



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

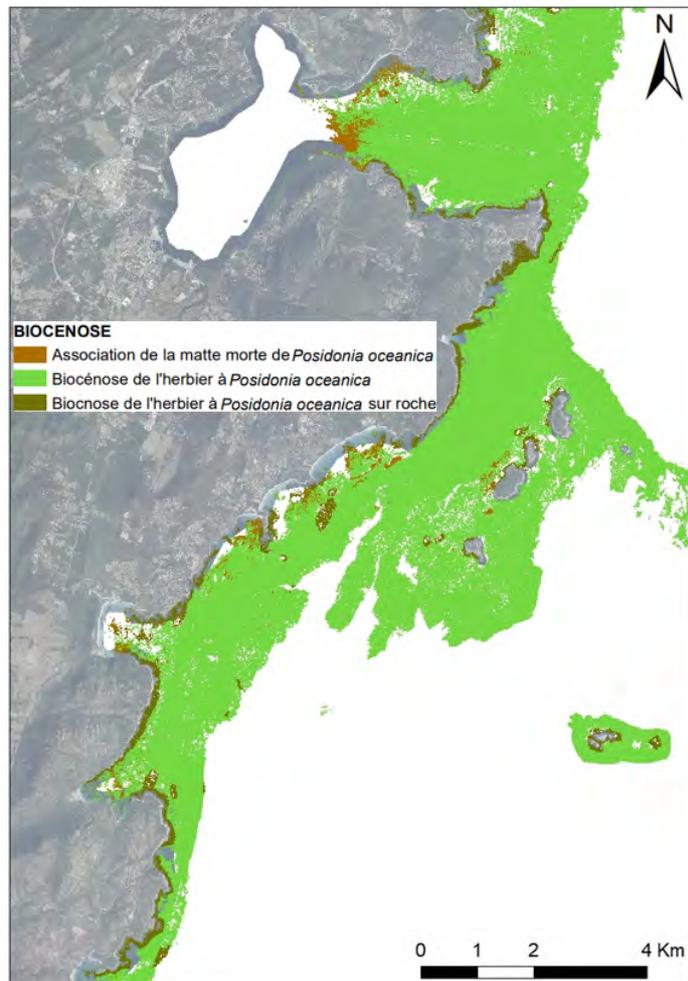
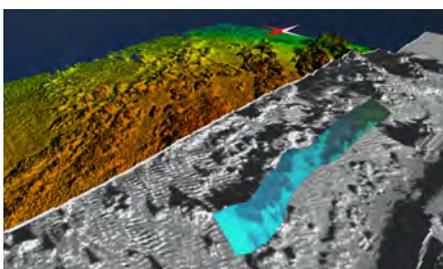


GIREPAM

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

Herbiers de Posidonies sur roche



C. Pergent-Martini, E. Barralon, L. Lehmann, B. Monnier, O. Robin



FEDERAZIONE
DI RICERCA
AMB I U
È SUCETÀ FRES 3041



Novembre 2020

Herbiers de Posidonies sur roche

Étude financée dans le cadre du :

Programme de Coopération INTERREG V-A ITALIE FRANCE « MARITTIMO 2014 – 2020 »

Projet « Gestion Intégrée des Réseaux Écologiques à travers les Parcs et les Aires Marines – GIREPAM » & Fonds Européen de Développement Régional (FEDER).

Chef de file :

Regione Sardegna

Partenaires :

Parco Nazionale dell'Asinara - Area Marina Protetta ; Consorzio di gestione Area Marina Protetta Tavolara Punta Coda Cavallo ; Fondazione IMC Centro Marino ; Office de l'Environnement de la Corse ; Parc Naturel Régional de Corse ; Université de Corse Pascal Paoli ; Conservatoire du littoral ; Parc National de Port-Cros ; Conseil Général des Alpes Maritimes ; Area Marina Protetta Secche della Meloria ; Ente Parco Nazionale Arcipelago Toscano ; Regione Liguria ; Consorzio di gestione Area Marina Protetta Portofino ; Ente Parco Nazionale delle Cinque Terre – Area Marina Protetta ; Ente Parco Naturale Regionale di Montemarcello-Magra-Vara

Responsable scientifique pour l'Université de Corse Pascal Paoli (UCPP) :

Dr. Christine Pergent-Martini, Équipe Écosystèmes Littoraux (EqEL), Fédération de Recherche « Environnement & Sociétés » (FRES 3041)

Participants à l'étude :

Emeline Barralon, Ingénieure d'étude – EqEL, FRES 3041 - UCPP

Léa Lehmann, Ingénieure d'étude – EqEL, FRES 3041 -UCPP

Briac Monnier, Doctorant EqEL, FRES 3041 – UCPP

Océane Robin ; Étudiante Master GILVhA - UCPP

Financements :

Une partie des résultats utilisés dans cette étude sont issus de la campagne océanographique, qui s'est déroulée en août 2018, à bord du N/O Europe de l'Ifremer, qui outre la mise à disposition des moyens à la mer de la Flotte Océanographique Française et des personnels de GENAVIR, a bénéficié de co-financements de l'Office Français de la Biodiversité et de l'Office de l'Environnement de la Corse.

Ce rapport doit être cité sous la forme :

Pergent-Martini C., Barralon E., Lehmann L., Monnier B., Robin O., 2020. Herbiers de Posidonies sur roche. Programme INTERREG-MARITTIMO GIREPAM, Université de Corse Pascal Paoli – Équipe Écosystèmes Littoraux, Corte : 1-23.

Sommaire

I.	Contexte général	3
A.	GIREPAM et la fréquentation au sein des aires protégées	3
B.	Sentiers sous-marins – outils d’un développement durable	3
C.	État des connaissances sur les herbiers de Posidonie sur roche	4
D.	Objectif de l’étude	5
II.	Matériel et Méthodes	7
A.	Identification et répartition des herbiers sur roche	7
B.	Caractérisation des herbiers sur roches	8
III.	Résultats	11
A.	Identification et répartition des herbiers sur roche	11
B.	Caractérisation des herbiers sur roches	15
IV.	Conclusions et perspectives	18
V.	Bibliographie	20

I. Contexte général

A. GIREPAM et la fréquentation au sein des aires protégées

La Méditerranée est aujourd'hui la première destination touristique mondiale, avec plus de 314 millions de visiteurs en 2014, contre seulement 58 millions en 1970, et cette tendance devrait se maintenir avec 500 millions de touristes accueillis dans la région en 2030, selon l'ONU (Fosse & Le Tellier, 2017). Quatrième plus grande île de Méditerranée, la Corse, a accueilli en 2017 « 8,17 millions de voyageurs au départ et à l'arrivée, dans les ports et aéroports de Corse » (ATC, 2018), soit plus de 2,6 Millions de touristes annuellement. Ce tourisme est inégalement réparti comme de façon générale en Méditerranée où 50% des flux se concentrent sur le littoral. Il n'est donc pas sans conséquence sur la biodiversité marine. La fréquentation, voire la sur-fréquentation des espaces naturels constitue donc une problématique partagée par les gestionnaires d'espaces protégés engagés dans le cadre du projet GIREPAM (Gestion intégrée des réseaux écologiques à travers les parcs et les aires marines ; GECT-PMIBB, 2017). La planification d'activités à même de permettre une meilleure répartition des flux touristiques à l'échelle du territoire des Aires Marines Protégées (AMP), comme les sentiers sous-marins, constitue donc un élément-clé d'une meilleure gestion.

B. Sentiers sous-marins – outils d'un développement durable

Le terme de sentier sous-marin est généralement utilisé pour désigner une activité de randonnée aquatique ou palmée sur un site précédemment identifié, balisé et protégé. L'activité, initiée en 1958 aux Iles Vierges Britanniques, consistait à contempler le milieu marin sans action de pêche. En France le concept de sentier sous-marin a vu le jour il y a un peu plus de 25 ans à l'initiative du Parc National de Port-Cros (Baude *et al*, 2008).

Le sentier sous-marin résulte de l'association de trois éléments : une activité aquatique de découverte avec l'usage d'un équipement léger, un site pré-identifié et une animation ou démarche pédagogique qui vise à faire évoluer les comportements. L'objectif pédagogique d'un sentier sous-marin contribue à la gestion intégrée de la zone littorale (Francour, 2002) et constitue une véritable « Éducation à l'Environnement vers un Développement Durable ». Le sentier sous-marin est aujourd'hui un outil d'éducation à l'environnement auprès d'un large public et permet d'intégrer les instruments de préservation du milieu par la gestion du territoire en canalisant les flux de fréquentations et en diminuant les impacts sur le milieu. Informer, sensibiliser, conserver et valoriser sont les principaux objectifs de la mise en place d'un sentier sous-marin.

