le plus proche (espèce, genre, etc.), la taille (à 2 cm près) et l'abondance ont été estimées. Les comptages se sont déroulés pendant la journée, entre 10:00 et 16:00 GMT d'après les recommandations de Harmelin-Vivien *et al.* (1985).



Figure 111. Observateur en cours de comptage visuel de poissons le long d'un transect à S04 Solana.

10.3. Analyses des données

10.3.1. Métriques utilisées

Après saisie dans une base de données, les comptages visuels nous permettent d'extraire les descripteurs suivants :

- **L'abondance** de poissons, convertie en densité moyenne par unité d'échantillonnage, c'est-à-dire par transect de 100 m² ;
- La **biomasse** moyenne en kg par transect de 100 m² ;
- La **richesse spécifique** totale et moyenne par transect de 100 m² ;
- La **taille des individus** permettant une analyse démographique et le calcul de la biomasse.

Lorsque nécessaire, les espèces planctonophages, au comportement agrégatif, dont la présence est aléatoire ont été exclues des analyses.

Les petites espèces benthiques (gobiidés, blenniidés et tripterygidés) n'ont pas été prises en compte lors des comptages. L'évaluation de leur abondance est biaisée par leur comportement cryptique et leur petite taille.

La biomasse a été calculée à partir de la taille des poissons, grâce à des relations taille-poids. Un référentiel de taille maximale (FAO) et de coefficients a et b (Fish Base, ECOEN, littérature) permettant de calculer les relations taille/poids pour toutes les espèces observées, ont été utilisés.

La relation simple liant la longueur à la masse est la suivante : **$W = a \times L^b$**

où **W** est la masse du poisson exprimée en grammes

L est la longueur totale exprimée en centimètres

a est une constante dépendant de l'espèce considérée

b est le coefficient d'allométrie généralement voisin de 3.

Le calcul de a et de b est possible dès que l'on dispose de données en nombre suffisant (masses ou longueurs), dans toute l'étendue de la gamme et donc de préférence récoltées à différentes périodes de l'année dans une même région géographique. Les valeurs de a et b sont disponibles dans la littérature et différents référentiels existent dont le référentiel Fishbase.

10.3.2. Regroupement des espèces par catégories trophiques

Une analyse de la structure trophique du peuplement a été menée, selon les catégories définies par Bell et Harmelin-Vivien (1983), Rosecchi (1985) et Sala (1996). Sept groupes ont été considérés :

- **planctonophages diurnes (PPD)** : espèces de pleine eau s'alimentant la journée. Les principales espèces de ce groupe sont : *Boops boops*, *Spicara* spp., *Chromis chromis*, etc. ;
- **planctonophages nocturnes (PPN)** : espèces s'alimentant de zooplancton la nuit. *Anthias anthias* et *Apogon imberbis* appartiennent à ce groupe ;
- **herbivores (HE)** : seule la saupe *Sarpa salpa* appartient à ce groupe, seule espèce de poisson exclusivement herbivore présente en Méditerranée nord occidentale ;
- **mésocarnivores (ME)** : il s'agit de prédateurs de proies de taille moyenne, crustacés, mollusques, etc. Dans ce groupe il y a l'ensemble des labridés, quelques Sparidés (*Diplodus sargus*, *D. vulgaris*, *D. annularis*, *Pagellus erythrinus*), *Mullus surmuletus*, *Sciaena umbra*, *Phycis phycis*, etc. ;
- **omnivores (OM)** : *Diplodus puntazzo*, *SpondylIOSoma cantharus*, *Pagellus acarne* et tous les Mugilidés appartiennent à ce groupe ;
- **macrocarnivores (MA)** : Il s'agit de prédateurs de proies de grande taille, crustacés, mollusques et éventuellement téléostéens. Les principales espèces appartenant à ce groupe sont *Scorpaena porcus*, *S. notata*, *Pagrus pagrus*, *Serranus* spp., *Muraena helena* ;
- **piscivores (PI)** : il s'agit de prédateurs de proies de grande taille majoritairement composées de téléostéens. *Dicentrarchus labrax*, *Scorpaena scrofa*, *Conger conger*, *Dentex dentex*, *Epinephelus marginatus* sont les principales espèces constituant ce groupe.

10.3.3. Regroupement des espèces par catégories spatiales

L'analyse des catégories d'occupation spatiale du peuplement de poissons (Harmelin, 1987 ; Figure 112) peut renseigner sur leur répartition dans la colonne d'eau et leurs déplacements horizontaux :

- **catégorie 1** : elle regroupe les espèces de pleine eau, grégaires et très mobiles, avec un domaine spatial vaste et une activité diurne. Elle comprend notamment les espèces suivantes : *Spicara* sp., *Boops boops*, *Oblada melanura*, les mugilidés en général, *Dicentrarchus labrax*, *Seriola dumerilii* ;
- **catégorie 2** : elle regroupe des poissons sédentaires vivant en bancs dans toute la colonne d'eau. *Chromis chromis* et *Anthias anthias* appartiennent à cette catégorie ;
- **catégorie 3** : elle comprend des espèces necto-benthiques effectuant des déplacements verticaux d'amplitude moyenne (quelques mètres) et des déplacements latéraux plus ou moins importants, mais avec une fidélité stationnelle marquée. Ce sont les sparidés à activité diurne : *Diplodus* spp., *Spondylisoma cantharus*, *Sparus aurata*, *Sarpa salpa*, *Dentex dentex* ;
- **catégorie 4** : elle regroupe des espèces necto-benthiques à déplacements verticaux très faibles et à déplacements latéraux importants. Seul le rouget de roche *Mullus surmuletus* appartient à cette catégorie ;
- **catégorie 5** : elle comprend des espèces necto-benthiques à forte sédentarité ayant des déplacements verticaux et latéraux faibles. Cette catégorie regroupe tous les labridés présents ainsi que deux espèces de serranidés : *Serranus cabrilla* et *Serranus scriba*, et un Scianidé : *Sciaena umbra* ;
- **catégorie 6** : la dernière catégorie inclut des espèces necto-benthiques à très forte sédentarité. Ces poissons présentent des déplacements verticaux quasi nuls et des déplacements latéraux rares et de très faible amplitude. Ce sont pour la plupart des espèces dépendantes d'un abri, constituant un refuge momentané ou pour un repos cyclique. Deux sous-catégories 6a et 6b sont distinguées. La catégorie 6a comprend des espèces statiques à l'extérieur des abris. Ce sont des espèces diurnes : blenniidés, gobiidés, et triptérygiidés. La catégorie 6b comprend des espèces à tendance nocturne : scorpaenidés, *Conger conger*, *Phycis phycis*. Les catégories 6a et 6b ont été considérées ensemble. Elles sont dénommées catégorie 6 par la suite par commodité.

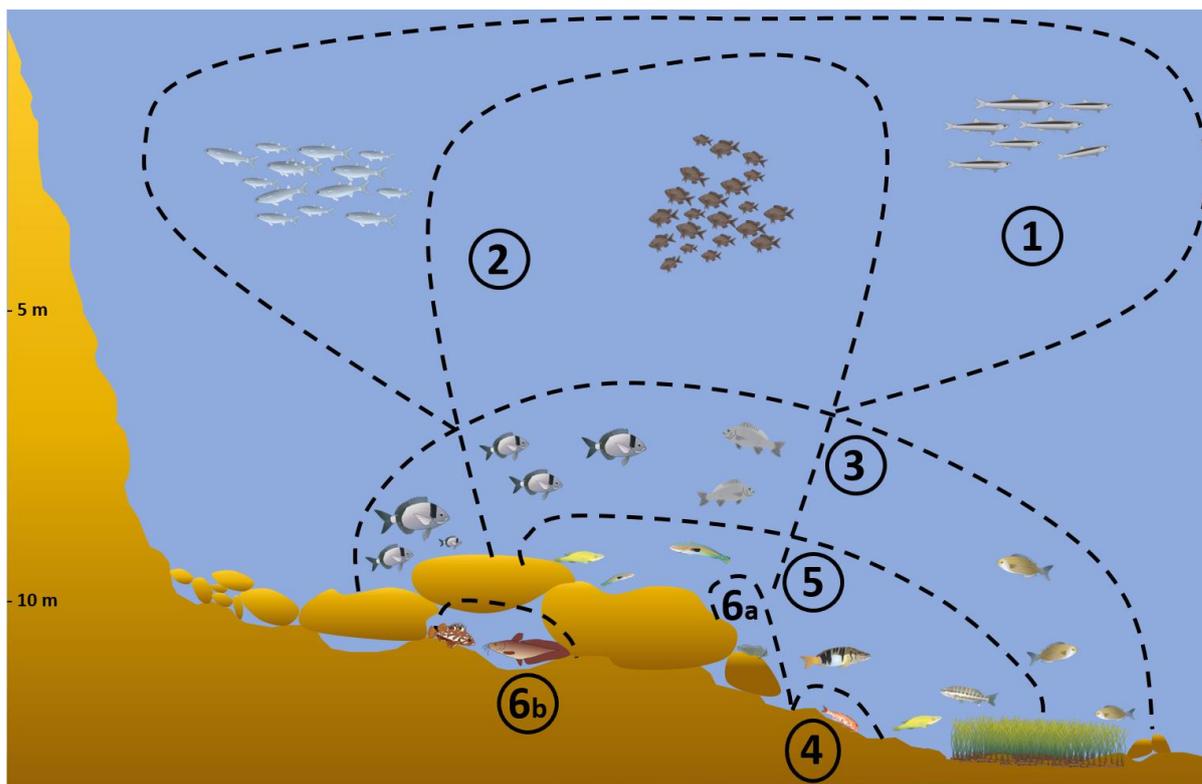


Figure 112. Organisation spatiale de l'ichtyofaune sur les fonds rocheux infralittoraux méditerranéens (modifié d'après Harmelin, 1987).

10.3.4. Traitement statistique des données

La variation des différentes métriques calculées pour les peuplements de poisson ont été analysées statistiquement, de manière globale puis vers des niveaux de détail plus importants à l'échelle d'un groupe trophique, d'un groupe spatial ou d'une espèce. Ces variables ont été analysées pour connaître le rôle du statut de réserve, de la campagne et/ou du niveau de nuisance sonore, en utilisant des Modèles Linéaires Généralisés (GLM). La Richesse Spécifique (RS) a été analysée grâce à un GLM de loi Poisson (fonction de lien 'log'), les données de densité grâce à des GLM de loi Binomiale Négative (fonction de lien 'log'). Les données de biomasse ont été traitées de deux manières suivant la proportion de 0 observés dans le jeu de données :

- (i) lorsque l'ensemble des biomasses calculées dans les échantillons est strictement supérieur à 0, un GLM de loi Gamma (fonction de lien 'log') a été utilisé ;
- (ii) lorsqu'au moins un 0 a été observé dans les comptages, l'analyse a été déclinée en deux étapes (Stefansson, 1996). Tout d'abord la variabilité de la fréquence d'occurrence de la variable a été testée (par exemple l'occurrence du mérrou brun en fonction de la saison et du statut de protection) grâce à un GLM à loi Binomiale (fonction de lien 'logit'), puis dans un second temps les biomasses

positives observées sont analysées grâce à un GLM à loi Gamma (lien 'log'). Cette succession de traitements est directement liée dans le sens où la première analyse peut indiquer par exemple, si le mérrou brun est plus souvent observé au moins une fois le long d'un transect. Dans le cas où il est observé, le deuxième traitement indiquera ensuite si le mérrou brun y est observé en plus grande quantité.

Les meilleurs modèles statistiques, c'est-à-dire ceux permettant d'expliquer les abondances, RS ou biomasse en fonction des variables significativement pertinentes, ont été sélectionnés à partir du critère d'information bayésien (BIC) (Schwartz, 1978). Enfin, des tests post-hoc de Tukey ont été réalisés sur les variables sélectionnées dans le modèle, afin de comparer de manière univariée l'influence de leurs modalités. Les seuils de significativité ont été fixés à une erreur de 5%.

Dans les cas où aucun des modèles paramétriques n'étaient applicables, un test non paramétrique de Kruskal-Wallis a été utilisé.

10.4. Résultats

10.4.1. Description générale du peuplement de poissons

Au cours des trois campagnes de comptages réalisées en août et en octobre 2018 et en avril 2019, 44 taxons ont été rencontrés, respectivement 34 en août 2018 et 38 en octobre 2018 et avril 2019. Au total, 128 139 individus ont été dénombrés, 38 171 en août 2018, 45 554 en octobre 2018 et 44 414 en avril 2019. Près de 86 % de l'abondance est représentée par la castagnole *Chromis chromis*, suivie par la girelle *Coris julis* (3.5 %), le crénilabre ocellé *Symphodus ocellatus* (2.0 %) et l'oblade *Oblada melanura* (1.6 %) (Tableau XVII).

La biomasse totale de poissons dénombrés est de 545 kg en août 2018, 1 118 kg en octobre 2018 et 966 kg en avril 2019, pour un même nombre de transects (n = 60 par campagne). Soit une biomasse moyenne de 9.1 kg par 100 m² en août 2018, de 18.6 kg par 100 m² en octobre 2018 et de 16.1 kg par 100 m² en avril 2019.

Tableau XVII. Abondance (nombre d'individus) et biomasse totale (kg) observées par espèce et par campagne.

Espèces	Aout_2018		Octobre_2018		Avril_2019		Total	
	Abondance	Biomasse	Abondance	Biomasse	Abondance	Biomasse	Abondance	Biomasse
<i>Anthias anthias</i>	206	0.26	508	7.24	46	0.60	760	8.10
<i>Apogon imberbis</i>	538	2.94	235	4.90	31	0.52	804	8.36
<i>Boops boops</i>	232	3.59	310	3.03	62	1.17	604	7.79
<i>Chromis chromis</i>	33 016	86.63	36 940	232.86	39 970	292.01	109 926	611.50
<i>Coris julis</i>	1 509	10.41	1 725	15.29	1 303	14.56	4 537	40.27
<i>Dasyatis pastinaca</i>					2	10.01	2	10.01
<i>Dentex dentex</i>	9	8.38	9	28.07	11	27.00	29	63.45
<i>Diplodus annularis</i>	16	0.22	11	0.14	7	0.35	34	0.72
<i>Diplodus puntazzo</i>	13	7.15	7	2.43	15	6.18	35	15.75
<i>Diplodus sargus</i>	136	34.08	158	48.26	113	59.39	407	141.73
<i>Diplodus vulgaris</i>	277	43.75	247	50.64	198	36.88	717	131.28
<i>Epinephelus marginatus</i>	26	233.50	55	507.48	27	336.41	108	1077.39
<i>Labrus merula</i>	19	1.64	39	3.28	25	4.56	83	9.48
<i>Labrus mixtus</i>					1	0.05	1	0.05
<i>Labrus viridis</i>	15	0.09	3	0.18	4	0.34	22	0.62
<i>Mullus surmuletus</i>	1	0.01	4	0.41	4	0.37	9	0.79
<i>Muraena helena</i>	2	2.24	4	2.47	2	1.70	8	6.42
<i>Mycteroperca rubra</i>	7	35.09	5	22.59	4	15.65	16	73.34
<i>Oblada melanura</i>	418	30.69	965	75.04	710	79.72	2 098	185.44
<i>Phycis phycis</i>			1	0.11			1	0.11
<i>Sarpa salpa</i>	383	18.64	140	57.39	1	0.35	524	76.39
<i>Sciaena umbra</i>	10	3.77	35	10.75	35	12.67	80	27.20
Scombridae			1	1.70			1	1.70
<i>Scorpaena maderensis</i>	3	0.09	33	1.47	4	0.19	40	1.75
<i>Scorpaena notata</i>			6	0.15			6	0.15
<i>Scorpaena porcus</i>	1	0.02	2	0.06			3	0.08
<i>Scorpaena scrofa</i>					1	0.39	1	0.39
<i>Seriola dumerili</i>					1	13.68	1	13.68
<i>Serranus cabrilla</i>	59	1.39	63	2.59	34	1.73	156	5.71
<i>Serranus scriba</i>	152	7.77	220	12.25	126	8.24	498	28.26
<i>Sphyraena viridensis</i>	3	1.77			1	0.50	4	2.27
<i>Spicara maena</i>			61	0.72	238	2.18	299	2.90
<i>Spicara smaris</i>			790	5.36	561	12.20	1 351	17.57
<i>Spondylisoma cantharus</i>	9	0.19	39	3.48	43	9.30	91	12.96
<i>Symphodus cinereus</i>	3	0.01					3	0.01
<i>Symphodus doderleini</i>	30	0.12	18	0.14	11	0.08	59	0.34
<i>Symphodus mediterraneus</i>	97	0.79	50	0.63	76	1.06	223	2.48
<i>Symphodus melanocercus</i>	4	0.02	17	0.08	24	0.15	45	0.25
<i>Symphodus ocellatus</i>	560	0.99	1 541	1.81	465	1.07	2 566	3.88
<i>Symphodus roissali</i>	171	1.08	428	2.07	60	0.47	659	3.61
<i>Symphodus rostratus</i>	13	0.06	10	0.08	7	0.05	30	0.20
<i>Symphodus sp.</i>			50	0.01			50	0.01
<i>Symphodus tinca</i>	197	6.77	790	11.81	161	13.41	1 148	32.00
<i>Thalassoma pavo</i>	36	0.52	34	0.54	35	0.61	105	1.67
Total général	38 171	544.70	45 554	1117.56	44 414	965.79	128 139	2628.05
Richesse spécifique totale	34		38		38		44	

10.4.1.1. Richesse spécifique

La richesse spécifique moyenne est globalement élevée. Au total, elle atteint 10.6 ± 2.7 espèces par 100 m² en août 2018, 11.6 ± 3.0 espèces par 100 m² en octobre 2018 et 9.7 ± 2.2 espèces par 100 m² en avril 2019. Elle est variable entre les stations. Les valeurs maximales sont observées en octobre 2018 dans la réserve intégrale à S2 Gargalu extérieur et S1 Palazzu avec respectivement 14.1 ± 1.8 et 12.9 ± 3.1 espèces par 100 m². En août 2018, la valeur la plus élevée est observée à S4 Solana avec 12.6 ± 2.9 espèces par 100 m². Les valeurs les plus faibles s'observent en août 2018 à S6 Caletta avec 7.9 ± 1.7 , en octobre 2018 à S4 Solana avec 8.7 ± 2.3 et en avril 2019 avec 8.5 ± 1.7 espèces par 100 m² (Tableau XVIII, Figure 113).

L'analyse statistique ne montre aucune différence significative de la richesse spécifique moyenne entre les stations et entre les campagnes.

Tableau XVIII. Richesse spécifique moyenne de poissons par transect (RS), Densité (nombre d'individus par 100 m²) et biomasse (kg par 100 m²) par mission et par station de suivis ; et : écart-type.

Mission	Station	RS	et	Densité	et	Biomasse	et
août 18	Total	10.6	2.7	636.2	705.4	9.1	12.0
	S1 Palazzu	10.7	1.8	417.9	254.1	17.2	21.0
	S2 Gargalu extérieur	11.9	2.2	356.7	222.7	8.5	9.0
	S3 Orgues	10.4	3.1	1418.0	1398.6	13.6	14.6
	S4 Solana	12.6	2.9	647.0	290.3	4.2	2.5
	S5 Porri	10.3	2.3	581.2	268.4	7.7	4.7
	S6 Caletta	7.9	1.7	396.3	386.3	3.2	3.2
oct-18	Total	11.6	3.0	759.2	725.6	18.6	21.7
	S1 Palazzu	12.9	3.1	1605.8	1182.2	33.4	19.6
	S2 Gargalu extérieur	14.1	1.8	331.2	155.6	11.6	6.1
	S3 Orgues	11.9	2.4	1012.2	589.8	39.6	33.8
	S4 Solana	8.7	2.3	576.1	417.9	9.3	16.7
	S5 Porri	11.3	2.1	452.8	225.8	6.5	3.8
	S6 Caletta	10.4	3.4	577.3	454.7	11.4	11.8
avr-19	Total	9.7	2.2	740.2	579.5	16.1	21.3
	S1 Palazzu	10.9	2.0	663.2	390.5	26.0	20.5
	S2 Gargalu extérieur	10.0	3.0	691.5	404.0	13.1	12.0
	S3 Orgues	9.3	1.8	1166.9	1039.0	38.3	36.4
	S4 Solana	8.5	1.7	750.4	478.6	6.7	8.3
	S5 Porri	9.5	2.5	799.2	385.7	7.4	4.3
	S6 Caletta	10.1	1.9	370.2	246.8	5.1	2.6
Moyenne globale		10.6	2.8	711.9	671.7	14.6	19.2

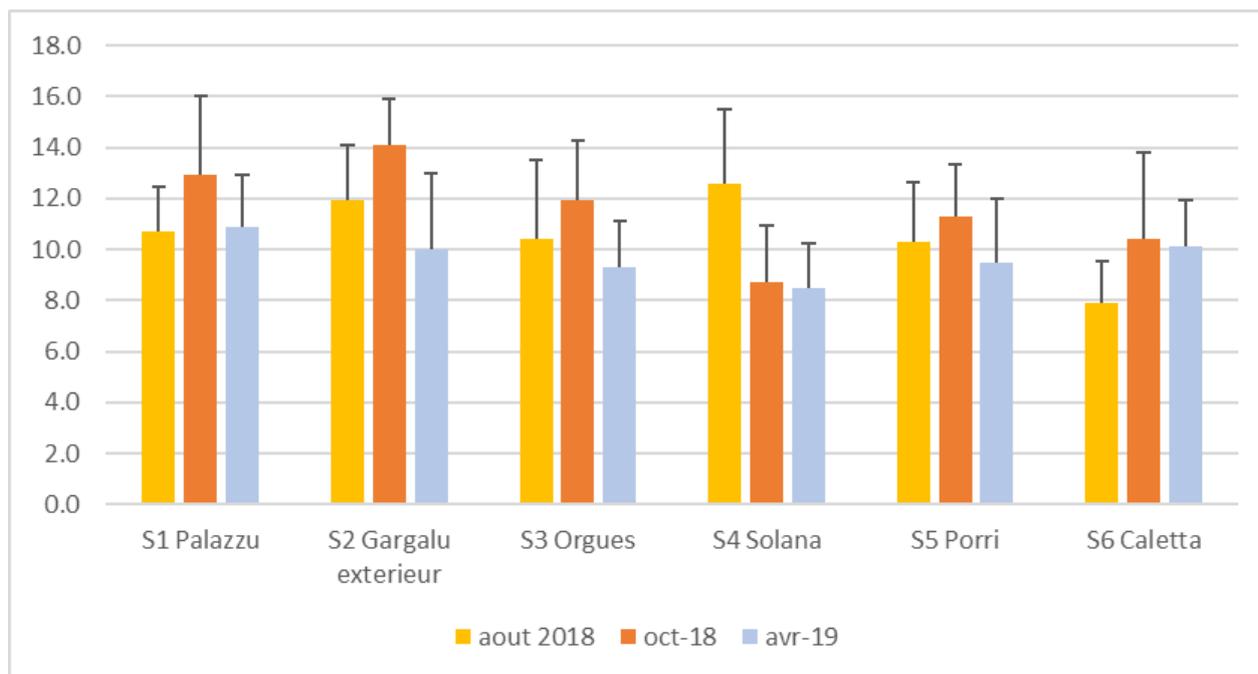


Figure 113. Richesse spécifique (nombre d'espèces moyen par 100 m²) mesurée sur les stations de comptages de poissons au cours des différentes missions. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

10.4.1.2. Densité moyenne de poissons

La densité moyenne de poissons varie nettement entre les stations et entre les campagnes. Elle est près de 4 fois plus importante à S1 Palazzu en octobre 2018 ($1\ 605.8 \pm 1\ 182.2$ individus par 100 m²) par rapport à août 2018 mais a diminué de 29% à S3 Orgues. Les variations au niveau des autres stations sont plus faibles (Figure 114). En avril 2019, elle est globalement au même niveau qu'en octobre 2018. La densité moyenne la plus faible est observée en octobre 2018 à S2 Gargalu extérieur avec 331.2 ± 155.6 individus par 100 m².

La densité moyenne de poissons varie significativement entre les stations mais pas entre les campagnes (variables non retenues dans le meilleur modèle statistique). Le test post-hoc de Tukey montre des différences significatives entre la station S1 Palazzu et les stations S2 Gargalu ($p = 0.004$) et S6 Caletta ($p = 0.003$) où les densités sont plus faibles. De même, S3 Orgues se distingue de S2 Gargalu extérieur et S6 Caletta ($p < 0.001$). Les stations S4 Solana, S5 Porri et S6 Caletta ne présentent pas de différences de densité entre elles. La station S1 Palazzu ne diffère pas significativement de la station S4 Solana ($p = 0.553$).

