

Document public



Document public

Diagnostic géomorphologique des plages de Balistra et de La Rondinara en Corse-du-Sud (commune de Bonifacio)

Rapport final

BRGM/RP-69317-FR
Septembre 2019

Étude réalisée dans le cadre de la convention d'application 2017
entre le BRGM et l'OEC

A-E. Paquier, J. Mugica
Avec la collaboration de
M.Puichafray et F.Koechler

Vérificateur :

Nom : Cyril Mallet

Fonction : Expert Littoral

Date : 17/12/2019

Signature :



Approbateur :

Nom : Anthony Rey

Fonction : Directeur régional BRGM
Corse

Date : 06/01/2020

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement
est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Plage de poche, Géomorphologie, Érosion marine, Banquettes de posidonie, Corse-du-Sud.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Paquier A-E., Mugica J. avec la collaboration de **Puichafra M., Koechler F.** (2019) - Diagnostic géomorphologique des plages de Balistra et de La Rondinara en Corse-du-Sud (commune de Bonifacio). Rapport final. BRGM/RP-69317-FR, 60 p., 32 fig., 3 tabl., 1ann.

Synthèse

À la demande de l'Office de l'Environnement Corse (OEC), cette étude vise à réaliser un diagnostic géomorphologique de la plage de Balistra située dans le Golfe de Sant'Amanza sur la façade sud-est de la Corse et de la plage de La Rondinara située au nord de ce même golfe (commune de Bonifacio). Ces deux plages qui présentent des contextes géomorphologiques, hydro-sédimentaires différents et une anthropisation différente, sont toutes deux exposées à une problématique de gestion des banquettes de posidonie. C'est pourquoi, une étude pluridisciplinaire et comparative de ces deux environnements situés à proximité, a été initiée par l'OEC dans le cadre du projet Interreg GIREPAM (Gestion intégrée des réseaux écologiques à travers les parcs et les aires marines, <http://interreg-maritime.eu/fr/web/girepam/projet>).

Ce présent diagnostic géomorphologique s'appuie sur l'ensemble des données disponibles sur ces 2 plages (images aériennes de l'IGN, position des traits de côte digitalisées et levés DGPS). Des acquisitions et analyses complémentaires ont été réalisées (juin 2019) spécifiquement pour cette étude : mesures topographiques pour la production de Modèles Numériques de Terrain, analyses granulométriques et analyses diachroniques des traits de côte.

Les principaux résultats du diagnostic géomorphologique réalisé par le BRGM au droit de ces 2 plages sont les suivants :

- **la plage de Balistra est une flèche sableuse peu anthropisée fermant l'étang éponyme.** Elle est suivie depuis 2002 par le BRGM dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral (ROL). Bien qu'une **relative stabilité géomorphologique** caractérise l'ensemble de ce site et que la flèche sableuse au nord présente une variabilité assez importante, le site semble **légèrement plus exposé aux phénomènes d'érosion marine au sud qu'au nord**. Le secteur Sud a une granularité plus grossière et une pente plus importante que le secteur Nord. Ces constats témoignent de **conditions hydrodynamiques plus fortes dans le secteur Sud**. Cela dit, la pente, et particulièrement la granularité, peuvent changer rapidement et ne peuvent être considérées comme le reflet long terme de la dynamique de la plage. Il est aussi fort possible que les sédiments les plus fins se déplacent le long du cordon en fonction de la direction des vagues (houles et vagues de vent) dans une logique de **rotation de plage, offrant une probable capacité de résilience en cas d'épisode érosif** ;
- **La Rondinara est une plage de poche sableuse située dans le golfe portant le même nom.** Beaucoup plus anthropisée que Balistra, elle n'est pas suivie dans le cadre du ROL. L'analyse de l'évolution géomorphologique n'a donc pu être menée avec la même précision que pour Balistra. La digitalisation des photographies aériennes de l'IGN a néanmoins permis de dégager une **tendance au recul lent du trait de côte et à mettre en évidence une sensibilité à l'érosion marine**. Cependant, comprises dans la gamme de précision de la méthode et des données, les valeurs de recul sont à exploiter avec prudence. L'étude de la plage actuelle a permis d'établir que les secteurs Sud et Nord sont certainement soumis à des conditions hydrodynamiques plus fortes que le secteur Centre, sauf lors d'événements de tempêtes très importants susceptibles d'impacter tout le site. Le transfert des sédiments les plus grossiers au nord sont limités vers les autres secteurs (granularité beaucoup plus fine) en raison de la présence d'affleurement rocheux.

Les données existantes et disponibles (mesures DGPS du ROL + images aériennes de l'IGN) ainsi que les données spécifiquement acquises dans le cadre de la présente étude (topographie haute-résolution + granulométrie) ont permis de compléter et d'**actualiser les portraits géomorphologiques des plages de Balistra et de La Rondinara**. Les secteurs

les plus sensibles vis-à-vis de l'érosion marine, les secteurs les plus exposés aux fortes conditions hydrodynamiques ou bien au contraire les secteurs abrités, les zones du cordon sableux les plus basses, etc. ont été identifiés. Ces **informations sont primordiales pour la gestion de la plage notamment vis-à-vis de la problématique des banquettes de posidonie en période estivale** (zone de prélèvement et déplacement, zone de stockage des feuilles mortes, moyens mécaniques et humains à employer, etc.).

Pour La Rondinara, ce diagnostic représente un état « initial » de la situation qui permettra la poursuite des mesures avec la mise en place d'un suivi dans le cadre du ROL par exemple. Pour chacune des deux plages, ce diagnostic permettra, si l'OEC le souhaite, la poursuite d'un **suivi adapté à la problématique des banquettes de posidonie avec la comparaison de l'impact de différents modes de gestion** (volumes déplacés, zone stockage, moyens employés, etc.). Des moyens supplémentaires techniques (e.g. : système de caméra) et humains (observateurs, fiche de plages) peuvent être envisagés si nécessaires afin d'améliorer la connaissance de la dynamique des banquettes sur ces deux plages et des impacts des tempêtes.

Enfin, **la caractérisation du mode de fonctionnement hydro-sédimentaire essentielle pour la gestion de la bande côtière, pourrait être améliorée par une connaissance de la dynamique marine à l'échelle du Golfe plus fine ainsi que par la propagation des forçages marins jusqu'aux deux plages.** Pour cela, des acquisitions de données hydrodynamiques et topo-bathymétriques à haute fréquence spatiale et temporelle ainsi que des modélisations numériques sont nécessaires.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Description générale des sites d'étude	11
2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE.....	11
2.2. CONTEXTE RÉGIONAL	11
2.2.1.Contexte géologique et morfo-sédimentaire.....	11
2.2.2.Contexte météo-marin	13
2.3. LE SITE DE BALISTRA	17
2.3.1.Contexte bio-géomorphologique	17
2.3.2.Influence météo-marine locale	19
2.3.3.Anthropisation.....	19
2.3.4.Potentiel d'apports sédimentaires	20
2.4. LE SITE DE LA RONDINARA	21
2.4.1.Contexte bio-géomorphologique	22
2.4.2.Influence météo-marine locale	23
2.4.3.Potentiel d'apports sédimentaires	24
2.4.4.Anthropisation.....	24
3. Évolution des profils de plage et des traits de côte.....	25
3.1. BALISTRA	25
3.1.1.Méthodologie	25
3.1.2.Évolution des profils topo-bathymétriques.....	25
3.1.3.Évolution des traits de côte	29
3.2. LA RONDINARA	33
3.2.1.Méthodologie	33
3.2.2.Profils de plage	34
3.2.3.Évolution du trait de côte.....	34
4. Fonctionnement morfo-sédimentaire récent.....	37
4.1. MÉTHODOLOGIE.....	37
4.1.1.Modèle numérique de terrain (MNT)	37
4.1.2.Granulométrie des sédiments	37
4.2. BALISTRA	38
4.2.1.Topographie du site	38
4.2.2.Granularité des sédiments	40
4.3. LA RONDINARA	41
4.3.1.Topographie du site	41

4.3.2. Granularité des sédiments	42
5. Bilan sur le fonctionnement hydro-morphosédimentaire.....	43
5.1. RAPPEL DES POINTS CLÉS DE LA DESCRIPTION DES SITES	43
5.2. GRANDS TRAITs DE CARACTÉRISATION DU FONCTIONNEMENT HYDRO- SÉDIMENTAIRE DES DEUX SITES.....	47
5.2.1. Fonctionnement hydro-sédimentaire de Balistra	47
5.2.2. Fonctionnement hydro-sédimentaire de La Rondinara.....	47
6. Conclusion.....	49
7. Bibliographie	51

Liste des figures

Figure 1 : Localisation des sites de Balistra et de La Rondinara.....	10
Figure 2 : Localisation des sites de Balistra et de La Rondinara. Localisation des profils de plage suivi dans le cadre du ROL à Balistra (en rouge sur la carte de gauche) et dans le cadre de cette étude à La Rondinara (en rouge sur la carte de droite).....	11
Figure 3 : Géologie de la zone d'étude (source : Carte géologique de la France 1/250 000, 44/45, éditions BRGM). Les terrains aux teintes rougeâtres sont les granites d'âge hercynien et les terrains en beige clair sont les calcaires du miocène, ces derniers sont cantonnés au sud-ouest de la carte.....	12
Figure 4 : Répartition des vents dominants en Corse.....	13
Figure 5 : Rose des vents calculée au large de Lecci entre 1979 et 2010 (source : NWW3 MED de la NOAA).....	15
Figure 6 : Rose des vagues calculée au large de Lecci entre 1979 et 2010 (source : NWW3 MED de la NOAA).....	15
Figure 7 : Directions des houles dominantes et propagation dans le Golfe de Sant'Amanza.....	16
Figure 8 : Bathymétrie (Mugica <i>et al.</i> , en cours ; carte de droite), nature des fonds (Buron <i>et al.</i> , 2012 ; carte de gauche).....	18
Figure 9 : Feuilles éparses de posidonie sur la flèche sableuse (secteur nord, à gauche) et amas de sable mélangé à des feuilles (secteur sud, à droite).....	19
Figure 10 : Photographies aériennes (IGN) de la partie aval du Francolu entre 1952 et 2016.....	21
Figure 11 : a. banquettes de posidonie résiduelles au sud de La Rondinara ; b. feuilles éparses dans la partie Centre de La Rondinara ; c. faible quantité de débris végétaux sur la plage dans le secteur Nord ; ils sont plus grossiers (faisceaux). On note également la différence de granularité entre les trois secteurs. Les sédiments au nord paraissent beaucoup plus grossiers. Le détail de la méthodologie et des résultats de mesures granulométriques sont présentés et détaillés dans la partie 3.2.....	23
Figure 12 : Refraction des houles de nord-est provenant de la mer ouverte autour de la Punta di Prisarella se propageant dans La Rondinara (la flèche blanche caractérise l'orthogonale moyenne de la propagation des houles).....	23
Figure 13 : Évolution du profil Nord du site de Balistra.....	26
Figure 14 : Plage de Balistra, prise de vue depuis le nord du cordon dunaire.....	27
Figure 15 : Évolution du profil Sud du site de Balistra.....	28
Figure 16 : Évolution du trait de côte bas du site de Balistra en 2018 et 2019.....	29
Figure 17 : Évolution du trait de côte bas du site de Balistra depuis 2002. L'amplitude de l'évolution est représentée par les cercles violets.....	30
Figure 18 : Évolution du trait de côte haut du site de Balistra en 2018 et 2019.....	31
Figure 19 : Évolution du trait de côte haut du site de Balistra depuis 2002.....	32
Figure 20 : Profils de plage mesurés dans les secteurs Nord (rouge), Centre (bleu) et Sud (vert) sur la plage de La Rondinara le 20/06/2019. Fond : Lidar 2013, IGN.....	34
Figure 21 : Évolution des traits de côtes bas digitalisés sur photos aériennes (IGN) entre 2007 et 2016.....	35
Figure 22 : Évolution des traits de côtes digitalisés sur photos aériennes (IGN) entre 1952 et 2016.....	36
Figure 23 : Acquisition de données le long de la plage de Balistra pour la réalisation d'un MNT (1001 points GPS mesurés). Le gradient de couleur représente la variation d'altitude allant du moins élevé (vert) au plus élevé (rouge). (Puichafray, 2019).....	37
Figure 24 : Topographie de la plage émergée de Balistra et granularité des sédiments de surface en pied de dune, sur la berme et sur la plage immergée le long des profils suivis.....	39

Figure 25 : Topographie de la plage émergée de La Rondinara et granularité des sédiments de surface en pied de dune, sur la berme et sur le bas de plage le long des profils mesurés.	41
Figure 26 : Profil Type Méditerranéen.....	54
Figure 27 : Méthodologies des mesures réalisées dans le cadre du ROL.	55
Figure 28 : Mesure du profil topographique au DGPS (a), mesure du profil bathymétrique au sondeur mono-faisceau couplé au DGPS (b), (ROL/BRGM).	56
Figure 29 : Levé du trait de côte bas à pied.	56
Figure 30 : Représentation graphique des différents levés d'un profil de plage. Le dernier levé apparaît en noir (ici le 23/10/2017), l'avant dernier levé apparaît en rouge (ici le 20/09/2013).....	58
Figure 31 : A : représentation des évolutions récentes du trait de côte entre les deux dernières campagnes. B : représentation des taux d'évolution du trait de côte sur l'ensemble de la période d'observations du ROL.....	59
Figure 32 : Catalogue des traits de côte disponible sur http://www.littoral-corse.fr/	60

Liste des tableaux

Tableau 1 : Données utilisées dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de La Rondinara.....	33
Tableau 2 : Classes granulométriques et tailles des sédiments associés.....	38
Tableau 3 : Critères caractérisation du fonctionnement hydro-morphodynamique des sites de Balistra et de La Rondinara.	46

Liste des Annexes

Annexe 1 : Principes généraux de la méthode d'acquisition.....	53
--	----

1. Introduction

Dans un contexte de changement climatique et de volonté de l'OEC de mettre en place une stratégie de gestion des problématiques côtières, (érosion marine, de l'échelle locale à l'échelle de la Corse), la connaissance des évolutions géomorphologiques et des mécanismes qui les contrôlent est essentielle pour faciliter la prise de décision en matière de nettoyage de plage, de gestion des banquettes de posidonie, d'aménagement de structures de protection côtières et/ou de gestion des sédiments.

Grâce aux suivis réalisés dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral de Corse (ROL), les tendances d'évolution géomorphologique ainsi que les modes de fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire ont pu être mis en évidence sur l'ensemble des plages suivies et font l'objet de rapports réguliers et diffusés sur le site internet (<http://www.littoral-corse.fr/>). Cependant, afin de répondre à des questions spécifiques sur certaines plages telles que la gestion des banquettes de posidonie par exemple, des acquisitions de données complémentaires (résolution spatiale et temporelle plus fine) ainsi que des analyses plus approfondies sont parfois nécessaires.

Ainsi, à la demande de l'Office de l'Environnement Corse (OEC), cette présente étude vise à actualiser et approfondir le diagnostic géomorphologique de la plage de Balistra située dans le Golfe de Sant'Amaza et de la plage de La Rondinara située au nord de ce même golfe. Ces deux plages situées sur la commune de Bonifacio sur la façade sud est de la Corse (Figure 1) présentent chacune des spécificités liées notamment à des contextes géomorphologiques et hydro-sédimentaires différents. D'autre part, ces deux plages présentant une anthropisation différente (La Rondinara étant beaucoup plus urbanisée et fréquentée que Balistra) sont toutes deux exposées à une problématique de gestion des banquettes de posidonie. C'est pourquoi une étude pluridisciplinaire et comparative de ces deux environnements situés à proximité, a été initiée par l'OEC dans le cadre du projet Interreg GIREPAM (Gestion intégrée des réseaux écologiques à travers les parcs et les aires marines, <http://interreg-maritime.eu/fr/web/girepam/projet>).

Ce présent diagnostic géomorphologique a pour objectif de fournir des éléments de connaissances nécessaires à la gestion des banquettes de posidonie (morphologie du cordon sableux, identification de zones abritées et/ou exposées à la houle, exposition à l'érosion marine, mode de fonctionnement hydro-sédimentaire, etc.). Il représente également une actualisation de l'état des connaissances afin de mettre en place un suivi de l'impact de la gestion des banquettes si nécessaire (estimation des tendances d'évolution passées de la géomorphologie du cordon sableux et de la position du trait de côte).

Pour cela, il s'appuie sur plusieurs références bibliographiques citées dans ce rapport ainsi que sur l'ensemble des données disponibles (images aériennes de l'IGN et position du trait de côte digitalisées depuis 1948 ainsi que les levés DPGS du ROL depuis 2002 uniquement pour Balistra). De plus, des mesures de terrain et analyses complémentaires ont été spécifiquement réalisées pour cette étude :

- levés topo-bathymétriques (DGPS et sondeur multifaisceau) les 19 et 20 juin 2019 ;
- production de Modèles Numériques de Terrain (MNT) ;
- analyses granulométriques de plusieurs échantillons de sables prélevés sur la plage ;
- analyses diachroniques des évolutions passées (traits de côte et profils du cordon sableux).