L'activité de sentier sous-marin est une activité en pleine expansion en Méditerranée. En 2018, il en existait une vingtaine le long du littoral méditerranéen français (MTES, 2018), dont 3 en Corse (Calvi, Scandola et Lavezzi). Face à l'augmentation de la fréquentation des Lavezzi, en 2019, la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio (RNBB) envisageait un soutien à l'exploitation de ce sentier sous-marin dans le cadre son nouveau plan d'action (RNBB, 2019).

Bien que ce soit un outil pédagogique et ludique, la mise en place d'un sentier sous-marin doit prendre en compte plusieurs critères pour permettre une bonne utilisation par les randonneurs :

- Être facilement accessible et permettre le bon déroulement de missions éventuelles d'intervention de secours. La possibilité d'accueil d'infrastructures terrestres permettant le stockage du matériel doit être envisagée.
- Être situé dans une zone relativement abritée des courants et vents dominants afin de garantir un bon déroulement de l'activité et la sécurité des randonneurs.
- Prévoir des zones de protections pour les randonneurs, afin d'éviter tout danger faces aux autres usagers de la mer, même si une délimitation n'est pas obligatoire.
- Choisir une zone représentative des biocénoses typiques de Méditerranée et mettre en place un suivi de la fréquentation et d'évaluation des impacts de l'activité sur le milieu, afin de déterminer si le message de protection est compris et acquis des usagers et de vérifier que le sentier répond bien à ses objectifs.

Il est donc important d'identifier des zones à enjeux et d'axer le sentier ou les différents parcours du sentier sur des thématiques qui permettent d'informer les usagers sur la richesse, la valeur patrimoniale et la fragilité des écosystèmes qui leurs seront présentés. La richesse, la diversité et la représentativité du parcours au niveau de la faune, de la flore et des paysages terrestres et sous-marins et la présence d'espèces protégées et/ou remarquables sont des éléments nécessaires au choix du site (Baude *et al.*, 2008). Du fait de sa fréquence sur les côtes, de sa présence à faible profondeur, et de son statut d'espèce protégée (Boudouresque *et al.*, 2006), la Posidonie (*Posidonia oceanica*) constitue une espèce-phare des sentiers sous-marins et les herbiers qu'elle édifie font partie des paysages habituels observés sur ces sentiers.

C. État des connaissances sur les herbiers de Posidonie sur roche

La Posidonie est une espèce capable de se développer sur différents types de substrats, incluant le sable, la matie (structure produite par l'accumulation de sédiments, de rhizome et les substrats durs (Boudouresque *et al.*, 2006). Alors que de très nombreuses études ont été consacrées aux herbiers, peu se sont intéressées à évaluer l'importance du substrat dans la colonisation et la croissance de cette espèce (Marba & Duarte 1997). Pourtant, lors de campagnes cartographiques à l'ouest du Cap Corse, Clabaut *et al.* (2010) mettent en avant l'importance de l'hydrodynamisme et du substrat rocheux dans la position de la limite inférieure des herbiers de Posidonies. Ainsi, ces auteurs observent qu'au-delà de la roche, l'intensité de l'hydrodynamisme dans ce secteur ne permet pas le maintien de l'herbier sur les substrats meubles en avant et ce sans que la bathymétrie soit en cause. Cette relation entre substrat dur et limite d'extension des herbiers en profondeur avait d'ailleurs été décrite par Meinesz & Laurent (1978), sous l'appellation de limite érosive.

Plus récemment dans le cadre d'une étude expérimentale sur le rôle des microhabitats sur la colonisation par des jeunes plants, Alagna *et al.*, (2013) ont montré une croissance préférentielle de la posidonie sur une roche recouverte d'algues, par rapport à un substrat sableux et à des graviers ou des macroalgues dressées, même si l'étude souligne que la profondeur semble également jouer un rôle additionnel dans l'établissement et la persistance des plants. Le succès d'établissement des Posidonies sur roche semble lié à (i) des particularités morphologiques mais aussi à (ii) des stratégies d'adaptation du système racinaire.

Ainsi Badalamenti *et al.*, (2015) mentionnent la présence de poils racinaires adhésifs sur les racines primaires et adventices, qui favoriserait la fonction d'ancrage mécanique. L'expérimentation montre que l'ancrage des plantules ne se produit que sur un substrat consolidé, mais qui peut être dénudé, suggérant que la présence d'assemblages précurseurs n'est pas indispensable. Ces poils racinaires adhésifs semblent un trait morphologique commun

aux plantes vivant sur la roche, dans des zones à fort hydrodynamisme (Badalamenti *et al.*, 2015). Cette observation est corroborée par les observations de Tomasello *et al.* (2018) qui montrent des différences marquées de la structure des racines en fonction du substrat :

- des racines adventives lisses avec de rares poils racinaires distincts en forme de spirale et tubulaire, sur sable.
- des racines avec des poils racinaires de longueur considérable, de même forme spiralée et tubulaire, avec des pointes gélatineuses sur lesquelles des grains et des fragments de roche restent fixés, sur substrat dur
- des racines sans poil racinaire gélatineux et avec une pointe simple et très courte sur mat.

D'autre part, Balestri *et al.* (2015) notent que le substrat affecte sensiblement l'enracinement et la distribution des racines, avec deux systèmes racinaires différents, l'un développé verticalement (jusqu'à 13 cm) sur substrat meuble, et l'autre horizontalement (5-7 cm) sur substrat dur. La plante s'avérant incapable de pénétrer profondément dans le substrat rocheux, semble augmenter ses chances d'accéder aux fissures en augmentant sa surface de contact avec le substrat. Le substrat rocheux induit donc une architecture plus pauvre et des racines plus épaisses mais avec une biomasse qui reste équivalente au système sur sable. Alagna *et al.* (2015) mettent en relation la présence des propriétés adhésives du système racinaire avec la préférence des plantules pour les substrats durs durant la phase de colonisation, dans la mesure où ces derniers permettraient un ancrage précoce et fort, qui améliore la persistance et la probabilité d'établissement des plantules. Ceci semble confirmé par les travaux de Balestri *et al.*, (2017) qui montrent expérimentalement une mortalité plus élevée pour des plantules s'installant sur le sable par rapport à la roche. De même Montefalcone *et al.* (2016) montrent que l'espèce colonise uniquement les lithotypes les plus forts et les moins érodables, leur permettant ainsi de résister de manière plus efficace à l'hydrodynamisme. L'ensemble de ces études montrent donc une relation étroite entre le succès de l'ancrage et la complexité du substrat, notamment en termes de taille et de nombre d'espaces interstitiels au sein de la roche.

Par contre en termes de croissance, au cours des phases de développement des plantules, Guerrero-Meseguer *et al.* (2017) constatent, pour les graines ayant germées sur le sable, un développement accru des racines latérales, qui sont 4 fois plus grandes que celles des plantules ayant germé sur un substrat dur. De même, Di Maida *et al.* (2013) enregistrent des différences en termes de phénologie, notamment de biométrie foliaire ainsi que de densité des faisceaux avec un taux de croissance, une longueur de feuilles et une surface foliaire des faisceaux sur roche plus faibles de 42%, 23% et 32% respectivement que pour un herbier se développant sur sable ou sur mat.

D. Objectif de l'étude

Au sein de la RNBB, en dehors de signalisation personnelles (Cancemi G, février 2018), deux études (Cancemi, 2002 ; Cancemi *et al.*, 2015) font spécifiquement état de la présence d'herbiers sur roches. Il semble donc que ces formations soient peu présentes. Elles sont généralement signalées à faible profondeur au niveau des îles Cerbicales, Porrugia, Ratino, Piana et de la Rondinara, des falaises de Bunifaziu et de la plage de Fazio (Figure 1).