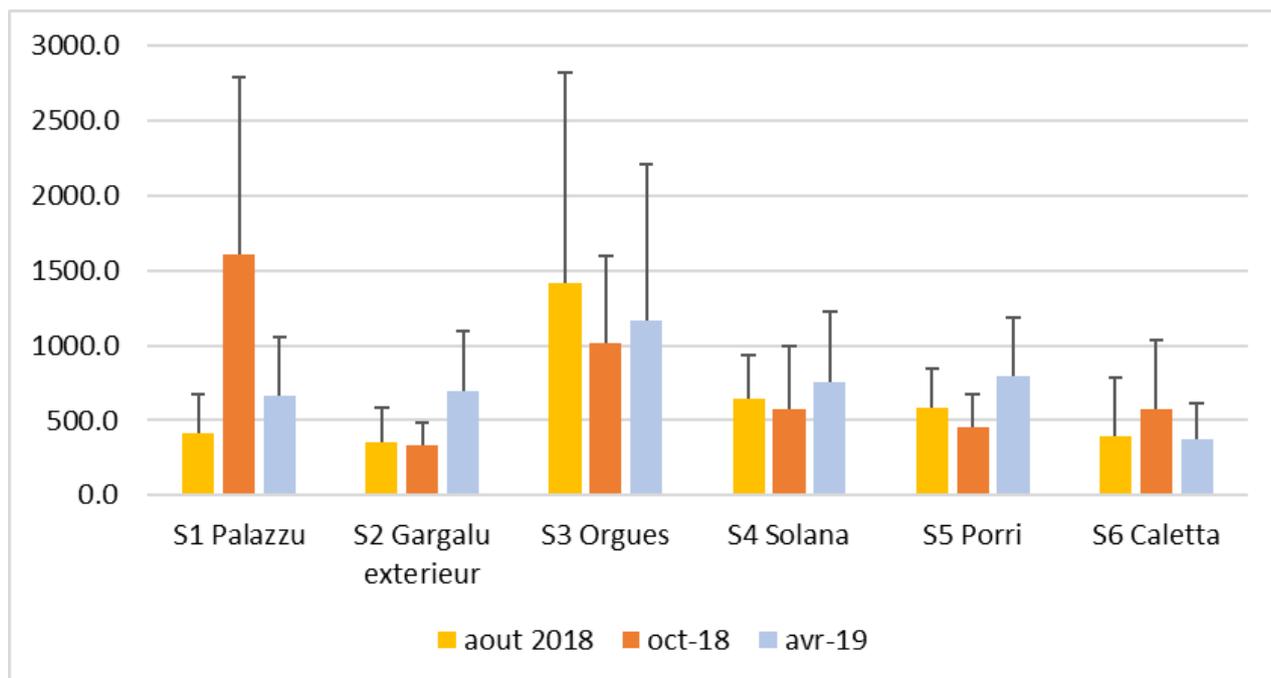


Figure 114. Densité moyenne de poissons (nombre d'individus par 100 m²) par station et par campagne. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

Cette densité est très fortement conditionnée par les **espèces planctonophages**, en particulier la castagnole *Chromis chromis*. Leur abondance est un bon signe de l'état du peuplement de poissons, cependant, leur comportement grégaire, leur abondance et leur présence aléatoire peuvent masquer l'information recherchée concernant les autres espèces, en particulier les espèces d'intérêt halieutique qui peuvent réagir au niveau de protection ou à certaines pressions). Lorsque l'on retire les espèces planctonophages, la densité moyenne est relativement homogène entre les stations, évaluée entre 40 et 90 individus par 100 m², à l'exception des stations S1 Palazzu et S3 Orgues dont la densité moyenne a nettement augmenté en octobre par rapport à août 2018. En avril 2019, les valeurs de densité hors espèces planctonophages sont globalement plus faibles (Tableau XIX, Figure 115).

Tableau XIX. Densité (nombre d'individus par 100 m²) et biomasse (kg par 100 m²) de poissons hors espèces planctonophages par campagne et par station de suivis ; et : écart-type.

Mission	Station	Densité hors PK	et	Biomasse hors PK	et
aout 18	Total	62.7	31.0	7.0	11.2
	S1 Palazzu	57.6	30.0	16.1	20.0
	S2 Gargalu extérieur	75.3	28.5	5.8	7.5
	S3 Orgues	89.9	36.6	9.5	12.8
	S4 Solana	73.7	20.3	1.1	0.8
	S5 Porri	39.1	16.6	6.9	4.8
	S6 Caletta	40.5	15.8	2.6	3.2
oct-18	Total	95.8	73.8	13.1	19.0
	S1 Palazzu	181.8	125.2	20.7	11.1
	S2 Gargalu extérieur	81.7	28.6	7.8	5.4
	S3 Orgues	126.5	51.5	36.2	33.2
	S4 Solana	61.7	33.5	1.3	0.9
	S5 Porri	59.2	32.2	4.5	3.4
	S6 Caletta	63.6	31.1	8.5	12.4
avr-19	Total	46.6	23.6	9.6	17.8
	S1 Palazzu	60.0	26.3	20.1	21.0
	S2 Gargalu extérieur	50.5	13.0	5.7	5.3
	S3 Orgues	48.1	23.5	22.6	33.0
	S4 Solana	35.2	10.9	2.8	5.8
	S5 Porri	50.1	36.7	3.1	2.4
	S6 Caletta	35.7	15.9	3.4	2.1
Moyenne globale		68.3	52.1	9.9	16.4

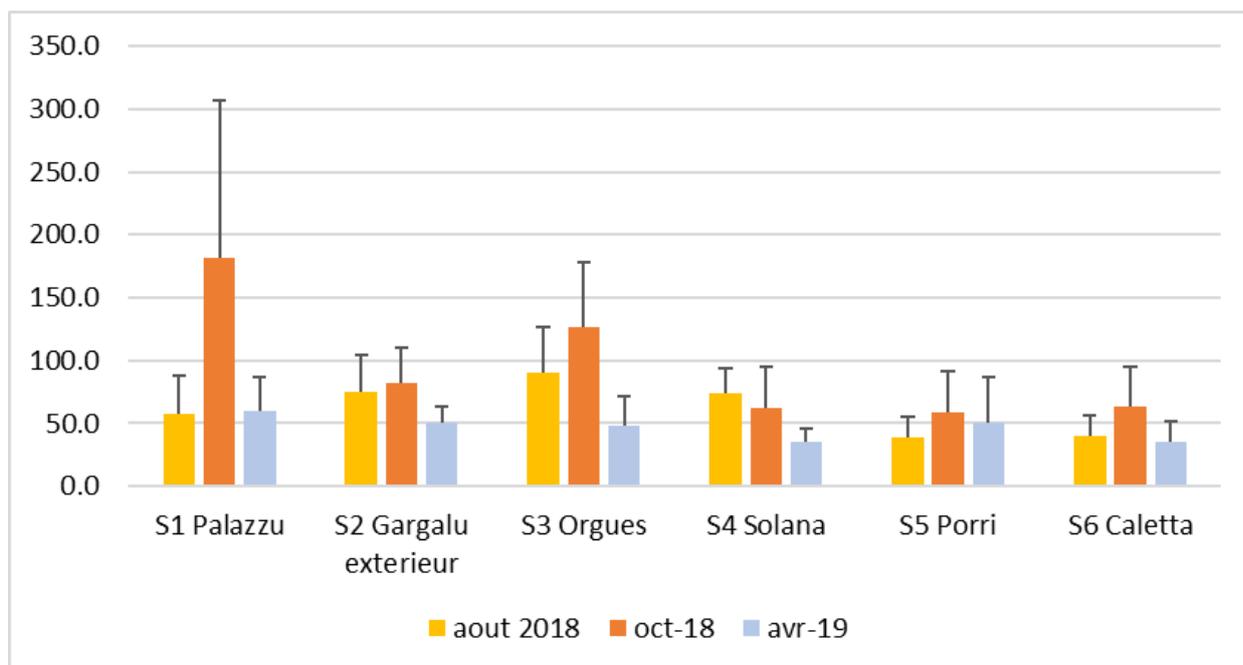


Figure 115. Densité moyenne de poissons hors espèces planctonophages (nombre d'individus par 100 m²) par station en août et en octobre 2018. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

En ne considérant que les espèces non-planctonophages, les différences entre stations et entre les campagnes expliquent statistiquement les variations de densité. Des différences significatives marquées de la densité moyenne sont mesurées (interaction entre ces deux variables non prises en compte dans le meilleur modèle) entre la station et la campagne. Par exemple, selon le test post-hoc de Tukey, les stations S1 Palazzu et S3 Orgues diffèrent significativement de S4 Solana ($p < 0.01$ et $p < 0.05$), S5 Porri ($p < 0.001$ et $p \leq 0.001$) et S6 Caletta ($p < 0.001$ et $p < 0.001$). La station S2 Gargalu extérieur diffère seulement de la station S6 Caletta ($p = 0.014$).

10.4.1.3. Biomasse moyenne de poissons

La biomasse moyenne de poissons par station est très variable d'une station à l'autre et entre les campagnes. Elle varie entre 3.2 ± 3.2 et 39.6 ± 33.8 kg par 100 m² respectivement pour S6 Caletta en août 2018 et S3 Orgues en octobre 2018. En moyenne, toutes stations confondues, elle a doublé entre les deux premières missions passant de 9.1 ± 12.0 à 18.6 ± 21.7 kg par 100 m². En avril 2019, elle est légèrement inférieure à octobre 2018 (16.1 ± 21.3 kg par 100 m²). L'augmentation de biomasse entre les deux premières missions est la plus marquée aux stations S1 Palazzu ($\times 1.9$), S3 Orgues ($\times 2.9$), S4 Solana ($\times 2.2$) et S6 Caletta ($\times 3.5$) (Tableau XVIII, Figure 116).

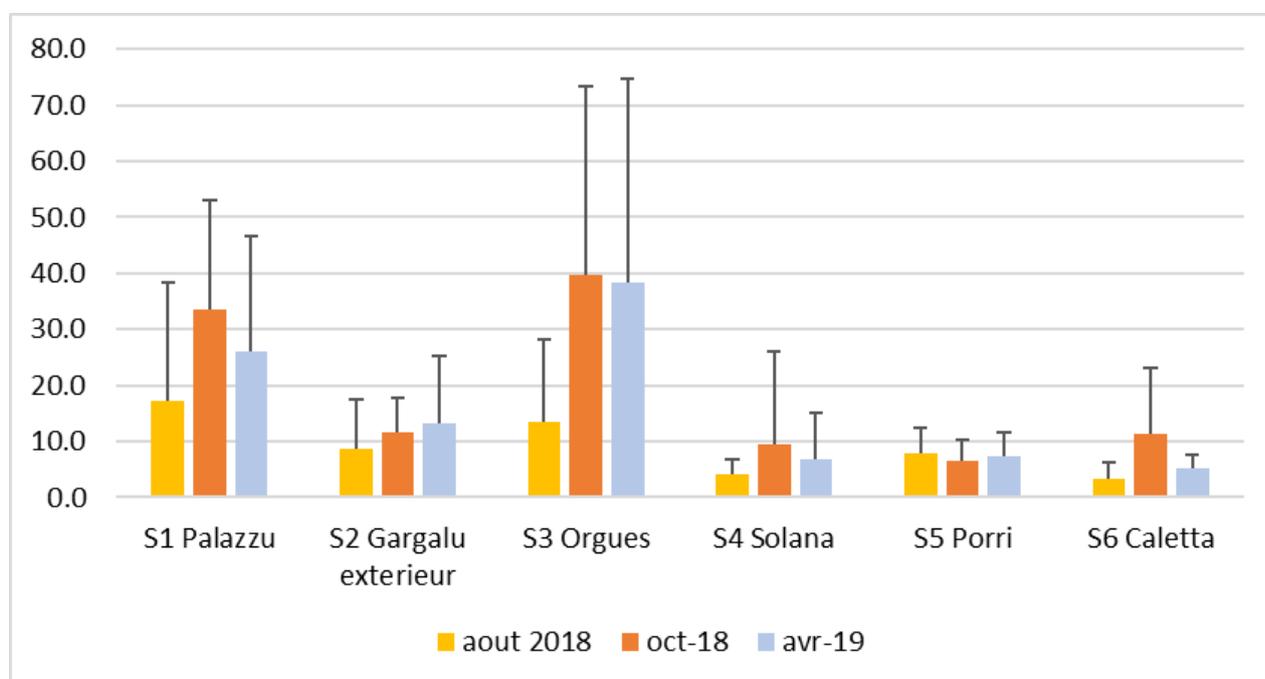


Figure 116. Biomasse moyenne de poissons téléostéens (en kg par 100 m²) par station et par mission. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

La biomasse moyenne, toutes espèces incluses, varie significativement entre les stations et les campagnes (GLM de, loi gamma, données continu > 0, $\ln(\text{biomasse}) = f(\text{station}, \text{campagne}, \text{station} \times \text{campagne})$). Les stations S1 Palazzu et S3 Orgues ne présentent pas de différences significatives entre elles ($p = 0.99$) mais diffèrent de toutes les autres stations ($p < 0.05$). La biomasse moyenne globale est significativement inférieure en août 2018 par rapport à octobre 2018 ($p < 0.001$) et avril 2019 ($p = 0.037$).

Tout comme la densité moyenne, la biomasse moyenne est conditionnée par l'abondance **des espèces planctonophages**, en particulier la castagnole *Chromis chromis*. Les variations de biomasse moyenne entre stations et campagnes sont plus marquées lorsque l'on retire les espèces planctonophages. Les stations S1 Palazzu et S3 Orgues se démarquent avec les valeurs de biomasse moyenne les plus élevées et ayant augmenté en octobre (20.7 et 36.2 kg par 100 m²) par rapport à août 2018 (16.1 et 9.5 kg par 100 m²). S4 Solana abrite la biomasse hors espèces planctonophages la plus faible (1.1 kg par 100 m² en août 2018) (Tableau XIX, Figure 117).

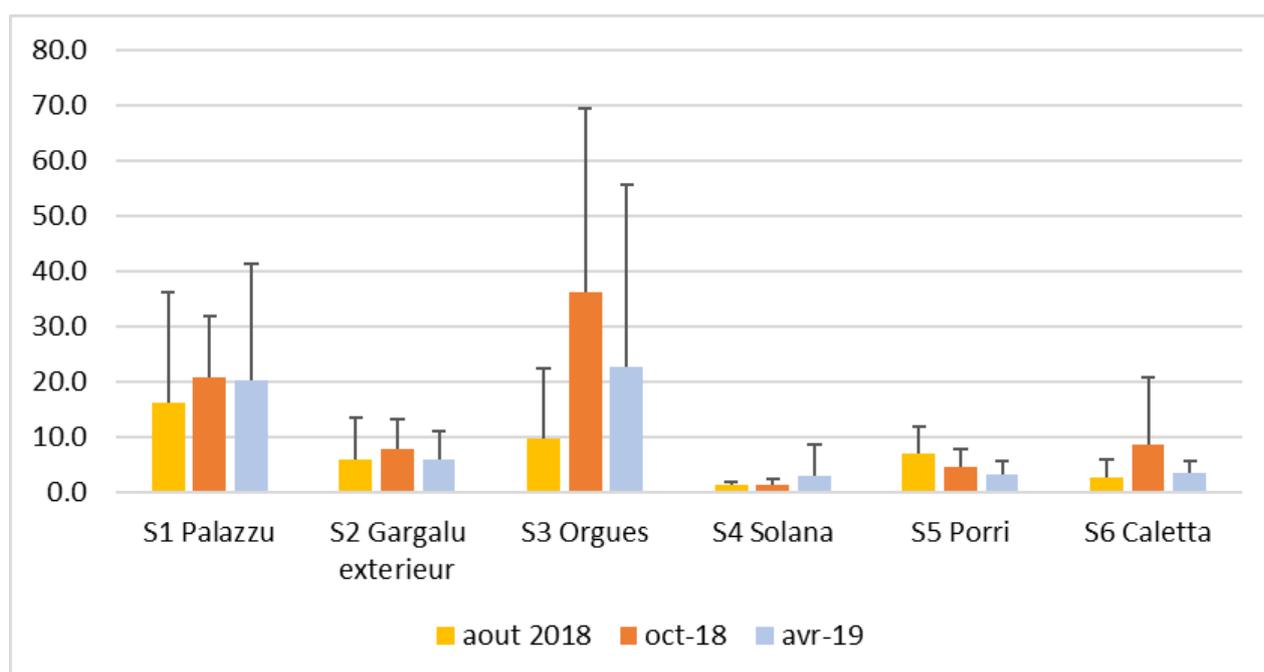


Figure 117. Biomasse moyenne de poissons téléostéens hors espèces planctonophages (kg par 100 m²) par station et par campagne. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

Le même type d'analyse (GLM de loi Gamma) sur la biomasse hors-planctonophages montre globalement la même tendance, à l'exception d'une différence de biomasse qui devient non significative pour S2 Gargalu extérieur par rapport à S1 Palazzu ($p = 0.270$) et S3 Orgues ($p = 0.990$).

Ces résultats font ressortir (i) **un effet positif de la protection renforcée au cœur de la réserve (des biomasses de poissons plus élevées dans les stations concernées)**. La station S3 Orgues, bien que localisée dans la zone de protection partielle, semble bénéficier de cette protection en raison de sa proximité avec la réserve intégrale ; (ii) **un effet de l'habitat**, au niveau des stations S1 Palazzu (gros blocs) et S3 Orgues (tombants, très gros blocs et proximité de zones profondes) où l'habitat est exceptionnel. Il est moins complexe au niveau de S2 Gargalu extérieur, S5 Porri et S6 Caletta (zones hétérogènes de blocs, de graviers et d'herbier de posidonie). L'habitat au niveau de la station S4 Solana serait moins adapté à la présence de grands piscivores (roche lisse), la qualité exceptionnelle de l'association à *Cystoseira* spp. est par contre favorable à une forte diversité de labridés (*Symphodus* spp.).

10.4.2. Analyse par compartiment fonctionnel (groupes trophiques)

Toutes stations confondues, la structure trophique du peuplement de poissons échantillonné est identique en août 2018, en octobre 2018 et en avril 2019 et stable saisonnièrement. La biomasse est représentée majoritairement par des piscivores, suivis de planctonophages diurnes et de mésocarnivores (Figure 126). Lorsque l'on compare les stations, la structure trophique diffère nettement (Figure 123, Figure 124 et Figure 125) :

- les stations S1 Palazzu et S3 Orgues (niveau de nuisance sonore supposé fort) sont très largement représentées par des piscivores quelle que soit la campagne de suivi. Ce constat est caractéristique d'un peuplement en zone de protection forte dont l'habitat est exceptionnel (tombant, gros blocs rocheux, proximité de grands fonds) ;
- la station S2 Gargalu extérieur (niveau de nuisance sonore supposé nulle à négligeable) présente une répartition équilibrée des groupes trophiques dominés par les mésocarnivores et les piscivores. Cette structure est caractéristique d'un peuplement de poissons en zone de protection forte dont l'habitat est remarquable ;

- la station S4 Solana (niveau de nuisance sonore supposé faible) est très largement représentée par des planctonophages diurnes puis par des mésocarnivores. L'habitat de cette station est moins complexe que dans les autres, expliquant sans doute une structure trophique moins équilibrée (faible biomasse de piscivores). La pêche artisanale est autorisée et réglementée au niveau de cette station en réserve partielle ;
- les stations hors réserve S5 Porri et S6 Caletta (niveau de nuisance sonore supposé faible) abritent moins de piscivores, leur peuplement étant représenté par des mésocarnivores, des planctonophages diurnes et des herbivores.

La biomasse **d'herbivores** (Saupé *Sarpa salpa*, Figure 118) est très faible et ne présente pas de différences significatives entre stations. La biomasse maximale est observée en octobre 2018, la population étant dominée par des adultes observés ponctuellement en banc (*e.g.* sur S6 Caletta) alors qu'en août 2018, malgré une abondance plus importante, la biomasse est plus faible (différence non significative, $p = 0.109$), la population étant dominée par des individus juvéniles.



Figure 118. Juvéniles de saupes *Sarpa salpa*, seule espèce strictement herbivore rencontrée à Scandola (©Sandrine Ruitton).

Les **omnivores**, représentés par *Diplodus puntazzo* et *Spondyllosoma cantharus* sont présents de façon occasionnelle dans les comptages et ne montrent pas de tendances particulières en fonction des stations ou des campagnes de suivi (Figure 119).

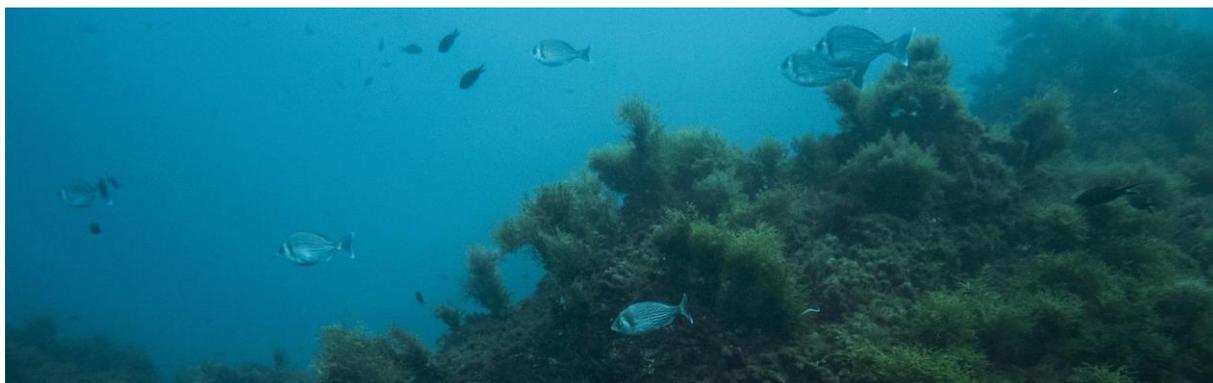


Figure 119. *Canthares Spondyliosoma cantharus* parmi les espèces omnivores.

Les **macrocarnivores**, principalement dominés par les serranidés (*Serranus scriba*, Figure 120) et occasionnellement par la murène *Muraena helena* et les scorpaenidés sont omniprésents. Les stations ne présentent pas de différences marquées entre elles ($p > 0.05$) avec une biomasse moyenne comprise entre 1 et 4 kg par 100 m², à l'exception de S2 Gargalu extérieur en avril 2019 où la biomasse moyenne observée atteint 11.4 kg par 100 m² en raison de l'observation de deux raies pastenagues *Dasyatis pastinaca*.



Figure 120. Serran écriture *Serranus scriba* parmi les espèces macrocarnivores.

La biomasse de **mésocarnivores** (certains sparidés et labridés) varie significativement entre certaines stations. Deux groupes de stations se distinguent : un groupe présentant une biomasse moyenne plus importante (S1 Palazzu, S2 Gargalu extérieur, S5 Porri et S6 Caletta) et un groupe présentant une plus faible biomasse moyenne de mésocarnivores (S3 Orgues et S4 Solana) (GLM, loi de Gamma : $p < 0.05$) (Figure 121).



Figure 121. Crénilabres ocellés *Symphodus ocellatus*, parmi les espèces mésocarnivores.

Les **piscivores**, dont la biomasse est largement dominée par le mérrou brun *Epinephelus marginatus*, sont très nettement plus occurrents au niveau des stations S1 Palazzu et S3 Orgues (respectivement observés dans 73% et 67% des transects réalisés), suivies de S2 Gargalu extérieur (37 % des transects). L'occurrence est relativement importante sur S5 Porri en raison de la présence de dentis *Dentex dentex* (observés sur 33 % des transects réalisés) (Figure 122).