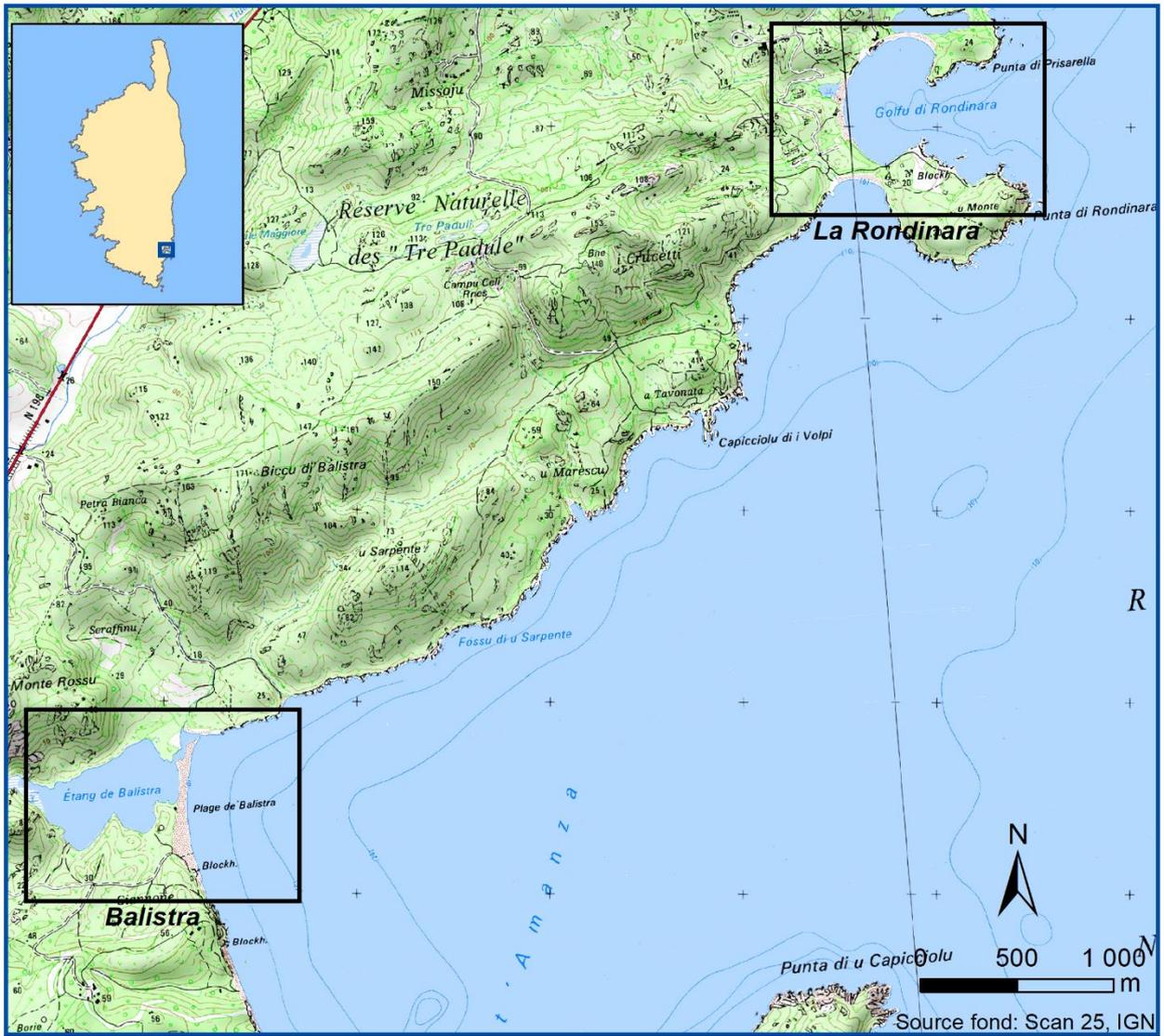


Figure 1 : Localisation des sites de Balistra et de La Rondinara.

2. Description générale des sites d'étude

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

Les sites de Balistra et de La Rondinara sont tous deux situés sur la façade sud-est de la Corse. Alors que le site de Balistra est situé en fond du Golfe de Sant'Amanza, le site de La Rondinara est situé directement au nord de ce même golfe.

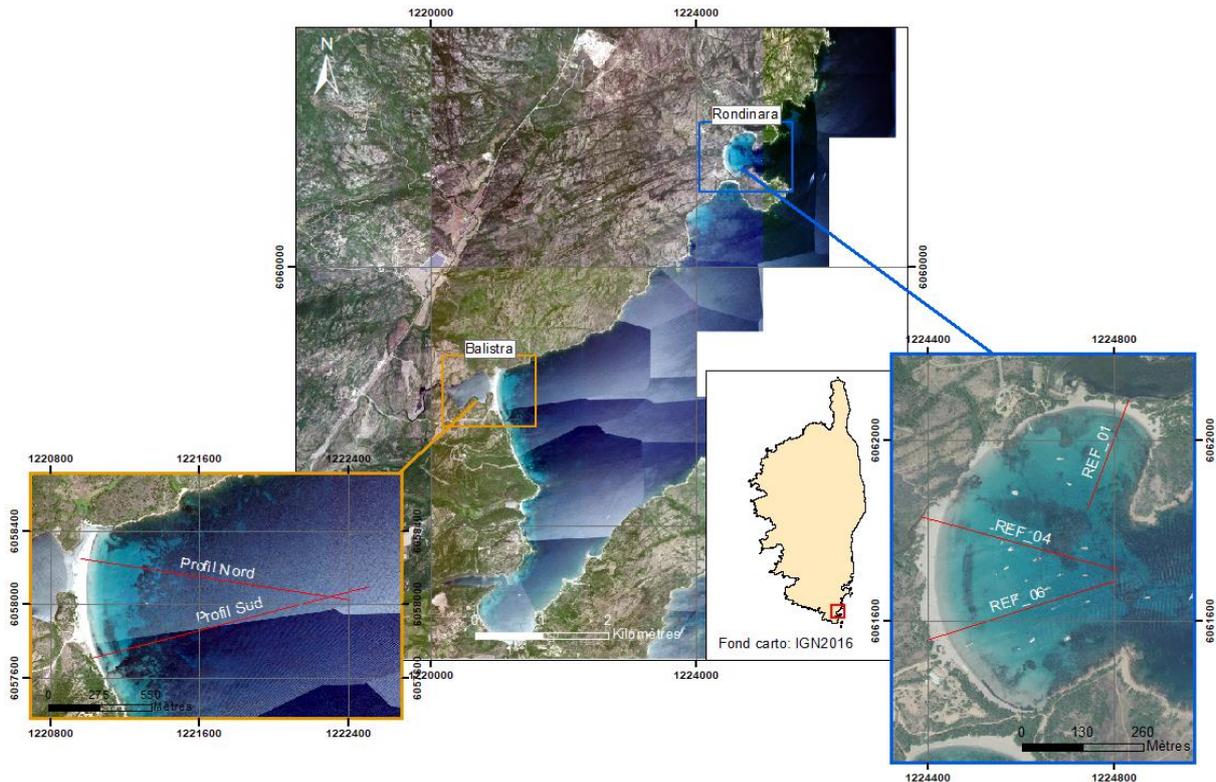


Figure 2 : Localisation des sites de Balistra et de La Rondinara. Localisation des profils de plage suivis dans le cadre du ROL à Balistra (en rouge sur la carte de gauche) et dans le cadre de cette étude à La Rondinara (en rouge sur la carte de droite).

2.2. CONTEXTE RÉGIONAL

2.2.1. Contexte géologique et morpho-sédimentaire

Le littoral du sud-est de la Corse constitue la jonction entre le cordon littoral meuble de la Plaine Orientale et la côte rocheuse méridionale. Le secteur est principalement constitué de granites hercyniens. Des calcaires Miocène constituent notamment le cap « Rocchi Bianchi » et le fond du golfe de Sant'Amanza (c'est le même calcaire qui forme les falaises de Bonifacio, Figure 3).

La nature granitique de cette portion du littoral Corse a engendré la formation d'un littoral dentelé majoritairement rocheux en alternance avec des plages situées entre deux caps, dites « plages de poches » (*pocket beaches*, Belon and Bodéré, 2016). Leur largeur va de quelques dizaines de mètres à plusieurs kilomètres, jusqu'à former de larges baies.

Le transfert sédimentaire entre ces plages est généralement limité et dépend de la géométrie des caps, et de leur position plus ou moins proéminente vers le large. Les événements tempétueux les plus puissants sont responsables des transferts sédimentaires inter-plages (Belon and Bodéré 2016).

2.2.2. Contexte météo-marin

Régime climatique global

Les vents ont une action majeure sur la dynamique sédimentaire du littoral, car ils sont responsables de la génération de la houle au large et de vagues de vent localement. La Corse, de par sa position géographique, est sujette à un régime de vent réputé violent avec des changements de directions fréquents et brutaux. Les vents dominants sont (Stepanian *et al.* 2011) :

- U Libecciu (le Libeccio), vent violent de secteur ouest à sud-ouest, il touche particulièrement la façade ouest de l'île. En hiver, il est généralement accompagné de fortes précipitations alors qu'en été, il est associé à un temps doux et sec ;
- U Maestrale (le Mistral), vent de secteur nord-ouest, particulièrement intense et sec en été. Il touche la partie occidentale de la Corse ;
- A Tramontana (la Tramontane), vent de secteur nord à nord-est violent et froid. En hiver, il est responsable d'un climat humide et froid ;
- U Grecale (le Grec), vent d'est qui accompagne de très fortes précipitations sur la façade occidentale de l'île ;
- U Levante (le Levant) vent de secteur est à nord-est. Il peut être très violent pendant la période hivernale ;
- U Sirocco, vent de secteur sud à sud-est, chaud et humide. Il est souvent convoyeur de poussières venues d'Afrique du Nord (Figure 4).

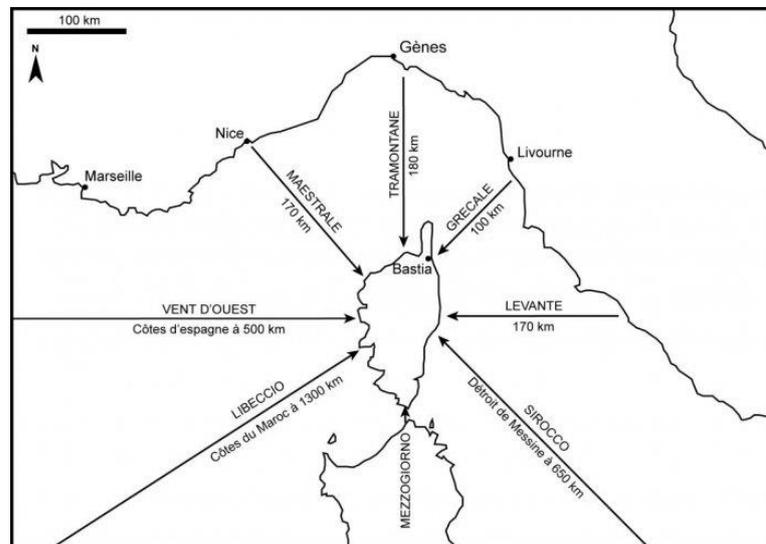


Figure 4 : Répartition des vents dominants en Corse.

D'autre part, le secteur des bouches de Bonifacio est réputé particulièrement venteux en raison de l'effet venturi généré par l'espace restreint entre le Corse et la Sardaigne. Ainsi, le vent y souffle 300 jours par an et des records sont régulièrement enregistrés au Cap-Pertusato (par exemple 187 km/h le 29 octobre 2018 pendant la tempête Adrian).

Concernant le secteur de l'étude en particulier, les vents sont assez irréguliers. Le vent dominant reste le Libeccio (sud-ouest) toute l'année mais avec une influence très limitée sur le littoral qui est protégé des houles en provenance de cette direction. En revanche, les vents de secteur est sont moins fréquents.

Caractéristiques générales des tempêtes

Sur la côte Est de la Corse, les principales tempêtes génératrices de dommages sur le littoral (associées à des surcotes du niveau moyen de la mer) proviennent du sud-est. Schématiquement, lorsqu'un anticyclone est situé sur le Nord de l'Europe et qu'une dépression se forme sur la Méditerranée, ou remonte vers le nord depuis les côtes nord-africaines, le vent souffle sur la mer Tyrrhénienne. Ce vent est canalisé entre la Corse et l'Italie dans le canal de Corse et s'amplifie par effet Venturi¹. Ce type d'évènement amène une masse d'air chaud et humide sur la façade orientale de l'île et induit des pluies diluviennes sur l'est (aussi appelés évènement méditerranéen) et un effet de Foehn² sur la façade ouest (Stepanian *et al.* 2011).

Des tempêtes en provenance du sud-ouest peuvent également toucher l'est de la Corse. Ce sont les tempêtes les plus violentes atteignant l'île, généralement très creuses en terme barométrique (inférieures à 990 hPa), elles se forment ou se régénèrent sur la Méditerranée occidentale en provenance de l'Atlantique et se déplacent d'ouest en est (Stepanian *et al.* 2011).

La Figure 5 présente la rose des vents provenant de la base de données NWW3 Méditerranée (NWW3 MED, <https://polar.ncep.noaa.gov/waves/hindcasts/nopp-phase2.php>) pour un point d'extraction au large de Lecci de 1979 à 2010.

Contexte océanographique

En Méditerranée, la marée est de type micro-tidal³. D'après le SHOM⁴ (2016) avec un marnage de 0.2 m en mortes-eaux⁵ à 0.4 m en vives-eaux⁶. Dans le quart sud-est de la Corse, les conditions de vagues sont en moyenne relativement peu énergétiques : H_s^7 : 0.5m et T_p^8 : 4s (moyennes issues de la base NWW3 MED en un point sur la période 01 janvier 1979 au 01 janvier 2010), mais soumises à une forte saisonnalité avec des tempêtes violentes en hiver et des valeurs de H_s dépassant 3 m presque chaque hiver. La direction principale des vagues est sud-est, suivie par la direction nord-est avec des vagues généralement moins puissantes (Figure 5).

Les sites du Golfe de Sant'Amanza sont donc potentiellement impactés par ces vagues. En effet, les houles de nord-est se propagent directement dans la baie et les houles de sud-est peuvent réfracter autour de la Punta di u Capicciolu et entrer dans le golfe (Figure 6).

¹ Effet Venturi : Processus en dynamique des fluides d'accélération des particules dans un espace restreint.

² Effet de foehn : Phénomène météorologique caractérisé par de fortes précipitations sur le versant de la montagne situé au vent et par un vent chaud et sec sur l'autre versant de la montagne.

³ Milieu micro-tidal : milieu où le marnage est inférieur à 2 mètres, caractéristique des mers fermées.

⁴ Service Hydrographique et Océanographique de la Marine.

⁵ Morte-eau : marée où le coefficient est inférieur à 70.

⁶ Vive-eau : marée où le coefficient dépasse 70.

⁷ H_s : hauteur significative des vagues en mètre, elle représente la moyenne du tiers supérieur des vagues.

⁸ T_p : période de la houle en seconde.

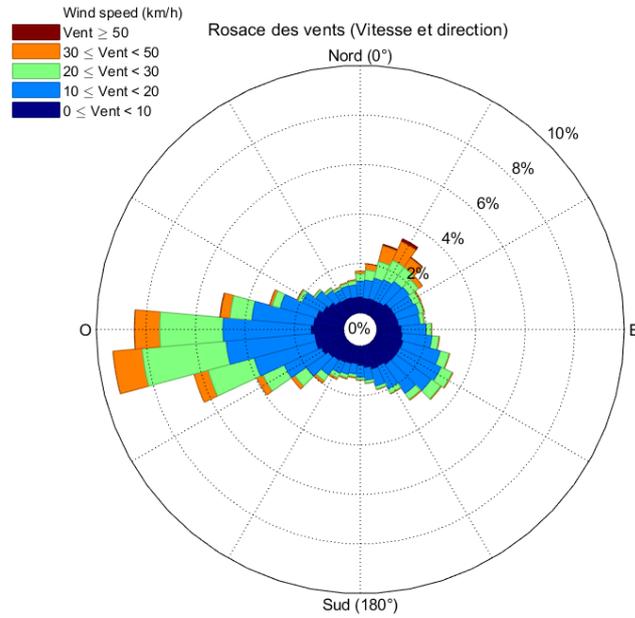


Figure 5 : Rose des vents calculée au large de Lecci entre 1979 et 2010 (source : NWW3 MED de la NOAA).