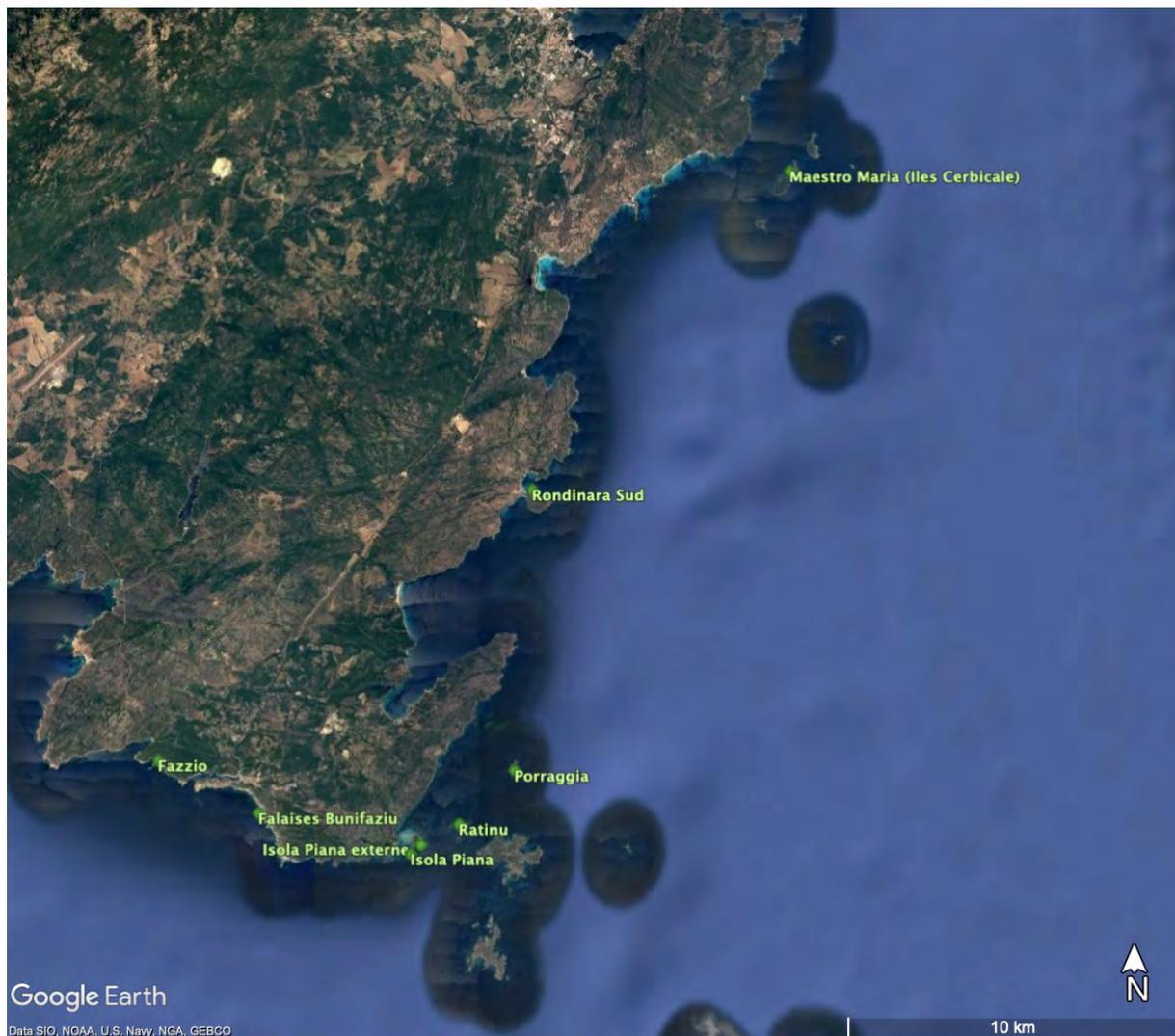


Figure 1 : Carte de signalisations des herbiers sur roche dans la RNBB (Cancemi, 2002 ; Cancemi *et al.*, 2011).

Elles donnent lieu à des paysages diversifiés avec la présence d'espèces typiques des herbiers et d'espèces inféodées aux habitats rocheux. Aussi, à l'heure où l'on cherche à mieux connaître le rôle joué par ces herbiers de Posidonies sur roche, il semble intéressant de :

- Chercher à mieux les identifier et produire une carte de leur distribution à l'échelle de la RNBB,
- Appréhender les caractéristiques de ces herbiers sur roche et en particulier leur épaisseur afin de mieux cerner leur contribution à l'atténuation des changements climatiques (fixation et séquestration du carbone).

II. Matériel et Méthodes

A. Identification et répartition des herbiers sur roche

L'identification des herbiers sur roche a été menée selon différentes approches :

- Pour ce qui concerne les herbiers superficiels, une analyse exhaustive des données optiques disponibles a été réalisée sur la base des clichés IGN (Institut national de l'information géographique et forestière) de la BD Ortho de 2016. Cette approche a concerné l'ensemble du littoral de la Corse et permis l'identification de données ponctuelles. Afin de valider l'analyse, des données terrains ont été réalisées dans quelques secteurs avec des investigations en PMT (palmes, masque et tuba) et au moyen d'un Kayak équipé d'un GPS. En complément, au niveau du secteur Est de la RNBB, l'ensemble des images disponibles (photographies aériennes, de la BD ORTHO® de l'IGN de 2016, avec un pixel de 50 cm ; images drones de 2019 et de 2020, avec un pixel de 3 cm). Les données sont ensuite traitées selon la méthode de Bonacorsi (2012), à l'aide du logiciel Envi 4.7®, afin d'obtenir des données surfaciques.

- Pour ce qui concerne les herbiers profonds, la cartographie est issue de la campagne océanographique CARBONSINK, réalisée avec le N/O Europe de l'Ifremer, au mois d'Août 2018 (Pergent *et al.*, 2018). Les données acoustiques ont été acquises à l'aide d'un sonar à balayage latéral et d'un sondeur multifaisceaux. Les données sont ensuite traitées selon la méthode décrite par Bonacorsi (2012), à l'aide du logiciel Caraibes 3.8® de l'Ifremer. Lors de l'acquisition, des captures d'écran permettent d'identifier des structures particulières qui sont ensuite validées par des prélèvements (benne Van Veen), et des observations *in situ* (plongées en scaphandre autonome, images ROV, quadrat-photo immergeable). Sur un site-test, l'acquisition des données acoustiques a été réalisée au moyen du sonar à balayage latéral, préalablement couplé avec une caméra GoPro, selon la méthode décrite par Pergent *et al.* (2017), qui offre la possibilité d'obtenir en même temps la donnée acoustique et la donnée optique (Figure 2). L'ensemble des données sont ensuite associées et on fait l'objet d'un traitement par la société Biosurvey.

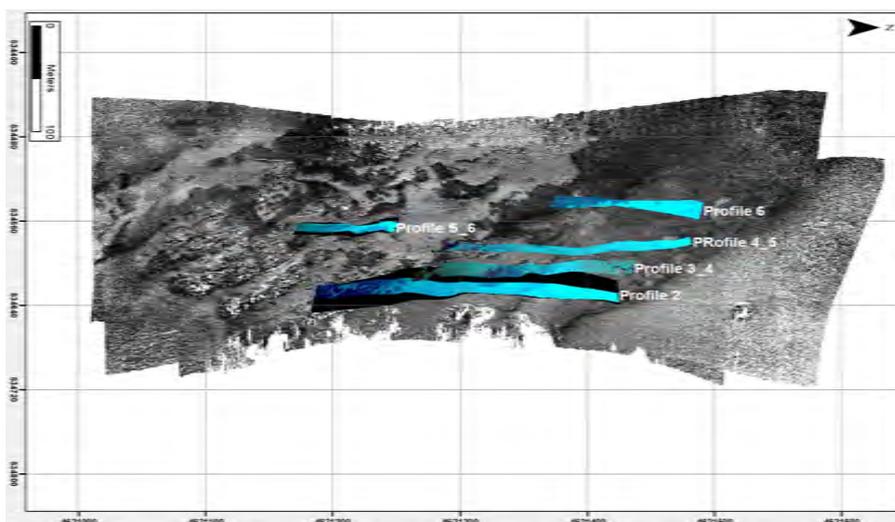


Figure 2 : Coupe de la données acoustique, acquise par le sonar à balayage latéral et de la donnée optique, acquise par la Go-Pro sur le site-test « Herbier sur roche », lors de la campagne Carbonsink.

Ces données peuvent ensuite être croisées avec les données bathymétriques du sondeur multifaisceaux pour visualiser le relief (Figure 3).

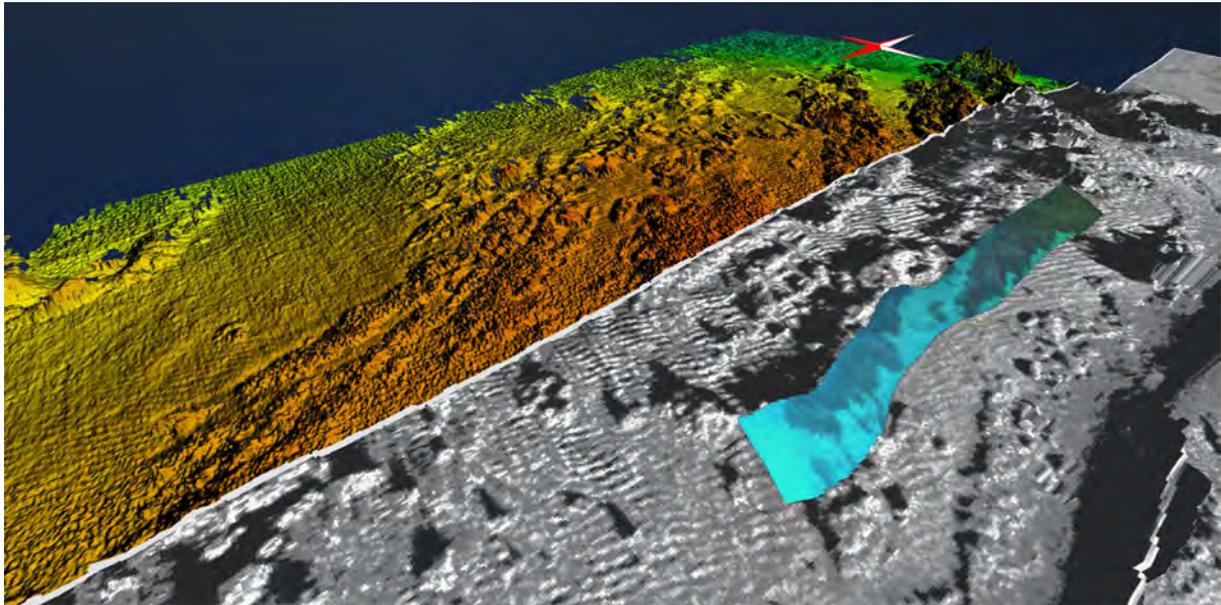


Figure 3 : Couplage des données du sondeur multifaisceaux, du sonal à balayage latéral et des données optique, sur le site-test « Herbière sur roche », lors de la campagne Carbonsink (traitement Biosurvey).