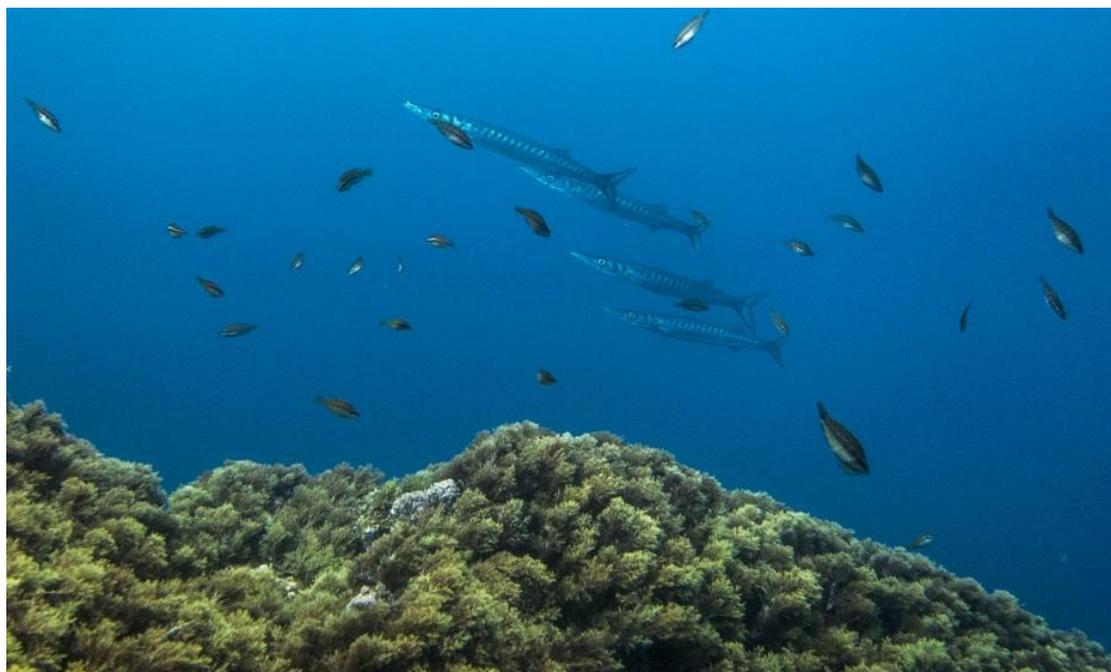
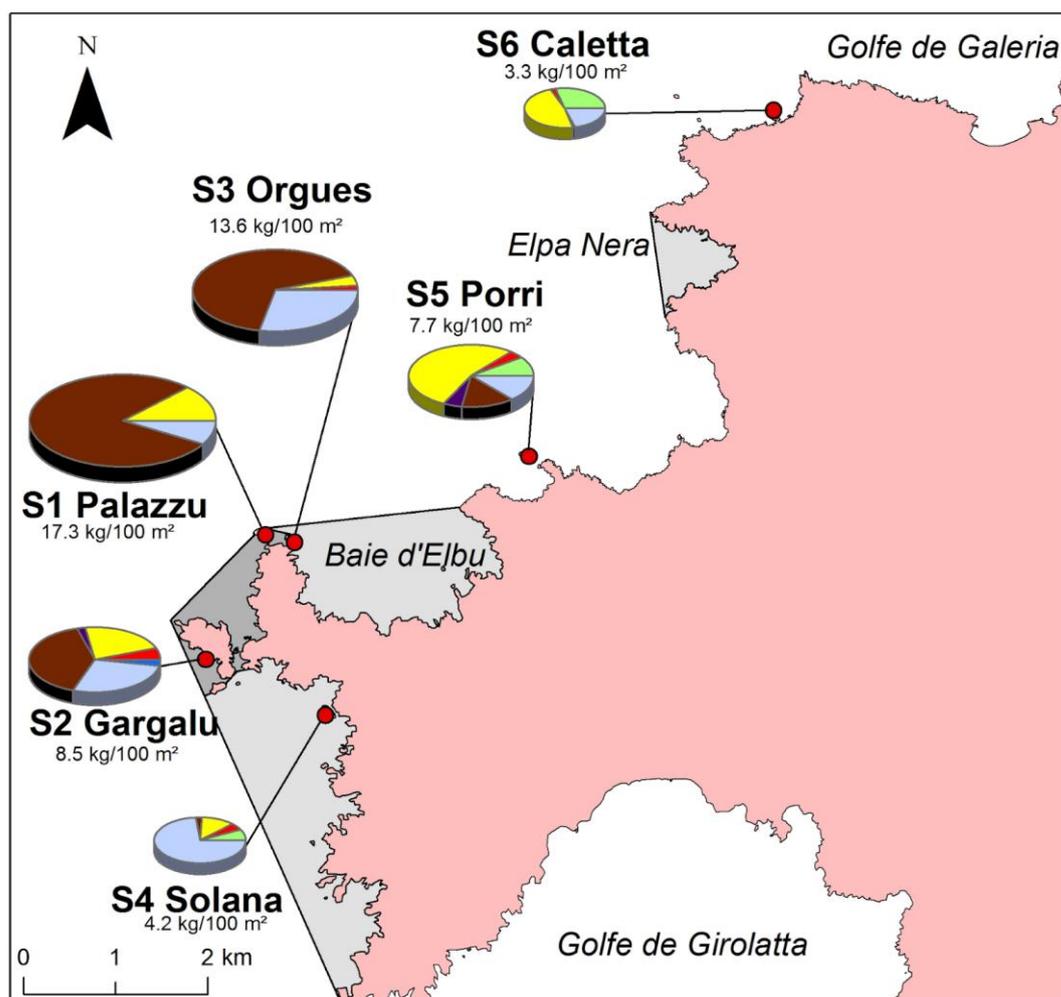


Figure 122. Barracudas *Sphyraena viridensis*, espèce piscivore à ???.



Catégories trophiques

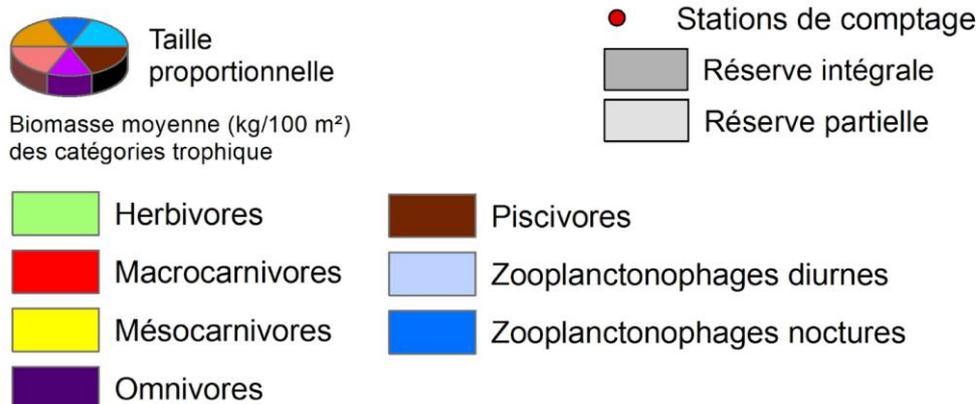
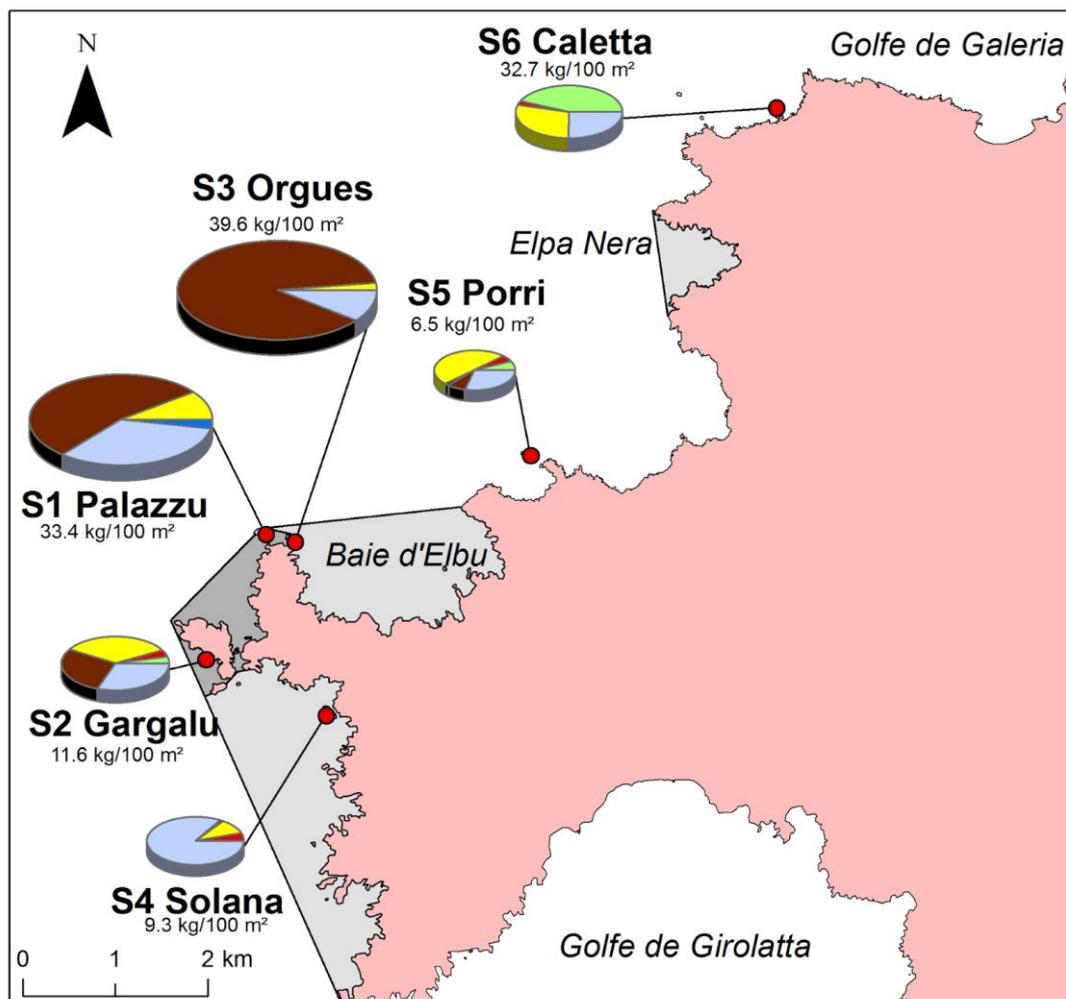


Figure 123. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories trophiques et par stations lors de la campagne d'août 2018.



Catégories trophiques

Taille proportionnelle

Biomasse moyenne (kg/100 m²) des catégories trophique

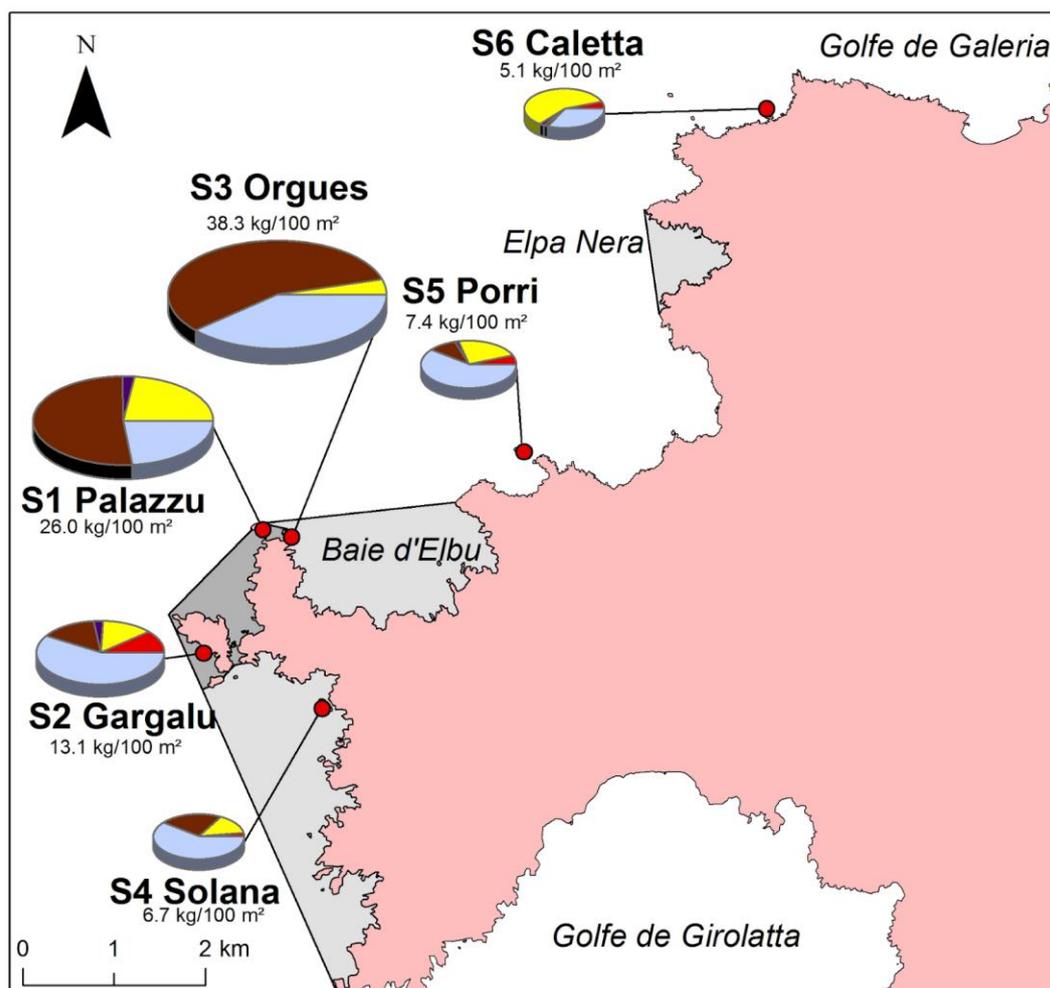
- | | |
|----------------|-----------------------------|
| Herbivores | Piscivores |
| Macrocarivores | Zooplanctonophages diurnes |
| Mésocarnivores | Zooplanctonophages noctures |
| Omnivores | |

Stations de comptage

Réserve intégrale

Réserve partielle

Figure 124. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories trophiques et par stations lors de la campagne d'octobre 2018.



Catégories trophiques



Biomasse moyenne (kg/100 m²) des catégories trophique

- | | |
|-----------------|------------------------------|
| Herbivores | Piscivores |
| Macrocarvivores | Zooplanctonophages diurnes |
| Mésocarnivores | Zooplanctonophages nocturnes |
| Omnivores | |

- Stations de comptage
- Réserve intégrale
- Réserve partielle

Figure 125. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories trophiques et par stations lors de la campagne d'avril 2019.

Afin de tenter d'identifier un effet de la nuisance sonore liée à la navigation sur le peuplement de poissons, il est intéressant de considérer la structure trophique du peuplement de poissons à chaque campagne en fonction du niveau estimé de nuisance sonore (Figure 126). Une incidence du bruit anthropique pourrait, par exemple, induire le déplacement de prédateurs piscivores mobiles, la diminution de l'abondance d'espèces planctonophages, etc.

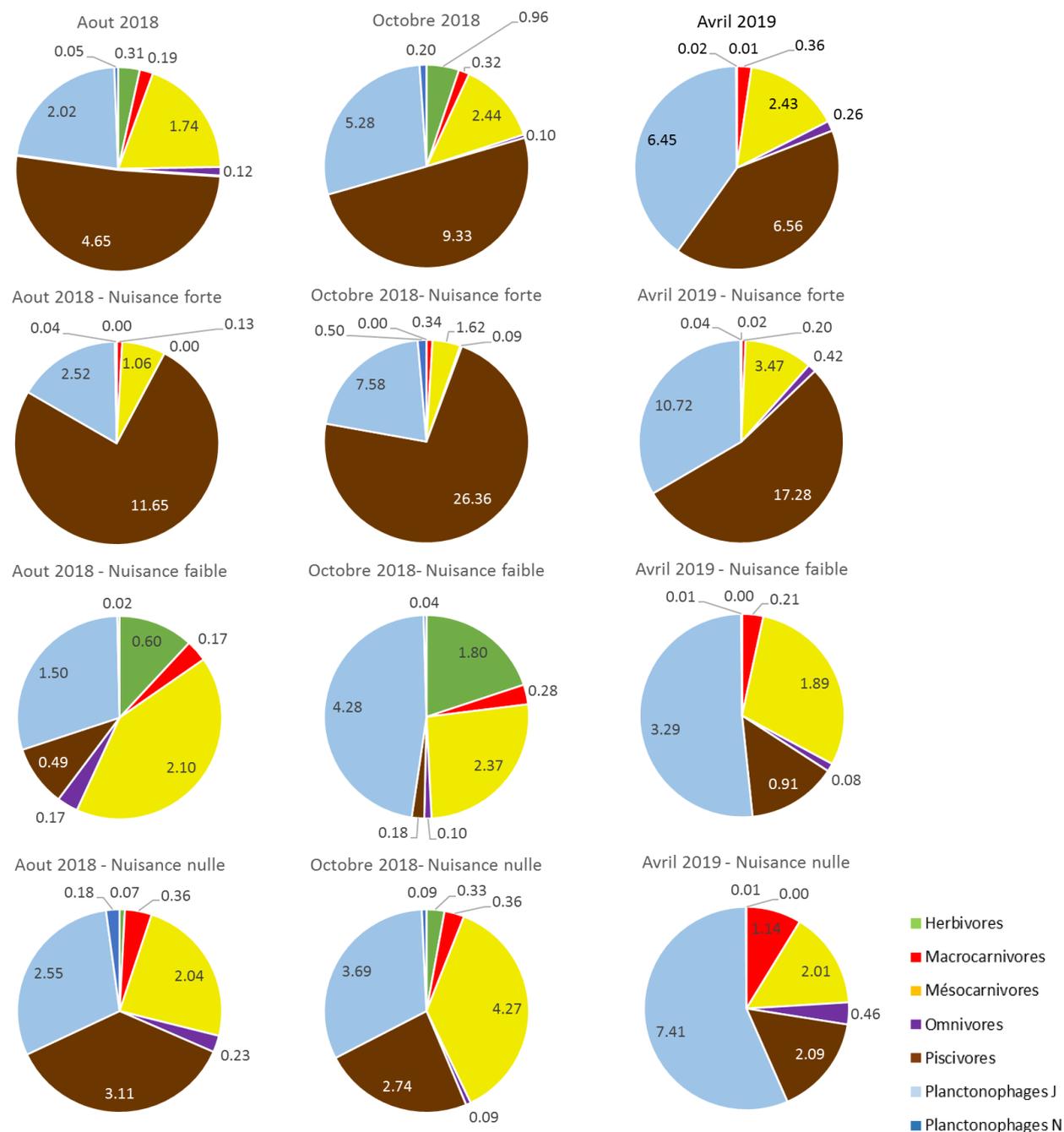


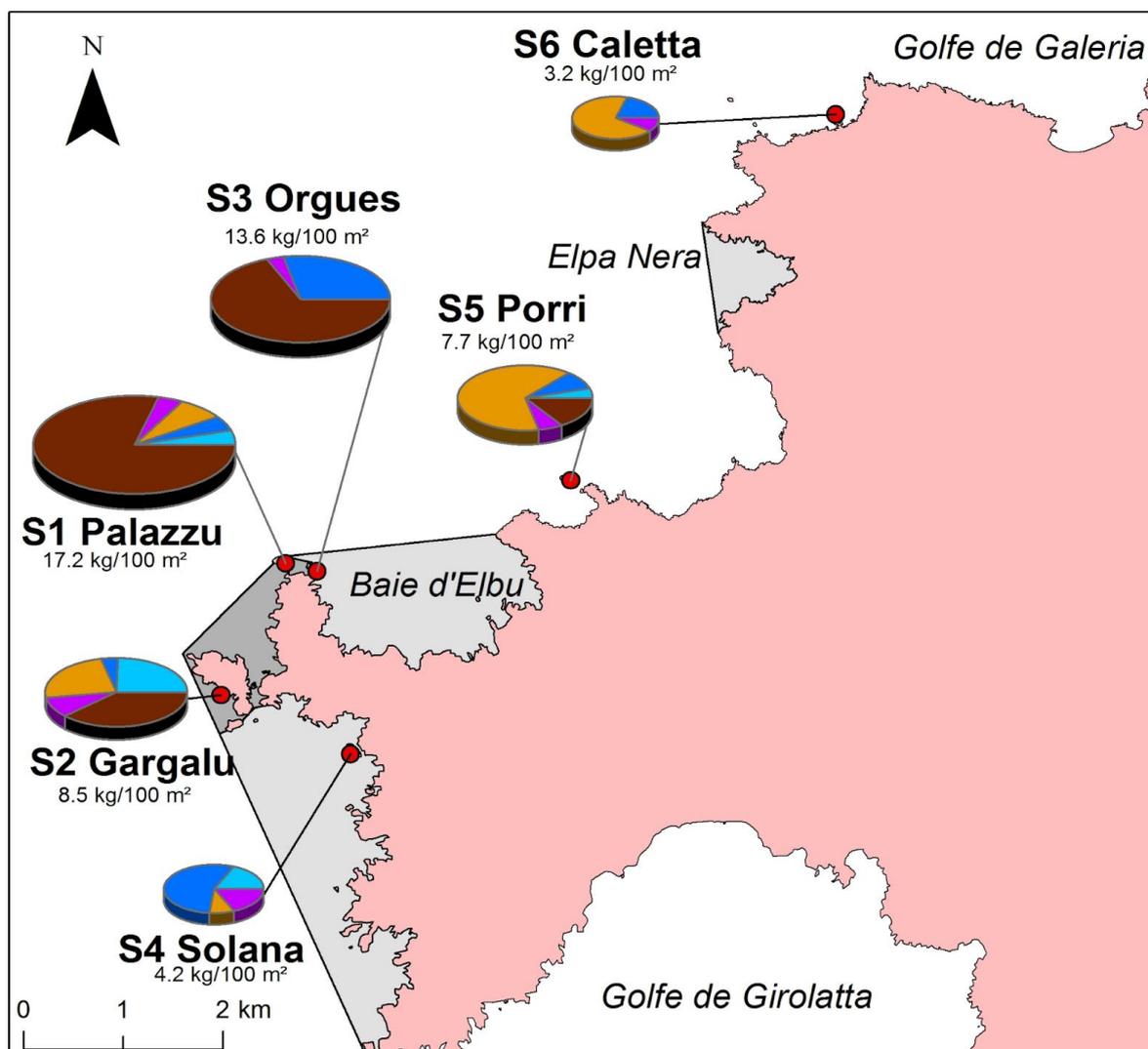
Figure 126. Répartition en proportion de la biomasse de poissons (kg par 100 m²) par catégories trophiques pour chaque niveau de nuisance sonore à chaque campagne.

L'effet potentiel de la nuisance sonore sur la structure trophique du peuplement de poissons est masqué à la fois par le niveau de protection, par la qualité de l'habitat et par l'influence de la saison. En effet, la très forte abondance de piscivores (essentiellement de mérous bruns) est caractéristique de sites protégés dont l'habitat est exceptionnel, c'est le cas de S1 Palazzu et S3 Orgues. La biomasse de mésocarnivores (essentiellement représentés par des sars et des labridés) est plus faible en zone de nuisance forte (S1 Palazzu et S3 Orgues) par rapport aux autres stations en août 2018 alors qu'elle est nettement supérieure en avril 2019.

10.4.3. Analyse par catégories d'occupation spatiale

Toutes stations confondues, la répartition de la biomasse par catégorie d'occupation spatiale est homogène et équilibrée lors des 3 campagnes (Figure 130). La catégorie 6 (espèces benthiques à faibles déplacements horizontaux) domine fortement quelle que soit la campagne (45 % de la biomasse) suivie de la catégorie 2 (espèces pélagiques à faible déplacement horizontal, 24 % de la biomasse) et de la catégorie 3 (espèces démersales à déplacements horizontaux importants, 17 % de la biomasse). La catégorie 4 (représentée par le rouget *Mullus* spp.) est quasiment absente. Cette répartition n'est pas la même d'une station à l'autre (Figure 127, Figure 128 et Figure 129) :

- à la station S1 Palazzu, la catégorie 6 est largement dominante en août (essentiellement des mérous bruns) alors qu'en octobre 2018 et avril 2019, la catégorie 2 (essentiellement des castagnoles) a sensiblement augmenté. Il est à noter que la catégorie 6 est également largement dominante sur la station S3 Orgues quelle que soit la saison, la catégorie 2 diminuant en proportion entre août et octobre ;
- la station S2 Gargalu extérieur présente une répartition des catégories d'occupation spatiale homogène au regard des autres stations, chaque catégorie étant significativement représentée avec une dominance des catégories 1, 3 et 6 ;
- la station S4 Solana est dominée par les catégories 1 et 2 correspondant principalement à des espèces planctonophages. La catégorie 5 est bien représentée (serrans) ;
- les stations S5 Porri et S6 Caletta sont majoritairement représentées par la catégorie 3 et la catégorie 2. La catégorie 5 est également bien représentée.