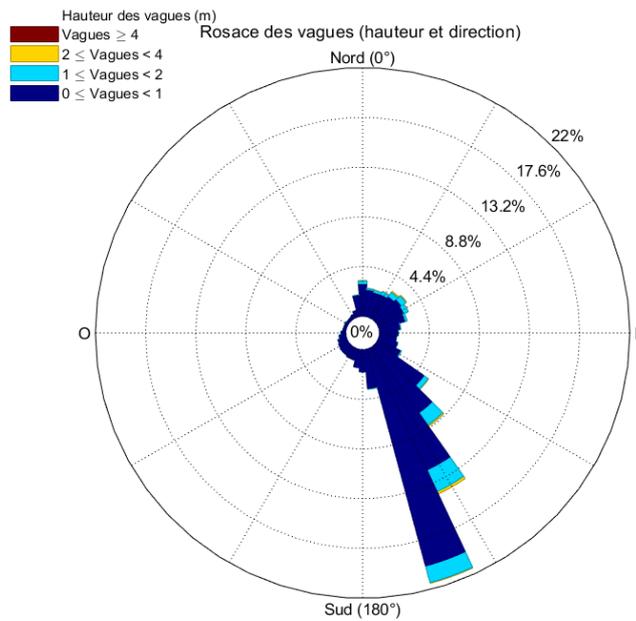


Figure 6 : Rose des vagues calculée au large de Lecci entre 1979 et 2010 (source : NWW3 MED de la NOAA).

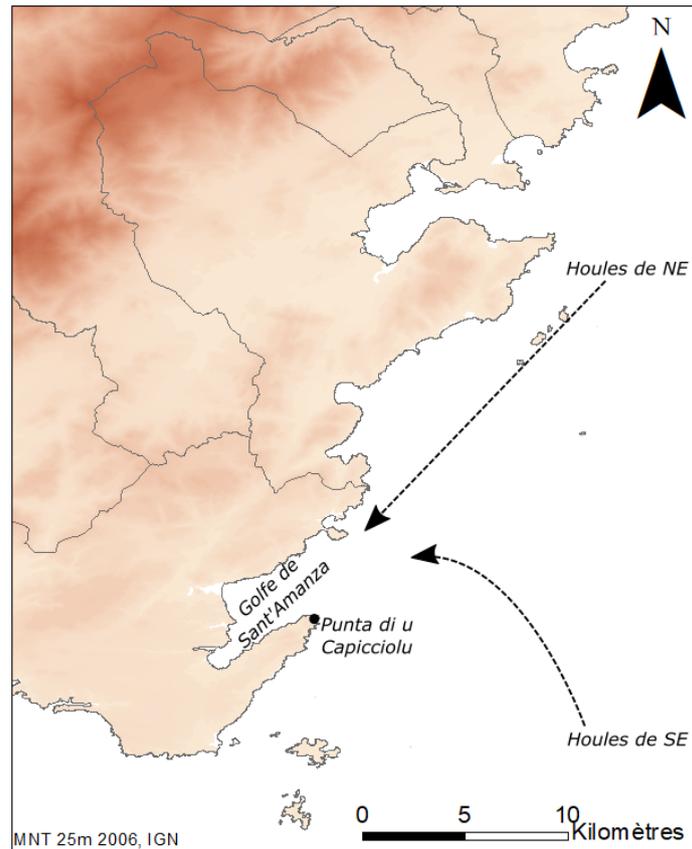


Figure 7 : Directions des houles dominantes et propagation dans le Golfe de Sant'Amanza.

Concernant les courants marins, peu de données existent sur les eaux bordants la Corse et elles restent très générales. Des courants de densité sont toutefois identifiés sur la façade orientale. Ces courants de profondeur sont engendrés par les différences de températures des masses d'eau. Ainsi, un courant de densité du nord vers le sud est identifié le long de la plaine orientale. Ce courant de « profondeur » longe la pente de la plateforme continentale et décroît rapidement à l'approche des côtes, son influence sur le littoral est négligeable (Pluquet F. 2006).

Par ailleurs, l'action des vagues sur le littoral en fonction de la direction par rapport à la côte induit un courant appelé dérive littorale. Sur les sites de Balistra et de La Rondinara, cellules sédimentaires quasi-closes (plages de poche), la dérive littorale est matérialisée par une rotation de plage qui est soumise à la direction principale de la houle. Par exemple, sur une plage de poche orientée nord-sud, des vagues provenant du secteur Nord engendreront un déplacement sédimentaire vers la portion Sud de la plage alors que des vagues provenant du sud entraîneront un déplacement vers le nord de la plage. Ces mouvements peuvent être très rapide, même dans une zone protégée tel que le Golfe de Sant'Amanza où des vagues de vent⁹ peuvent se développer et participer à ce phénomène de rotation de plage. Par ailleurs, les phénomènes de rotation de plage seront impactés par la présence d'obstacles au transfert sédimentaire, qu'ils soient naturels (affleurements rocheux) ou anthropiques (ouvrages), la modification du stock sableux (rechargements) ou par tout autre modification du système plage (prélèvements de banquettes par exemple).

⁹ Les vagues de vent sont les vagues développées localement, au sein de la mer de vent. Plus courtes, et souvent moins hautes que la houle, celle-ci peuvent tout de même atteindre des hauteurs significatives importantes et impacter la géomorphologie littorale, notamment dans les espaces littoraux assez grands pour permettre le développement d'une mer de vent et assez clos pour être protégés, au moins partiellement, des houles.

2.3. LE SITE DE BALISTRA

Depuis 1999, dans le cadre du partenariat entre l'Office de l'Environnement de la Corse (OEC) et le BRGM, un Réseau d'Observation du Littoral de la Corse (ROL) a été mis en place afin de fournir les données nécessaires :

- à la compréhension des modes d'évolution côtière des plages insulaires ;
- à la quantification des évolutions observées ;
- à l'identification d'éventuelles solutions de protection possibles.

Ce réseau constitue une base de données permettant un suivi global et représentatif du littoral corse, avec un total de 17 sites de suivi : 15 sites en partenariat avec l'Office de l'Environnement de Corse et 2 sites en partenariat avec la Communauté d'Agglomération du Pays d'Ajaccien.

Dans ce cadre, **le site de Balistra est suivi depuis 2002.**

2.3.1. Contexte bio-géomorphologique

La plage de Balistra est située dans le fond du Golfe de Sant'Amanza, sur la commune de Bonifacio (12.4 km au N-E de la ville). Elle est orientée NNO-SSE et est ouverte sur le golfe (Figure 8). Au droit de la plage, la pente du golfe est constante et modérée (environ 2.2 % sur le 1^{er} km) et s'adoucit vers le large (1.3 % sur 4 km). La bathymétrie en entrée de golfe atteint -45 m NGF (Mugica *et al.*, en cours).

D'après la cartographie des plates-formes sous-marines de la Corse disponible sur le serveur wms public de l'Ifremer (thématique biologie marine, entre 0 et 100 m de profondeur), les fonds du golfe sont constitués de roches affleurantes, de sables (fins, moyens et grossiers) et, entre 20 et 35 m de profondeur, d'une bande de vase orientée NNE-SSO. Les fonds de l'étang de Balistra, en arrière de la flèche, sont constitués de sables et graviers.

La cartographie de l'herbier de posidonie réactualisée en 2012 dans le cadre des inventaires biologiques du Site Natura 2000 par l'Agence des Aires Marines Protégées (AAMP) avec les bureaux d'études EVEMar, Sintinelle et le laboratoire Stareso (Buron *et al.*, 2012), est représentée sur la Figure 8. Au droit du site de Balistra, l'herbier de *Posidonia oceanica* est présent à partir de 6 m de profondeur (voire 5 m au centre de la plage) jusqu'à une profondeur de 30 à 35 m.

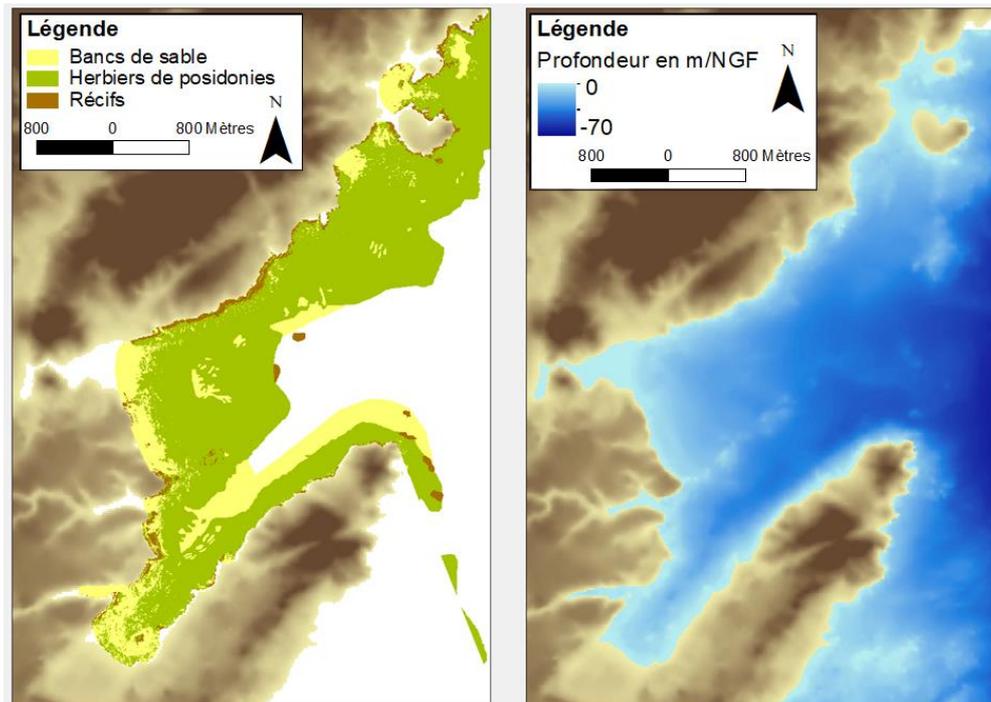


Figure 8 : Bathymétrie (Mugica et al., en cours ; carte de droite), nature des fonds (Buron et al., 2012 ; carte de gauche).

Le site de Balistra est une flèche sableuse longue de 900 m qui s'est développée en appui sur une falaise rocheuse du SSO vers le NNO. Une forme assimilable à une dune se développe en partie centrale de la flèche. Occupée par une végétation de faible densité, elle atteint une hauteur décimétrique dans la partie nord de la plage et une hauteur métrique dans la partie sud.

Ce site peut donc être séparée en deux secteurs :

- le secteur Sud, adossé à une falaise et à une butte végétalisée, est situé au sud de l'étang de Balistra. Ce secteur est long de 540 m ; sa largeur a varié entre 10 et 35 m entre 1996 et 2016. La dune, végétalisée et non mobile, y atteint une hauteur de 2 m ;
- le secteur Nord forme la partie libre de la flèche sableuse. Longue d'environ 350 m, elle sépare l'étang de Balistra du Golfe de Sant'Amanza. Ce dernier, alimenté par le cours d'eau du Francolu, communique avec la mer via un grau ouvert par intermittence au nord de la flèche. La partie libre de la flèche se développe sur une largeur variant de 40 à 75 m entre 1996 et 2016.

D'après un rapport d'Andromède de décembre 2019, relatif à la mise en évidence des effets de l'impact des ancrages de la grande plaisance sur les herbiers de Posidonie dans la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio, l'herbier au droit de Balistra est fortement impacté avec une surface de 28 ha d'herbier mort (77 ha d'herbier vivant) associée à un engorgement des fonds. Ce site est considéré particulièrement vulnérable et présente des zones de régression étendues (Buron et al., 2012).

Lors d'une mission de terrain, le 20 juin 2019, le BRGM a constaté que des feuilles de posidonie sont présentes tout le long de la plage mais sont mélangées aux sédiments de sorte qu'elles ne forment pas des banquettes à proprement parlé. Par endroit, les feuilles sont éparpillées. À d'autres, elles peuvent former des amas de sable et de feuilles pouvant atteindre une cinquantaine de centimètres (Figure 9).



Figure 9 : Feuilles éparses de posidonie sur la flèche sableuse (secteur nord, à gauche) et amas de sable mélangé à des feuilles (secteur sud, à droite).

2.3.2. Influence météo-marine locale

Les vents dominants (Figure 5) proviennent de l'ouest, puis du nord-est et enfin du sud-est. Des vagues de vents provenant du nord-est et du sud-est peuvent donc impacter le site. Les houles dominantes (Figure 6) proviennent principalement de sud-est et de nord-est. Le site de Balistra est protégé par sa situation de fond de Golfe mais doit cependant subir l'influence des événements de nord-est et éventuellement de sud-est. Les houles de sud-est peuvent en effet réfracter autour de la pointe de Capicciola et se propager dans le golfe (Figure 7).

Balistra étant une plage de poche, il semble difficile de voir s'y développer un courant de dérive littorale de grande ampleur (qui prendrait son origine au-delà de la cellule hydro-sédimentaire). Toutefois, un courant assimilable à une dérive littorale du sud vers le nord y est bien présent puisque la flèche sableuse s'est développée et maintenue. Il est aussi possible que Balistra soit influencée par un phénomène de rotation de plage. Des suivis topographiques à haute fréquence (saisonnier, voire avant et après plusieurs événements) seraient nécessaires pour évaluer ce phénomène qui peut être très rapide en fonction de l'alternance des changements de direction de vagues (houles et vagues de vent) et dont les effets sont majeurs sur la configuration géomorphologique de la plage.

2.3.3. Anthropisation

L'anthropisation reste limitée à la partie sud du site, elle se caractérise essentiellement par la fréquentation du public et la présence permanente d'un parking et d'une paillote. En comparant les photographies aériennes IGN entre 1951 et 2016, on note l'apparition puis l'élargissement et la multiplication des chemins d'accès au site. Entre 1962 et 1975, un chemin d'accès est créé et un parking apparaît au sud de la Dune. Plus tard, en 1985, une paillote apparaît au sud du lido. En 1996, celle-ci semble avoir été déplacée au sud de la dune.

2.3.4. Potentiel d'apports sédimentaires

Dynamique sédimentaire marine

La dynamique sédimentaire marine à l'échelle du golfe de Sant'Amanza est actuellement peu ou mal connue. Des investigations (suivi du prisme sédimentaire par des mesures géophysiques - sonar, sondages sismiques, etc. – et/ou des mesures hydrodynamiques) seraient nécessaires afin d'améliorer la connaissance de l'influence des forçages hydrodynamiques marins et de leurs variations saisonnières sur la dynamique sédimentaire de la plage. Les modifications du régime de vents et de houles ainsi que leurs interactions avec l'herbier de posidonie ont très certainement une influence sur la dynamique sédimentaire locale.

Apports fluviaux

Sur l'image aérienne de 1962, le Francolu semble pouvoir se déplacer latéralement sur une zone potentiellement large d'environ 80 à 100 m en amont de son embouchure (Figure 10). Celle-ci est réduite à 40 m de large lorsque le cours d'eau se redirige vers l'est car il est alors contraint par la topographie. Sur l'ensemble de cette dernière section, le cours d'eau présente des bancs de sédiments (sables et graviers d'après les données du serveur wms public d'Ifremer, Figure 8), notamment à l'embouchure. On y retrouve une forme pro-deltaïque immergée (amas de sédiments à l'entrée dans la lagune dû à la perte d'énergie du cours d'eau). Au fil des ans, le lit de la rivière semble stable et les différents bancs ne sont apparemment pas ou peu mobilisés. Ils tendent même à se végétaliser jusqu'en 1996. Entre 1996 et 2002, les bancs situés à l'embouchure du Francolu sont érodés et la végétation sur l'ensemble de la bande active régresse, ce qui semble correspondre à une crue. Depuis, les bancs sont stables spatialement et tendent à se végétaliser. Le Francolu peut donc être une source exceptionnelle de sédiments pour l'étang de Balistra. Cependant, les sédiments que le Francolu fournit à l'étang lors de ce type d'événement ne seront pas nécessairement transférés à la plage. En effet, si l'on considère :

(1) d'une part, l'étendue très limitée de l'étang de Balistra (480 m maximum dans l'axe N-S et 650 m max dans l'axe E-O) qui ne permet pas réellement le développement de vagues de vent et de courants de dérive littorale significatifs ;

(2) et d'autre part, la faible, voire inexistante, apparente évolution des berges de l'étang entre 1952 et 2016 qui pourrait témoigner d'un transport sédimentaire significatif le long de ses côtes ;

alors, il est probable que les apports du Francolu ne contribuent que très peu à l'alimentation de la plage actuelle. Des mesures *in situ* lors d'une crue serait donc intéressante à mener pour évaluer les apports du cours d'eau et leur transport jusqu'à la plage. L'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure fermement sur ce point.