B. Caractérisation des herbiers sur roches

L'acquisition des données de sismique réflexion de très haute-résolution (THR) a été réalisée en vue (i) de caractériser les herbiers à *P. oceanica* de substrats durs (roche/galets), (ii) de faire une première évaluation de l'épaisseur des mattes par sismique réflexion et (iii) de procéder à une inter-comparaison de différents appareillages sur ce secteur. La collecte des données a été effectuée grâce au déploiement d'un sondeur de sédiments (Innomar SES-2000) lors de la mission Sismat (2018) dans le cadre d'un partenariat avec l'Université de Palerme (Sicile, Italie) et la société Biosurvey, qui s'est déroulée au sein du site Natura 2000 « FR9402014 - Grand Herbière de la Côte orientale » (Pergent-Martini, 2018).

Contrairement aux appareillages mis en œuvre lors de précédentes campagnes océanographiques sur ce site (sondeurs de sédiments : Sparker et Manta EDO), les profils sismiques acquis avec le sondeur de sédiments paramétrique Innomar SES-2000 offrent une représentation très détaillée des couches sédimentaires et des enregistrements avec une résolution verticale et horizontale de quelques centimètres (Figure 4). Cet avantage réside dans le fait que ce système a la capacité de produire des fréquences élevées au regard des autres appareils, contribuant ainsi à détecter de faibles épaisseurs de sédiments et de discriminer des changements de structures sédimentaires (ex. roche/sable).

En complément quelques observations et des prélèvements de 10 à 15 faisceaux ont été effectuées in situ, de façon à disposer de données sur les caractéristiques phénologiques de ces herbiers, au mois de juin, dans le Golfe de Sant'Amansa, à -15m. La densité (nombre de faisceaux par m²) est mesurée pour chaque station à l'aide d'un quadrat de 40 cm de côté.

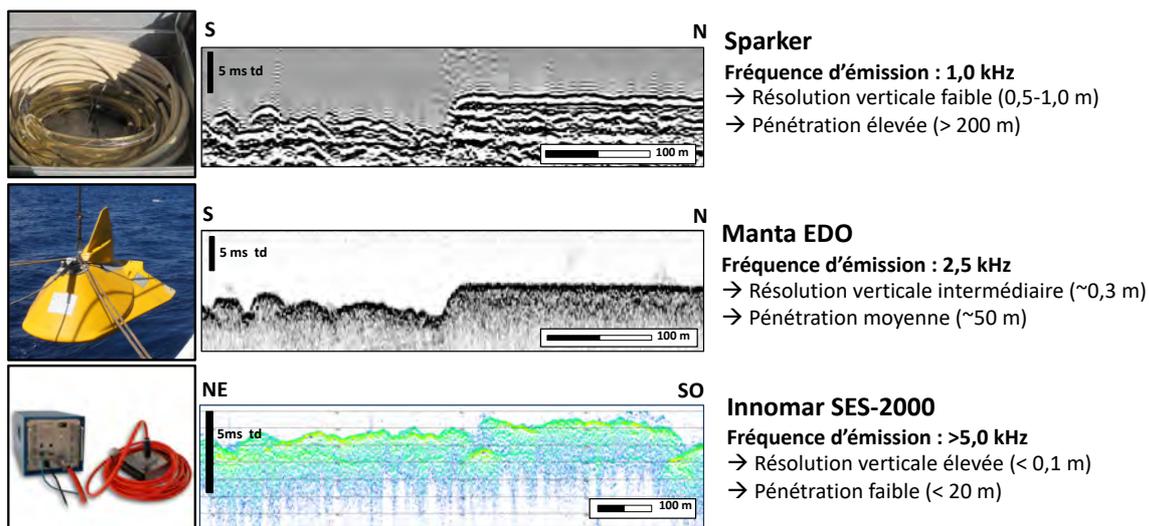


Figure 4 : Sondeurs de sédiments, profils sismiques acquis au sein des herbiers de Posidonies et principales caractéristiques des appareils déployés sur le site d'étude.

Une analyse phénologique (Giraud, 1979) et une étude lépidochronologique (Pergent, 1990) ont été réalisées. La production primaire est estimée selon la méthode lépidochronologique croisée (Vela *et al.*, 2006), dérivée de Pergent & Pergent-Martini (1990). Une feuille est formée d'une gaine basale non photosynthétique et d'un limbe. La production primaire du limbe a été estimée à partir du nombre moyen de feuilles produites annuellement, de la longueur moyenne des limbes adultes de rang 3 (généralement la plus longue feuille de la pousse), de la largeur moyenne des limbes adultes de rang 1, de la densité moyenne (poids par unité de surface) du limbe adulte de rang 1 (croissance des feuilles terminée). La production primaire des pétioles a été estimée à partir du nombre moyen de feuilles produites annuellement, de la longueur moyenne, de la largeur et de la densité des pétioles adultes de rang 1. Un coefficient de correction est appliqué à la longueur des limbes et des pétioles prélevés au mois de Juin pour déterminée leur valeur moyenne sur une année (Valette-Sansevin, 2018).

La production de rhizome a été évaluée à partir des segments du rhizome, avec racines insérées, entre deux écailles (pétiole mort) présentant une épaisseur minimale (correspondant au tissu produit pendant une période d'un an) coupées puis séchées pendant 48 h à 70°C, jusqu'à poids constant. Les segments correspondant aux deux années les plus récentes n'ont pas été considérés car leur croissance n'est pas encore complète (Boudouresque *et al.* 1984). La teneur en carbone (% C) des limbes, pétioles et rhizomes, exprimée en pourcentage de masse sèche (MS), a été déterminée pour chaque échantillon à l'aide d'une analyse élémentaire (Elementar Vario MICRO Cube®, Elementar Analysensysteme GmbH).

III. Résultats

A. Identification et répartition des herbiers sur roche

L'analyse des données optiques montrent que des herbiers superficiels sont présents sur l'ensemble du littoral de la Corse (Figure 5), en dehors du secteur de la plaine orientale où on les observe au niveau du site de Talio-Isolaccio (où ils édifient un récif barrière de petite taille) et au nord de Moriani.

Dans le golfe Sant'Amanza, ces herbiers sur roches constituent également des petits récifs barrières (partie sud du Golfe), dont les feuilles émergent au printemps (Figure 6).



Figure 6 : Herbiers sur roche dans le secteur sud du Golfe de Sant'Amanza, au mois de Mai 2020. Au premier plan, l'extrémité des feuilles de Posidonie affleure, constituant une sorte de récif-barrière.

L'utilisation conjointe de différents outils (sonar à balayage latéral, sondeur multifaisceaux et caméra Go-Pro) sur un site-test a permis de mettre en évidence un faciès particulier d'herbier sur les images acoustiques (Figure 7). Les validations in situ et les enregistrements vidéo montrent qu'il s'agit d'un petit éperon rocheux sur lequel est implanté un herbier de Posidonies relativement continu et assez dense.



Figure 5 : Carte de localisation des herbiers superficiels sur roche le long du littoral de la Corse (données ponctuelles).



Figure 7 : Sonogramme d'un herbier de Posidonies sur roche

Sur la base de ce faciès d'autres herbiers sur roche ont pu être identifiés sur l'ensemble du secteur entre Solenzara et le golfe de Sant'Amanza (Figure 8 ; Figure 9 ; Figure 10).