Catégories spatiales



Taille proportionnelle

Biomasse moyenne (kg/100 m²) des catégories spatiales

● Stations de comptage

■ Réserve intégrale

■ Réserve partielle



Catégorie 1



Catégorie 4



Catégorie 2



Catégorie 5

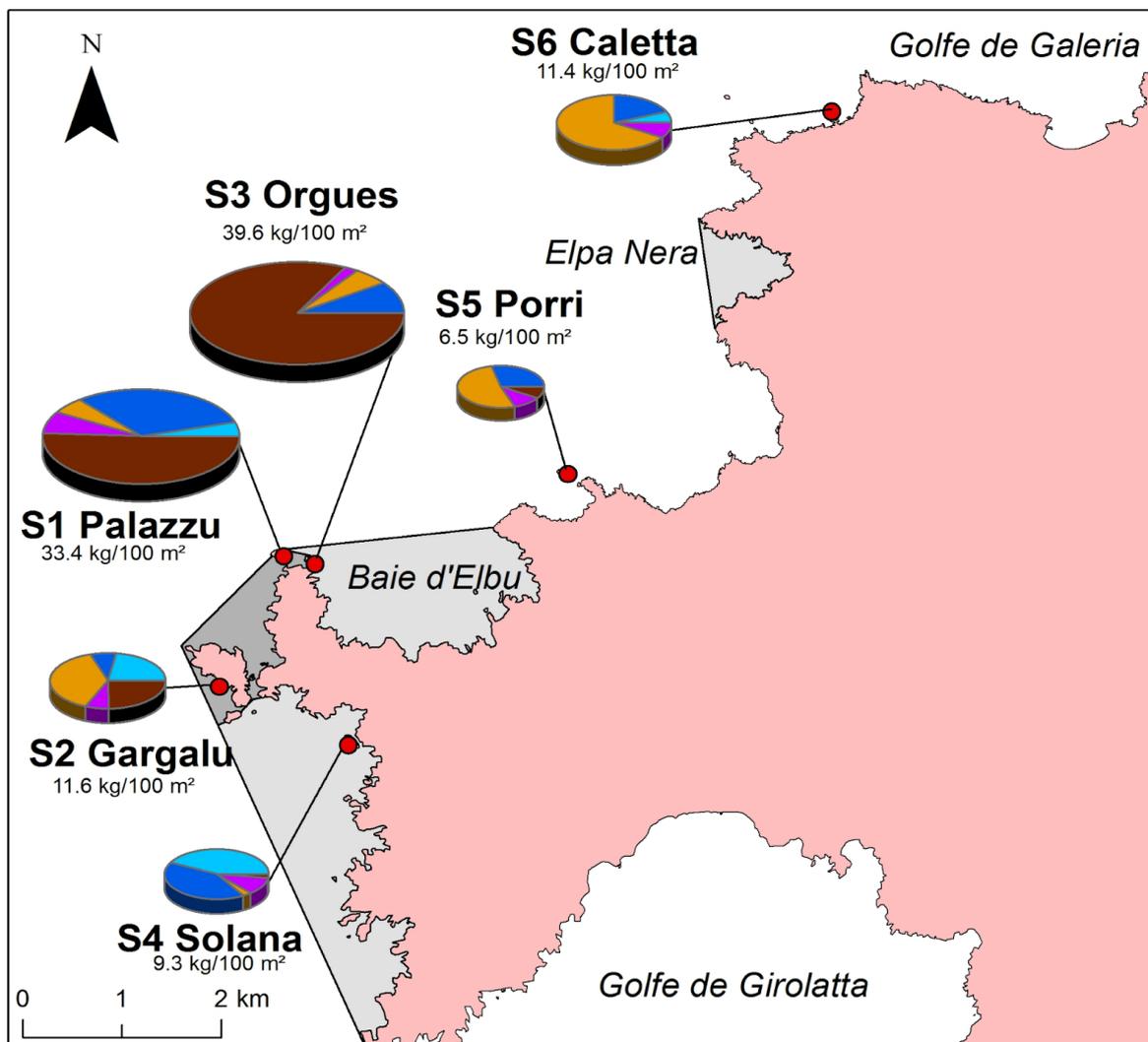


Catégorie 3



Catégorie 6

Figure 127. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories spatiales et par stations lors de la campagne d'août 2018.



Catégories spatiales



Biomasse moyenne (kg/100 m²) des catégories spatiales

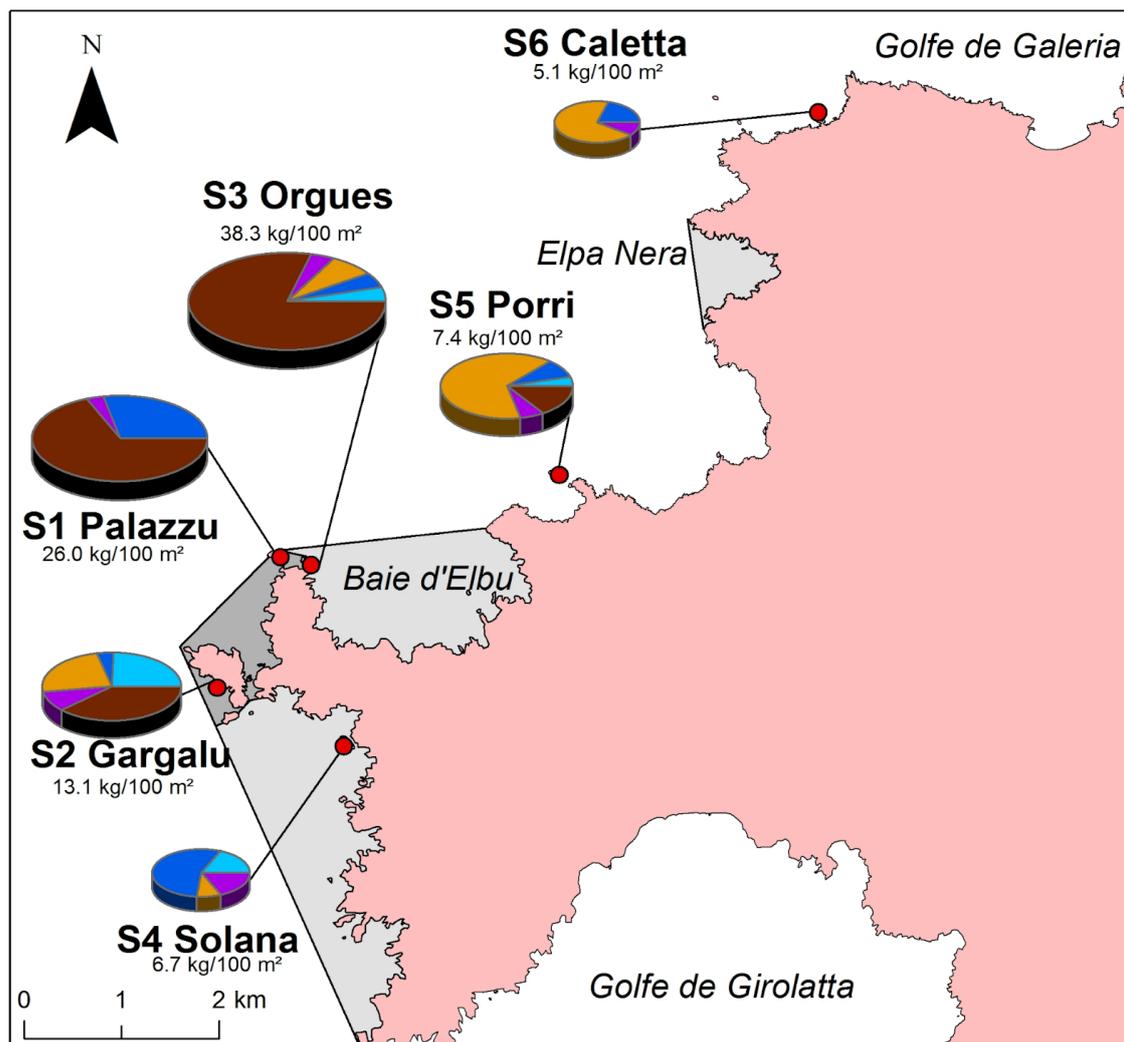


 Stations de comptage

 Réserve intégrale

 Réserve partielle

Figure 128. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories spatiales et par stations lors de la campagne d'octobre 2018.



Catégories spatiales



Biomasse moyenne (kg/100 m²) des catégories spatiales

● Stations de comptage

■ Réserve intégrale

■ Réserve partielle



Figure 129. Répartition de la biomasse moyenne de poissons (par 100 m²) par catégories spatiales et par stations lors de la campagne d'avril 2019.

La **Catégorie 1** (espèces de pleine eau, grégaires et très mobiles avec un domaine spatial vaste et une activité diurne) est beaucoup plus fréquente dans les stations S1 Palazzu et S2 Gargalu extérieur où au moins 1 individu est observé sur respectivement 77 % et 80 % des transects, toutes saisons confondues. Cette catégorie est ici représentée par *Oblada melanura*, *Spicara* spp. et *Boops boops*. La biomasse de cette catégorie est significativement plus faible en août 2018 qu'en octobre 2018 (proche du seuil de significativité avec $p = 0.061$) et avril 2019 ($p = 0.010$).

La **Catégorie 2** (espèces sédentaires vivant en bancs dans toute la colonne d'eau) est très majoritairement représentée par *Chromis chromis*. Les stations S1 Palazzu et S3 Orgues se distinguent avec une plus forte biomasse moyenne quelle que soit la campagne ($p < 0.05$). Toutes stations confondues, la biomasse est significativement plus faible en août 2018 qu'en octobre 2018 ($p < 0.0001$) et avril 2019 ($p < 0.0001$).

La **Catégorie 3** (espèces necto-benthiques à déplacements verticaux d'amplitude moyenne et latéraux plus ou moins importants) représentée par des sparidés mobiles, se répartit de façon hétérogène en fonction des stations et des campagnes. Alors que les biomasses les plus élevées s'observent sur S5 Porri et S6 Caletta en août 2018, elles augmentent en octobre 2018 et avril 2019 sur les autres stations, en particulier S1 Palazzu.

La **Catégorie 4** (espèces necto-benthiques à déplacements verticaux très faibles et latéraux importants) représentée ici par le rouget de roche *Mullus surmuletus*, est très peu présente. Des rougets n'ont été observés que ponctuellement lors des 3 campagnes.

La **Catégorie 5** (espèces necto-benthiques à forte sédentarité à déplacements verticaux et latéraux faibles) est présent de façon relativement homogène sur l'ensemble des stations et à toutes les campagnes. La biomasse est cependant nettement plus élevée sur S1 Palazzu.

La **Catégorie 6** (espèces necto-benthiques à très forte sédentarité) est de loin la catégorie la plus abondante, en particulier dans les stations S1 Palazzu, S2 Gargalu extérieur et S3 Orgues.

Notre hypothèse est que les différences observées entre campagnes et entre saisons de la structure du peuplement par rapport aux catégories d'évolution spatiale peuvent être dues à l'intensité du trafic maritime. Nous recherchons des différences de proportions entre les catégories spatiales en fonction d'émissions sonores auxquelles se rattachent les campagnes ou les stations. Un tel impact pourrait se matérialiser par une baisse

d'abondance (et de biomasse) des espèces les plus hautes dans la colonne d'eau (catégories 1, 2 et 3). Sur la base de cette hypothèse, l'analyse des catégories spatiales en fonction du niveau de nuisance sonore supposée est intéressante (Figure 130).

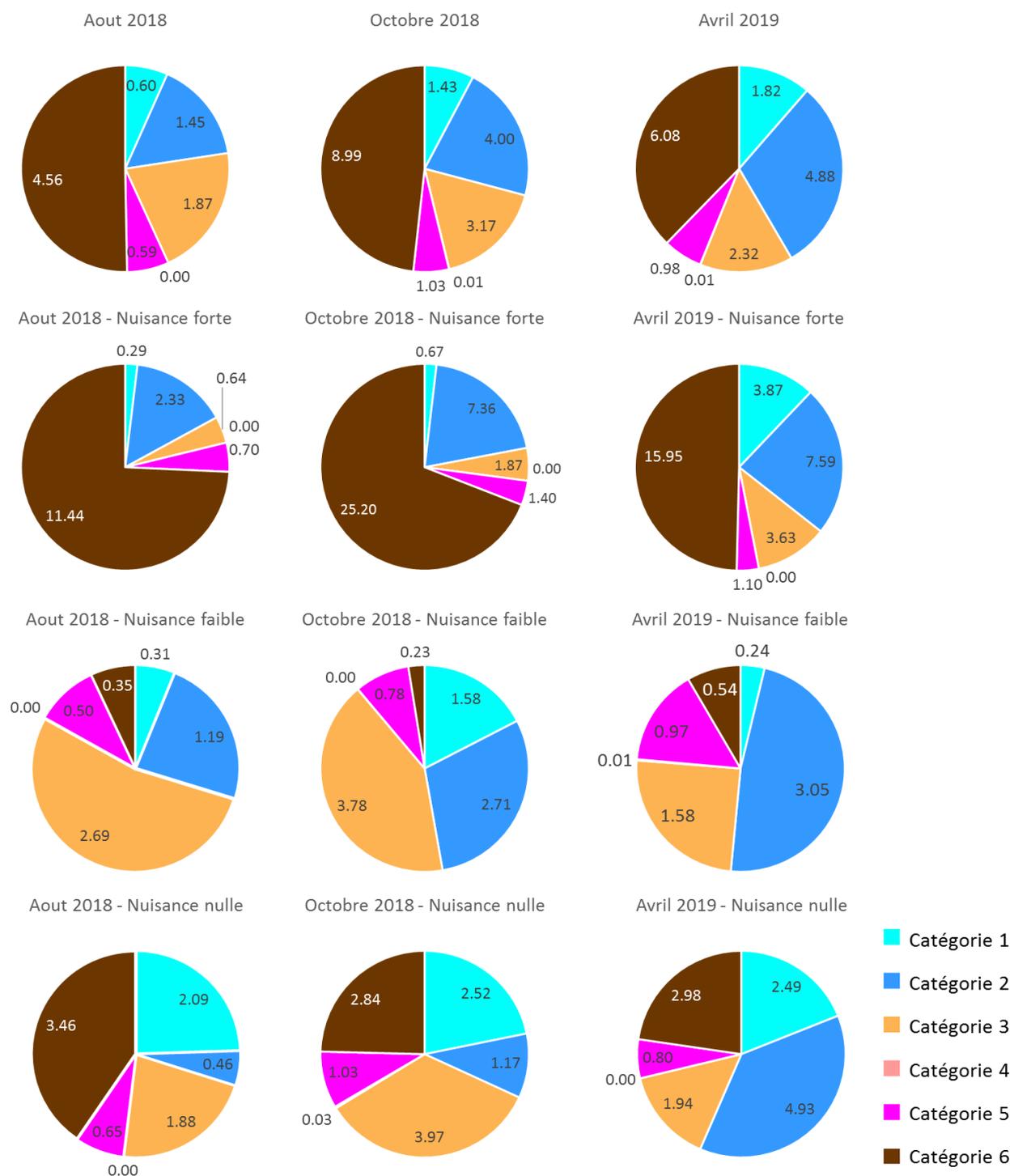


Figure 130. Répartition en proportion de biomasse de poissons (kg par 100 m²) par catégories d'occupation spatiale pour chaque niveau de nuisance sonore à chaque campagne.

De la même façon que pour les catégories trophiques, les proportions de certaines catégories spatiales sont fortement influencées par le niveau de protection et par la qualité de l'habitat. Les stations dont le niveau de nuisance sonore est estimé à fort (S1 Palazzu et S3 Orgues) correspondent également à des stations dont la qualité de l'habitat est exceptionnelle et le niveau de protection est élevé. Les stations où le niveau est faible sont hors réserve (S5 Porri et S6 Caletta) ou en réserve partielle mais avec un habitat plus ordinaire (S4 Solana). La station de niveau sonore supposé nul à négligeable (S2 Gargalu extérieur) est en réserve intégrale et possède un habitat remarquable (bien que moins complexe que S1 Palazzu et S3 Orgues), elle abrite d'ailleurs un peuplement équilibré où toutes les catégories sont assez bien représentées.

En ne considérant que la catégorie spatiale 3, incluant principalement des sparidés (sars *Diplodus* spp. et grands sparidés comme le denti, la dorade et le pagre ; Figure 131), des différences de densité et de biomasse sont observées entre les campagnes et entre les groupes de stations selon le niveau de nuisance sonore (Figure 132 ; Kruskal-Wallis, test de comparaisons multiples des rangs moyens : Abondance : $p < 0.0001$; Biomasse : $p < 0.01$). Ces différences sont significatives en août 2018 entre le niveau de nuisance fort (plus faible) et le niveau de nuisance faible, ($p < 0.03$, même résultat pour l'abondance que pour la biomasse). Ces différences ne s'observent plus en octobre 2018 et avril 2019.



Figure 131. Plusieurs espèces appartenant majoritairement à la catégorie d'occupation spatiale 3 (sars à tête noire, saupes, canthares).

En août 2018, la densité et la biomasse d'individus de catégorie 3 est nettement plus faible dans les stations où le niveau sonore est considéré comme la plus forte (S1 Palazzu et S3 Orgues). Lors des autres campagnes, en particulier en avril, la densité et la biomasse sont plus élevées et ne diffèrent pas des stations à d'autres niveaux sonores. L'écart type important ne permet cependant pas de mettre en évidence des différences significatives entre les campagnes pour les stations à niveau sonore élevé.

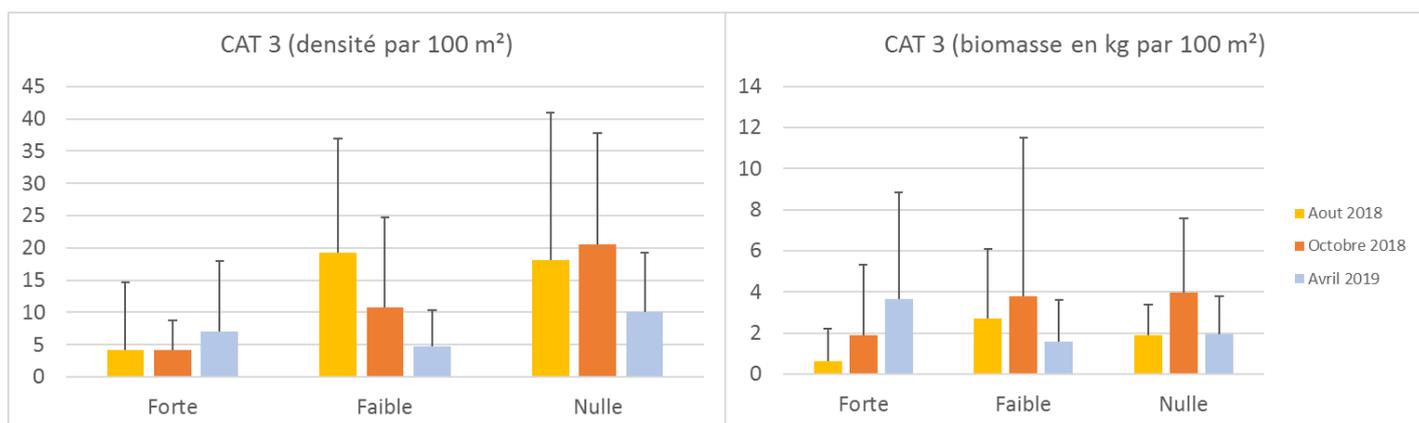


Figure 132. Densité (individus par 100 m², à gauche) et biomasse moyenne (kg par 100 m² à droite) de poissons de catégorie spatiale 3 par campagne et par niveau de nuisance sonore. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

Même si ces résultats peuvent s'expliquer par des variations saisonnières liées à la biologie des espèces (e.g. rassemblements pré-reproduction pour le sar commun en avril 2019), l'hypothèse d'un impact lié au bruit du trafic nautique ne peut être écartée. En effet, la quasi-absence de sars *Diplodus* spp. en août et octobre dans les stations S1 Palazzu et S3 Orgues est inattendue et méritera des investigations complémentaires.

10.4.4. Analyse de quelques espèces clefs

10.4.4.1. Le mérrou brun

Le mérrou brun *Epinephelus marginatus* est l'une des espèces emblématiques de la RNS et la première espèce observée en termes de biomasse totale sur l'ensemble du suivi (1 077.4 kg de biomasse totale). En août 2018, 26 individus ont été rencontrés dans les comptages, essentiellement aux stations S1 Palazzu, S2 Gargalu extérieur et S3 Orgues. En octobre 2018, l'abondance est nettement plus élevée avec un total de 55 individus rencontrés dont 29 uniquement au niveau de S3 Orgues. L'abondance de mérrou bruns en avril 2019 est comparable à celle observée en août 2018 (Figure 133 et Figure 134).

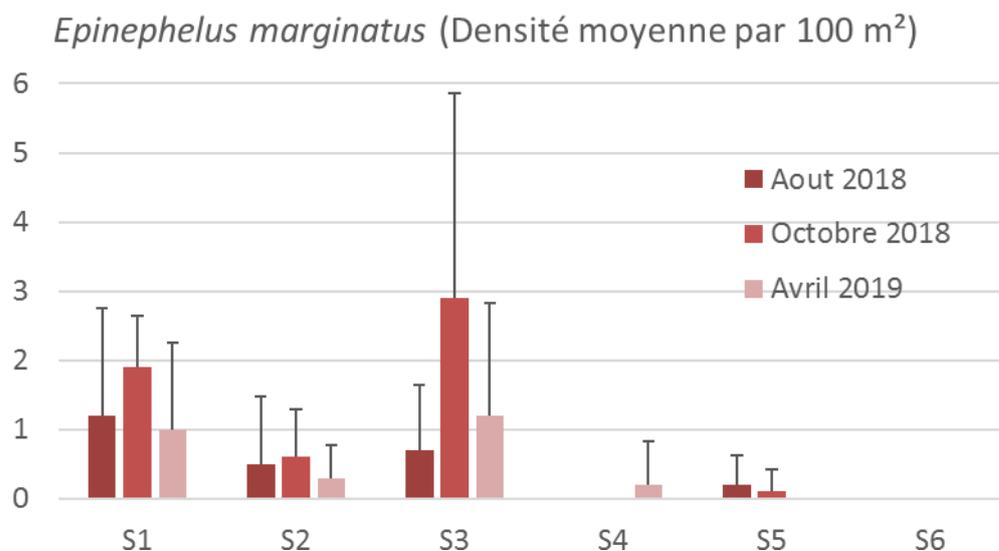


Figure 133. Densité moyenne (individus par 100 m²) de mérus bruns *Epinephelus marginatus* mesurée par station et par campagne de suivi.



Figure 134. Mérus brun *Epinephelus marginatus* rencontré sur le site de Palazzu.

10.4.4.2. Le corb

Le corb *Sciaena umbra* est très peu abondant dans les comptages réalisés, quelle que soit la campagne. La Réserve naturelle de Scandola est pourtant connue pour sa population de corb abondante, en particulier en réserve intégrale sur le site de Palazzu (Cottalorda *et al.*, 2014, 2019 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2015). A l'exception de quelques individus rencontrés à la station S6 Caletta, l'ensemble des corbs a été observé dans la station S1 Palazzu. Ainsi, alors que seuls 10 individus ont été dénombrés en août 2018, période de plus forte fréquentation touristique, plus de 30 individus étaient présents en octobre 2018 et avril 2019 (Figure 135).

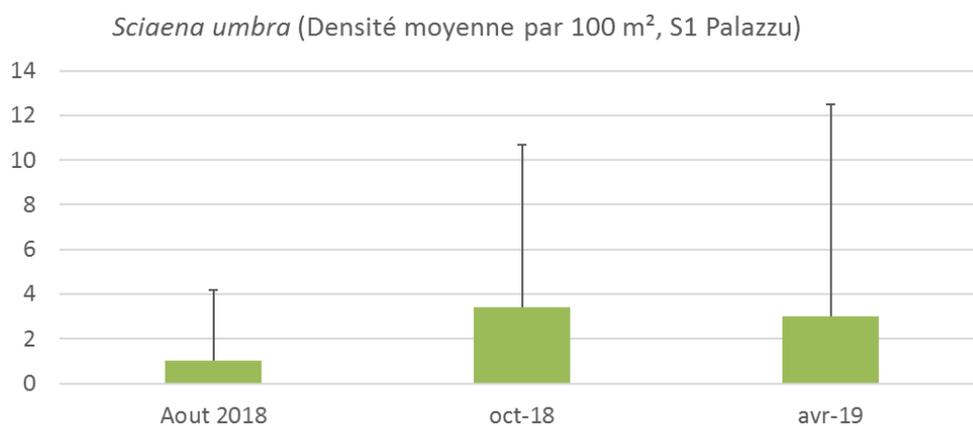


Figure 135. Densité moyenne (individus par 100 m²) de corbs *Sciaena umbra* au niveau de la station S1 Palazzu.

Ces individus étaient localisés dans la faille dite « aux corbs », à proximité directe de la passe de Palazzu (Figure 136).



Figure 136. Groupe d'une quinzaine de corbs *Sciaena umbra* observés au niveau de la passe de Palazzu en avril 2019.

10.4.4.3. Le sar commun

Le sar commun *Diplodus sargus* est une espèce fréquente dans les aires marines protégées. L'observation en nombre de grands individus est, en principe, courant en réserve intégrale. De façon surprenante, aucun individu de *D. sargus* n'a été rencontré sur S1 Palazzu et S3 Orgues en août 2018 et en octobre 2018. Sur les autres stations, aussi bien en réserve intégrale (S2 Gargalu extérieur) qu'hors réserve (S5 Porri et S6 Caletta), l'espèce est pourtant relativement abondante. En avril 2019, le sar commun est présent dans l'ensemble des stations, à l'exception de S4 Solana, c'est même dans la station S1 qu'il est le plus abondant (Figure 137). Globalement, l'espèce est significativement moins abondante aux stations S1 et S3 où la nuisance sonore potentielle est considérée comme forte à la belle saison ($p < 0.001$).