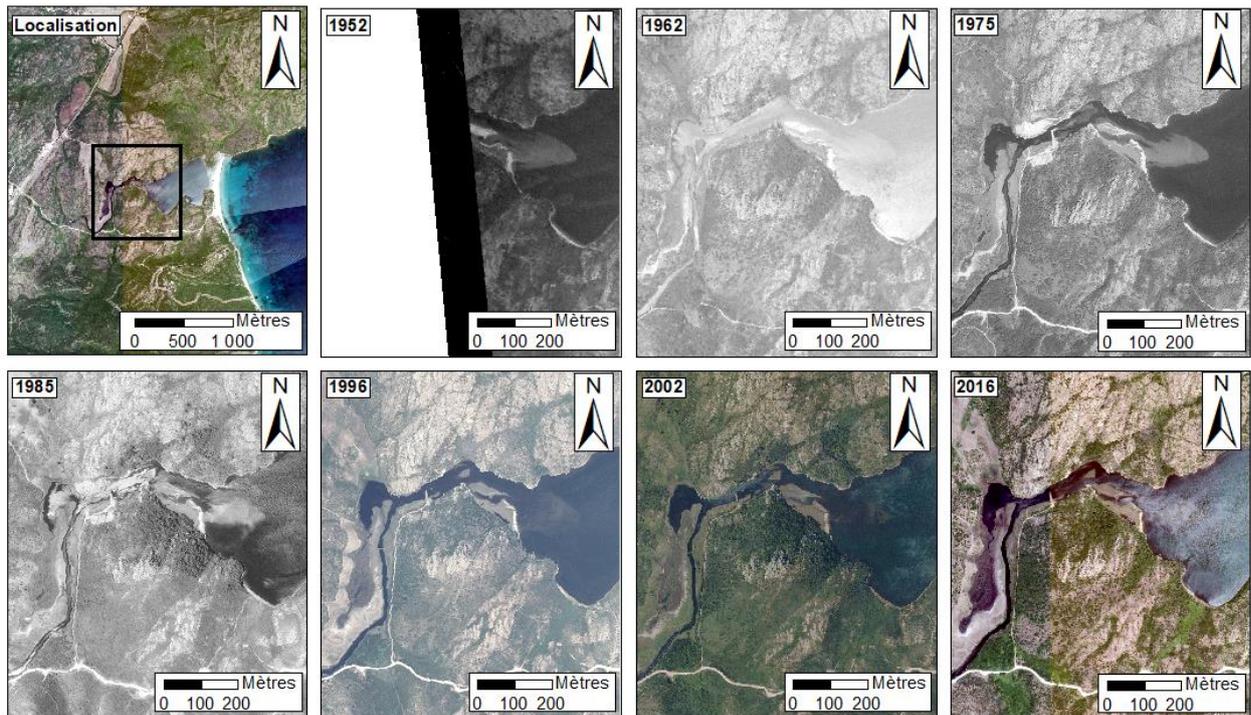


Figure 10 : Photographies aériennes (IGN) de la partie aval du Francolu entre 1952 et 2016.

Apports en sédiments locaux

Il est possible que l'érosion des falaises et affleurement rocheux en granodiorites à biotite et amphibole fournissent en continu, grain après grain, mais très lentement (échelle des temps géologiques) des sédiments à la plage. Le sable présent sur la plage est donc en grande partie hérité du bassin versant adjacent (formation quaternaire).

D'autre part, l'herbier de posidonie représente une source de sédiments biogéniques. Cependant, à notre connaissance, il n'existe pas de donnée sur la fraction de ces sédiments composant la plage de Balistra. L'évolution à tendance régressive de cet herbier très vulnérable (zone de destruction associée à un envasement, Andromède, 2019) est susceptible d'impacter les apports en sédiments biogéniques. Une évaluation de cette composante biogénique dans les sédiments à différentes saisons et en différents points pourrait être envisagée.

2.4. LE SITE DE LA RONDINARA

La plage de La Rondinara, comme la plage de Balistra, a fait l'objet d'une étude diachronique de trait de côte sur la base de photographies aériennes menée par le BRGM en 1998 (Delpont *et al.* 1998). À l'époque, la plage montrait une tendance à l'érosion dans sa partie Nord ; ces résultats étaient cependant soumis à caution compte-tenu de la marge d'erreur de la méthode (de l'ordre d'une dizaine de mètres). La présente étude reprend cette approche, l'actualise et apporte des données quantitatives mesurées *in situ*. Les méthodes de caractérisation de ce site sont donc différentes de l'approche méthodologique utilisée pour la plage de Balistra. Les changements de méthodes et leurs limites sont précisées ultérieurement dans le rapport.

2.4.1. Contexte bio-géomorphologique

La plage de La Rondinara est une plage de poche semi-ellipsoïdale. Sa baie, de taille limitée (700 m de largeur, 400 m de profondeur) s'ouvre sur l'est-sud-est. Elle est délimitée par la Punta du Prisarella au nord et la Punta di Rondinara au sud. Sa bathymétrie se limite à -7 m NGF en entrée de baie. La pente générale de la baie est donc limitée (2.1%, Mugica *et al.*, en cours).

D'après la cartographie des plates-formes sous-marines de la Corse disponible sur le serveur wms public de l'Ifremer (thématique biologie marine, entre 0 et 100 m de profondeur), le fond de la baie est occupé par des roches affleurantes et des sables moyens à grossiers dans le nord et des sables grossiers dans le reste de la baie.

D'après la réactualisation des inventaires biologiques du site Natura 2000 de l'AAMP (Buron *et al.*, 2012), les herbiers *Posidonia oceanica* ne sont présents (hormis quelques plaques très locales à faible profondeur ~ -1,5 m NGF) qu'à l'entrée de la baie à -5 m NGF de profondeur (Figure 8) jusqu'à une profondeur de 30 à 35 m.

La plage de La Rondinara a un linéaire côtier d'environ 1.1 km et les deux caps qui la ferment sont distants de 450 m. D'après les caractéristiques géomorphologiques du site, on peut la diviser en trois secteurs distincts :

- le secteur Sud qui forme un tombolo reliant la Punta di Rondinara à la terre ;
- le secteur Nord, le long duquel des affleurements rocheux interrompent le continuum sédimentaire et sépare la plage en trois sous-sections. En limite nord-est, le lido sépare l'étang de Prisarella de la mer ouverte ;
- le secteur Centre de la plage qui sépare les deux précédents. Une petite lagune se trouve en arrière du cordon littoral et correspond à l'embouchure d'un cours d'eau intermittent.

Du fait de la présence des affleurements rocheux, si des processus de rotation de plage entrent en jeu ici, ils auront lieu entre les secteurs Centre et Sud seulement.

Une étude diachronique des images aériennes nous a permis d'évaluer qu'entre 1996 et 2016 :

- le lido sableux séparant l'étang de Prisarella de la mer ouverte dans le secteur Nord varie entre 10 et 20 mètres en largeur ;
- les deux petites plages délimitées par des affleurements rocheux dans le secteur nord-ouest se développent sur une largeur similaire. Les affleurements rocheux empêchent le transit sédimentaire *long-shore* sur cette partie de la plage ;
- les secteurs Centre et Sud ont une largeur plus variable allant de 20 à 50 m.

D'après l'inventaire biologique du site Natura 2000 de l'AAMP (Buron *et al.*, 2012), l'herbier de posidonie ne montre pas de signe particulier de dégradation et apparaît de manière générale dans un bon état de conservation.

Des feuilles mortes de posidonie se déposent de façon régulière sur la plage de La Rondinara. Durant notre visite du 20 juin 2019, des banquettes étaient encore présentes dans le secteur Sud. Les feuilles devenaient plus éparses en remontant vers le secteur Centre. Dans le secteur Nord, des débris de posidonie sont présents mais ils sont plus grossiers (faisceaux, aegagropiles, Figure 11).



Figure 11 : a. banquettes de posidonie résiduelles au sud de La Rondinara ; b. feuilles éparses dans la partie Centre de La Rondinara ; c. faible quantité de débris végétaux sur la plage dans le secteur Nord ; ils sont plus grossiers (faisceaux). On note également la différence de granularité entre les trois secteurs. Les sédiments au nord paraissent beaucoup plus grossiers. Le détail de la méthodologie et des résultats de mesures granulométriques sont présentés et détaillés dans la partie **Erreur ! Source d u renvoi introuvable.**

2.4.2. Influence météo-marine locale

La Rondinara est une plage de poche ouverte sur l'ouest-sud-ouest. La baie est assez fermée, ce qui protège relativement la plage des houles du large. Toutefois, les houles dominantes dans le secteur (sud-est et nord-ouest, Figure 6) peuvent se propager dans l'anse après réfraction autour des deux caps protégeant la baie. Sur l'ortho-photographie de 2016 (IGN), on voit les houles de nord-est réfracter autour de la Punta de Prisarella et se propager dans la baie (Figure 12).

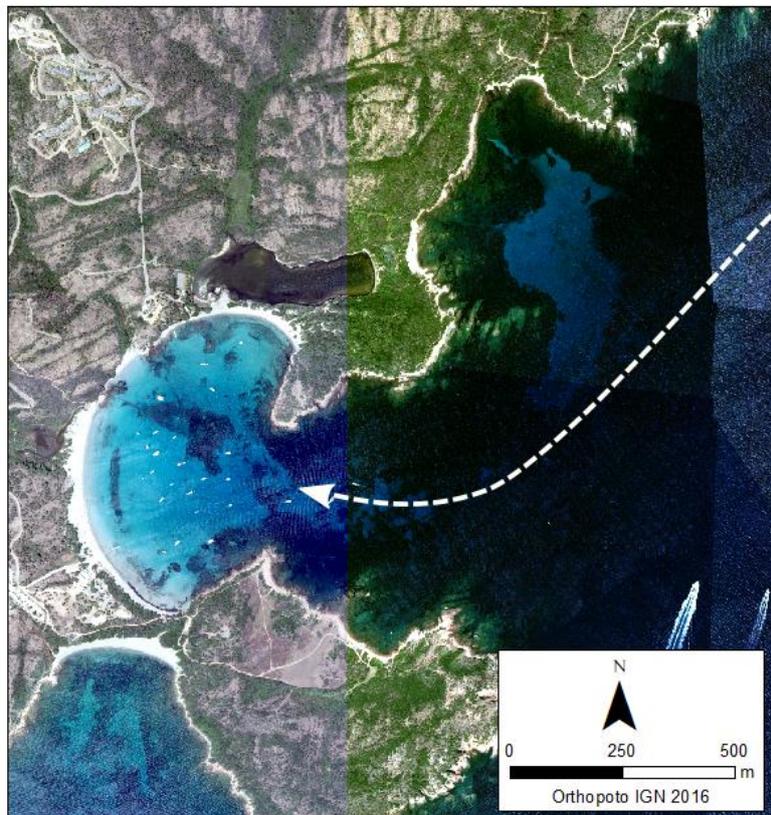


Figure 12 : Réfraction des houles de nord-est provenant de la mer ouverte autour de la Punta di Prisarella se propageant dans La Rondinara (la flèche blanche caractérise l'orthogonale moyenne de la propagation des houles).

Considérant la taille limitée de la baie (700 m de largeur, 400 m de profondeur), il est peu probable que des vagues de vent pouvant générer des impacts sur la plage se développent.

2.4.3. Potentiel d'apports sédimentaires

Dynamique sédimentaire marine

Étant donné la fermeture de la baie, la dynamique sédimentaire marine aura une influence limitée sur la plage (cf. section 2.4.2). Toutefois, comme pour Balistra, des mesures *in situ* pourrait apporter des éléments pour mieux la comprendre.

Apports fluviaux

Trois petits cours d'eau intermittents trouvent leurs embouchures dans le golfe de La Rondinara. Le plus important, qui débouche sur un petit étang à l'ouest et qui est relié à la mer par un grau, possède un bassin versant de 14 km² (Delpont *et al.* 1998). Ces cours d'eau peuvent potentiellement fournir occasionnellement du sédiment à la plage. Ces apports sont cependant hypothétiquement limités aux épisodes de crue ou de fortes précipitations étant donné la faible superficie des bassins et le régime hydrologique des cours d'eau.

Apports en sédiments locaux

Le golfe de La Rondinara est entouré de leucomonzogranites (à l'ouest) et de granodiorites. Comme sur Balistra, des apports sédimentaires très lents (grain par grain) et en quantité très limitée se produisent à l'échelle des temps géologiques. Le stock sédimentaire en place, même s'il est très hétérogène en termes de taille de grain (Figure 11), est donc en grande partie hérité des bassins versants proximaux.

De même que pour Balistra, les herbiers sont susceptibles de représenter une source de sédiments biogéniques. Cependant, il n'existe pas, à notre connaissance, de donnée sur la fraction de ces sédiments composant la plage de La Rondinara. Ici aussi, leur quantification à différentes périodes de l'année et en différents points de la plage pourrait être intéressante.

2.4.4. Anthropisation

La plage de Rondinara est particulièrement anthropisée et très fréquentée, notamment en période estivale. De 1952 à 1975 seul deux chemins relativement étroits permettaient d'accéder à la plage. Depuis, le principal chemin d'accès a été élargi (1975), des paillotes ont été construites et un espace a été aménagé en parking (1985). La période de 1985 à 1996 marque l'apparition de premières maisons individuelles. Leur nombre s'accroît jusqu'en 2016.

3. Évolution des profils de plage et des traits de côte

3.1. BALISTRA

3.1.1. Méthodologie

Le site de Balistra étant suivi dans le cadre du ROL, le suivi des traits de côte et de profils de plage sont réalisés selon une méthode définie appliquée à l'ensemble des sites du ROL. La méthode est détaillée ci-dessous.

Des mesures complémentaires à celles disponibles (ROL, 2002 à 2019) ont été réalisées les 19 et 20 juin 2019 pour cette présente étude.

3.1.2. Évolution des profils topo-bathymétriques

Profil Nord

Le profil Nord est localisé sur la flèche sableuse dont l'altitude reste limitée (environ +1.5m NGF au plus haut niveau du cordon). Il se caractérise par :

- une plage émergée relativement large (environ 40 m) et généralement marquée par une berme avec une pente assez forte (12 %,) ainsi que par la présence de feuilles mortes de posidonie (Figure 13) ;
- une avant-côte avec une pente relativement régulière et modérée (2 %), interrompue par des affleurements rocheux entre -5 et -10 m de profondeur. La pente s'adoucit encore jusqu'à s'aplanir quasiment vers -25 m de profondeur. L'évolution de ce profil marin est globalement assez faible depuis le début des suivis. Même dans la zone la plus mobile de la plage émergée et du bas de plage où des petites bermes et barres sous-marines sont parfois enregistrées, les évolutions topo-bathymétriques entre deux levés annuels sont inférieures à 1 m. La variabilité bathymétrique plus importante dans la zone des affleurements rocheux résulte de la réflexion chaotique du signal acoustique et n'est pas significative d'évolutions morphologiques.

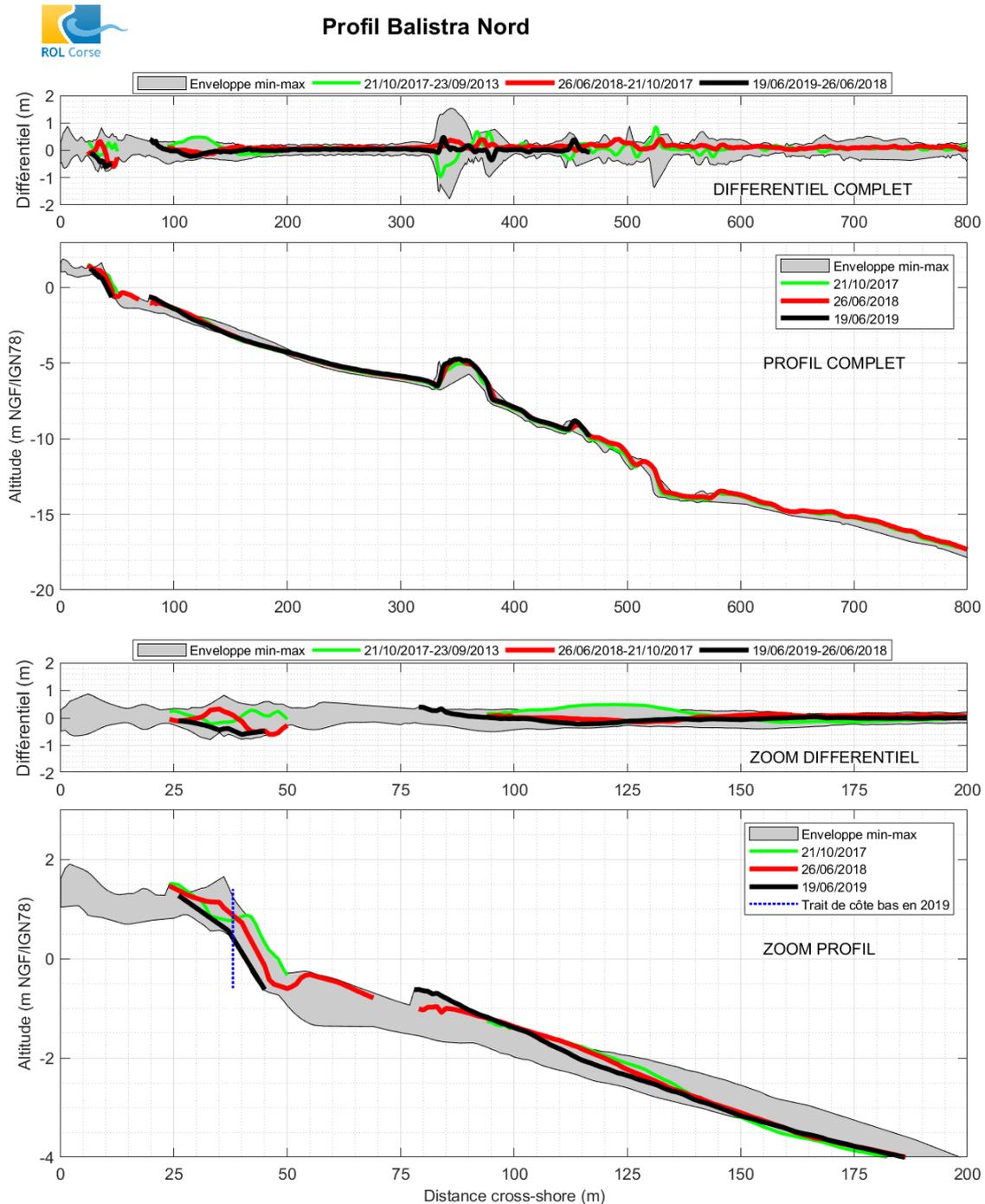


Figure 13 : Évolution du profil Nord du site de Balistra.