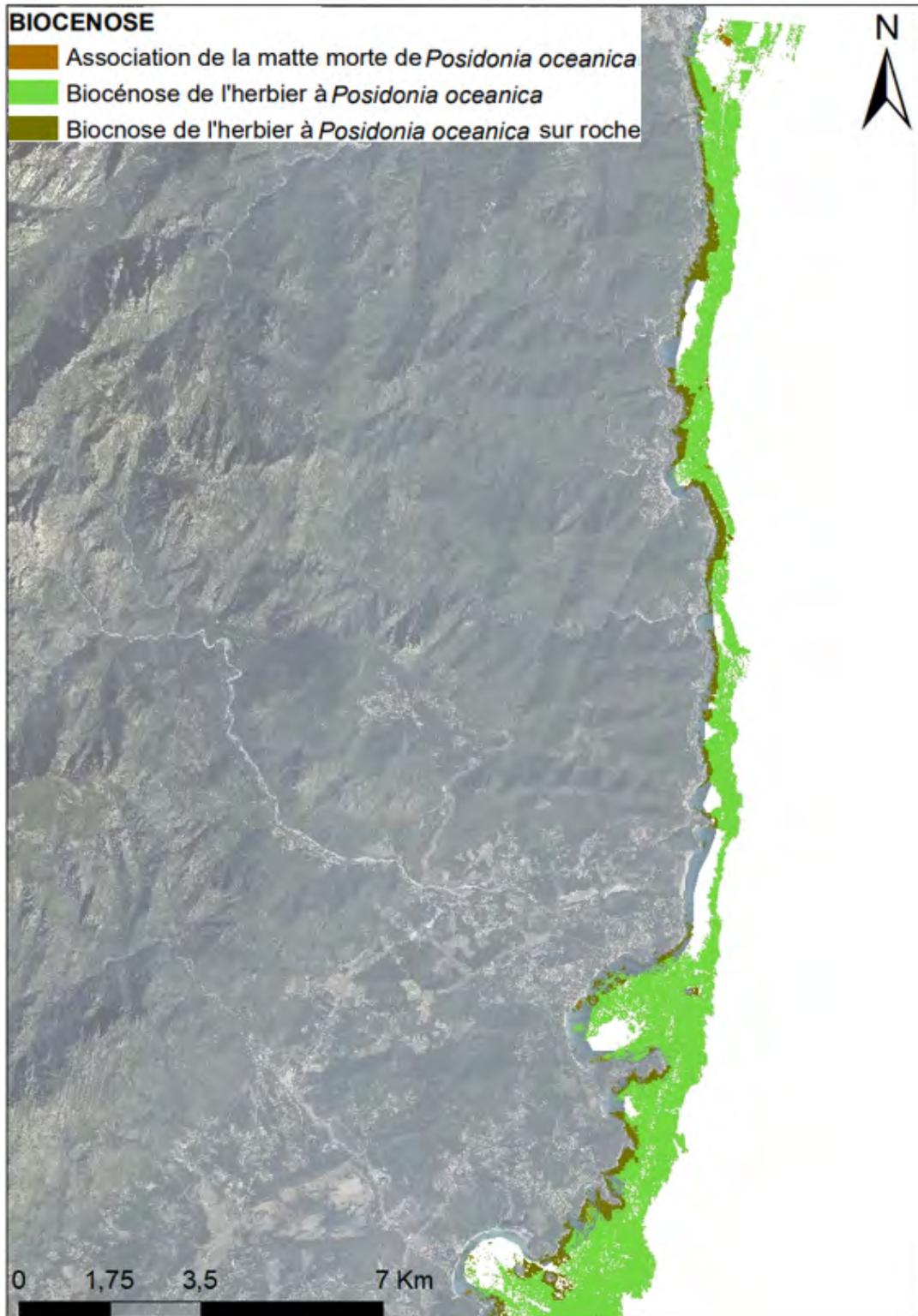


Figure 8 : Carte de distribution des herbiers le long du littoral de la Corse entre Solenzara et San Ciprianu. Les mattes mortes et les herbiers de Posidonies sur roches sont différenciés des herbiers de Posidonies sur sable et matte.

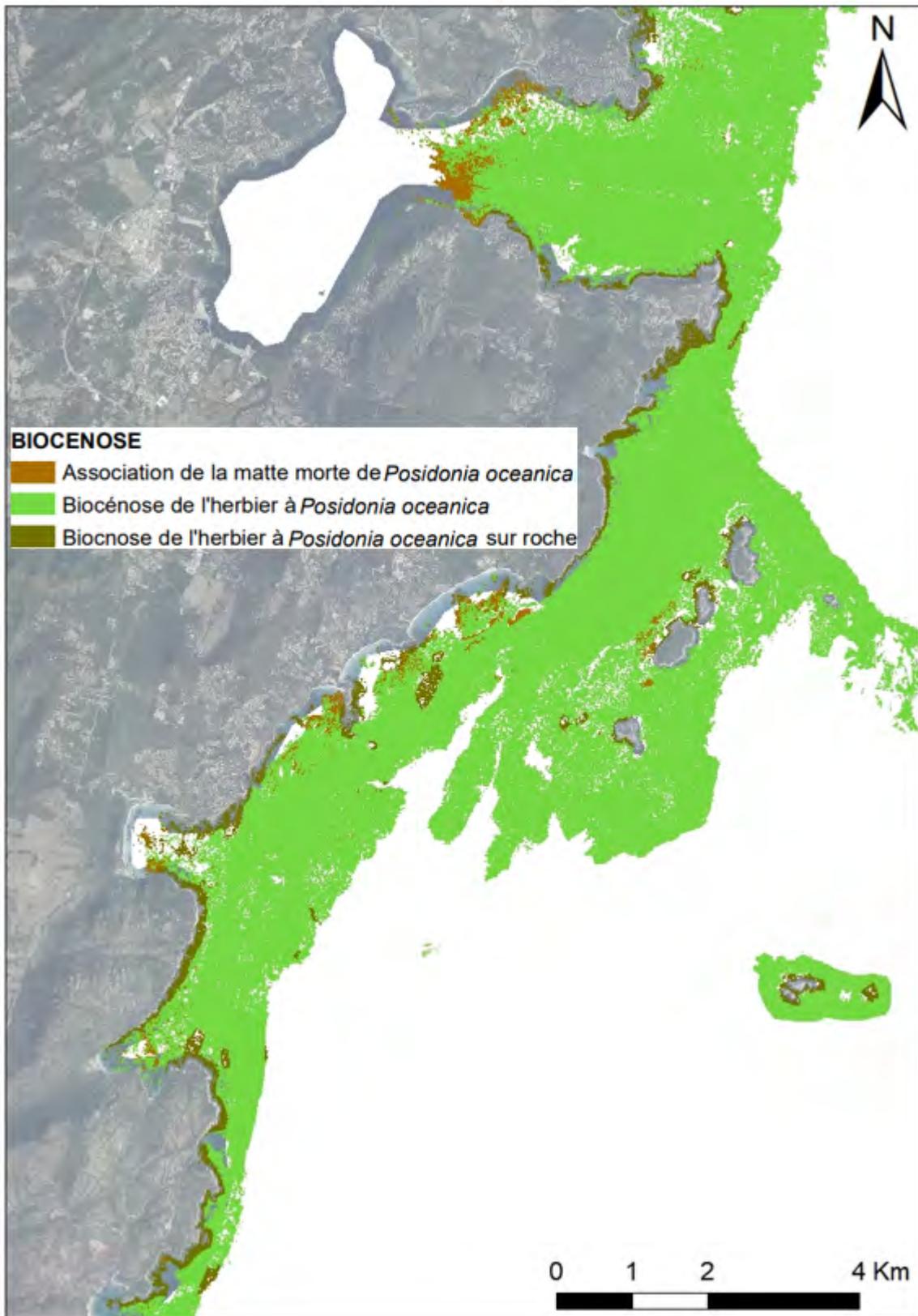


Figure 9 : Carte de distribution des herbiers le long du littoral de la Corse entre San Ciprianu et la plage de La Rondinara. Les mattes mortes et les herbiers de Posidonies sur roches sont différenciés des herbiers de Posidonies sur sable et matte.