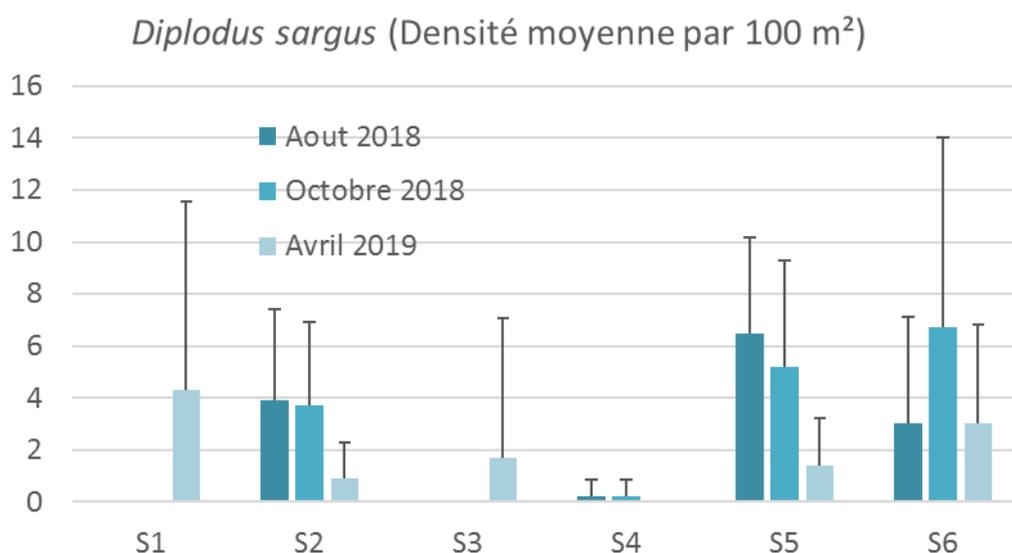


Figure 137. Densité moyenne (individus par 100 m²) de sars communs *Diplodus sargus* par station et par campagne. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.

10.4.4.4. La castagnole

La castagnole *Chromis chromis* est l'espèce, de très loin, la plus abondamment observée lors des comptages (Figure 139). Selon Bracciali *et al.* (2012), le bruit généré par le trafic maritime peut avoir un impact significatif sur l'activité alimentaire de cette espèce, pouvant conduire indirectement à l'observation d'une plus faible abondance, car cette espèce planctonophage se disperse largement dans la colonne d'eau pour se nourrir. Il apparaît donc intéressant d'analyser l'abondance de castagnoles observée lors des comptages visuels.

La densité de castagnole dépasse à plusieurs reprises 1 000 individus par 100 m² (S1 Palazzu en octobre 2018 et S3 Orgues en août 2018 et avril 2019). Elle est significativement plus faible sur S2 Gargalu extérieur (Kruskal-Wallis, $p < 0.05$) malgré une densité moyenne de plus de 341 individus par 100 m². L'abondance de castagnoles n'est pas significativement conditionnée, ni par le niveau de protection, ni par le niveau de nuisance sonore potentielle (Figure 138).

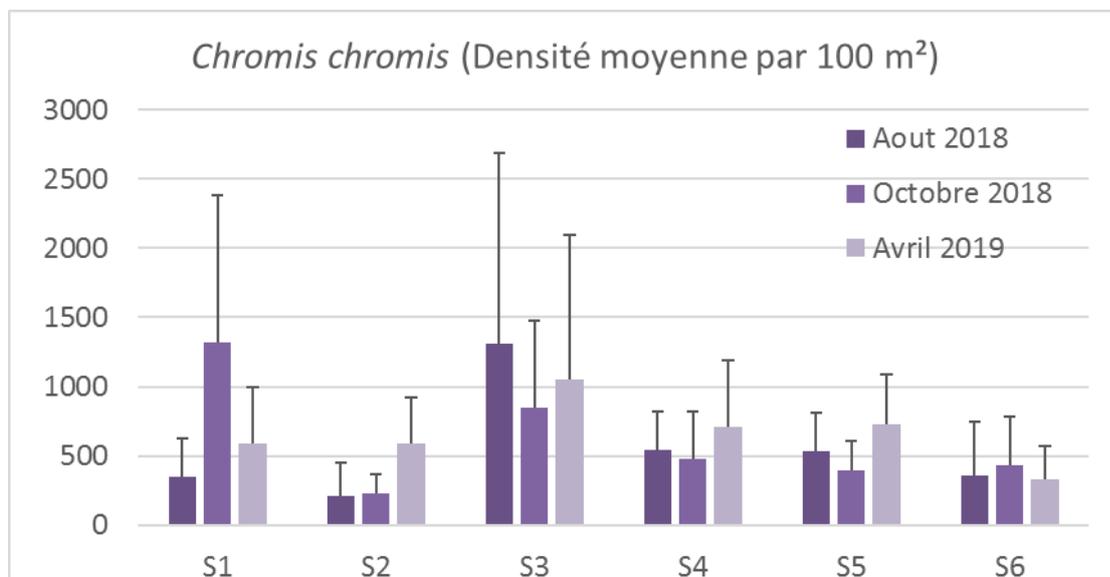


Figure 138. Densité moyenne (individus par 100 m²) de castagnole *Chromis chromis* par station et par campagne. La barre d'erreur correspond à l'écart-type.



Figure 139. Banc de castagnoles *Chromis chromis* observé par un plongeur biologiste.

10.4.4.5. La rascasse de Madère

Scorpaena maderensis est le scorpaenidé le plus abondant rencontré lors des comptages (Figure 140). Il s'agit d'une espèce à affinité thermophile déjà connue dans la Méditerranée nord-occidentale (Port-Cros, les Embiez, région marseillaise, Corse). Cependant, il s'agit de la première observation en plongée d'une population qui semble bien établie et dominante en abondance dans les comptages visuels par rapport aux autres espèces de Scorpaenidés occupant les fonds rocheux infralittoraux. Toutefois cette espèce comme le chapon a une assez large répartition en profondeur et les espèces cryptiques ne sont pas bien échantillonnées par comptages visuels en plongée.



Figure 140. Deux individus de *Scorpaena maderensis* observés dans la Réserve naturelle de Scandola (S3 les Orgues).

Ainsi, 33 individus de *S. maderensis* ont été rencontrés au cours de la campagne d'octobre 2018 contre seulement 2 et 6 respectivement pour *S. porcus* et *S. notata*. La taille des individus de *S. maderensis* s'étend de 8 à 18 cm avec une taille dominante autour de 14 cm.

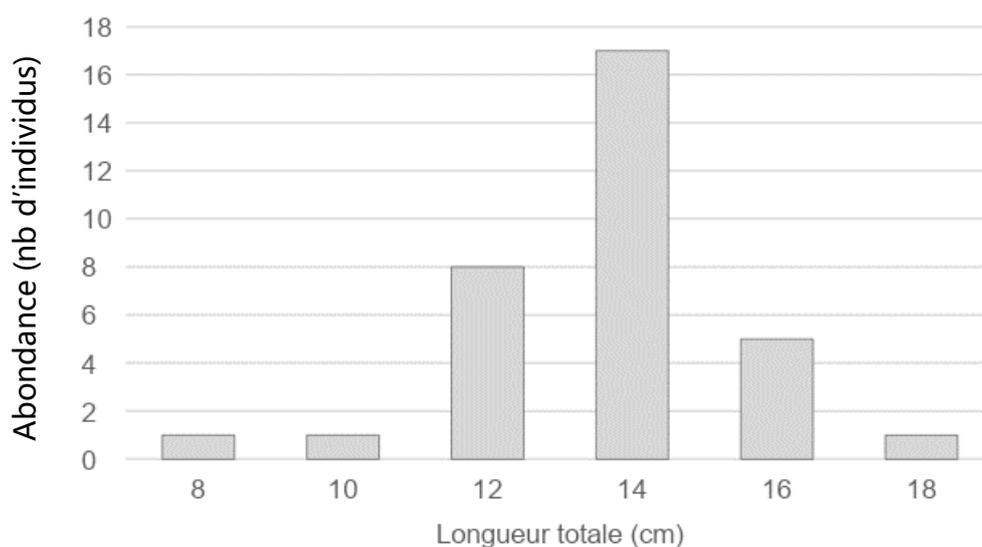


Figure 141. Abondance totale par classe de taille (Longueur totale en cm) de *Scorpaena maderensis*.

11. Discussion et conclusion

11.1. Visites de la Réserve naturelle de Scandola

Le croisement des différents protocoles d'études a permis de quantifier et de qualifier de manière plus précise la fréquentation de la Réserve naturelle de Scandola. L'analyse globale (comptage embarqué, suivis d'images satellites) et détaillée (DPDA) montre une fréquentation relativement faible en hiver, au printemps et à l'automne, et une augmentation relativement importante du nombre d'utilisateurs en période estivale. Ces observations sont cohérentes avec l'étude relative à la plaisance en Corse de Jousseume *et al.* (2013) Cette fréquentation en haute saison n'est pas structurée selon les types de jours (semaine ou week-end). En effet, la fréquentation semble même légèrement inférieure les jours de week-end (non significativement). Une forte activité pendant les week-ends peut traduire une utilisation de l'espace marin par les locaux, lorsque ces derniers sont en repos. Ce résultat non observé, est cohérent avec les informations issues des enquêtes de perception indiquant une faible part d'utilisateurs locaux au sein de la Réserve et une majorité de touristes venant du continent français ou de l'étranger.

L'activité principale rencontrée dans l'ensemble de la zone d'étude est la présence de nombreux bateaux en déplacement (environ 70 %) qui effectuent des promenades afin de profiter de la beauté du paysage, qu'il s'agisse d'utilisateurs locaux ou non venus visiter la Réserve. Parmi eux, trois types d'utilisateurs se distinguent. Les premiers, capitaines de voiliers, ont tendance à uniquement traverser la RNS, en profitant paisiblement des paysages pendant la navigation, ou faire une pause de quelques heures dans la Réserve, jamais plus, du fait des interdictions de mouillage de nuit dans les zones réglementées. Ce type d'utilisateurs autrefois plus présent, quand le mouillage de nuit était autorisé, aimait particulièrement jouir du privilège de passer la nuit au cœur de la réserve dans la baie d'Elbu ou à Gattaghja. Le deuxième type d'utilisateurs rencontrés sont les conducteurs de bateaux à moteur (vedettes ou semi-rigides entre 7 m et 15 m). Ces usagers, locataires ou propriétaires, parcourent de plus grandes distances que les voiliers dans la journée, pour se promener dans la Réserve, et effectuer plusieurs arrêts dans la journée pour déjeuner, se baigner ou effectuer de la plongée libre en palmes-masque-tuba. Le dernier type d'utilisateurs rencontrés sont les bateliers (navires professionnels transportant des passagers), très présents dans la zone du fait de la forte demande touristique, à venir découvrir le paysage, les falaises/failles ainsi que la faune sauvage remarquable du site. A l'aide de bateaux plus ou moins grands et plus ou moins rapides, ces professionnels effectuent des balades dans le secteur de la Réserve, en y effectuant 2 à 3 rotations par

jour au départ des ports alentours (entre Porto et Calvi), ou une sortie à la journée pour les bateaux venant de plus loin (Ajaccio, Porticchio).

Les comptages embarqués ainsi que l'analyse de données satellitaires ne montrent pas de grandes différences du nombre d'embarcations en déplacement entre l'ensemble des secteurs de la Réserve (situés entre la baie d'Elbu et la Punta Mucchilina). Les deux zones de protection partielle ont cependant l'avantage d'être assez vastes, offrant de l'espace aux usagers pour la navigation plus au large. Ces derniers, se rapprochent du bord de manière ponctuelle, pour venir mouiller ou effectuer une activité (pique-nique, baignade, snorkeling, etc.). De ce point de vue, le secteur de la réserve intégrale entre l'île de Gargalu et la Punta Palazzu semble tout autre. De par la configuration de la côte, ce secteur est un véritable cap, et abrite une passe assez étroite (50 m à 300 m de large) entre Gargalu et Palazzu où, selon la direction du vent, les eaux peuvent être assez agitées. La même configuration se retrouve au niveau de la Punta Palazzu où les bateaux, prenant le chemin le plus court, ont tendance à se rapprocher très près des côtes en navigation. Ces configurations peuvent être comparées à une sorte de goulot d'étranglement, où l'ensemble des bateaux vont tous avoir la même trajectoire pendant l'ensemble de la journée : c'est un passage quasi obligatoire. Le flux minimum estimé dans la passe de Palazzu est mesuré à 40 passages par jours en moyenne d'avril à octobre, l'affluence maximale a été mesurée en août 2018 avec 124 passages en moyenne par jour avec un record de 300 passages en une seule journée. L'estimation du flux de déplacement équivaut ici à 1 passage toutes les 3 minutes dans cette zone entre 6:00 et 21:00. Deux pics de flux sont observés pendant la journée à l'aide des systèmes DPDA et des suivis acoustiques sous-marins, un pic entre 10:00 et 12:00, regroupant 44% des déplacements enregistrés, et un second pic plus faible, entre 15:00 et 16:00 regroupant 24% des déplacements enregistrés. Pendant ces deux plages horaires (regroupant 70 % des déplacements journaliers), l'intensité s'élèverait à au moins 1 passage toutes les 3 minutes pendant tout le mois d'août, avec un maximum de 1 passages par minutes pendant la journée d'affluence maximale relevée.

Les bruits générés par les bateaux se répartissent sur une large bande de fréquence, des basses aux hautes fréquences, en raison de différents types de moteurs (2 temps, 4 temps) et de leur tailles (puissance). La manière d'utiliser le moteur semble également importante dans la définition du paysage acoustique de la Réserve. Les gammes de régimes utilisées peuvent également induire des bruits de cavitation en présence de trop forte accélération, ou de mauvaises utilisations du trim du moteur (inclinaison du moteur dans l'eau). Ces cavitations peuvent s'accompagner d'une augmentation du bruit de l'ordre de 20 à 40 dB dans des conditions extrêmes (Lecoffre, 2004, Noughabi et al., 2017). La faune en général et en particulier les poissons peuvent être impactés par ces

bruits (Weilgard, 2018 ; La Manna *et al.*, 2016), et les comptages de poissons réalisés dans le cadre de cette étude pourraient corroborer cette hypothèse. En été, **l'intensité moyenne** du bruit est de +10 dB par rapport au bruit sans dérangement (équivalent à des bruits 3 fois plus fort que la normale) alors qu'en avant saison, l'intensité du bruit est mesurée à +3 dB. La différence entre les deux saisons équivaut à un doublement de l'intensité du bruit entre avril et août (+ 6dB). **Le temps de nuisance** est également plus important en été (10h contre 4h en avril). La nuisance sonore dans l'octave [500 Hz ; 1 000 Hz] est donc de 80 dBh en été, contre 12 dBh en avril, donc 6 fois plus élevée en août qu'en avril.

Les résultats sur les données d'acoustique passive sous-marine montrent que les perturbations acoustiques sous-marines potentiellement impactantes sont donc surtout dues aux manœuvres des bateaux, avec leur reprise d'accélération. En sus, un grand nombre d'observation d'embarcations naviguant à grande vitesse ont été dénombrées lors de l'analyse des photographies de l'année 2019 (environ 15% des bateaux en déplacement). Cette grande vitesse peut être assimilée à des pratiques de vitesse au-dessus des limites fixées à 5 nœuds en réserve intégrale. En plus d'être dangereuses, ces pratiques pourraient favoriser le dérangement de la faune sauvage terrestres et marines, en propageant un niveau sonore beaucoup plus élevé qu'avec une attitude calme pendant la navigation proche des côtes (Hawkins et Popper, 2017). Concernant touristes, locaux et professionnels, ces pratiques sont également mises en avant par les résultats de l'enquête de perception. En effet, elles indiquent que 35 % des personnes interrogées n'ont pas connaissance de la réglementation liée à la vitesse de navigation. Il serait donc souhaitable que les consignes liées à la réglementation de la vitesse en réserve intégrale soient diffusées et respectées. Un deuxième point important serait de sensibiliser les usagers à une utilisation plus souple du moteur, notamment lors d'accélération brusques utilisées proche des côtes (par exemple lors de sur-place, avec une utilisation non contrôlée de marche-avant et marche-arrière pour stabiliser le bateau). Ces pratiques de bonne conduite devraient permettre une meilleure sécurité du plan d'eau et par la même occasion une diminution du niveau sonore de la zone. Tous ces résultats sont difficilement comparables avec d'autres études en raison du manque de bibliographie précise sur ce sujet (quantification du bruit, évaluation du nombre de passages, etc.). Néanmoins, Peuziat (2005) observe le même type de comportement lors d'une étude de la fréquentation dans l'archipel de Glénan. Près de 90% des usagers disent connaître la réglementation liée à la vitesse (limitée à 8 nœuds dans l'ensemble de l'archipel) alors qu'une grande majorité des embarcations sont tout de même répertoriées en excès de vitesse, pouvant causer un dérangement pour la faune (principalement des oiseaux).

11.2. Un peuplement de poissons structuré par de nombreux facteurs

Les comptages de poissons réalisés en août 2018, octobre 2018 et avril 2019 dans la réserve intégrale, la réserve partielle et en dehors de la réserve mettent en évidence un effet positif de la protection sur les assemblages de poissons avec en particulier une forte biomasse de grands piscivores dans la Réserve. Cet "effet réserve" a été mis en évidence il y a plus de 40 ans dans la Réserve naturelle de Scandola (Bell and Harmelin-Vivien, 1982, 1983 ; Bell, 1983 ; Miniconi *et al.*, 1990 ; Francour, 1991, 1994). Cependant, les assemblages observés en 2018 et 2019 comportent certaines singularités.

Les sars, et en particulier le sar commun *Diplodus sargus* sont absents ou peu abondants dans les stations de Palazzu et des Orgues pendant les campagnes d'août et octobre 2018. Le sar commun est pourtant connu pour abonder en zone de protection renforcée, avec des individus de grande taille (Guidetti *et al.*, 2008 ; Parc national des Calanques : Le Diréach *et al.*, 2017 ; Belloni *et al.*, 2019 ; Parc national de Port-Cros : Astruch *et al.*, 2018 ; Parc Marin de la Côte Bleue : Le Diréach *et al.*, 2017a et b). Cependant, dans le Parc national de Port-Cros, l'abondance de sars communs est moins importante à Port-Cros (cœur de Parc avec un fort niveau de protection) qu'à la presqu'île de Giens (aire maritime adjacente avec moins de restrictions de pêche) (Rouanet *et al.*, 2019b). Sur ces deux mêmes stations (Palazzu et Orgues), la densité de corbs *Sciaena umbra* est relativement faible, en particulier en août. Une étude menée cette même année (2018) par le Groupe d'étude du Mérou (GEM) (Cottalorda *et al.*, 2019) montre une baisse des effectifs de mérours bruns et de corbs de l'ordre de 60% par rapport aux investigations faites en 2012 (Cottalorda *et al.*, 2014 ; Harmelin-Vivien *et al.*, 2015).

Le peuplement de poissons dans la Réserve naturelle de Scandola comporte peu de saupes *Sarpa salpa*. La qualité et l'abondance d'associations à *Cystoseira* spp. sur la roche infralittorale seraient pourtant favorable à sa présence. Bien que Guidetti *et al.* (2014) démontrent qu'il n'y a pas d'influence du régime de protection sur les herbivores, plusieurs auteurs soulignent l'augmentation des herbivores dans certaines aires marines protégées (Guidetti et Sala, 2007 ; Prado *et al.*, 2008). Certains mettent en évidence un impact de la présence des herbivores qui peut être négatif sur la communauté végétale, en particulier les fucales dont le genre *Cystoseira* (Thibaut *et al.*, 2016.).

Dans le cadre du suivi de la pêche artisanale dans et aux alentours de la Réserve naturelle de Scandola, Le Diréach *et al.* (2019) a mesuré 6 fois plus de corbs présents dans les captures des pêcheurs artisanaux en dehors de la Réserve (secteur Nord de Scutone, juin 2018). Les recensements réalisés par Cottalorda *et al.* (2019) montrent,

malgré une augmentation de la densité de corbs en dehors de la Réserve par rapport aux précédents comptages réalisés. Ces résultats de captures et de comptages démontrent l'augmentation de la quantité de corbs en dehors de la Réserve, ce qui semble cohérent depuis la mise en place du moratoire interdisant sa pêche (pêche à la ligne et chasse sous-marine interdites selon l'arrêté du 20 décembre 2018 pour la Corse) et dans un site où les habitats lui sont favorables, mais cette tendance ne s'observe pas sur le secteur du rocher des Orgues et de Palazzu. La faible abondance de mérus bruns en août 2018 suscite les mêmes préoccupations que pour le corb.

L'abondance de rascasses de Madère *Scorpaena maderensis* et la faible occurrence des autres rascasses *S. porcus* et *S. notata* semblent être une nouvelle preuve du réchauffement de la Méditerranée. (La Mesa *et al.*, 2005 ; Falzon, 2011 ; Bodilis *et al.*, 2018).

11.3. Une incidence de la pollution sonore sur le peuplement de poissons ?

Les impacts du bruit généré par les activités humaines sur les poissons sont étudiés depuis peu et les résultats diffèrent selon les types de bruits et les espèces de poissons (Hawkins et Popper, 2017 ; La Manna *et al.*, 2016 ; Engås *et al.*, 1996 ; www.dosits.org).

Les analyses des données d'acoustiques passives sous-marines présentées au paragraphe 6 de ce rapport montrent clairement une pollution sonore significative sur le secteur de Palazzu et du rocher des Orgues avec un niveau d'émission moyen mesuré 3 fois supérieur au niveau de base (+10 dB). Tel que démontré par La Manna *et al.* (2016), cette nuisance sonore influence le comportement d'une partie du peuplement de poissons et, dans son cas d'étude, le corb *Sciaena umbra* (comportement plus fuyant, tendance à se cacher mais sans modification des émissions de sons). Selon La Manna *et al.* (2016) et Bruintjes *et al.* (2016), l'arrêt de la source de pollution sonore permet un rétablissement rapide du comportement des poissons. Cette modification du comportement pourrait donc expliquer les plus faibles abondances rencontrées lors des comptages réalisés à Palazzu en août 2018 par rapport à octobre et les résultats de Cottalorda *et al.* (2019).

Bruintjes *et al.* (2016) ont démontré un impact du bruit qui reste limité dans le temps avec un comportement des poissons qui revient rapidement à la normale après l'émission. Ce constat supposerait un 'retour à la normale' de la structure du peuplement de poissons en cas d'arrêt de toute émission anthropique. Cette hypothèse ne peut être prouvée à ce jour.

Plusieurs auteurs ont mis en évidence que le bruit induit par le passage d'un bateau provoque un comportement des poissons comparable à une réaction déclenchée par un prédateur (Vabø *et al.*, 2002 ; Sarà *et al.*, 2007 ; Bracciali *et al.*, 2012). Cette conséquence peut expliquer les faibles abondances observées en août pour certaines espèces (corb, sars, mérrou brun) au niveau du rocher des Orgues et de Palazzu. Pour la castagnole *Chromis chromis*, nos résultats ne corroborent pas ceux de Bracciali *et al.* (2012), puisqu'aucune différence attribuable à la nuisance sonore n'a été mise en évidence. Cependant, des études complémentaires seraient nécessaires pour valider ou non cette hypothèse, notre protocole n'étant pas le plus adapté pour la mettre en évidence.

D'autres hypothèses expliquant une baisse de l'abondance de poissons, en particulier de mérours bruns, de corbs et de sars communs, ne peuvent cependant pas être écartées. Elles ont pour la plupart été développées par Cottalorda *et al.* (2019) :

(i) le déplacement de certaines espèces en profondeur ou en dehors des zones prospectées : Le corb, par exemple, n'évolue pas systématiquement dans les petits fonds rocheux et d'herbier de posidonie, il peut être rencontré plus bas dans le coralligène avec un comportement différent (plus cryptique, évoluant près du fond ; P. Astruch comm. pers. ; Bonhomme *et al.*, 2010). Le mérrou brun aurait pu se déplacer en s'éloignant de la zone de Palazzu vers d'autres fonds non identifiés à ce jour ; ajoutons aussi que la zone est complexe et riche en anfractuosités avec un accès proche à la profondeur facilitant la dispersion des poissons.

(ii) le prélèvement par la pêche inclut la pêche professionnelle en réserve partielle mais également l'impact du braconnage toujours possible (en réserve partielle et/ou intégrale). Malgré une présence importante des agents de la Réserve, le braconnage n'est pas constant dans le temps et une action de braconnage, même localisée et ponctuelle, peut avoir un effet significatif et visible sur les populations d'espèces ciblées emblématiques comme les corbs et les mérours bruns ;

(iii) une mortalité liée à une maladie : nodavirose, le mérrou brun est concerné et des mortalités importantes ont déjà été localisée dans le bassin oriental méditerranéen (Libye) et au sud de l'Italie (Vendramin *et al.*, 2013 ; Rizgalla *et al.*, 2016). D'autres espèces sont également vulnérables à certains virus et des mortalités ont été constatées dans d'autres secteurs de Méditerranée (la murène *Muraena helena*, la mostelle *Phycis phycis*).

Pour ces raisons, il n'est pas possible de mettre en évidence un lien de cause à effet entre la diminution des corbs et des mérours ou des sars à certaines stations soumises à un niveau sonore plus élevé que d'autres. En effet, les comptages visuels nous permettent d'observer un peuplement résultant de l'ensemble des pratiques et des modes de gestion appliquées dans la zone d'étude et pas seulement du dérangement par le bruit. Pour

faire le lien entre le bruit et les poissons, des études comportementales peuvent être menées nécessitant d'observer les activités d'espèces caractéristiques en présence de différents niveaux de bruit (e.g. distances de fuite). Cela permet alors d'analyser la nature du dérangement et les seuils ou les durées d'application de la pression sonore pouvant induire une nuisance. Nos résultats acoustiques et de comptages de poissons n'excluent pas un certain dérangement qui se traduit par des modifications de comportement et une accentuation des différences de composition spécifique entre les stations (groupes trophiques, groupes de localisation spatiale). Il y a bien des stations où la pression sonore est plus élevée que d'autres et il est intéressant de voir si cela a un impact au long terme sur le peuplement de poissons côtiers. Ce travail attire donc l'attention sur un aspect encore trop peu documenté des impacts de la fréquentation maritime. Il faut cependant garder à l'esprit que d'autres pressions comme le prélèvement par pêche ont des effets visibles sur ce que nous sommes en mesure de déceler comme modifications par des comptages en plongée.