Entre 2017 et 2018, la plage émergée connaît une légère élévation (maximum 0,3 m) qui est compensée en 2019 (Figure 13). Celle-ci ne semble pas être due à la présence d'une banquette de posidonie (Figure 14).

Entre 2017 et 2019, l'évolution du profil montre que la zone du trait de côte tend à s'éroder légèrement (jusqu'à 0,7 m sur le bas de plage). Une légère érosion de l'avant-plage a également lieu sur cette période (maximum 0,2 m entre -1,5 et 2,5 m de profondeur, Figure 13).



Figure 14 : Plage de Balistra, prise de vue depuis le nord du cordon dunaire.

Profil Sud

Le profil Sud se caractérise par :

- une plage émergée plus étroite (~30 m), une pente relativement marquée (13 % en moyenne) ;
- un trait de côte haut fortement artificialisé par l'aménagement d'une plate-forme (parking) puis marqué par une falaise rocheuse ;
- l'avant-côte présente généralement une barre sous-marine plus marquée jusqu'à des fonds de -5 m, à la limite avec un fond rocheux à herbiers de posidonie. La pente moyenne est modérée (2 %). L'évolution de la plage émergée est très faible depuis le début des suivis (Figure 15) mais plus marquée par une érosion de l'avant-plage avec depuis 2004, une dégénérescence progressive de la barre sous-marine. La variabilité bathymétrique plus importante dans la zone des affleurements rocheux résulte également de la réflexion chaotique du signal acoustique et n'est pas significative d'évolutions morphologiques.

Lors de la campagne de terrain à Balistra (19 juin 2019 et 20 juin 2019), la zone de baignade ayant déjà été installée, la bathymétrie de l'avant-côte n'a pas pu être mesurée.

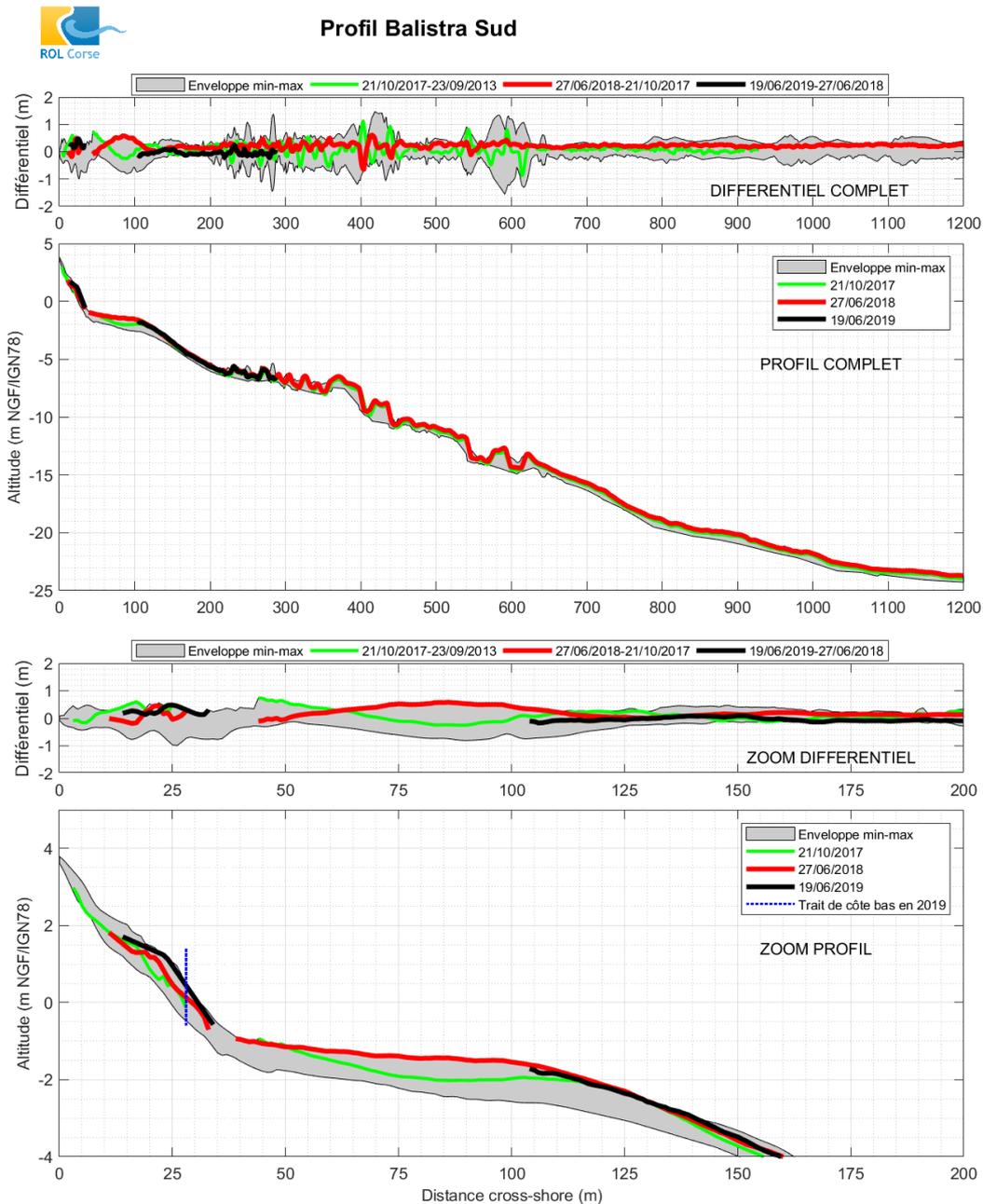


Figure 15 : Évolution du profil Sud du site de Balistra.

Entre 2017 et 2019, à l'inverse du profil Nord, l'altitude de la plage émergée tend à augmenter (maximum de 0,9 m, Figure 15). La présence de feuilles de posidonie dans le sable pourrait expliquer une partie de cette élévation (Figure 9, photo de droite) mais un transfert, possiblement anthropique, local de sédiments depuis le bas de plage ou le secteur Nord est aussi envisageable.

La tendance de l'avant-côte à s'éroder se confirme entre 2017 et 2019 (jusqu'à 0,5 m d'épaisseur sur 60 m de profil, Figure 15).

3.1.3. Évolution des traits de côte

Évolution du trait de côte bas

- Évolution à court terme (2018-2019)

Le trait de côte bas du site de Balistra tendait globalement à reculer entre 2015 et 2017 (-1,5 m en moyenne, Laigre *et al.* 2018). Entre 2017 et 2019, il est plutôt marqué par des avancées (1,4 m en moyenne), pouvant atteindre 6,5 m. Par secteurs limités, dans les parties nord et centrale du cordon, un recul pouvant atteindre 3,3 m est observé (Figure 16). Ces variations annuelles sont cependant lissées à plus long terme.

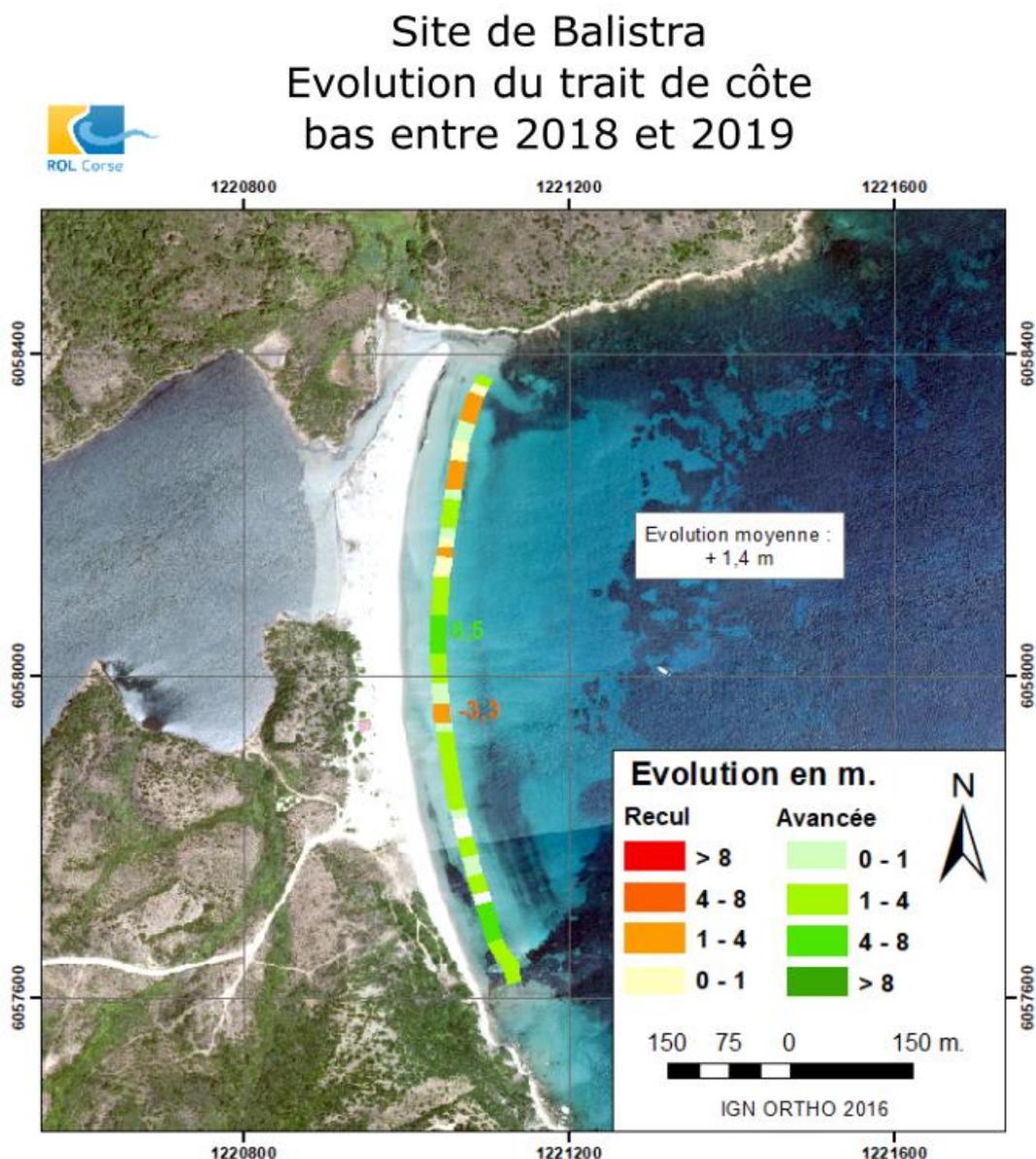


Figure 16 : Évolution du trait de côte bas du site de Balistra en 2018 et 2019.

• **Évolution à moyen terme (2002-2019)**

Depuis le début des suivis ROL, la position du trait de côte bas de Balistra est globalement stable. La flèche sableuse au nord présente même des avancées d'1 à 2 m malgré une grande variabilité (de l'ordre de 25 m à son extrémité nord, Figure 17). La partie sud est bien plus stable avec un taux d'évolution inférieur à 0,2 m/an dans un sens comme dans l'autre, et une variabilité inférieure à 20 m.

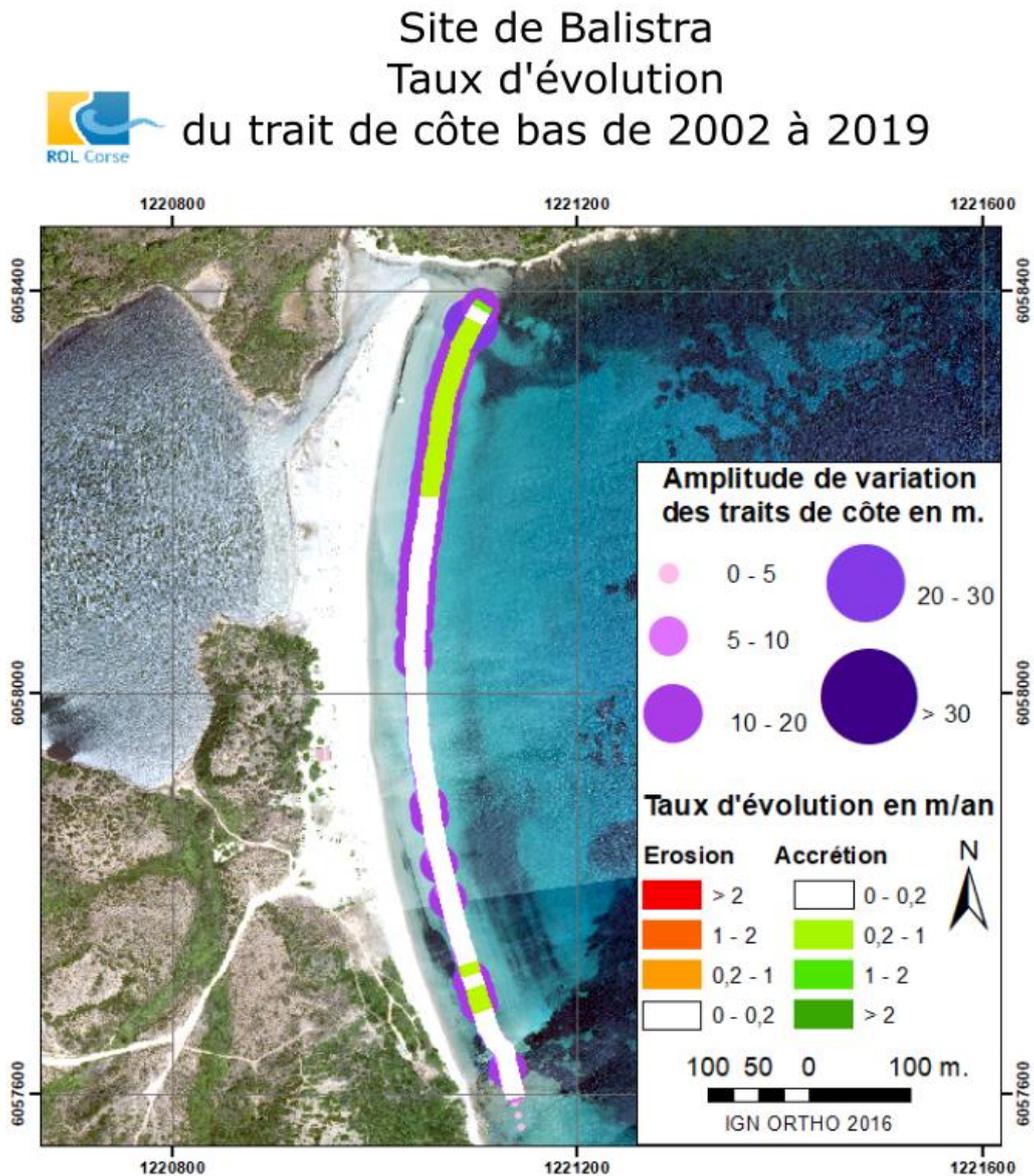


Figure 17 : Évolution du trait de côte bas du site de Balistra depuis 2002.
L'amplitude de l'évolution est représentée par les cercles violets.

Évolution du trait de côte haut

• Évolution à court terme (2018-2019)

Le trait de côte haut, marqué par le pied de dune ou la limite de végétation, a tendance à reculer sur la période 2018-2019 (-1,1 m en moyenne), notamment dans la partie centrale du site (-5,9 m maximum). Au nord et au sud de la plage émergée, des secteurs très restreints connaissent une avancée pouvant atteindre 2,3 m (Figure 18). Cette évolution du trait de côte haut est inversé par rapport à celle du trait de côte bas. Cela laisse penser qu'un remaniement des sédiments a pu avoir lieu durant l'hiver et qu'une répartition des sédiments de la partie la plus élevée de la plage émergée aurait pu être redistribués vers le trait de côte bas. Cependant, l'analyse des profils ne laissent pas forcément transparaître un tel mouvement. Nous rappelons également que seules les évolutions supérieures ou égales à 5 m sont considérées comme significatives.