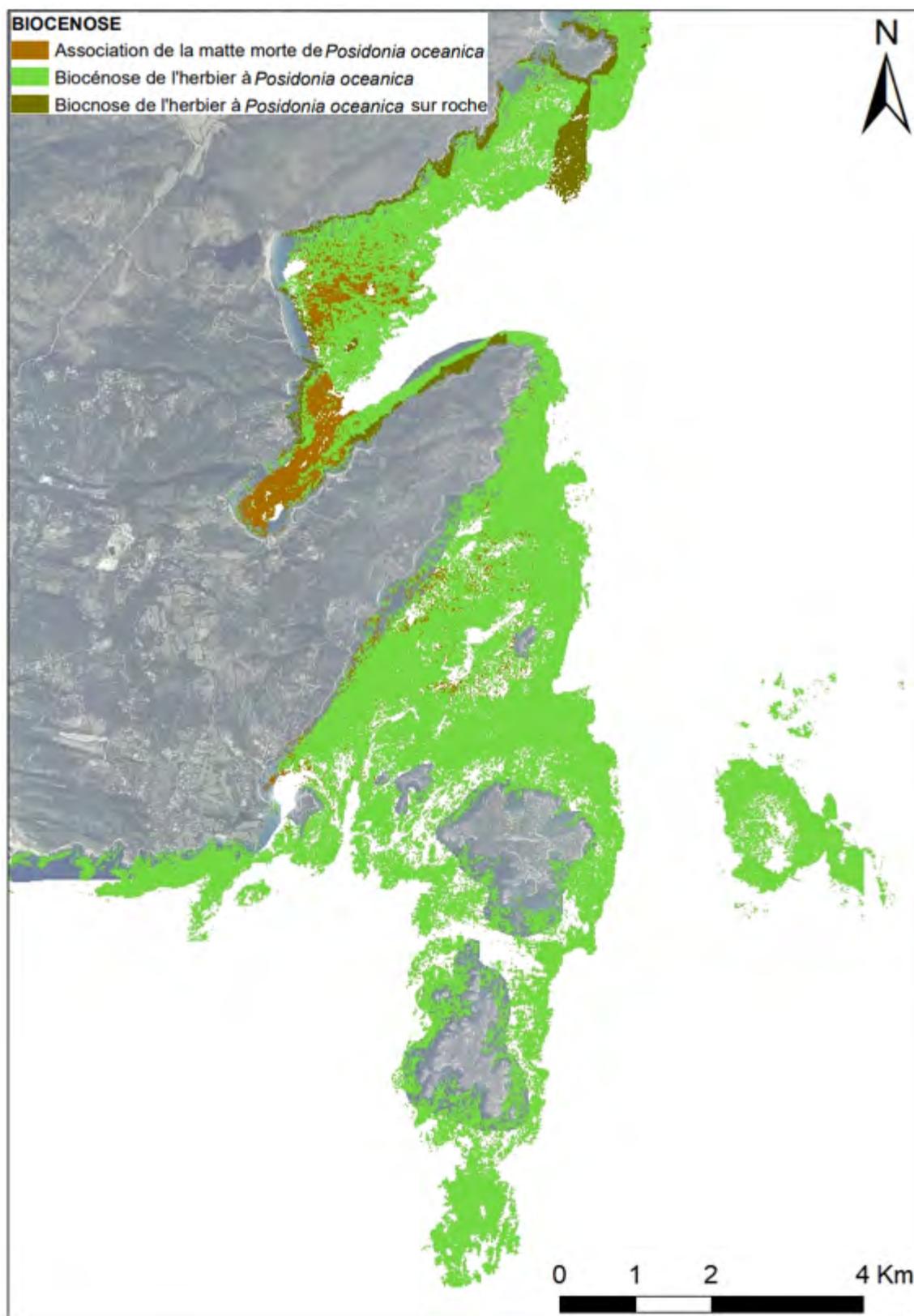


Figure 10 : Carte de distribution des herbiers le long du littoral de la Corse entre la baie de La Rondinara et les falaises de Bunifaziu. Les herbiers de Posidonies sur roches ne sont cartographiés que jusqu'au golfe de Sant'Amanza. Entre l'extrémité sud du Golfe et les falaises de Bunifaziu, seules les mattes mortes sont différenciées des herbiers de Posidonies.

Au final les herbiers sur roche représentent sur l'ensemble de la zone, une superficie de 652 ha au moins sachant que la zone entre l'extrémité sud du golfe de Porto-Vecchio et Porto Nuovo n'a pas fait l'objet d'une cartographie exhaustive mais a seulement bénéficié d'une actualisation des connaissances le long de quelques transects et que le secteur au sud du golfe de Sant'Amanza n'a pas été prospecté.

B. Caractérisation des herbiers sur roches

Les données acquises avec l'Innomar SES-2000 permettent de disposer d'une représentation morphologique et topographique des fonds marins ainsi que des couches sédimentaires superficielles sur le littoral oriental de la Corse. Les résultats obtenus sont en accord avec les observations effectuées lors des campagnes CoralCorse (2013) et PosidCorse (2015) avec le sondeur de sédiments Manta EDO (Figure 11). L'interprétation des profils sismiques montre la présence d'herbiers continus ou discontinus caractérisés par de nombreuses structures érosives (« tombants de matte ») qui peuvent atteindre jusqu'à 4 m de hauteurs, principalement situés près de la limite supérieure de l'herbier à *P. oceanica* (soit ~10-20 m de profondeur) (Figure 11 ; Figure 12).

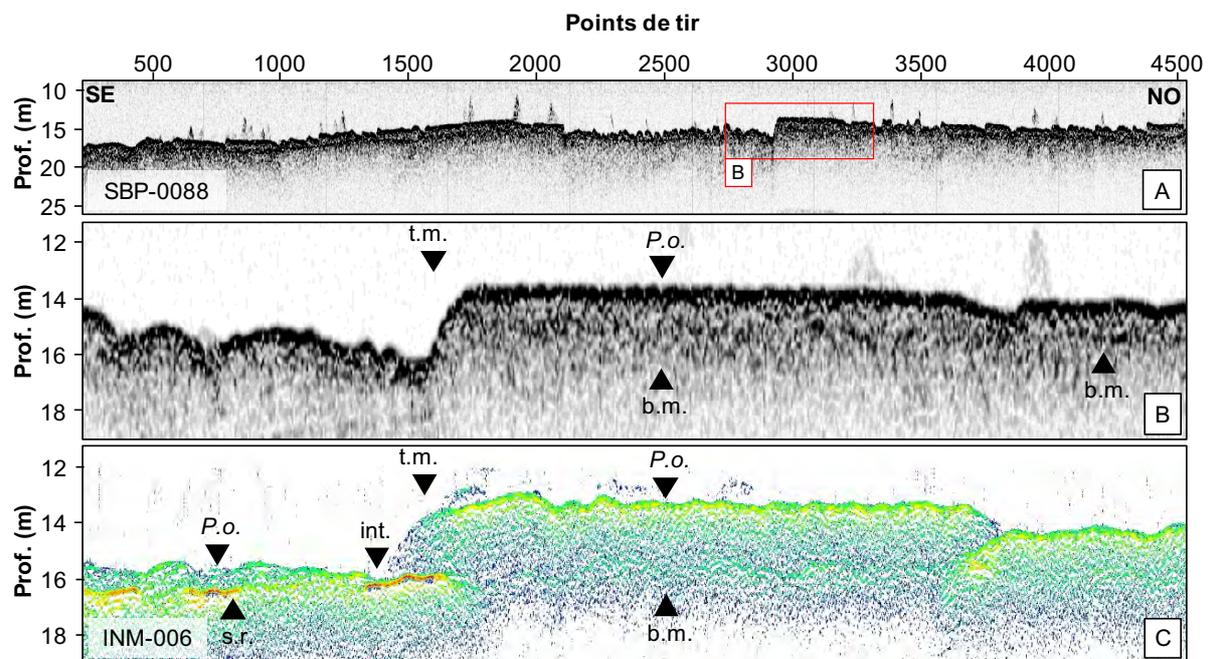


Figure 11 : A) Exemple d'un profil sismique haute-résolution (SBP-0087) collecté avec le sondeur de sédiments Manta EDO. (B) Section d'un profil sismique montrant un herbier continu à *P. oceanica* (P.o.), la base de la matte (b.m.), un tombant de matte (t.m.) et une intermatte (int.) de sable/galets. (C) Comparaison avec un profil sismique de très haute-résolution (INM-006) acquis avec le sondeur de sédiments Innomar SES-2000 où il est possible de discriminer le substrat rocheux (s.r.)

L'analyse des structures stratigraphiques et des profils sismiques montre des réflecteurs horizontaux avec différents contrastes d'impédance, témoignant de changements dans la nature des sédiments à la base des herbiers de Posidonies (Figure 11 ; Figure 12). Les herbiers implantés sur substrat dur (*i.e.* roche ou galets) sont discriminés par la présence d'un réflecteur (*i.e.* une délimitation) à la base de la matte présentant des tonalités rouge-orangé traduisant une réflexion

plus importante du substrat (Figure 11 ; Figure 12). En revanche, la présence d'un réflecteur diffus de coloration bleu-verte à la base des mattes témoigne de la présence d'un substrat meuble (*i.e.* sable ou vase).

L'identification de la nature du substrat sur lequel l'herbier de Posidonie se développe a été validé par la réalisation des données terrains notamment par carottages et observations en plongée sous-marine. Les herbiers sur substrat dur ont principalement été relevés en partie sud entre le grau de l'étang de Diana et l'embouchure du Tavignano mais aussi localement en partie superficielle entre l'embouchure du Golo et le port de Taverna.