11.4. Le comportement du balbuzard pêcheur influencé par la présence des bateaux ?

La population de balbuzards pêcheurs de Corse (Thibault *et al.*, 2001 ; Bretagnolle *et al.*, 2008) est considérée comme menacée et vulnérable face à la recrudescence du tourisme (Morvan, 2010 ; Monti *et al.*, 2018). Monti *et al.* (2017) a mis en évidence une baisse drastique du nombre de poussins à l'envol alors que le taux de ponte et de succès d'éclosion est pourtant stable. Ainsi, il y a depuis 2012 moins de 15 poussins à l'envol par an pour environ 30 couples (Figure 142), dont une grande majorité en dehors de la RNS, alors que par exemple, il y avait 50 poussins à l'envol sur l'ensemble de la Corse en 2010 (Monti *et al.*, 2017).

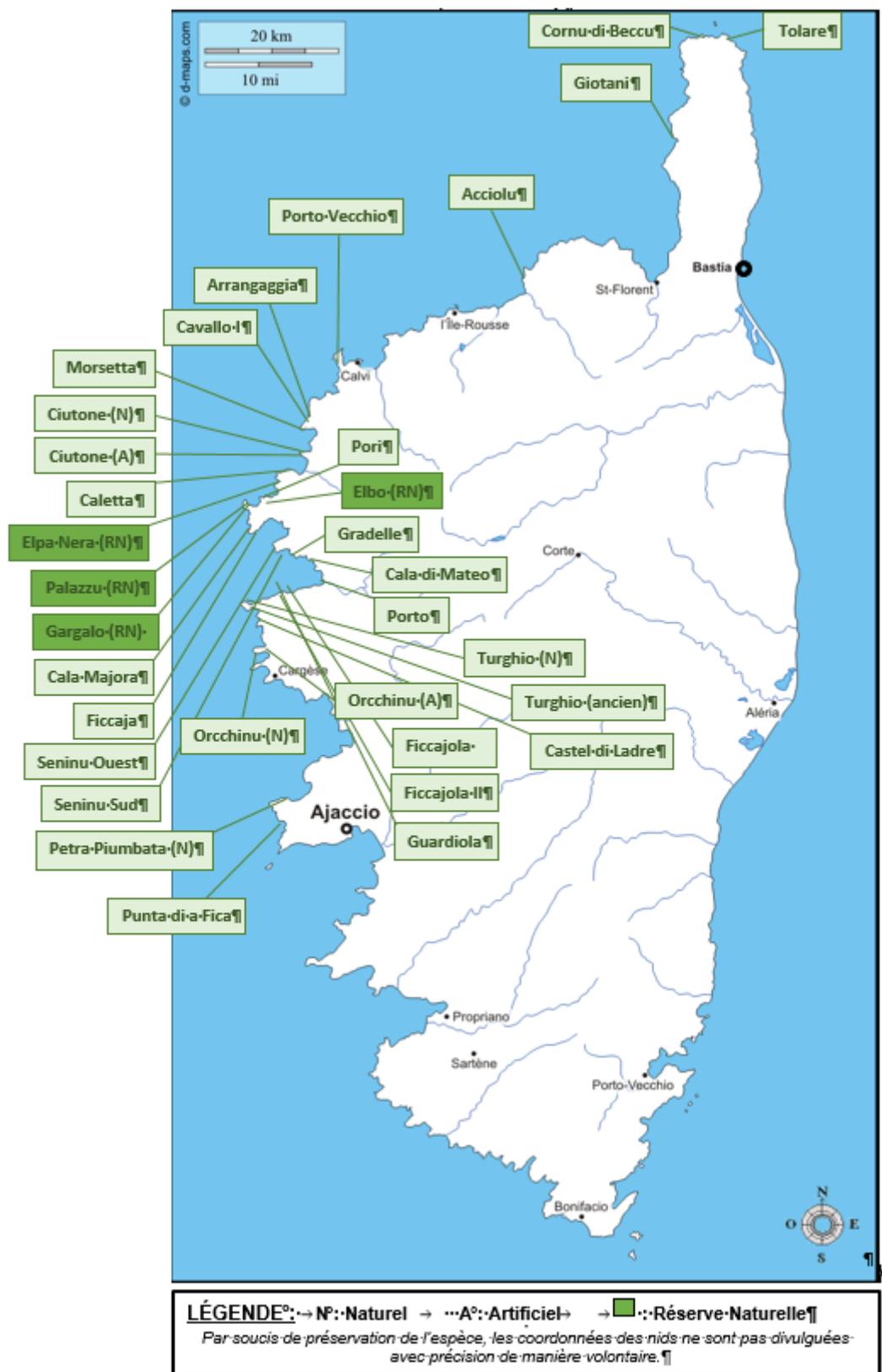


Figure 142. Localisation des nids de balbuzards pêcheurs occupés en 2016 (source : J.M. Dominici).

L'analyse des enregistrements issus des micros aériens ont permis de développer un détecteur acoustique spécifique au balbuzard pêcheur. Deux types de chants ont été

observés pendant l'étude et sont fortement corrélés avec la présence ou l'absence de bruit de moteur : (i) le chant de type 1, très répétitif et constant en fréquence d'émission est entendu le plus souvent en présence de bateaux à proximité ; (ii) le chant de type 2 est plus complexe et émis à fréquences variables, corrélés avec l'absence de bruit de moteur.

Une différence du niveau d'émission des cris de type 1 et de type 2 ont été enregistrés : en présence de bruits de moteur, le chant de type 1 est émis 2 fois plus intensément que le chant de type 2 en l'absence de bateaux.

En présence de bateaux près d'un nid dans la Réserve naturelle de Scandola, des cris d'alerte émis par un des parents resté pour protéger l'oisillon ont été observés statistiquement en plus grand nombre que lorsqu'aucun bateau ne s'approchait de la zone (Monti *et al.*, 2018). Le chant défini de type 1 dans notre étude, pourraient être l'équivalent de ce cri d'alerte ou de stress effectué par le balbuzard présent dans le nid. Les vocalises des balbuzards pêcheurs peuvent traduire l'activité alimentaire du couple (appel de la femelle depuis le nid pour le nourrissage du poussin), une perturbation peut modifier le comportement du couple (Bretagnolle et Thibault, 1993 ; Monti *et al.*, 2018). Nos résultats sont donc concordants avec ceux de Monti *et al.* (2018).

Au cours du mois de juillet 2019, à la suite des conclusions de plusieurs travaux sur la population de balbuzard pêcheur de la Réserve (Monti *et al.*, 2018), une zone de quiétude de 250 m autour du nid a été mise en place à proximité du rocher des Orgues, et activement surveillée par les agents de la Réserve. La navigation a tout simplement été interdite temporairement dans ce périmètre. D'après le gestionnaire (J. M. Dominici *comm. pers.*), cette mesure temporaire aurait permis au couple de balbuzards de nourrir leur poussin jusqu'à l'envol.

11.5. Des émissions anthropophoniques en dehors de la RNS

Les gammes de fréquences émises par les embarcations sont particulièrement larges et montent jusqu'à des gammes communes avec les émissions de cétacés (plusieurs dizaines de kHz). Des émissions de cachalots ont été identifiés et sans doute localisées à plusieurs kilomètres des hydrophones ; cela signifie que le bruit anthropique issu de la navigation dans la RNS est sans doute perçu à ces distances, interférant potentiellement avec la communication des cachalots et autres mammifères marins. De plus, la configuration exceptionnelle de la presqu'île de Scandola et de la bathymétrie de la zone (grandes profondeurs très proches de la côte) pourraient favoriser la diffusion d'émission

acoustique vers le large. Cette supposition n'est pas propre à la RNS et concerne l'ensemble du littoral aménagé et fréquenté de la planète (Boyd, 2008).

Dans ce contexte, la RNS est un site atelier idéal pour la mise en place d'une station de suivi acoustique permanente. Nous proposons notamment dans le cadre de la Chaire en Intelligence Artificielle en Ecoute Sous-marine d'Hervé Glotin ouverte sous l'impulsion de la Présidence de la République en 2019 pour 4 ans (<https://anr.fr/fileadmin/aap/2019/selection/chaiesia-selection-2019.pdf>), d'installer une station permanente dans la Réserve afin de veiller sur l'évolution des niveaux dB de la Réserve qui est un site singulier d'un point de vue acoustique, de par sa configuration géologique et sa biodiversité. Ce dispositif permettrait de suivre dans le temps les niveaux d'émission dans la RNS et ainsi pourrait apporter de nouveaux éléments pour évaluer plus finement l'impact du bruit anthropique sur les communautés sous-marines de la RNS et alentour.

11.6. Un herbier de posidonie impacté par le mouillage ?

A l'échelle de l'ensemble du secteur étudié, de Galeria à Girolata les zones où le mouillage est le plus observé se situent à l'extérieur des zones réglementées de la Réserve naturelle de Scandola, dans la baie de Galeria et surtout dans le golfe de Girolata, vastes baies abritées où l'on note la présence de bouées de mouillage en Zone de Mouillage et d'Equipements Légers.

Sans pouvoir quantifier de manière exacte la pression de mouillage de la grande plaisance à large échelle, 2 zones de mouillage préférentiel sont identifiées :

- (i) le golfe de Girolata, la plus fréquentée, est la zone où le plus de bateaux de grande plaisance est comptabilisé à l'aide des AIS et comptages embarqués.
- (ii) dans une moindre mesure, la calanque de l'Imbutu (ouest du secteur 8).

En termes de comparaison, 28 bateaux ont été recensés dans la zone d'étude de Scandola en 2018, contre 122 dans le Parc marin Départemental Esterel-Théoule (Rouanet *et al.*, 2019a), dont la surface d'étude est plus petite. Malgré ces faibles valeurs, l'évolution de cette fréquentation doit être surveillé car l'impact d'un seul grand bateau (possédant donc une grosse ancre et un grand rayon d'action autour de celle-ci) peut être destructif de manière importante pour l'herbier de posidonie.

La mise en place d'un nouvel arrêté préfectoral (n°123/19) visant à interdire le mouillage dans l'herbier de posidonie pour les bateaux de plus de 24 m devra néanmoins limiter de tel impact en Corse. Une telle réglementation devra cependant s'accompagner

d'aménagement permettant de garantir un accès à des abris, ne serait-ce que pour des raisons de sécurité.

De manière plus générale, et comparativement à d'autres secteurs de Méditerranée, la fréquentation maritime qui s'étend dans l'herbier de posidonie apparaît modéré (Tableau XX). En effet, la densité maximale mesurée localement, en période de forte affluence à Elbu, s'élève à 45 ancrages/ha/j. Cette valeur très élevée est cependant relevée sur un fond meuble, au-dessus de la limite supérieure de l'herbier de posidonie, donc sans impact direct sur ce dernier. La valeur maximale observée dans la posidonie est de 27 ancrages/ha/j. Cette valeur maximale mesurée en période estivale est légèrement plus élevée que sur les sites d'étude du Parc national des Calanques en 2011 et 2012 (Sormiou : 23 ancrages/ha/j ; Crine : 20 ancrages/ha/j) (Tatoni et Le Mire-Pêcheux, 2013 ; Bonhomme *et al.*, 2013), mais plus faible que dans le Parc marin département Esterel-Théoule (34 ancrages/ha/j) (Rouanet *et al.*, 2019). Cette valeur correspond à l'ancrage de petites embarcations (de types semi-rigides ou petites vedettes à moteur). Les seuils maximums préconisés pour les densités de mouillage dans l'herbier de posidonie sont de 2 ancrages/ha/j en moyenne dans l'année, et 10 ancrages/ha/j en période de fréquentation maximale (Boudouresque *et al.*, 2006). *A contrario* de cette forte valeur de densité d'ancrages mesurée dans la marina d'Elbu, on s'aperçoit que la surface pour laquelle les densités d'ancrages dépassent ces seuils est très limitée. En effet, aucune partie de l'herbier n'est soumise à une pression d'ancrage dépassant ce seuil annuel, et seulement 0.1 ha est soumis à une pression dépassant ce seuil de fréquentation maximale en période estivale.

Tableau XX. Récapitulatif des valeurs de densité de mouillage et temps de résidence mesurés dans différents sites équipés de systèmes DPDA depuis 2010 dans le Parc national des Calanques, le Parc maritime départemental Esterel-Théoule et la Réserve naturelle de Scandola. Les valeurs en gras représente la valeur maximale mesurée pour chaque métrique.

Site	Marina d'Elbu (Galeria)	Pointe de l'Aiguille (Théoule/mer)	Calanque de Sormiou (Marseille)	Calanque de la Crine (Ile du Frioul, Marseille)	
AMP	Réserve naturelle de Scandola	Parc maritime départemental Esterel-Théoule	Parc national des Calanques	Parc national des Calanques	
Année	2018 - 2019	2019	2011	2010	
Référence	Présente étude	Rouanet <i>et al.</i> , 2019	Tatoni et Le Mire-Pecheux, 2013	Tatoni et Le Mire-Pecheux, 2013	
Densité de mouillage dans l'herbier de posidonie	Valeur max (ancrage/ha/j)	27.2	33.8	23.1	20.2
	Surface (ha) > 2 ancr./ha/j (an)	0	NA	0.6	4.4
	Surface (ha) > 10 ancr./ha/j (mois)	0.1	1.4	0.3	1.4
Densité de mouillage tous habitats confondu	Valeur max (ancrage/ha/j)	45.0	33.8	41.1	20.2
	Surface (ha) > 2 ancr./ha/j (an)	0.4	NA	1.0	4.4
	Surface (ha) > 10 ancr./ha/j (mois)	0.4	5.7	0.6	1.4
Tps de résidence moyen	1h36 (±1h52)	NA	6h14 (± 10h00)	3h20 (± 5h47)	

Une étude de la fréquentation réalisée en 2006 spécifiant certaines zones de mouillage, relevait un nombre de 15 embarcations au mouillage dans la zone de la marina d'Elbu (Life LINDA, 2006). Ce protocole d'étude basé sur la prise de vue aérienne en pleine journée, serait comparable au protocole de comptages embarqués mis en place dans cette étude, où à l'étude du nombre de bateaux maximal observé sur une seule photo

issue des systèmes DPDA, à savoir la mesure d'un nombre de bateaux à un instant "t". La valeur maximale mesurée pendant les comptages embarqués dans le secteur 7 est également de 15 embarcations le 18 juillet 2018 ; la valeur maximale atteinte via les DPDA est de 23 embarcations le 7 juillet 2019 à 13:02. Ces chiffres de même ordre de grandeur entre 2006 et 2019 pourraient indiquer que le nombre d'embarcation au mouillage n'a sensiblement pas augmenté au cours du temps. La capacité d'accueil maximale de cette zone pourrait d'ailleurs être atteinte.

Néanmoins, la pression d'ancrage ne doit pas être réduite à la mesure de la densité d'ancrage, puisque la dégradation mécanique des herbiers peut également dépendre de la taille des navires qui s'y ancre, du type d'ancre utilisée ainsi que de la nature de la matre (Francour *et al.*, 1999 ; Milazzo *et al.*, 2004 ; Ganteaume *et al.*, 2005 ; Rouanet *et al.*, 2012). L'herbier de posidonie de la marina d'Elbu semble naturellement vulnérable à l'ancrage à la vue de sa typologie d'herbier de colline (Astruch *et al.*, 2008). Les mesures de MCAI et d'EBQI ne montre pas un effet net de l'impact du mouillage sur l'état général de l'herbier mais cet habitat doit continuer d'être étudié pour suivre son évolution dans le temps. Même si la limite de capacité d'accueil de la marina d'Elbu semble atteinte, il n'est pas exclu d'observer une modification du type de fréquentation dans les années à venir, avec un remplacement des petites embarcations par des embarcations plus grandes et potentiellement plus impactantes pour l'herbier de posidonie.

En termes d'impact, le temps de résidence des embarcations peut également être traduite comme source de pression liée à l'ancrage. En effet, pour les ancres les plus grosse, une chaîne plus grosse et plus lourde est également utilisée, favorisant l'impact sur l'herbier lié au mouvement de la chaîne sur le fond (Figure 143).



Figure 143. Illustration de l'impact mécanique de la chaîne sur l'herbier de posidonie (Courtade, Porquerolles, 2019).

Les temps de résidence mesurés dans la marina d'Elbu sont très courts comparé à ceux calculés dans le Parc national des Calanques (Tatoni et Le Mire-Pecheux, 2013 ; Bonhomme *et al.*, 2013) et dans le Parc marin départemental Esterel-Théoule (Rouanet *et al.*, 2019a) (Tableau XX). Le temps de résidence des voiliers, ancrés plus au centre de l'herbier est plus élevé et approche les 3h00 en moyenne. Malgré cela, cette variable peut être négligeable à Scandola.

Selon les mesures de MCAI réalisées en août et octobre 2018 (avant et après la saison estivale), des différences sont observées entre les stations de mesure. La vitalité est moyenne pour les stations Elbu et Imbuttu et bonne pour les stations Gargalu et Gattaghja. La valeur de densité d'ancrage maximale mesurée sur le point de la marine d'Elbu s'élève à 6 ancrages/ha/j (Figure 144). Cette valeur ne dépasse pas les seuils de préconisation de 10 ancrages/ha/j (Boudouresque *et al.*, 2006). Les différences observées entre les mesures peuvent en partie être liées au contexte hydrodynamique (intermattes, tombants érosifs) qui peut naturellement fragiliser l'herbier et le rendre ainsi plus vulnérable à une pression d'ancrage. Aucune différence significative entre les notes MCAI de la réserve intégrale (Gargalu où le mouillage est interdit) et celles des sites de l'Imbuttu et Elbu (zone autorisée au mouillage en journée) n'est observée.

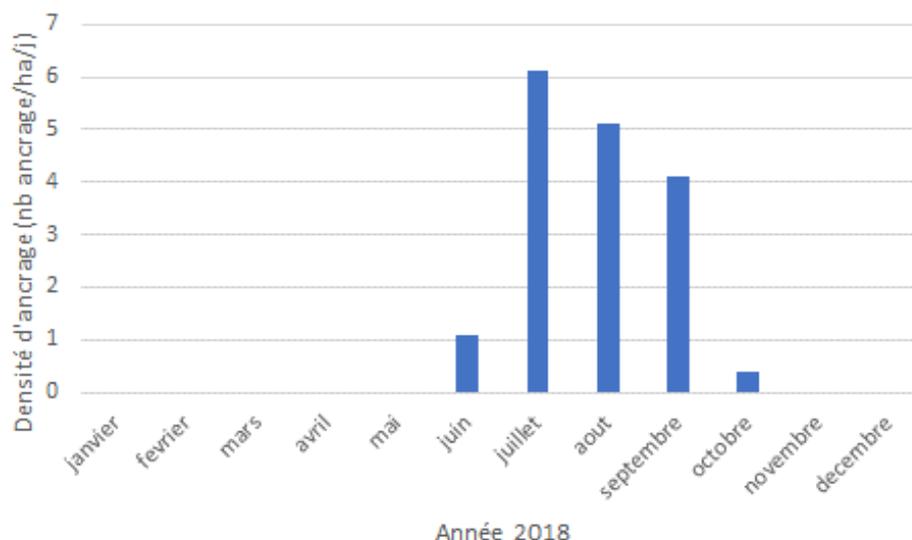


Figure 144. Evolution de la densité d'ancrage sur le point MCAI de la marina d'Elbu.

La réalisation des mêmes mesures au printemps et à l'automne permet d'une part de suivre s'il y a eu une évolution sensible qui pourrait, en l'occurrence être attribuable à un impact du mouillage et d'autre part, d'évaluer notre protocole et la pertinence de certains descripteurs.

Pour évaluer ponctuellement l'impact du mouillage sur un site donné, une campagne à l'automne semble suffisante. Certains paramètres comme le recouvrement ou le morcellement de l'herbier diffèrent significativement en octobre par rapport à avril en raison du cycle biologique de la posidonie dont les feuilles sont plus courtes et moins nombreuses. Ils ne sont donc pas comparables entre saisons. L'évènement de mortalité massive de grandes naces qui touche la Corse et une partie de la Méditerranée nord-occidentale (Catanese *et al.*, 2018) rend obsolètes les descripteurs 'densité de naces vivantes' et 'proportion de naces cassées' pour évaluer un impact du mouillage.

Des ajustements méthodologiques du protocole MCAI sont à envisager. A ce stade, nous proposons simplement de ne pas considérer les descripteurs relatifs à la grande nacre (il s'avère néanmoins important de toujours suivre ces populations en cas de retour de l'espèce à la fin de l'épidémie). Le suivi d'une seule campagne à l'automne allège considérablement le protocole et répond de la même façon à l'évaluation de l'impact de l'ancrage.

11.7. Des capacités de charge maximales atteintes ?

Selon Hardin (1991), « la notion de capacité de charge est une base fondamentale du développement démographique », incluant l'influence de l'Homme dans son environnement. La notion de capacité de charge intéresse tout particulièrement les gestionnaires et les scientifiques (Le Gentil *et al.*, 2015). La capacité de charge sociale définit le niveau de fréquentation (souvent le nombre d'utilisateurs), pour un site donné, pour lequel la qualité de l'activité de l'utilisateur va commencer à diminuer (Shelby & Heberlein, 1984). La notion de capacité de charge écologique appliquée aux aires protégées insiste sur la notion de seuil limite biologique et physique de tout espace soumis à des activités récréatives. Ce seuil peut concerner soit un élément de l'écosystème, soit l'écosystème tout entier, soit le plus souvent les deux à la fois. Sa détermination est influencée par la qualité de l'écosystème (Richez, 1992 ; Deprest, 1997). Ces termes sont des notions de gestion et peuvent évoluer dans le temps, en fonction de l'adaptation des utilisateurs et/ou du milieu environnant, et ces seuils de limitation peuvent être augmentés en ayant recours à des solutions alternatives (zonage, ingénierie, sensibilisation, gestion des habitats et des espèces, etc.) (Wagar, 1964).

À la vue de la stabilité du nombre de bateaux au mouillage présent dans la baie d'Elbu en période estivale (*cf.* 11.6), il se pourrait que la capacité de charge sociale soit atteinte dans cette zone. En effet, une fois la capacité d'accueil atteinte, les utilisateurs considèrent que le maximum tolérable pour que leur activité soit toujours à un niveau de plaisir acceptable est dépassé, en termes de proximité avec d'autres utilisateurs, de bruits, ou de sécurité. Néanmoins, la perception des utilisateurs interrogés ne semble pas montrer une saturation de l'espace naturelle liée à une sur fréquentation. Un biais d'évaluation est pour sûr rencontré lors de ce type d'enquête puisque les utilisateurs interrogés au mouillage, même en période de forte affluence, sont sur zone. Selon leur point de vue, le niveau de qualité de leur activité est encore acceptable. Dans le cas contraire, ces utilisateurs ne seraient déjà plus sur place et donc ne peuvent pas être interrogés. Les utilisateurs ont également tendance (i) à sous-estimer le nombre réel de personnes dans la zone dans laquelle ils évoluent, faisant donc augmenter naturellement le niveau de capacité de charge sociale d'un lieu, et (ii) au fil des années, devenir de plus en plus tolérants (Gonson *et al.* 2017). L'évaluation de la capacité de charge sociale réelle peut être mesurée à l'aide d'un protocole construit idéalement pour répondre à cette question à partir d'enquêtes spécifiques (Commission européenne, 2001).

La situation idéale en termes de préservation de l'environnement est rencontrée lorsque la capacité de charge sociale est atteinte alors que la capacité de charge écologique ne l'

est pas encore. Ce différentiel va permettre à l'activité récréative de s'autogérer à un niveau plus faible que celui ayant un impact sur les communautés écologiques.

Les capacités de charge environnementales peuvent évoluer dans le temps et dépendent de relations complexes entre pressions et écosystèmes (Arrow *et al.*, 1995 ; Davis et Tisdell, 1995 ; Rees, 1996). Une notion similaire décrit la résilience d'un écosystème comme la mesure du niveau de dérangement qui peut être absorbé par un écosystème avant que son état d'équilibre écologique ne bascule vers un autre (Holling, 1973). La perte de résilience d'un écosystème est potentiellement importante pour 3 raisons : (i) le changement vers un autre équilibre peut être associé à une baisse de la production biologique, (ii) le changement peut être irréversible et (iii) le changement pousse l'écosystème vers un état inconnu, pour lequel la relation entre les activités économiques et l'état de l'écosystème peut être incompatible (Arrow *et al.* 1995).