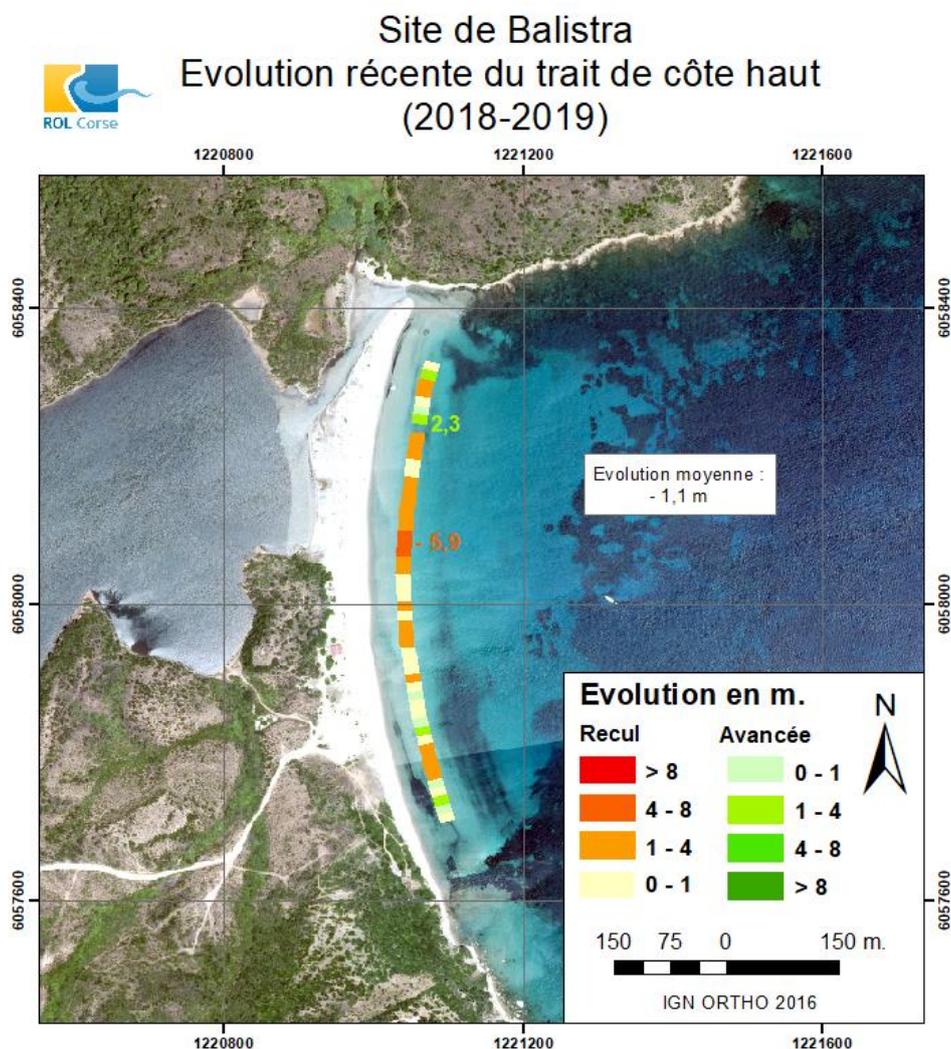


Figure 18 : Évolution du trait de côte haut du site de Balistra en 2018 et 2019.

• **Évolution à moyen terme (2002-2019)**

Depuis le début des suivis du ROL, le trait de côte haut est stable, voire en accrétion le long de la flèche sableuse (Figure 19), à l'image de ce qui est observé sur le trait de côte bas. Ces avancées sont cependant trop faibles pour être considérées comme significatives (inférieures à 2 m). On peut donc considérer la plage comme stable mais pas en accrétion à cette échelle de temps.

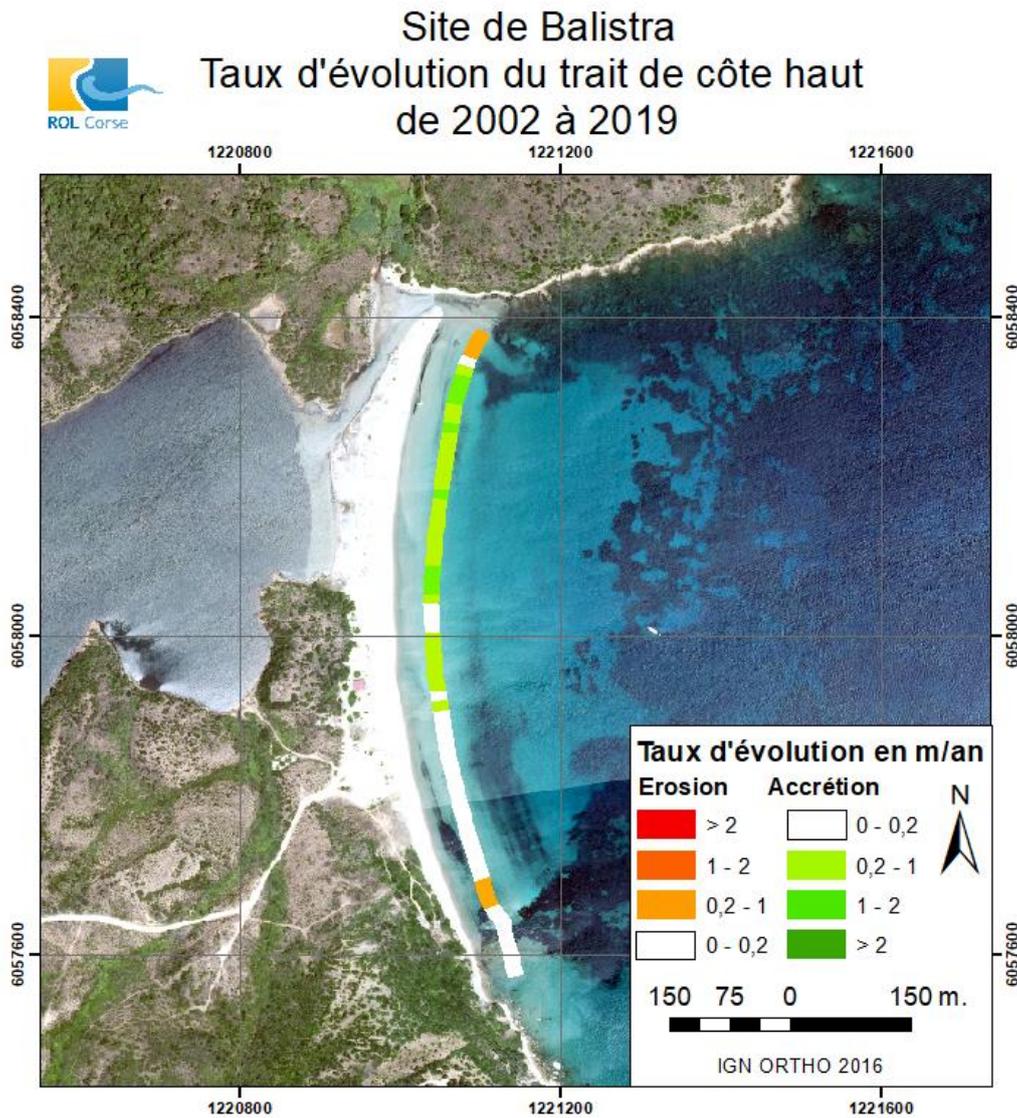


Figure 19 : Évolution du trait de côte haut du site de Balistra depuis 2002.

Les traits de côte et les profils mesurés depuis 17 ans sur le site de Balistra montre que cette plage est relativement stable sur le moyen terme. Cependant cette plage présente une potentielle sensibilité à l'érosion marine : au sud, en raison de la présence d'une falaise rocheuse qui limite son espace d'évolution disponible ; au nord, en raison de la mobilité de la flèche sableuse.

3.2. LA RONDINARA

3.2.1. Méthodologie

Profils de plage

La plage de La Rondinara n'est pas suivie dans le cadre du ROL ; il n'y a donc pas de mesure des traits de côte haut et bas ni de profils transversaux antérieurs à l'été 2019. Une étude diachronique du trait de côte de cette plage a été réalisée par le BRGM (période 1952-1996, Delpont *et al.* 1998). Cette étude concluait à une stabilité du trait de côte dans les secteurs Sud et Centre et à une tendance à l'érosion dans le secteur Nord. Ces résultats sont à considérer avec précaution car ces tendances sont équivalentes à la marge d'erreur de la méthode.

Afin de réaliser un état initial *in situ*, nous avons mesuré trois profils de plage dans les secteurs Nord, Centre et Sud (Figure 2).

Évolution du trait de côte

Pour récupérer des données de traits de côte, nous avons travaillé sur des orthophotographies IGN répertoriées dans le Tableau 1.

Nous avons également réalisé un suivi DGPS au printemps 2019 (20 juin 2019) en suivant la méthode utilisée dans le cadre du ROL (voir section 3.1.1).

En raison de la différence de précision entre ces 2 types de données, les mesures DGPS de 2019 ne seront pas utilisées dans la comparaison des traits de côte dans le temps. Les erreurs induites pourraient compliquer l'interprétation. Par contre, ce trait de côte mesuré au DGPS servira d'état initial pour d'éventuels futurs suivis.

Années	1952	1962	1975	1985	1996	2007	2016	2019
Données	Orthophotographies							DGPS
Source	IGN							BRGM

Tableau 1 : Données utilisées dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de La Rondinara.

Les traits de côte anciens (entre 1952 et 2016) ont été numérisés sur des images aériennes de l'IGN. Bien qu'avec cette méthode l'incertitude soit liée à la résolution de l'image (estimée entre 5 et 10 m), il est possible d'apprécier les changements opérés depuis 1952 sur le trait de côte bas.

☞ Avantages et limites de la méthode :

Cette méthode permet de comparer le trait de côte sur une période plus longue qu'avec des levés de terrain. L'incertitude estimée est cependant importante (entre 5 et 10 m) et, en fonction des l'amplitude des évolutions observées, ne permettra pas de conclure sur une potentielle évolution du trait de côte.

Il est difficile de cartographier la position du trait de côte haut sur les photographies aériennes car il n'est pas possible d'y lire les variations d'altitude. Nous ne présenterons donc ici que l'évolution du trait de côte bas.

Les traits de côte ainsi digitalisés sont ensuite comparés entre eux, comme dans la méthodologie employée dans le cadre du ROL (voir section 3.1.1).

3.2.2. Profils de plage

Trois profils de plage ont été mesurés au DGPS dans chacun des secteurs Nord, Centre et Sud (Figure 20). Chacun d'eux correspond à l'un des secteurs définis dans la section 1.1.1. Ces trois profils montrent que la pente de la plage émergée est plus importante dans le secteur Nord et le secteur Centre que dans le secteur Sud. Alors que la légère surélévation du profil (autour de 10 m) dans le secteur Centre correspond au sommet du cordon littoral qui sépare la baie de la petite lagune située en arrière de la plage. La surélévation présente sur le profil Sud correspond à une banquette de posidonie.

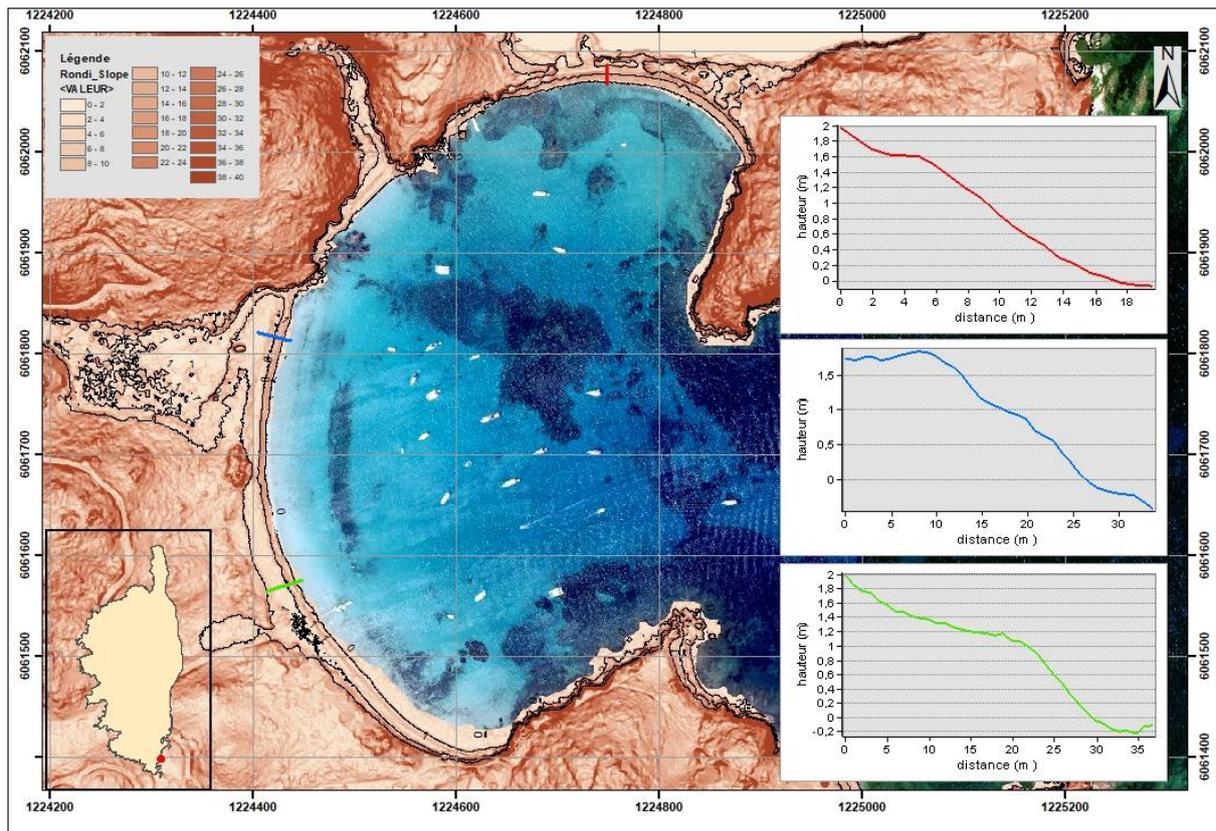


Figure 20 : Profils de plage mesurés dans les secteurs Nord (rouge), Centre (bleu) et Sud (vert) sur la plage de La Rondinara le 20/06/2019. Fond : Lidar 2013, IGN.

3.2.3. Évolution du trait de côte

Évolution à court terme (2007-2016)

La Rondinara présente un recul moyen du trait de côte de côte d'1,7 m entre 2007 et 2016 avec un maximum de 4,6 m de recul dans le secteur Nord. Dans les secteurs Sud et Nord, des zones restreintes semblent en légère avancée (Figure 21). Un recul du trait de côte entre ces deux dates est donc à envisager même si ces valeurs sont comprises dans la gamme d'incertitude (5 à 10 m).

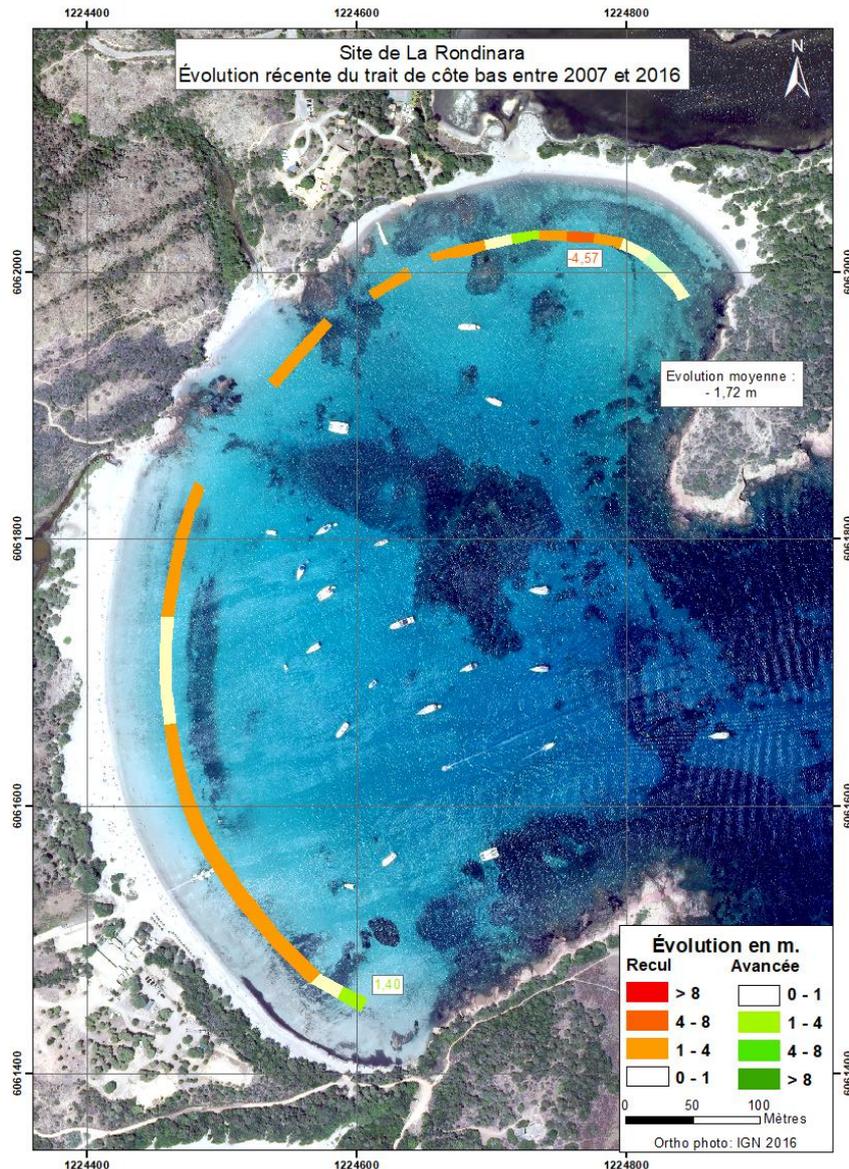


Figure 21 : Évolution des traits de côtes bas digitalisés sur photos aériennes (IGN) entre 2007 et 2016.