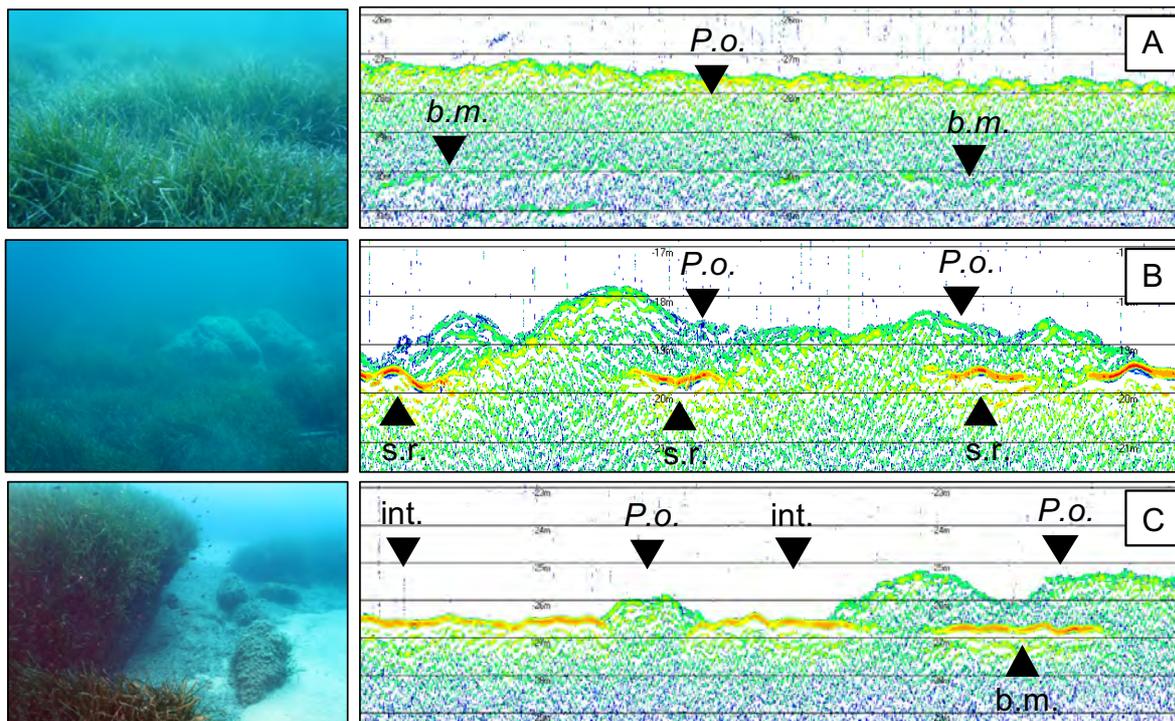


Figure 12 : Exemples de profils sismiques très haute-résolution collectés avec le sondeur de sédiments Innomar SES-2000 montrant (A) un herbier continu à *P. oceanica* (P.o.) et la base de la matte (b.m.), (B) un herbier à *P. oceanica* implanté sur substrat rocheux (s.r.) et (C) un herbier discontinu ainsi que de nombreuses intermattes (int.) constituées d'un substrat sableux.

Contrairement aux herbiers implantés sur substrat meuble présentant des mattes pouvant excéder 5 mètres d'épaisseur, les herbiers sur substrat dur sont caractérisés par des épaisseurs de mattes plus réduites généralement comprises 0,5 et 1 mètre. Néanmoins, grâce aux propriétés de l'Innomar SES-2000, les profils sismiques, présentant une résolution verticale de quelques centimètres, permettent de discriminer des épaisseurs de matte très faibles (~10 à 20 cm) correspondant à des placages de matte sur roche.

Les mesures de densité de Posidonies montrent des valeurs légèrement plus élevées sur roche que dans les herbiers sur sable ou matte, à profondeur équivalente, aussi bien dans le golfe de Sant'Amanza (Figure 13), qu'au niveau de la Plaine orientale. Ces résultats diffèrent donc de ceux de Di Maida *et al.* (2013) pour ce paramètre. Par contre conformément à ces travaux, la longueur des feuilles adultes s'avère plus courte au niveau des herbiers sur roche qu'au niveau des herbiers sur substrat meuble, tout au moins en mai et Juin.

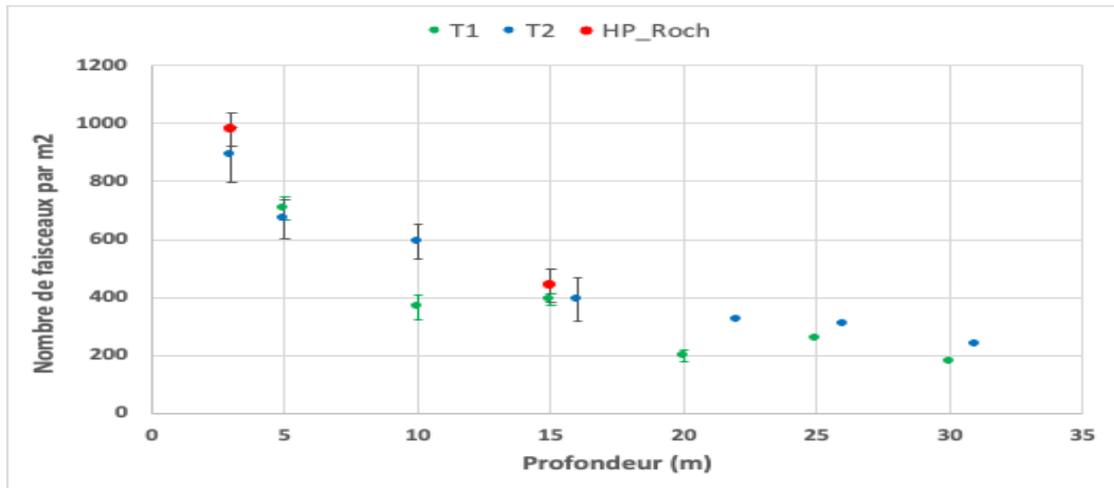


Figure 13 : Densité des herbiers en fonction de la profondeur, sur substrats meubles (le long de deux transects) et sur roche (stations ponctuelles), dans le Golfe de Sant’Amanza.

Le nombre de feuilles produite annuellement (6,88) est comparable, bien qu’un peu plus faible que celui enregistré dans le même secteur à une profondeur équivalente (7,32). La longueur moyenne des limbes est également plus faible avec 363,9 mm au lieu de 412,8 mm.

La fixation de carbone par faisceau est également plus faible avec une valeur de 533,9 mg C par faisceau contre 608,8 mg C par faisceau à profondeur équivalente. Par contre à l’échelle de l’herbier dans son ensemble, la fixation de carbone dans les herbiers sur roche s’avère équivalente à celle enregistrée dans les herbiers sur matre du fait du nombre de faisceaux par mètre-carré plus élevé ; elle est estimée à 236,3 g C par m² (239,7 g C par m² à même profondeur sur substrat meuble).

La séquestration du carbone dans la matre (pétioles, rhizomes et racines) est estimée à 54,7 g C par m², soit 23,1% de la fixation totale.

IV. Conclusions et perspectives

L'étude montre que les herbiers sur roche ne sont pas aussi rares que ce que l'on pouvait le supposer initialement tant à l'échelle du littoral dans son ensemble que du territoire de la RNBB.

La mise en évidence d'un faciès particulier devrait à l'avenir faciliter l'identification des herbiers sur roche en profondeur et devrait être ajouté à l'atlas des faciès de Clabaut *et al.*, (2014). Au niveau du secteur cartographié, entre Solenzara et , les herbiers de posidonies sur roche couvrent une superficie de 651,5 ha, ce qui représente environ 7,1 % de la surface occupée par les herbiers de Posidonies en général sur cette même zone.

La localisation de ces herbiers sur roche, au sein de la RNBB, constitue une première étape pour la création éventuelle de futurs sentiers sous-marins. En particulier le site qui accueille les herbiers sur roche le long de la rive sud du Golfe de Sant'Amanza (Figure 14) semble répondre aux attentes que l'on peut avoir pour accueillir une telle structure (Baude *et al.*, 2008).



Figure 14 : Répartition des herbiers sur roche dans le golfe de Sant'Amanza et pré-identification d'un sentier sous-marin (encadré). Les zones de parking (P), de stockage et le parcours sub-aquatique (tracé vert) sont figurés.

Le site est facilement accessible depuis la route, tant pour les éventuels randonneurs, qu'en termes d'interventions de secours si nécessaire. La présence d'une petite plage permet d'envisager la mise en place d'une structure fixe légère temporaire pour le stockage du matériel, durant la phase d'exploitation. Le site est suffisamment éloigné de l'entrée du golfe et sa conformation (crique) offre un abri, excepté par vents d'Est (axe du golfe). Localisé près de la côte et présentant une profondeur assez limitée (n'excédant pas 10 m de profondeur), il offre une protection pour les randonnées-palmées. En outre, les données disponibles sur la fréquentation plaisancière (Fontaine *et al.*, 2019) montrent qu'il est peu utilisé en dehors de l'ancrage de petites unités. Enfin les investigations menées en plongées montrent une mosaïque d'habitats (roche du supra et du médiolittoral, galets médiolittoraux, algues infralittorales, sables fins bien calibrés, herbier de Posidonie) abritant une variété d'espèces caractéristiques de ces milieux.