Les hypothèses émises sur le bruit et le dérangement apportent des indications sur l'influence du niveau de bruit sur les différentes communautés de la faune terrestre et marine (*cf.* balbuzard pêcheur et poissons). Ces hypothèses doivent encore être testées et permettront de savoir si la capacité de charge écologique est en voie d'être atteinte ou non. Néanmoins, la mise en place de la zone de quiétude autour du nid du couple de balbuzards pêcheurs ayant permis l'envol du poussin en 2019 (J. M. Dominici comm. pers.) semble fournir des informations sur une résilience positive de cette espèce lorsque le dérangement est atténué. L'impact du bruit sur les poissons n'est pas démontré avec certitude dans ce rapport, mais dans l'éventualité où cet impact serait clairement avéré à l'aide de nouveaux protocoles, les premières études *in situ* effectuées sur la faune marine semble également montrer une résilience rapide à condition de réduire significativement le niveau de dérangement (Bruinjtjes *et al.*, 2016 ; La Manna *et al.*, 2016).

11.8. Préconisations de gestion

11.8.1. Maintien du suivi des usages et sensibilisation

Malheureusement, à l'exception de quelques comptages saisonniers réalisés par les agents de la Réserve en période estivale les années précédentes, il n'y a aucune donnée pertinente permettant de caractériser l'évolution de la fréquentation maritime dans la RNS (ancrage, trafic, etc.). Bien que la mission première des agents doive rester la surveillance pour le maintien de la réglementation au sein de la RNS, connaître l'évolution des usages et des activités potentiellement impactantes sur le milieu est important.

Nous proposons la réalisation de comptages embarqués selon le protocole proposé dans ce rapport (méthode PAMPA, Le Diréach *et al.*, 2011 ; Pelletier *et al.*, 2011) tous les 3 ans, et sa réalisation de manière complète afin de pouvoir estimer de manière globale, la courbe annuelle de fréquentation avec un intervalle de confiance.

Les quelques enquêtes de perceptions réalisées indiquent que les usagers ont une relativement bonne connaissance de l'existence et de la réglementation au sein de la Réserve naturelle de Scandola. Cependant, une proportion non négligeable la connaît mal. Il est donc impératif de maintenir et d'améliorer la signalisation et la sensibilisation auprès des usagers sur le rôle de la RNS et sa réglementation. Les ports compris entre Calvi et Ajaccio doivent être équipés de dispositifs informatifs si ce n'est pas déjà le cas.

Des collaborations doivent impérativement être mises en place avec les bateliers et les loueurs de bateaux afin de sensibiliser un maximum d'utilisateur sur les bonnes pratiques à avoir en navigation et en manœuvre proche des falaises et des failles de la Réserve. Des explications sur les enjeux de la Réserve sont également indispensables pour faire comprendre en quoi leur bonne pratique peut être utile à la préservation des écosystèmes qu'ils viennent visiter.

11.8.2. Zone de quiétude pour l'avifaune, en particulier le balbuzard pêcheur

La zone de quiétude mise en place au niveau de la pointe Palazzu en juillet 2019 devrait être renouvelée tous les ans sur une période plus grande (par exemple de mi-avril à fin juillet), c'est à dire juste après la naissance des poussins jusqu'à l'envol, en commun accord avec les gestionnaires et usagers du site. Les microphones aériens ont mis en avant une corrélation entre le type de chant des balbuzards pêcheurs et l'intensité du bruit associé à la navigation. L'utilisation inconsidérée de haut-parleurs lors des visites près des nids, nuit à l'activité des balbuzards, la modification observée du type de chant pourrait correspondre à un stress lié au dérangement. Ce stress peut conduire à une difficulté pour le couple à nourrir le poussins (fréquence de nourrissage plus faible en raison du dérangement) ce qui met en péril ses chances d'envol et donc de survie (Monti *et al.*, 2017 ; 2018). Nous préconisons donc l'interdiction de tout système de communication amplifié dans la zone identifiée comme la plus vulnérable à certaine période (e.g. zone de quiétude).

La mise en place d'une telle zone implique :

- i. une surveillance accrue de la zone par les agents de la Réserve sans pour autant négliger le reste de la zone (réserve intégrale et partie de sud de la Réserve) ;
- ii. une concertation effective auprès des usagers, en particulier les bateliers (il existe une charte de bonne conduite des bateliers). Cette mesure s'avère contraignante pour les professionnels faisant visiter la Réserve, cette phase de concertation est indispensable pour l'acceptation de cette mesure. La diffusion de l'information et la sensibilisation aux gestes de bonnes conduites pourraient également être amenées par les loueurs de bateaux professionnels lors de la location au grand public ;
- iii. cette mesure doit s'accompagner, si possible, d'un suivi acoustique du nid à l'aide du dispositif d'écoute aérien mis en œuvre dans le cadre de cette étude afin d'une part de suivre l'activité du couple de balbuzard (type de vocalise, fréquences, etc.) et d'autre part de suivre le respect de la mesure par les bateaux.

11.8.3. Appliquer cette zone de quiétude pour la faune sous-marine

(i) Code de bonne conduite :

Respect de la vitesse de navigation et évolution des comportements au sein de la Réserve et en particulier dans la passe de Palazzu et des Orgues.

Les données issues du DPDA de Gargalu mettent en évidence une proportion d'environ 20 % de bateaux en excès de vitesse (proportion sous-estimée puisque seuls les bateaux suivis d'une traînée bien marquée ont été considérés comme étant en excès de vitesse, c'est à dire à plus de 5 nœuds). Cette limitation de vitesse s'applique parce que le secteur est non seulement dans la zone des 300 m mais également en réserve intégrale.

Depuis une dizaine d'années, la flotte de bateliers visitant la Réserve s'est profondément transformée. Alors qu'elle était auparavant dominée par des navires souvent de grande taille (accueillant 150 à 200 passagers), avec un moteur in-bord émettant des fréquences relativement basses, il y a maintenant une certaine quantité de grand semi-rigides, de capacité d'accueil moindre (quelques dizaines de passagers) mais nombreux et effectuant plus de rotations journalières, équipés de moteurs hors-bord puissants (haute fréquence d'émission). La configuration de la flotte explique cette gamme de fréquence large de l'émission des bateaux. Les manœuvres identifiées par le suivi acoustique (marche arrière, accélérations brutales), avec des émissions jusqu'à 50 kHz et un niveau dB significativement supérieur au bruit de fond, contribuent indéniablement au paysage acoustique de la RNS. Ces perturbations acoustiques sont connues pour avoir des impacts négatifs non négligeables sur la fréquentation de tel site par les cétacés, et sur la reproduction et la présence des autres espèces. Adapter un pilotage plus doux pourrait permettre de limiter immédiatement le niveau d'émission acoustique.

Remarque : il ne suffit pas de simplement signaler la réglementation, les usagers doivent comprendre en quoi la modification de leur comportement peut avoir des effets positifs pour la conservation des écosystèmes fragiles de la RNS.

(ii) Mise en place d'une zone de quiétude expérimentale pour l'ichtyofaune :

Expérimenter une zone de quiétude avec un suivi à haute fréquence du peuplement de poissons au rocher des Orgues, à Palazzu et à Gargalu extérieur (station témoin). Cette zone de quiétude est comparable à celle expérimentée au cours de l'été 2019 autour du nid de balbuzard pêcheur à proximité des Orgues. Un premier suivi par comptage visuel

(analogue à celui présenté dans ce rapport) et/ou par une autre méthode (e.g. suivis vidéos) se déroulerait pendant la saison estivale avec une forte fréquentation, un deuxième suivi 2 à 3 jours après la mise en place d'une zone de quiétude incluant les orgues et la passe de Palazzu, un troisième suivi environ une semaine après la mise en place de la zone de quiétude. Ce suivi sera accompagné d'un suivi de l'évolution du bruit biologique à l'aide d'hydrophones disposés sur chaque station (éventuellement à plusieurs profondeurs). Ce suivi permettra de vérifier l'hypothèse d'un impact avéré de la navigation sur le peuplement de poissons de la Réserve et ainsi valider l'hypothèse de La Manna *et al.* (2016). En fonction des résultats de cette expérimentation, une zone de quiétude pourra être mise en place tous les ans en période estivale. Une telle mesure devra s'accompagner d'une phase de concertation et de sensibilisation avec les usagers concernés (bateliers, plaisanciers).

11.8.4. Suivi du mouillage et l'impact sur la posidonie

L'impact du mouillage sur l'herbier de posidonie n'est pas mis en évidence dans cette étude, néanmoins un suivi de l'herbier de posidonie dans les zones où la fréquentation est la plus élevée dans la Réserve peut continuer à être réalisé. Nous proposons un suivi par l'application du MCAI tous les 3 ans, sur les sites de l'Imbuttu et de la marina d'Elbu. Malgré les faibles densités relevées par le protocole des DPDA, la limite supérieure de la marina d'Elbu peut être un enjeu car les fortes densités observées sont très localisées dans cette zone.

L'évolution des pratiques ou de la répartition spatiale du mouillage peut être évaluée tous les 5 à 10 ans par la méthode DPDA. A la vue du grand temps d'analyse des images que cela implique, un travail sur l'allègement du protocole doit être réalisé : (i) dans le sens d'un sous-échantillonnage (des périodes d'acquisition et/ou en augmentant le pas de temps de déclenchement des DPDA) afin d'estimer les variations de fréquentation journalière d'un site, et les variations spatiales à l'échelle de la haute saison, ou (ii) par l'élaboration de méthodes de détections automatiques des bateaux par machine-learning. Des premiers travaux ont été réalisés sur la base d'un sous échantillonnage, permettant d'estimer la variation journalière de la fréquentation à l'aide de 12 photographies par jours (Schohn *et al.*, 2019).

La spatialisation du mouillage à l'Imbuttu n'a pas pu être estimée avec le système placé dans la marina d'Elbu (trop éloigné de la marine d'Elbu). Celle-ci pourrait être estimée par l'installation d'un système DPDA directement en face de la zone de mouillage de la calanque de l'Imbuttu.

11.8.5. Gestion du mouillage dans les zones hors RNS

Le projet d'extension de la RNS devrait inclure les zones de mouillage importantes comme le golfe de Girolata et le golfe de Galeria. L'outil de gestion RNS doit permettre d'agir sur la conservation de ces herbiers de posidonie : (i) par la mise en place d'un suivi permettant d'évaluer l'état de conservation des herbiers ainsi que de caractériser la fréquentation maritime (typologie et densité d'embarcation, etc.), (ii) sensibiliser les usagers sur la réglementation et l'intérêt de préserver les herbiers de posidonie et (iii) mettre en place des mesures de gestion effectives (e.g. mouillages écologiques, zones de restriction, etc.).

12. Références bibliographiques

- ABEILLE R., DOH Y., GIRAUDET P., GLOTIN H., PREVOT J. M., RABOUY C., 2014. Estimation robuste par acoustique de l'Intervalle-Inter-Pulse des clics de *Physeter macrocephalus* : méthode et application sur le Parc national de Port-Cros. *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 28: 23-35.
- ARROW K., BOLIN B., COSTANZA R., DASGUPTA P., FOLKE C., HOLLING C. S., JANSSON B. O., LEVIN S., MALER K. G., PERRINGS C., PIMENTEL D., 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics* 15: 91-95.
- ASTRUCH P., BONHOMME D., RUITTON S., BOUDOURESQUE C.F., BONHOMME P., 2008. *Caractérisation de l'herbier de posidonie de la marina d'Elbu (Réserve naturelle de Scandola, Corse), zone exposée à l'ancrage. Etat des lieux 30 ans après l'installation du carré permanent*. Contrat GIS Posidonie – Parc Naturel Régional de Corse, 1-55+annexes.
- ASTRUCH P., BOUDOURESQUE C.F., ROUANET E., LE DIREACH L., BONHOMME P., BONHOMME D., GOUJARD A., RUITTON S., HARMELIN J.G., 2018. A quantitative and functional assessment of fish assemblages of the Port-Cros Archipelago (Port-Cros Archipelago (Port-Cros National Park, north-western Mediterranean Sea). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park*, 32: 17-82.
- BALLESTEROS E., GARRABOU J., HEREU B., ZABALA M., CEBRIAN E., SALA E., 2009. Deep-water stands of *Cystoseira zosteroides* C. Agardh (Fucales, Ochrophyta) in the Northwestern Mediterranean: Insights into assemblage structure and population dynamics. *Estuarine, coastal and shelf science*, 82(3), 477-484.
- BELL J. D., 1983. Effects of depth and marine reserve fishing restrictions on the structure of a rocky reef fish assemblage in the north-western Mediterranean sea. *J. appl. Ecol.*, 20 : 357-369.
- BELL J. D., HARMELIN-VIVIEN M. L., 1982. Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. I. Community structure, *Tethys*, 10 : 337-347.
- BELL J. D., HARMELIN-VIVIEN M. L., 1983. Fish fauna of French Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows. 2-Feeding habitats. *Téthys*, 11 : 1-14.
- BLAKEFIELD G., TRONE M., BARCHASZ V., GIES V., BONNETT D., GLOTIN H., 2018. Ultra high definition 3D tracking of biosonar of Amazon River dolphins and others mammals into the wild. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 144 (3), 1775.
- BLANFUNE A., BOUDOURESQUE C. F., VERLAQUE M., THIBAUT T., 2016. The fate of *Cystoseira crinita*, a forest-forming Fucale (Phaeophyceae, Stramenopiles), in France (North Western Mediterranean Sea). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 181, 196-208.

- BODILIS P., CHANET B., LE BRIS S., 2018. DORIS, 10/03/2018 : *Scorpaena maderensis* Valenciennes, 1833, <http://doris.ffesm.fr/ref/specie/1825>
- BONHOMME D., ASTRUCH P., ANTONIOLI P.A., BONHOMME P., PEREZ T., RUITTON S. et IVANISEVIC J., 2010. *Inventaire et Cartographie des Habitats Naturels, des espèces végétales et animales du Site Natura 2000 « l'Estérel et des abords de Fréjus (FR9301628) » – Lot 2 : Milieux marins*. Contrat GIS Posidonie – Ville de Saint Raphaël, 267 p.
- BONHOMME P., BONHOMME D., FRACHON N., BOUDOURESQUE C.F., BAROCCO S., BRICOUT R., SCHOHN T., IMBERT M., RUITTON S., 2013. A method for assessing anchoring pressure. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, Vol. 40 : 845.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L., 2006. *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. *Ramoge publ.* (ISBN 2-905540-30-3), Monaco : 200 p.
- BOYD I., BROWNELL B., CATO D., CLARK C., COSTA D., EVANS P., ZIMMER W., 2008. The Effects of Anthropogenic Sound on Marine Mammals. (*N. Connolly & J.-B. Calewaert, Eds.*), EMB Position Paper 13. Ostend, Belgium. Retrieved from <http://marineboard.eu/publication/effects-anthropogenic-sound-marine-mammals>.
- BRACCIALI C., CAMPOBELLO D., GIACOMA C., SARA G., 2012. Effects of nautical traffic and noise on foraging patterns of Mediterranean damselfish (*Chromis chromis*). *PLoS One* 7, e40582.
- BRETAGNOLLE V., THIBAUT J.C., 1993. Communicative behavior in breeding ospreys (*Pandion haliaetus*): Description and relationship of signals to life history. *The Auk*, 110 (4), 736-751.
- BRETAGNOLLE V., MOUGEOT F., THIBAUT J.C., 2008. Density dependence in a recovering osprey population: Demographic and behavioural processes. *Journal of animal ecology*, 77, 998-1007.
- BRUINTJES R., PURSER P., EVERLEY P., MANGAN S., SIMPSON S. D., RADFORD A. N., 2016. Rapid Recovery Following Short-Term Acoustic Disturbance in two Fish Species. *Dryad Digital Repository* <http://dx.doi.org/10.5061/dryad.7b0v8>.
- CATANESE G., GRAU A., VALENCIA J. M., GARCIA-MARCH J. R., VAZQUEZ-LUIS M., ALVAREZ E., DEUDERO S., DARRIBA S., CARBALLAL M.J., VILLALBA A., 2018. *Haplosporidium pinnae* sp. nov., a haplosporidan parasite associated with mass mortalities of the fan mussel, *Pinna nobilis*, in the Western Mediterranean Sea. *Journal of invertebrate pathology*, 157, 9-24.

CHARBONNEL E., BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., BERNARD G., BONHOMME P., PATRONE J., KRUCZEK R., COTTALORDA J.M., BERTRANDY M.C., FORET P., RAGAZZI M., LE DIREACH L., 2000. *Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Première partie : présentation et guide méthodologique. Seconde partie : résultats du suivi 2000.* Région PACA/Agence de l'Eau RMC/GIS Posidonie/CQEL13/CQEL83/Conseil Général 06. GIS *Posidonie publ.*, Marseille : 1-76 + 1-129.

COMMISSION EUROPEENNE, 2001. *Définir, mesurer et évaluer la capacité de charge dans les destinations touristiques européennes. B4-3040/2000/294577/MAR/D2 - Rapport final.* Athènes : 58 pp. https://ec.europa.eu/environment/iczm/pdf/tcca_fr.pdf

COTTALORDA J.-M., DOMINICI J.-M., HARMELIN-VIVIEN M., HARMELIN J.-G., LE DIREACH L., RUITTON S. 2014. *Etude et recensement de la population de Corbs (*Sciaenops ocellatus* Linnaeus, 1758 : Pisces) dans la Réserve naturelle de Scandola et ses environs.* Contrat Parc Naturel Régional de Corse & GIS Posidonie. Université Nice Sophia Antipolis, E.A. 4228 ECOMERS et GIS Posidonie publ. : 1-40.

COTTALORDA J.-M., HARMELIN-VIVIEN M., DOMINICI J.-M., CHARBONNEL E., GANTEAUME A., LELONG P., PERSONNIC S., HARMELIN J.-G., 2019. *Suivi des populations de corbs et de mérus de la Réserve naturelle de Scandola et de ses environs.* Contrat Parc Naturel Régional de Corse & GEM. GEM publ. : 1-46.

DAVIS D., TISDELL C., 1995. Recreational scuba-diving and carrying capacity in marine protected areas. *Ocean & Coastal Management* 26(1): 19-40.

DEPREST F., 1997. Enquête sur le tourisme de masse : l'écologie face au territoire. *Revue de Géographie Alpine* 85 (1): 118-119.

EAA, 1995. Europe's Environment – The Dobris Assessment, *London European Environment Agency.*

ENGÅS A., LØKKEBORG S., ONA E., SOLDAL A.V., 1996. Effects of seismic shooting on local abundance and catch rates of cod (*Gadus morhua*) and haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(10), 2238–2249

FALZON M.A., 2011. First records of *Scorpaena maderensis* (Pisces Scorpaeniformes Scorpaenidae) in inshore Maltese waters. *Naturalista sicil.* S. IV, 35 (3-4), 419-423

FRANCOUR P., 1991. The effect of protection level on a coastal fish community at Scandola, Corsica. *Rev. Ecol. (Terre vie)*, 46 : 65-81.

FRANCOUR P., 1994. Pluriannual analysis of the reserve effect on ichthyofauna in the Scandola natural reserve (Corsica, Northwestern Mediterranean). *Oceanologica acta*, 17 (3), 309-317.

GANTEAUME A., BONHOMME P., BERNARD G., POULAIN M., BOUDOURESQUE C.F., 2005. Impact de l'ancrage des bateaux de plaisance sur la prairie à *Posidonia oceanica* dans la Parc national de Port-Cros (Méditerranée nord-occidentale). *Scientific Report Port-Cros National Park*, Fr. 21 : 147-162.

GLOTIN H., P., SYMONDS H., ROGER V., BALESTRIERO R., FERRARI M., 2018. Deep learning for ethoacoustical mapping: Application to a single Cachalot long term recording on joint observatories in Vancouver Island. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144 (3), 1776-1777.

GOBERT S., SARTORETTO S., RICO-RAIMONDINO V., ANDRAL B., CHERY A., LEJEUNE P., BOISSERY P., 2009. Assessment of the ecological status of Mediterranean French coastal waters as required by the Water Framework Directive using the *Posidonia oceanica* Rapid Easy Index: PREI. *Marine Pollution Bulletin*, 58 (11), 1727-1733.

GONSON C., PELLETIER D., ALBAN D., 2018. Social carrying capacity assessment from questionnaire and counts survey: Insights for recreational setting management in coastal areas. *Marine Policy* 98 : 146-157.

GUIDETTI P., BAIATA P., BALLESTEROS E., DI FRANCO A., HEREU B., MacPHERSON E., MICHELI F., PAIS A., PANZALIS P., ROSENBERG A.A., ZABALA M., SALA E., 2014. Large-Scale Assessment of Mediterranean Marine Protected Areas Effects on Fish Assemblages. *PLoS ONE* 9(4): e91841. doi:10.1371/journal.pone.0091841.

GUIDETTI P., MILAZZO M., BUSSOTTI S., MOLINARI A., MURENU M., PAIS A., SPANO N., BALZANO R., AGARDY T., BOERO F., CARRADA G., CATTANEO-VIETTI R., CAU A., CHEMELLO R., GRECO S., MANGANARO A., NOTARBARTOLO DI SCIARA G., FULVO RUSSO G., TUNESI L., 2008. Italian marine reserve effectiveness: does enforcement matter?. *Biological Conservation*, 141(3), 699-709.

HARDIN G., 1991. Paramount positions in ecological economics. *Ecological economics: The science and management of sustainability*. 47-57.

HARME LIN J.G., 1987. Structure et variabilité de l'ichtyofaune d'une zone rocheuse protégée en Méditerranée (Parc National de Port - Cros, France). *PSZN Mar. Ecol.*, 8 : 263-284.

HARME LIN-VIVIEN M., COTTALORDA J. M., DOMINICI J. M., HARME LIN J. G., LE DIREACH L., RUITTON S., 2015. Effects of reserve protection level on the vulnerable fish species *Sciaena umbra* and implications for fishing management and policy. *Global Ecology and Conservation*, 3, 279-287.

HARME LIN-VIVIEN M., HARME LIN J. G., CHAUVET C., DUVAL C., GALZIN R., LEJEUNE P., BARNABE G., BLANC F., CHEVALIER., DUCLERC J., LASSERE G., 1985. Evaluation visuelle

des peuplements et populations de poissons : *Méthodes et problèmes. Revue d'Ecologie, 40 : 467-539.*

HAWKINS A.D., POPPER A.N., 2017. A sound approach to assessing the impact of underwater noise on marine fishes and invertebrates. *ICES Journal of Marine Science, 74: 635-651.*

HOLLING C. S., 1973. Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review and Systematics 4: 1-23.*

JOUSSEAUME M., BURON K., CHERY A., LEJEUNE P., 2013. *Etude relative à la plaisance et aux mouillages en Corse : Rapport final - Année 2012/2013.* Contrat OEC-ATC/STARESO : 156 pp.

LA MANNA G., MANGHI M., PERRETTI F., SARA G., 2016. Behavioral response of brown meagre (*Sciaena umbra*) to boat noise. *Marine Pollution Bulletin, 110: 324-334.*

LA MESA M., LA MESA G., MICALIZZI M., 2005. Age and growth of madeira scorpionfish, *Scorpaena maderensis* Valenciennes, 1833, in the central Mediterranean. *Fisheries research (75): 265-272.*

LASSECK M., 2014. Large-scale Identification of Birds in Audio Recordings. In *CLEF Working Notes 643-653.*

LE DIREACH L., CADIOU G., BOUDOURESQUE C.F., 2002. *Mise en place d'un suivi de l'effort de pêche professionnelle dans la Réserve naturelle de Scandola (Corse). Données 2000 - 2001.* Contrat Parc naturel Régional de Corse et GIS POSIDONIE publ., Fr.: 61 pp + annexes.

LE DIREACH L., CHARBONNEL E., ALBAN F., LELEU K, GAMP E., 2011. *Rapport final du programme LITEAU - PAMPA – Site Côte Bleue.* PAMPA/WP1. : 127 p.

LE DIREACH L., CHARBONNEL E., MONIN M., BACHET F., 2017a. *Suivi des peuplements de poissons de la réserve marine de Carry-le-Rouet (Parc Marin de la Côte Bleue) – Bilan années 2011-2016.* Convention de partenariat GIS Posidonie/Parc Marin de la Côte Bleue. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 48 p.

LE DIREACH L., CHARBONNEL E., BACHET F. 2017b. *Suivi de l'ichtyofaune des fonds rocheux de la réserve de Couronne (Parc Marin de la Côte Bleue) - Années 1995-2016.* Convention de partenariat GIS Posidonie/Parc Marin de la Côte Bleue. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 72 p.

LE DIREACH L., OURGAUD M., BONHOMME P., GOUJARD A., 2015. *Suivi de l'effort de pêche professionnelle dans la réserve naturelle de Scandola (Corse). Données 2013.* Contrat Parc naturel Régional de Corse & GIS Posidonie publ. : 54 p + annexes.