Évolution à moyen terme (1952-2016)

À moyen terme, le trait de côte de La Rondinara semble également avoir reculé (-3,7 m en moyenne, Figure 22). Contrairement à la période 2007-2017, la zone qui recule le plus est le secteur Sud (9,2 m) tandis que le secteur Nord est en légère avancée (+1,6 m). De nouveau, ces valeurs d'évolution du trait de côte sont à considérer avec prudence puisque la valeur moyenne d'évolution est largement comprise dans la gamme d'incertitude. Néanmoins, le secteur Sud, qui présente les plus grandes valeurs de recul du trait de côte à moyen terme, sera à surveiller lors des prochains suivis.

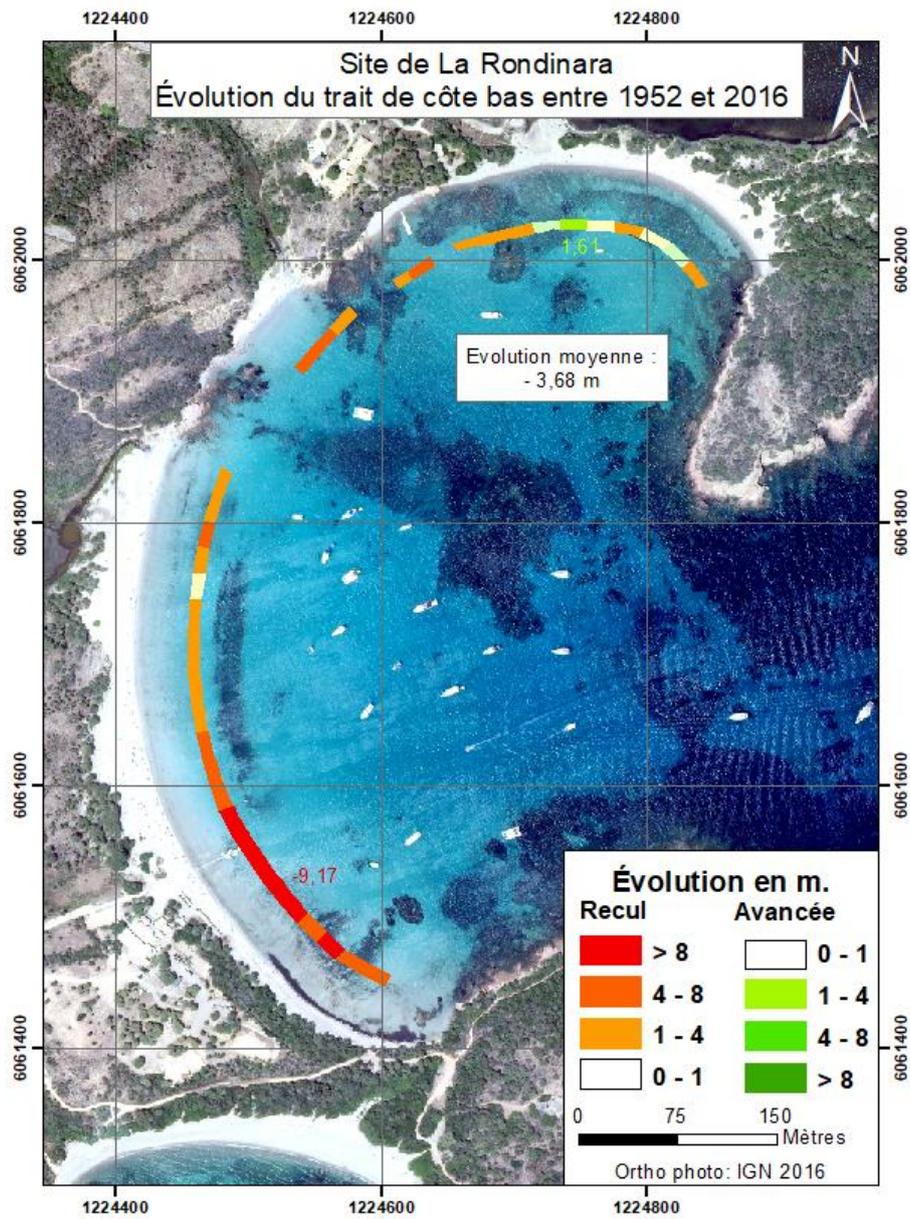


Figure 22 : Évolution des traits de côtes digitalisés sur photos aériennes (IGN) entre 1952 et 2016.

4. Fonctionnement morpho-sédimentaire récent

4.1. MÉTHODOLOGIE

4.1.1. Modèle numérique de terrain (MNT)

Des mesures topographiques de l'ensemble des plages de Balistra et de La Rondinara ont été acquises au DGPS le 20 juin 2019 (Figure 29). Pour se faire, le levé a été effectué selon une grille régulière afin de ne pas induire de biais au moment de l'interpolation des points, tout en mesurant les morphologies spécifiques à la plage. Le tracé des mesures réalisées sur le site de Balistra est présenté sur la Figure 23.

Le nuage de points mesurés au GPS a ensuite été interpolé pour cartographier l'élévation de la plage. Une étude comparative de différentes méthodes d'interpolations a été menée spécifiquement sur cette campagne afin d'obtenir un MNT adapté à la configuration de la plage. La méthode par krigeage a été retenue pour les deux sites. Les MNT issus de ces interpolations ont une résolution de 0,7 m pour le site de Balistra et de 2 m pour le site de La Rondinara.

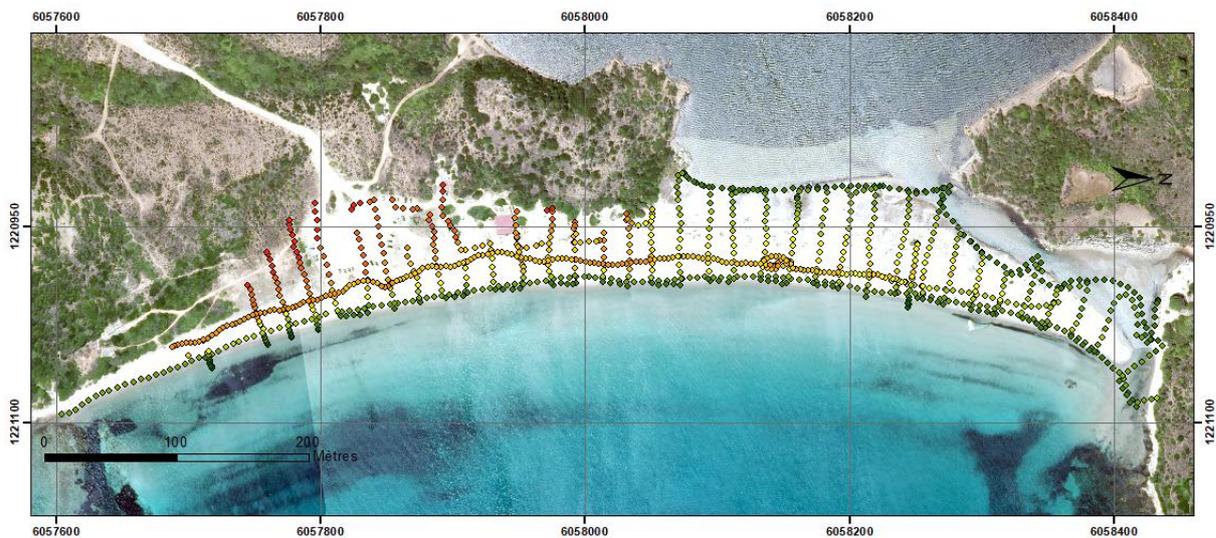


Figure 23 : Acquisition de données le long de la plage de Balistra pour la réalisation d'un MNT (1 001 points GPS mesurés). Le gradient de couleur représente la variation d'altitude allant du moins élevé (vert) au plus élevé (rouge). (Puichafray, 2019).

4.1.2. Granulométrie des sédiments

En parallèle, des prélèvements granulométriques de surface ont été réalisés en pied de dune, sur la berme et sur l'avant-côte le long des profils suivis représentés sur les Figures 2 et 24.

L'analyse granulométrique par tamisage des sédiments a été réalisée au sein du laboratoire de granulométrie du BRGM d'Orléans. L'analyse granulométrique est réalisée suivant la norme AFNOR NF EN ISO 17892 du 4 janvier 2018. Une prise de l'échantillon brut humide est effectuée. Ce prélèvement est séché, puis traité par tamisage en voie sèche. Une teneur en eau est effectuée en parallèle pour déterminer la masse sèche de la prise d'essai pour l'analyse granulométrique.

Ces résultats d'analyse ont ensuite été post-traités pour évaluer le D_{50} , la taille du grain médian au sein de l'échantillon. Cet indice est couramment utilisé en géomorphologie littorale pour présenter des résultats d'analyse granulométriques.

Pour faciliter la lecture de la carte, nous avons présenté les valeurs de D_{50} de façon qualitative selon la classification suivante :

<i>Classes granulométriques</i>	<i>Tailles des sédiments en μm</i>
Particules fines	>63
Sables fins	[63-315[
Sables moyens	[315-630[
Sables moyens à grossiers	[630-1 000[
Sables grossiers	[1 000-2 000[
Graviers	$\geq 2\ 000$

Tableau 2 : Classes granulométriques et tailles des sédiments associés.

La classe « graviers » est choisie car le plus gros tamis utilisé était un tamis ayant une maille de 5 mm. Cette gamme peut donc inclure tout élément granulométrique dépassant les 5 mm en axe B (second axe le plus long d'un grain), y compris des galets.

4.2. BALISTRA

4.2.1. Topographie du site

La topographie de la plage émergée de Balistra (Figure 24) reflète les deux secteurs géomorphologiques précédemment cités.

Le secteur Sud est caractérisé par une topographie élevée en arrière-plage qui atteint 5 m d'altitude. En milieu de plage, l'altitude diminue assez rapidement jusqu'à 2 m. La pente jusqu'au trait de côte est plus douce.

Dans le secteur Nord, la flèche sableuse séparant l'étang de Balistra du golfe de Sant'Amanza présente des altitudes bien moins élevées (maximum 1.7 m). La flèche présente une pente plus douce vers l'étang de Balistra que vers le golfe. La partie nord de la flèche a une altitude particulièrement faible qui permet la connexion de l'étang au golfe par hautes eaux.

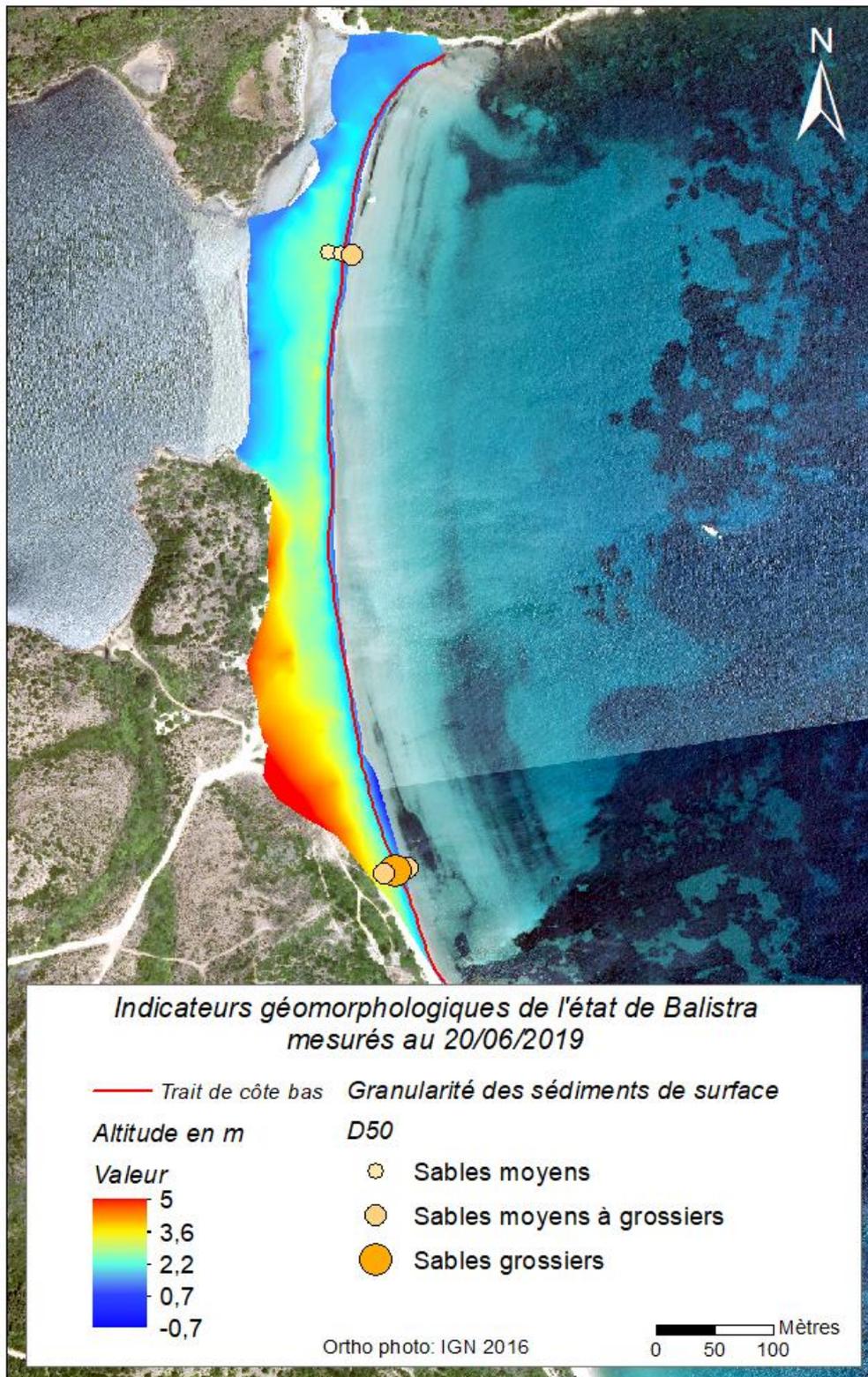


Figure 24 : Topographie de la plage émergée de Balistra et granularité des sédiments de surface en pied de dune, sur la berme et sur la plage immergée le long des profils suivis.

4.2.2. Granularité des sédiments

La granularité des sédiments est légèrement plus fine dans le secteur Nord (sables moyens à grossiers) que dans le secteur Sud où des sables grossiers sont présents.

Cette granulométrie n'est pas suffisamment significative et hétérogène pour en déduire une exposition aux conditions d'agitation marines. La présence des falaises rocheuses au sud et de l'embouchure au nord contribue également à cette répartition de la granularité.

Cependant, des modélisations numériques des vagues et des niveaux d'eau à l'échelle du Golfe de Sant'Amanza dans le cadre d'une étude en cours du BRGM (Mugica *et al.*, en cours), mettent en évidence une exposition directe aux houles de nord-est du sud de la plage alors qu'elles sont légèrement diffractées et atténuées au nord de la plage.