Ces herbiers montrent en outre quelques particularités par rapport à ceux sur substrats meubles avec une densité des faisceaux un peu plus élevée, des feuilles plus courtes et des épaisseurs de mattes très réduites (n'excédant pas 1m en général). S'il ne semble pas y avoir de différence en termes de fixation du carbone dans ces herbiers, il est possible qu'ils présentent des performances moindres en termes de séquestration du fait des faibles épaisseurs de matte. Seules des études complémentaires sur la vitesse d'accrétion et sur l'âge de ces mattes permettraient cependant de vérifier ce point.

V. Bibliographie

- Alagna, A., Vega Fernández, T., D'Anna, G., Magliola, C., Mazzola, S., Badalamenti, F., 2015 - Assessing *Posidonia oceanica* seedling substrate preference: an experimental determination of seedling anchorage success in rocky vs. sandy substrates ». J. Cebrian edit., *PLOS ONE* 10 (4): e0125321. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125321>.
- Alagna, A., Vega Fernández, T., Terlizzi, A., Badalamenti, F., 2013 - Influence of microhabitat on seedling survival and growth of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 119: 119-25.
- ATC, 2018 – Bilan de l'enquête aux frontières 2017 Région Corse. Les cahiers du tourisme, 1: 36p.
- Badalamenti, F., Alagna, A., Fici, S., 2015 - Evidences of adaptive traits to rocky substrates undermine paradigm of habitat preference of the mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* ». *Scientific Reports* 5 (1).
- Balestri, E., de Battisti, D., Vallerini, F., Lardicci, C., 2015 - First evidence of root morphological and architectural variations in young *Posidonia oceanica* plants colonizing different substrate typologies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 154: 205-13.
- Balestri, E., Vallerini, F., Lardicci, C., 2017 - Recruitment and patch establishment by seed in the seagrass *Posidonia oceanica*: Importance and conservation implications. *Frontiers in Plant Science*, 8 :
- Baude, J.L., Boissery, P., Durand, B., Jourdan, E., Masclef, C., Quelin, N., Raimondino, V., 2008 - Le guide technique et méthodologique des sentiers sous-marins : 1–127.
- Bonacorsi M., 2012 - Caractérisation des peuplements benthiques du Cap Corse. Thèse mention « Biologie des populations et écologie », Université de Corse Pascal Paoli : 166p.
- 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, 1-102.
- Boudouresque, C-F., Jeudy de Grissac, A., Meinesz, A., 1984 - Relations entre la sédimentation et l'allongement des rhizomes orthotropes de *Posidonia oceanica* dans la baie d'Elbu (Corse). International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque, C-F., Jeudy de Grissac, A., Olivier, J. eds. Port-Cros.
- Cancemi, G., 2002 - Identification des sources de perturbation côtières dans le périmètre de la réserve naturelle. Rapport Office de l'Environnement de la Corse / E.V.E.Mar. : 83 p. + planches et annexes.
- Cancemi, G., Buron, K., Vela, A., Gobin, C., 2011 - Etudes nécessaires à l'obtention de l'autorisation de mouillages organisés à Rondinara et à Piantarella. Rapport EVEMar : 32 p. + Annexes.
- Clabaut P., Augris C. (coord.), Pergent G., Pergent-Martini C., Pasqualini V., Bonacorsi M., 2014 - Les fonds marins côtiers de Corse. Cartographie biomorphosédimentaire. Éd. Quae. 25 feuilles, échelle 1/20 000, livret d'accompagnement, 80 pages.
- Clabaut P., Pergent-Martini C., Pergent G., Augris C., Pasqualini V., Chamley H., 2010 - Les relations entre les herbiers de Posidonies, leur substrat et l'hydrodynamisme. Proceedings of the 4th Mediterranean symposium on marine vegetation (Hammamet, 2-4 December 2010). S. El Asmi, H. Langar & W. Belgacem edits., RAC/SPA publ., Tunis : 49-54.
- Di Maida, G., Tomasello, A., Sciandra, M., Pirrotta, M., Milazzo, M., Calvo, S., 2013 - Effect of different substrata on rhizome growth, leaf biometry and shoot density of *Posidonia oceanica*. *Marine Environmental Research*, 87-88 : 96-102.

- Fontaine, Q., Marengo, M., Leduc, M., Lejeune, P., 2019 - Étude relative à la plaisance et aux mouillages en Corse : Rapport final – Année 2018/2019. Contrat OEC / STARESO : 190 p.
- Francour, P., Catherin, P., Macquart-Moulin, F., Geoffray, C., Robert, P., Cornuet, V., Faninoz, S., Jourdan, E., Dupuy de la GrandRive, R., Ferrari, B., 2002 - Les sentiers sous-marins actuels : modes de fonctionnement et objectifs. Rencontres sur les sentiers sous-marins, Hyères 27/30 mars 2002.
- Fosse, J., LeTellier, J., 2017 - Tourisme durable en Méditerranée : état des lieux et orientations stratégiques. Plan Bleu édit., Valbonne, Les Cahiers du Plan Bleu, 17 : 55p.
- GECT-PMIBB, 2017 - Échange d'expériences entre les aires protégées sur les problématiques de gestion liées à la fréquentation. Compte-rendu du séminaire GIREPAM, Bonifacio - 28 septembre 2017, OEC publ. : 40p.
- Giraud, G., 1979 - Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile. *Bulletin Museum Histoire naturelle de Marseille* 39 : 33–39.
- Guerrero-Meseguer, L., Sanz-Lázaro, C., Suk-ueng, K., Marín, A., 2017 - Influence of substrate and burial on the development of *Posidonia oceanica*: Implications for restoration. *Restoration Ecology*, 25 (3): 453-58.
- Marba, N., Duarte, C., 1997 - Interannual changes in seagrass (*Posidonia oceanica*) growth and environmental change in the spanish mediterranean littoral zone. *Limnology and Oceanography*, 42 : 800-810.
- Meinesz, A., Laurent, R., 1978 - Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de *Posidonia oceanica* dans les Alpes-maritimes (France). Campagne Poséidon 1976. *Botanica Marina*, 21 : 513–526.
- Montefalcone, M., Vacchi, M., Carbone, C., Cabella, R., Schiaffino, C-F., Elter, F-M., Morri, C., Bianchi, C-N., Ferrari, M., 2016 - Seagrass on the rocks: *Posidonia oceanica* settled on shallow-water hard substrata withstands wave stress beyond predictions ». *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 180 : 114-122.
- MTES, 2018 - Évaluation environnementale stratégique des stratégies maritimes de façades Rapport environnemental soumis à consultation, Novembre 2018, Façade Méditerranée. Ministère de la Transition Écologique et Solidaire, sous-direction de la protection et de la restauration des écosystèmes littoraux et marins : 66p.
- Pergent, G., 1990 - Lepidochronological analysis of the seagrass *Posidonia oceanica* (L) Delile - a standardized approach. *Aquatic Botany*, 37 : 39–54.
- Pergent, G., Barralon, E., Clabaut, P., Monnier, B., Pergent-Martini, C., 2018 - Inventaire, caractérisation et conservation des puits de Carbone Bleu du littoral oriental de la Corse : Campagne CARBONSINK. Compte rendu de mission. Université de Corse, FRES 3041 : 1-12.
- Pergent, G., Monnier, B., Clabaut, P., Gascon, G., Pergent-Martini, C., Valette-Sansevin, A., 2017 - Innovative method for optimizing Side-Scan Sonar mapping: The blind band unveiled. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 194: 77-83.
- Pergent, G., Pergent-Martini, C., 1990 - Some applications of lepidochronological analysis in the seagrass *Posidonia oceanica*. *Botanica Marina*, 33 (4) : 299-310.
- Pergent-Martini, C., 2018 - Compte-rendu Mission océanographique du 28 au 31 mai 2018. Programme INTERREG- MARITTIMO « GIREPAM » : 4p.
- RNBB, 2019 - La gestion de la fréquentation de l'île Lavezzi (RNBB) : synthèse des connaissances et actions prévues pour le plan de gestion 2019. Service « Espaces Protégés » février 2019 : 11p.

- Tomasello, A., Perrone, R., Colombo, P., Pirrotta, M., Calvo, S., 2018 - Root hair anatomy and morphology in *Posidonia oceanica* (L.) Delile and substratum typology: First observations of a spiral form. *Aquatic Botany*, 145: 45-48.
- Valette-Sansevin, A., 2018 - Changement climatique : Caractérisation des puits de carbone liés aux herbiers de magnoliophytes marines de la Corse. Thèse Université de Corse Pascal Paoli, Corte : 184p + Annexes.
- Vela, A., Leoni, V., Pergent, G., Pergent-Martini, C., 2006 - Comparison of primary production of *Posidonia oceanica* insular meadows versus continental meadows. In "Mediterranean Seagrass Workshop", May 29 – June 3, Marsascala, Malta: 112.