- LE DIREACH L., OURGAUD M., BRODU N., 2019. Suivi de l'effort de pêche professionnelle dans la réserve naturelle de Scandola (Corse). Rapport de campagne 2018. Contrat Parc naturel Régional de Corse & GIS Posidonie publ., FR. : 41 p + annexes.
- LE GENTIL E., BRIGAND L., ALBAN F., CHLOUS F., DAVID G., LEVREL H., PONSERO A., VASCHALDE D., 2015. *Contribuer à la gestion des aires marines protégées. Pratiques en sciences humaines et sociales. Rapport de synthèse du séminaire de lancement des activités du GIS HomMer. 27, 28 et 29 janvier 2015*, Institut Universitaire Européen de la Mer, Plouzané. Juin 2015. 72 p.
- LECOFFRE Y., 2004. *Le bruit de cavitation. Acoustique & Techniques* n°38, 48:54.
- LIFE LINDA, 2008. *Surveillance du trafic d'engins nautiques - Action D1*.
- LOPEZ Y ROYO C.L., CASAZZA G., PERGENT-MARTINI C., PERGENT G., 2010. A biotic index using the seagrass *Posidonia oceanica* (BiPo), to evaluate ecological status of coastal waters. *Ecological Indicators*, 10 (2), 380-389.
- MEINESZ A., BOUDOURESQUE C.F., LEFEVRE J.R., 1988. A map of the *Posidonia oceanica* beds of Marina d'Elbu (Corsica, Mediterranean). *Marine Ecology*, 9 (3) : 243-252.
- MILAZZO M., BADALAMENTI F., CECCHERELLI G., CHEMELLO R., 2004. Boat anchoring on *Posidonia oceanica* beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 299 : 51-62.
- MINICONI R., FRANCOUR P., BIANCONI C.H., 1990. Inventaire de la faune ichtyologique de la réserve naturelle de Scandola (Corse, Méditerranée nord-occidentale). *Cybium*, 14 : 77-89.
- MONTI F., DOMINICI J.M., GREMILLET D., DURIEZ O., 2017. Ecologie et conservation du Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus* en Méditerranée. *Ornithos*, 24-5 : 257-271.
- MONTI F., DURIEZ O., DOMINICI J.M., SFORZI A., ROBERT A., FUSANI L., GREMILLET D., 2018. The price of success: integrative long-term study reveals ecotourism impacts on a flagship species at a UNESCO site. *Animal Conservation*, 21 : 448-458.
- MORVAN G., 2010. *Suivi de la fréquentation touristique et récréative du littoral de la réserve naturelle de Scandola par les engins et bateau de plaisance et les vedettes à passagers de l'été 2010*, 90 p.
- NOUGHABI K.A., BAYATI M., TADJFAR M., 2017. Investigation of cavitation phenomena on noise of underwater propeller. Proceedings of the ASME 2017 *Fluids Engineering Division Summer Meeting*, 1 : 8. DOI:10.1115/FEDSM2017-69536.

- ODY D., HARMELIN J.G., 1994. Influence de l'architecture et de la localisation de récifs artificiels sur leurs peuplements de poissons en Méditerranée. *Cybium*, 18 (1) : 57-70.
- PELLETIER D., GAMP E., REECHT Y., BISSERY C., 2011. *Indicateurs de la Performance d'Aires Marines Protégées pour la gestion des écosystèmes côtiers, des ressources et de leurs usages (PAMPA)*. PAMPA/WP1/Coord/5.
- PERGENT G., 2007. *Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de posidonies*. Programme « MedPosidonia » / CAR/ASP – Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémoire d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonia Nautilus-Okianos : 24 pp + Annexes.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée : Etat des connaissances. *Mésogée*, 54 : 3-27.
- PERGENT-MARTINI C., 1994. *Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à Posidonia oceanica, avant et après la mise en service d'une station d'épuration*. Thèse de Doctorat d'écologie, Université de Corse : 1-190.
- PERSONNIC S., BOUDOURESQUE C.F., ASTRUCH P., BALLESTEROS E., BLOUET S., BELLAN-SANTINI D., BONHOMME P., THIBAUT-BOTHA D., FEUNTEUN E., HARMELIN-VIVIEN M., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., PASTOR J., POGGIALE J.C., RENAUD F., THIBAUT T., RUITTON S., 2014. An ecosystem-based approach to assess the status of a Mediterranean ecosystem, the *Posidonia oceanica* seagrass meadow. *PLoS ONE* 9 (6), e98994.
- PEUZIAT I., 2005. *Plaisance et environnement. Pratiques, représentations et impacts de la fréquentation nautique de loisir dans les espaces insulaires. Le cas de l'archipel de Glénan (France)*. Thèse en Géographie, Université de Bretagne occidentale - Brest: 310 pp + Annexes.
- POULAIN M., 1996. *Le mouillage forain dans le Parc National de Port-Cros. Impacts sur les herbiers à Posidonia oceanica*. Mémoire DESS Ecosystèmes Méditerranéens. Université de Corse : 1-62.
- PRADO P., FARINA S., TOMAS F., ROMERO J., ALCOVERRO T., 2008. Marine protection and meadow size alter fish herbivory in seagrass ecosystems. *Marine Ecology Progress Series*, 371 : 11-21.
- R CORE TEAM, 2018. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.
- REES W.E., 1996. Revisiting Carrying Capacity: Area-Based Indicators of Sustainability. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies* 17(3): 195-215.

- RICHEZ G., 1992. Tourisme et tiers-monde, un bilan controversé. *Méditerranée*, 76 : 74-75.
- RIZGALLA J., BRON J.E., SHINN A.P., HERATH T.K., PALADINI G., FERGUSON H.W., 2016. Ulcerative dermatitis in wild dusky grouper *Epinephelus marginatus* (Lowe) from Libyan waters. *Journal of fish diseases*, 39 (12), 1457-1466.
- ROCH M.A., BAUMANN-PICKERING S., CHOLEWIAK D., FLEISHMAN E., FRASIER K.E., GLOTIN H. *et al.*, 2018. The use of context in machine learning for bioacoustics, *The Journal of the Acoustical Society of America* 144 (3), 1728-1728.
- ROGER V., FERRARI M., MARXER R., CHAMROUKHI F., GLOTIN H., 2018. Towards the topology of auto-encoder of calls versus clicks of marine mammal. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144 (3), 1777-1778.
- ROSECCHI E., 1985. L'alimentation de *Diplodus annularis*, *Diplodus sargus*, *Diplodus vulgaris* et *Sparus aurata* (Pisces, Sparidae) dans le Golfe du Lion et les lagunes littorales. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.* 49: 125-141.
- ROUANET E., ASTRUCH P., BELLONI B., BUCHET L., FRANCOIS M., LE DIREACH L., SCHOHN T., 2019. *Acquisition de données pour les indicateurs mérrou, corb, impact de la chasse sous-marine et impact du mouillage au sein de l'Observatoire de la Biodiversité OBi_1 du Parc national de Port-Cros. Année 2019.* Partenariat Parc national de Port-Cros & GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Fr. : 17 pp + 4 annexes.
- ROUANET E., ASTRUCH P., BONHOMME D., BONHOMME P., ROGEAU E., DE SAINT MARTIN T., BOUDOURESQUE C.F., 2012. *Suivi de l'herbier de Posidonie de la passe de Bagaud, impact de l'ancrage (Parc national de Port-Cros, Var, France).* Partenariat Parc national de Port-Cros – GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-81.
- ROUANET E., ASTRUCH P., BONHOMME D., BONHOMME P., ROGEAU E., de SAINT MARTIN T., BOUDOURESQUE C.F., 2013. Evidence of anchor effect in a *Posidonia oceanica* seagrass meadow under low anchoring pressure via a multi-criteria grid. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 40 : 676.
- ROUANET E., SCHOHN T., DUGUE L., BELLONI B., BUCHET L., FRANCOIS M., ASTRUCH P., BIETTA P., SERRE C., 2019a. *Etude et caractérisation des usagers et de la fréquentation au sein du Parc Maritime Départemental Esterel-Théoule. Rapport final.* Contrat d'étude Conseil Départemental des Alpes Maritimes & GIS Posidonie. *GIS Posidonie publ.*, Marseille : 101 pp + 5 annexes
- RUITTON S., BOUDOURESQUE C.F., THIBAUT T., RASTORGUEFF P.-A., PERSONNIC S., BOISSERY P., DANIEL B., 2017. *Guide méthodologique pour l'évaluation écosystémique des habitats marins.* MIO publ., 161 p.

- SALA E., 1996. *The role of fishes in the organization of a Mediterranean sublittoral community*. PhD Thesis, Aix Marseille II University, France.
- SARA G., DEAN J.M., D'AMATO D., BUSCAINO G., OLIVETI G., OLIVETI A., GENOVESE S., FERRO S., BUFFA G., LO MARTIRE M., MAZZOLA M., 2007. Effect of boat noise on the behaviour of bluefin tuna *Thunnus thynnus* in the Mediterranean Sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 331, 243–253.
- SCHOHN T., ASTRUCH P., ROUANET E., GOUJARD A., JEHL C., DOSSMANN L., DOMINICI J. M., LE DIREACH L., NERINI D., 2019. Innovative management tools to survey boat traffic and anchoring activities within a Marine Protected Area. In C. Gargiulo & C. Zoppi (Eds.), *Planning, nature and ecosystem services* (pp. 292-301). Naples:FedOAPress. ISBN:978-88-6887-054-6. Doi: 10.6093/978-88-6887-054.6
- SCHWARTZ G., 1978. Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, 6 (2): 461–464.
- SHELBY B., HEBERLEIN T., 1984. A conceptual framework for carrying capacity determination. *Leisure Sciences* 6, 433-451. doi:10.1080/01490408409513047
- SPONG P., SYMONDS H., GLOTIN H., TOWERS J., LARSSON L., DAKIN T., VEIRS S. *et al.*, 2018. Joint observatories following a single male Cachalot during 12 weeks—The Yukusam story. *The Journal of the Acoustical Society of America* 144 (3), 1958-1958.
- STEFANSSON G., 1996 Analysis of groundfish survey abundance data: combining: the GLM and delta approaches. *ICES Journal of Marine Science*, 53, 577–588.
- STOWELL D., WOOD M.D., PAMULA H., STYLIANOU Y., GLOTIN H., 2018. Automatic acoustic detection of birds through deep learning: the first Bird Audio Detection challenge. *Methods in Ecology and Evolution*: 1-13.
- TATONI T., LE MIRE-PECHEUX L., 2013. *Caractérisation de la fréquentation littorale et détermination d'indicateurs de vulnérabilité écologique pour définir des modes de gestion durable - Cas de la bande littorale du Parc national des Calanques*. Contrat Liteau III - IMBE. 67 pp + Annexes.
- TAVERNIER J., DOMINICI J. M., 2014. Plan de gestion II de la Réserve naturelle de Scandola 2014-2018. Parc naturel régional de Corse Ed. : 231pp + Annexes.
- THIBAUT J.C., BRETAGNOLLE V., DOMINICI J.M., 2001. *Le Balbuzard pêcheur en Corse. Du martyre au symbole de la protection de la nature*. Editions Alain Piazzola, Ajaccio.
- THIBAUT T., BLANFUNE A., BOUDOURESQUE C.F., COTTALORDA J. M., HEREU B., SUSINI M.L., VERLAQUE M., 2016. Unexpected temporal stability of *Cystoseira* and *Sargassum*

forests in Port-Cros, one of the oldest Mediterranean marine National Parks. *Cryptogamie, Algologie*, 37 (1), 61-91.

VABO R., OLSEN K., HUSE J., 2002. The effect of vessel avoidance of wintering Norwegian spring spawning herring. *Fish. Res.* 58, 59–77.

VENDRAMIN N., PATARNELLO P., TOFFAN A., PANZARIN V., CAPPELLOZZA E., TEDESCO P., *et al.*, 2013. Viral Encephalopathy and Retinopathy in groupers (*Epinephelus* spp.) in southern Italy: a threat for wild endangered species? *BMC veterinary research*, 9 (1), 20.

VICENTE N., 2010. *Inventaire de Pinna rudis et comparaison avec les densités de Pinna nobilis dans la Réserve Naturelle de Scandola*. Contrat n°867/08, Rapport final, *Office de l'Environnement de Corse*, Corte: 1-31.

WAGAR J.A., 1964. The carrying capacity of wild lands for recreation. *Forest Service Monography* 7:1-23.

WEILGART L.S., 2018. *The Impact of Ocean Noise Pollution on Fish and Invertebrates. Report for OceanCare*. Switzerland: OceanCare, Dalhousie University. Retrieved from https://www.oceancare.org/wp-content/uploads/2017/10/OceanNoise_FishInvertebrates_May2018.pdf

www.dosits.org, Discovery of the Sound in the Sea. University of Rhodes Island & Inner Space Center.

ANNEXES

Annexe 1. Questionnaire utilisé dans le cadre des enquêtes de perception.

  MARITTIMO - IT FR - MARITIME TERRITORIO COSTIERO - MARITTIMO 2008	GIREPAM - Questionnaire Plaisance Réserve Naturelle Scandola (Uniquement pour les usagers âgés de <u>15 ans et plus</u>) N° NOM DE L'ENQUÊTEUR :  GIS POSIDONIE  PAMPA	 Parc naturel régional de Corse Parcu di Corsica  UNION EUROPÉENNE
--	---	--

A. INFORMATIONS CONTEXTUELLES

A.1. DATE : A.2. HEURE : A.3. N° ZONE :/

A.4. TYPE DE BATEAU : Voilier Bateau à moteur/Zodiac Canoë/Kayak Jetski

A.5. TAILLE DU BATEAU < 5m 5-7m 7-10m 10-15 m >15m

A.6. Etes-vous ? Propriétaire Locataire de votre embarcation ? Autre

B. SORTIE DU JOUR

B.1. LIEU DE DEPART : Mise à l'eau Marina Mouillage NOM DU LIEU :

B.2. QUELLE EST LA DUREE PREVUE DE VOTRE SORTIE ? (EN HEURES)

B.3. QUEL EST LE MOTIF DE LA SORTIE ? (2 choix possibles)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Aucune activité en particulier | <input type="checkbox"/> Plongée sous-marine |
| <input type="checkbox"/> Pique-nique | <input type="checkbox"/> Pêche à la ligne |
| <input type="checkbox"/> Baignade | <input type="checkbox"/> Chasse sous-marine |
| <input type="checkbox"/> PMT/Snorkelling | <input type="checkbox"/> Autre : |

B.4. POURQUOI AVOIR CHOISI CE LIEU ? (2 choix possibles, numéroté par ordre de préférence)

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Abrité | <input type="checkbox"/> Tranquillité (site peu fréquenté) |
| <input type="checkbox"/> Réserve | <input type="checkbox"/> Proximité |
| <input type="checkbox"/> Hors-réserve | <input type="checkbox"/> Aménagements (mouillage Girolata) |
| <input type="checkbox"/> Beauté du site | <input type="checkbox"/> Autre : |

C. PERCEPTION : « CONNAISSANCE DE L'AMP ET DE SA REGLEMENTATION »

C.1. AVEZ-VOUS CONNAISSANCE DE L'EXISTENCE DE LA RESERVE NATURELLE DE SCANDOLA ?

Oui Non

C.2. LE STATUT DE RESERVE A-T-IL JOUE UN ROLE DANS VOTRE DECISION DE VENIR ICI ?

Décisif Modéré Faible Nul

C.3. POUR VOUS, UNE RESERVE C'EST ... ?

- un site où la faune et la flore sont protégées
- un moyen d'augmenter les ressources de pêche (outil de gestion de la pêche)
- un site géré pour l'agrément de tous
- un site aux réglementations contraignantes
- un outil de sensibilisation à l'environnement
- Autre :
- NSP

C.4. AVEZ-VOUS CONNAISSANCE DE LA REGLEMENTATION DE LA RESERVE NATURELLE DE SCANDOLA ?

- | | | |
|---------------|------------------------------|------------------------------|
| EN GENERAL | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| PECHE | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| PLONGEE | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| MOUILLAGE | <input type="checkbox"/> oui | <input type="checkbox"/> non |
| BIVOUAC/PLAGE | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| VITESSE | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

(COMMENTAIRE ENQUETEUR :))

C.5.1. PENSEZ-VOUS QUE CETTE REGLEMENTATION EST ?

- Trop stricte Adaptée Insuffisante Inadaptée NSP

C.5.2. PENSEZ-VOUS QUE CETTE REGLEMENTATION EST BIEN RESPECTEE ?

- Oui Non NSP

C.6.1. (Si l'enquête s'effectue hors réserve)

ALLEZ-VOUS DANS DES SITES SITUES DANS LA RESERVE DE TEMPS EN TEMPS ?

- Oui Non

C.6.2. (Si l'enquête s'effectue dans la réserve)

EST-CE LA PREMIERE FOIS QUE VOUS VENEZ DANS LA RESERVE NATURELLE DE SCANDOLA ?

- Oui Non

C.6.3. (Si non à C.6.2.)

VENEZ-VOUS REGULIEREMENT DANS LA RESERVE ?

- Oui Non

C.6.4. (Si oui à C.6.3.)

APPROXIMATIVEMENT, QUELLE EST LA FREQUENCE DE VOS SORTIES DANS LA RESERVE ?

-/ semaine
-/ mois
-/ an

C.7. SELON L'ACTIVITE QUE VOUS PRATIQUEZ, QUEL INTERET TROUVEZ-VOUS A L'EXISTENCE DE LA RESERVE ? (2 choix possibles)

- La beauté du paysage
- La richesse des fonds marins
- Les captures que l'on y fait autour
- Aucun intérêt particulier
- Autre :

C.8.1. ETES-VOUS SATISFAIT DE VOTRE VISITE DANS LA RESERVE ?

- Oui Non

C.8.2. SOUHAITERIEZ-VOUS QU'IL Y AIT PLUS D'AMENAGEMENTS DES SITES EN RESERVE ?

- Oui Non NSP

Si oui, lesquels ?

C.9.1 AVEZ-VOUS PRATIQUE LA NAGE EN PMT/SNORKELING DANS LA RESERVE ?

- Oui Non

Si oui, quelles sont vos impressions ? (2 précisions possibles, « faune, flore, visibilité, pollution/déchets, etc. »)

.....

C.9.2 (Si l'utilisateur a déjà pratiqué la nage PMT/snorkeling dans la réserve)

AVEZ-VOUS CONSTATE DES CHANGEMENTS CONCERNANT LA FAUNE, LA FLORE ET LE MILIEU ENVIRONNANT ?

- S'améliore Pas de changement Se dégrade NSP

.....

D. PERCEPTION : « PERCEPTIONS DES EFFETS DE LA RESERVE »

D.14. JUGEZ-VOUS ETRE SUFFISAMMENT INFORME AU SUJET DES OBJECTIFS DE LA RESERVE, DES ACTIONS ENTREPRISES, DE SA REGLEMENTATION, ETC. ? (au travers des panneaux d'informations, journaux, TV, etc.)

- Oui Non

D.15. LES IMPACTS

D.15.1. SELON VOUS, QUELLES SONT LES NUISANCES LES PLUS IMPORTANTES DANS LA RESERVE (2 choix possibles)

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> La pêche professionnelle | <input type="checkbox"/> Le non-respect de la réglementation |
| <input type="checkbox"/> La surfréquentation de certains sites | <input type="checkbox"/> Les bateaux d'excursion professionnels |
| <input type="checkbox"/> Les détritux | <input type="checkbox"/> L'ancrage des plaisanciers |
| <input type="checkbox"/> Le bruit, l'agitation due au passage | <input type="checkbox"/> Autre : |

SELON VOUS, QUEL EST L'EFFET DE LA RESERVE ...

D.15.2. ... SUR L'ECOSYSTEME ?

- Très positif Positif Pas d'effet Négatif Très négatif NSP

D.15.3. ... SUR L'ECONOMIE LOCALE (EN TERMES D'EMPLOI, TOURISME, ETC.) ?

- Très positif Positif Pas d'effet Négatif Très négatif NSP

D.15.4. ... SUR VOTRE ACTIVITE (PLAISANCE, PECHE, CHASSE, PLONGEE, KAYAK) ?

- Très positif Positif Pas d'effet Négatif Très négatif NSP

D.15.5. VOUS ESTIMEZ-VOUS SUFFISAMMENT ASSOCIE AU PROCESSUS DE DECISION DE LA RESERVE ?

- Tout a fait d'accord Plutôt d'accord Plutôt pas d'accord Pas du tout d'accord NSP

D.16. QUELLES SONT VOS RELATIONS AVEC LES AUTRES USAGERS ?

	BONNES	CONFLICTUELLES	INEXISTANTES	NSP
EXCURSIONNISTES PROFESSIONNELS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PECHEURS PROFESSIONNELS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PECHEURS DE LOISIR	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

CHASSEURS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLONGEURS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
PLAISANCIERS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
JET-SKIS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
KAYAK	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
AUTRE :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

SI CONFLITS : QUELLES SONT LES RAISONS DE CES CONFLITS ?

.....

.....

E. DONNEES PERSONNELLES DE L'USAGER

E.1.1. SOUHAITEZ-VOUS ETRE INFORME DES RESULTATS DE L'ENQUETE ?

E.1.2. E-MAIL :

E.2. SEXE H F

E.3. ANNEE DE NAISSANCE :

E.4. SITUATION PROFESSIONNELLE

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Agriculteur, exploitant et pêcheurs | <input type="checkbox"/> Cadres et professions intellectuelles supérieures |
| <input type="checkbox"/> Artisans, commerçant et chefs d'entreprises | <input type="checkbox"/> Profession intermédiaires (techniciens, agent de maîtrise, infirmier, professeur des écoles, etc.) |
| <input type="checkbox"/> Employés | <input type="checkbox"/> Retraités |
| <input type="checkbox"/> Ouvriers | |
| <input type="checkbox"/> Sans activités | |
| <input type="checkbox"/> Autre : | |

E.5.1. LIEU DE RESIDENCE :

PAYS :

VILLE (CODE POSTAL SI FRANCE) :

(Pour les personnes ne résidant pas en Corse)

E.5.2. COMMENT ETES-VOUS VENU EN CORSE ?

- Bateau plaisance Ferry Avion

E.6.1. NOMBRE DE NUITS PASSES DANS LA REGION POUR VENIR A SCANDOLA ? nuits

E.6.3. OU ETES-VOUS LOGE EN CORSE (VILLE).....

E.6.4. COMMENT ETES-VOUS LOGE EN CORSE ?

- | | |
|---|---|
| <input type="checkbox"/> Hôtel | <input type="checkbox"/> Location |
| <input type="checkbox"/> Résidence secondaire | <input type="checkbox"/> Amis ou famille |
| <input type="checkbox"/> Autre : | <input type="checkbox"/> Bateau plaisance |

E.6.5. AVEZ-VOUS L'INTENTION DE REVENIR DANS LA RESERVE NATURELLE DE SCANDOLA ?

- Oui Non

Annexe 2. Classification des densités au m² de l'herbier de posidonie en fonction de la profondeur (profondeur en mètres). La densité d'un herbier est classée en « très bonne », « bonne », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise » (d'après Pergent-Martini, 1994 et Pergent et al., 1995, actualisé par Pergent, 2007).

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	>1195	1195-964	964-732	732-501	<501
2	>1126	1126-903	903-679	679-456	<456
3	>1061	1061-846	846-630	630-415	<415
4	>1000	1000-792	792-585	585-377	<377
5	>942	942-742	742-543	543-343	<343
6	>887	887-696	696-504	504-312	<312
7	>836	836-652	652-468	468-284	<284
8	>788	788-611	611-435	435-259	<259
9	>742	742-573	573-404	404-235	<235
10	>699	699-538	538-376	376-214	<214
11	>659	659-504	504-350	350-195	<195
12	>621	621-473	473-325	325-177	<177
13	>585	585-444	444-303	303-161	<161
14	>551	551-416	416-282	282-147	<147
15	>519	519-391	391-262	262-134	<134
16	>489	489-367	367-244	244-122	<122
17	>461	461-344	344-227	227-111	<111
18	>434	434-323	323-212	212-101	<101
19	>409	409-303	303-197	197-92	<92
20	>385	385-285	285-184	184-83	<83
21	>363	363-267	267-172	172-76	<76

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
22	> 342	342-251	251-160	160-69	< 69
23	> 322	322-236	236-149	149-63	< 63
24	> 304	304-221	221-139	139-57	< 57
25	> 286	286-208	208-130	130-52	< 52
26	> 269	269-195	195-121	121-47	< 47
27	> 254	254-184	184-113	113-43	< 43
28	> 239	239-173	173-106	106-39	< 39
29	> 225	225-162	162-99	99-36	< 36
30	> 212	212-152	152-92	92-32	< 32
31	> 200	200-143	143-86	86-30	< 30
32	> 188	188-135	135-81	81-27	< 27
33	> 178	178-127	127-76	76-24	< 24
34	> 167	167-119	119-71	71-22	< 22
35	> 158	158-112	112-66	66-20	< 20
36	> 148	148-105	105-62	62-18	< 18
37	> 140	140-99	99-58	58-17	< 17
38	> 132	132-93	93-54	54-15	< 15
39	> 124	124-87	87-51	51-14	< 14
40	> 117	117-82	82-47	47-13	< 13

Annexe 3. Échantillons acoustiques sous-marins et terrestres

Des signaux acquis durant cette études sont donnés dans l'URL suivante :

<http://sabiiod.univ-tln.fr/workspace/scandola>

et

http://sabiiod.univ-tln.fr/scandola_2018

Références de vocalises de Balbuzard :

<https://www.xeno-canto.org/explore?query=balbuzard>