4.3. LA RONDINARA

4.3.1. Topographie du site

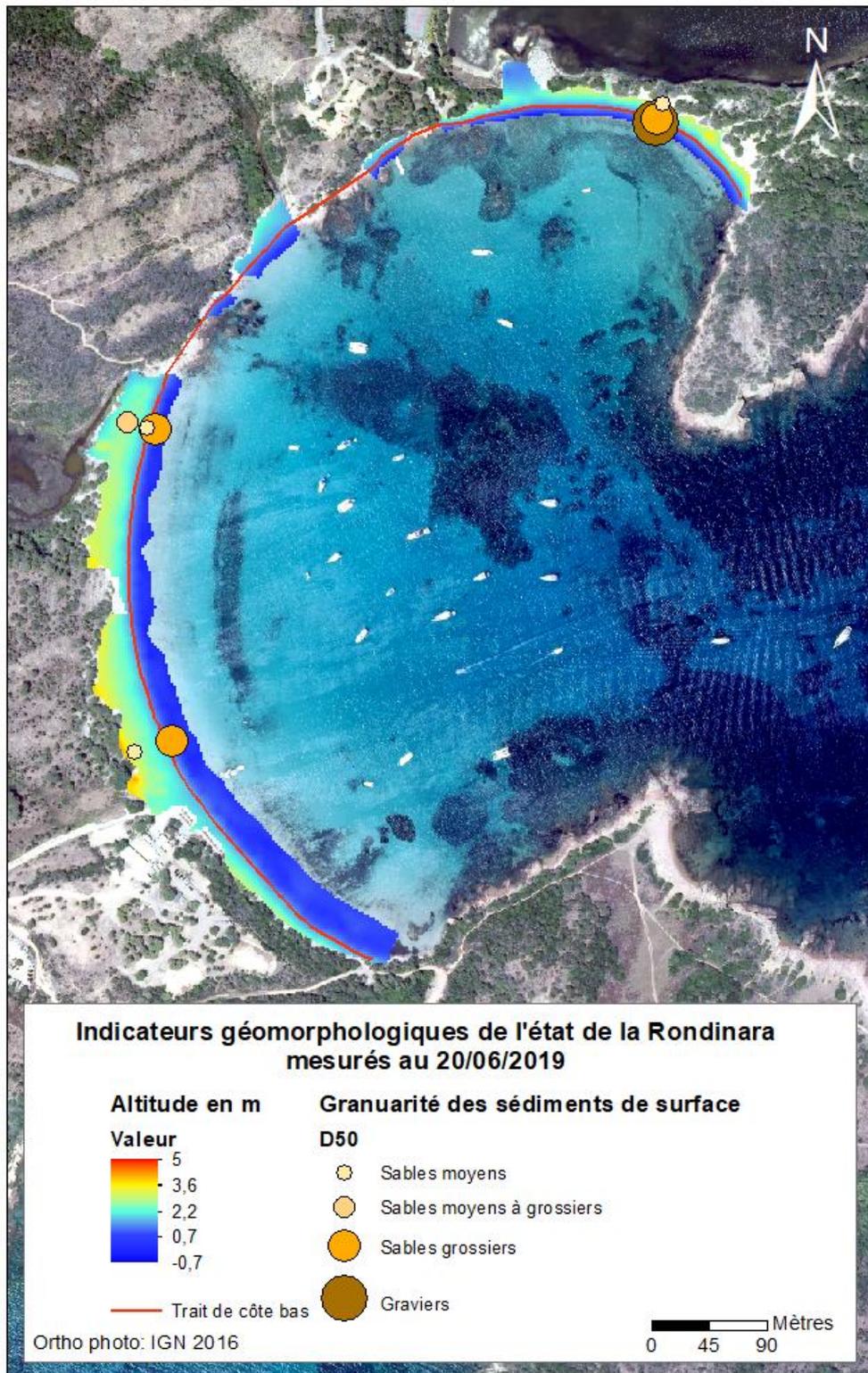


Figure 25 : Topographie de la plage émergée de La Rondinara et granularité des sédiments de surface en pied de dune, sur la berme et sur le bas de plage le long des profils mesurés.

Sur la Figure 25, le modèle numérique de terrain est présenté à la même échelle altimétrique que celui de la plage de Balistra pour favoriser la comparaison des deux sites.

On note tout d'abord que le site est beaucoup plus bas que celui de Balistra. En effet, la hauteur maximum atteinte sur la plage de La Rondinara est de 2/2,5 m en haut de plage sur les secteurs Nord et Centre. Comme l'indiquaient déjà les profils de plage (Figure 20), ce sont ces deux secteurs qui ont les pentes les plus fortes (respectivement 8,8 % pour les profils des secteurs Nord et 7,5 % pour le secteur Centre) alors que le secteur Sud présente une pente plus douce (5 % pour le profil du secteur Sud), notamment sous le trait de côte. Cela laisse penser que le secteur Sud est plus protégé que le secteur Centre ou le secteur Nord d'un point de vue hydrodynamique. Les dépôts plus importants de feuilles mortes de posidonie dans cette zone soutiennent également cette hypothèse.

4.3.2. Granularité des sédiments

La granularité des sédiments sur le profil du Secteur Nord est bien plus grossière (sables moyens à graviers) que sur les profils des secteurs Centre et Sud (sables moyens à grossiers, Figure 25). Sur les photos de terrain, on voit que les sédiments du secteur Nord présentent de nombreux galets (Figure 11) et que les débris végétaux y sont beaucoup plus grossiers que dans les autres secteurs. L'ensemble de ces constats montre que le secteur Nord est certainement soumis à des impacts plus forts que le secteur Centre, où l'énergie ne se concentre pas du fait de l'orientation des houles dominantes, et que le secteur Sud, protégé par la Punta de Rondinara.

5. Bilan sur le fonctionnement hydro-morphosédimentaire

5.1. RAPPEL DES POINTS CLÉS DE LA DESCRIPTION DES SITES

Le tableau ci-dessous reprend les différents points que nous avons pu relever dans le cadre de cette étude quant à la description des deux sites d'études.

Critères	Balistra	La Rondinara
	<u>Situation et influence météo-marine</u>	
Situation	Au fond du Golfe de Sant'Amanza, Rive Nord	À l'extérieur au Nord du golfe de Sant'Amanza
Forçages hydrodynamiques attendus	Houles de nord-ouest Houles réfractées de sud-est Éventuellement vagues de vent d'ouest et de nord-est	Houles réfractées de sud-est Houles réfractées de nord-ouest
	<u>Géomorphologie</u>	
Géomorphologie de l'anse	Plage de poche ouverte de fond de Golfe Orientée NNO-SSE Sépare la mer ouverte d'une lagune alimentée par un cours d'eau	Plage de poche fermée par deux caps rocheux Ouverte sur l'ESE Sépare la mer ouverte de plusieurs lagunes petites à moyennes alimentées par des cours d'eaux intermittents

<p>Unités géomorphologiques homogènes</p>	<p>Composée de deux secteurs :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Secteur Nord forme une flèche sableuse qui sépare l'étang de Balistra de la mer ouverte 2. Secteur Sud adossé à une falaise et une butte végétalisée 	<p>Composée de trois secteurs :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Secteur Nord interrompu par des affleurements rocheux séparant la plage en sous-secteurs ; l'une d'elle sépare l'étang de Prisarella de la mer ouverte 2. Secteur Sud qui forme un tombolo reliant la Punta di Rondinara à la terre 3. Secteur Centre, situé entre les deux précédents ; la plage sépare une petite lagune alimentée par un cours d'eau intermittent de la mer ouverte
<p>Élévation</p>	<p>Altitude plus importante dans le secteur Sud (dune atteignant 3 m/NGF, plage atteignant 2 m/NGF) que dans le secteur Nord (plage atteignant 1.7 m/NGF), notamment en haut de plage</p>	<p>Altitude modérée sur l'ensemble de la plage (haut de plage atteignant 2 m/NGF dans les trois secteurs) sauf à l'embouchure du cours d'eau intermittent en secteur Centre (0.8 à 1.3 m/NGF)</p>
<p>Apports sédimentaires possibles</p>	<p>Stock sédimentaire en place</p> <p>Apports occasionnels par le Francolu</p> <p>Apports continus mais anecdotiques liés à la dégradation de la roche en place (échelle des temps géologiques)</p> <p>Sédiments biogéniques provenant de l'herbier de posidonie</p>	<p>Stock sédimentaire en place</p> <p>Apports occasionnels par les cours d'eau intermittents</p> <p>Apports continus mais anecdotiques liés à la dégradation de la roche en place (échelle des temps géologiques)</p> <p>Sédiments biogéniques provenant de l'herbier de posidonie</p>
<p>Granularité des sédiments</p>	<p>Secteur Nord : Sables moyens à grossiers</p> <p>Secteur Sud : Sables moyens à grossiers, plus épais que dans le secteur Nord, notamment dans la zone balayée par l'eau</p>	<p>Secteur Nord : Sables moyens à graviers</p> <p>Secteur Centre et Sud : sables moyens à grossiers</p>

<u>Végétation sous-marine comme indicateur géomorphologique</u>	
Végétation sous-marine	<p>Présence de feuilles de posidonie sur la plage mais pas de banquette récente à l'été 2019. Débris plus nombreux sur le secteur Sud que sur le secteur Nord</p> <p>Herbier très vulnérable avec une tendance d'évolution régressive (Buron <i>et al.</i>, 2012, Andromède, 2019)</p> <p>Été 2019 : banquettes de posidonie dans le secteur Sud, feuilles éparées dans le secteur Centre, débris grossiers dans le secteur Nord (faisceaux)</p> <p>Herbier en bon état (Buron <i>et al.</i>, 2012)</p>
<u>Anthropisation</u>	
Anthropisation	<p>Chemins d'accès</p> <p>Parking</p> <p>Une paillote sur la dune</p> <p>Chemin d'accès</p> <p>Parking</p> <p>Nombreuses maisons individuelles</p>
<u>Méthode d'évaluation de l'évolution morphologique</u>	
Méthode	<p>Site suivi dans le cadre du ROL depuis 2002 en termes de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Traits de côte haut et bas - Profils de plage (représentatifs des trois secteurs) <p>Site non suivi dans le cadre du ROL. État initial réalisé à l'été 2019</p> <p>Étude diachronique réalisée à partir de photographies aériennes</p>
Précision associée à la méthode	<p>Précision centimétrique des mesures</p> <p>Repérage parfois difficile des indicateurs géomorphologiques : évolutions supérieures ou égales à 5 m considérées comme significatives</p> <p>Incertitude estimée allant de 5 à 10 m pour l'étude sur photos aériennes</p>

<p>Pentes et profils</p>	<p>Profil Nord : pente faible ; pente plus marquée côté mer que côté lagune ; profil stable dans le temps même si la zone du trait de côte connaît une érosion entre 2017 et 2019</p> <p>Profil Sud : pente plus importante ; présence de la dune aménagée en arrière du profil ; érosion de la barre sous-marine</p>	<p>Profil Nord : pente la plus importante</p> <p>Profil Centre : pente moyenne ; profil marqué par une surélévation du cordon sableux marquant la séparation entre la plage et l'arrivée d'un cours d'eau intermittent</p> <p>Profil Sud : pente la plus faible des trois profils ; profil marqué par la présence de banquettes de posidonie</p>
<p>Évolution du trait de côte</p>	<p>Trait de côte bas : légère avancée significative entre les deux secteurs de 2018 à 2019. Sur le plus long terme (2002-2019), le trait de côte bas est stable.</p> <p>Trait de côte haut : léger recul entre les deux secteurs de 2018 à 2019. Sur le long terme (2002-2019), le trait de côte haut est stable.</p>	<p>Trait de côte bas : évolution non significatives entre 2007 et 2016 (avec une tendance au recul). Tendance au recul confirmée sur le long terme (notamment dans le secteur Sud).</p> <p>Ces constats restent à considérer avec précaution car la valeur maximale d'évolution du trait de côte observée est de 9.5 m sur une période de 64 années et que nous considérons une incertitude allant de 5 à 10 m.</p>

Tableau 3 : Critères caractérisation du fonctionnement hydro-morphodynamique des sites de Balistra et de La Rondinara.

5.2. GRANDS TRAITES DE CARACTÉRISATION DU FONCTIONNEMENT HYDRO-SÉDIMENTAIRE DES DEUX SITES

5.2.1. Fonctionnement hydro-sédimentaire de Balistra

Le site de Balistra, malgré son ouverture relative, et grâce à sa situation de fond de Golfe, est relativement protégé de l'hydrodynamisme. Il est composé de deux secteurs principaux :

- une flèche sableuse au nord qui sépare l'étang de Balistra de la mer ouverte ;
- un secteur Sud adossé à la falaise et à la dune qui connaît donc des altitudes plus importantes (3 m en haut de plage et sur la dune). Le secteur Sud est anthropisé avec la présence de nombreux chemins d'accès, d'un parking et d'une paillote sur la dune.

Le secteur Sud est caractérisé par une pente plus importante que le secteur Nord, une granularité plus grossière et la présence de résidus de banquettes de posidonie.

Le secteur Nord quant à lui est plus plan, présente une granularité plus fine et de moins nombreux débris d'herbier que le secteur Sud.

En terme d'évolution, le secteur Nord semble être légèrement moins soumis à l'érosion que le secteur Sud même si la variabilité du trait de côte y est plus importante. Le constat d'une granularité plus grossière et d'une pente plus importante au sud qu'au nord est tout à fait cohérent avec une hydrodynamique plus forte dans le secteur Sud que dans le secteur Nord. Cela dit, ces deux derniers critères (et particulièrement la granularité) peuvent changer rapidement et ne peuvent être considérés comme le reflet long terme de la dynamique de la plage.

Il est aussi fort possible que les sédiments les plus fins se déplacent du nord au sud en fonction de la direction des houles dans une logique de rotation de plage. Des houles de nord-est auraient tendance à générer une rotation de plage au profit d'un engraissement du secteur Sud, alors que des houles de sud-est génèreraient une rotation au profit du secteur Nord. Ce phénomène peut être saisonnier (automne et été par exemple). Il peut aussi se produire lors d'événements de vents forts de directions inversées s'enchaînant sur une période courte. Ce type de phénomène se retrouvera dans des zones dites de fetch limité où des vagues de vent d'orientations différentes peuvent se développer localement assez rapidement et au gré des vents. Peu hautes et courtes, ces vagues peuvent cependant avoir des impacts sur les petits fonds et la plage (Paquier *et al.* 2014). Ce type de vagues pourrait tout à fait se développer dans le Golfe de Sant'Amansa.

Un constat intéressant sur le cours terme (période 2018-2019) est la tendance au recul du trait de côte haut et celle à l'avancée du trait de côte bas. Cela laisse penser à un transfert sédimentaire depuis la dune vers la zone balayée par les vagues.

5.2.2. Fonctionnement hydro-sédimentaire de La Rondinara

Le site de La Rondinara est particulièrement protégé des agents hydrodynamiques marins grâce à sa fermeture importante. Ainsi, seule les fortes houles de nord-est et les houles de sud-est peuvent se propager dans l'anse. La baie est trop fermée et réduite en taille pour que s'y développent des vagues de vent.

La Rondinara est composée de trois secteurs :

- un secteur Nord qui crée de fortes discontinuités dans le système à cause de la présence d'affleurements rocheux le séparant en trois sous-secteurs ;
- un secteur Sud formant un tombolo reliant la terre à la Punta di Rondinara ;
- un secteur Centre reliant les deux.

Le secteur Nord est celui qui présente la pente la plus importante, les sédiments à la granularité la plus grossière (graviers voire galets) et les débris de végétation les plus grossiers (même si peu nombreux).

Le secteur Centre présente une pente moyenne et quelques débris végétaux (feuilles de posidonie principalement). La granularité des sédiments y est essentiellement composée de sables moyens à grossiers.

Le secteur Sud a une pente plus douce que les deux autres secteurs, des sédiments d'une granularité similaire à celle du secteur Centre et présente des banquettes de posidonie.

Ces trois constats laissent à penser que le secteur Sud est le plus protégé et le secteur Nord le plus exposé à l'hydrodynamique. Cela paraît cohérent avec les directions des houles qui doivent réfracter autour des caps pour entrer dans l'anse. L'énergie des houles serait donc plus dissipée dans le secteur Centre et plus concentrée dans le secteur Nord, voire le secteur Sud (cf. Figure 12). La Punta de La Rondinara étant beaucoup plus imposante que la Punta de la Prisarella, le secteur Nord peut être plus exposé. De plus, le secteur Nord n'est pas connecté aux secteurs Centre et Sud et ne peut donc pas recevoir de sédiments plus fins lors d'événements de rotation de plage. Les impacts sur le secteur Centre se feront sentir lors de grosses tempêtes.

Les résultats d'étude diachronique de photographies aériennes laissent penser qu'un recul lent du trait de côte est possible à La Rondinara, notamment dans le secteur Sud. Toutefois, les résultats obtenus sont en limites de précision et il convient donc de les considérer avec prudence. Le suivi annuel de la plage sur le terrain semble donc conseillé afin de confirmer ou d'infirmer cette tendance.

Afin d'affiner la connaissance du fonctionnement hydro-morpho-sédimentaire de ces deux sites, un suivi haute fréquence est également envisageable. Celui-ci permettrait de :

1. Évaluer les stocks sédimentaires en place grâce à des mesures géophysiques.
2. Caractériser les forçages hydrodynamiques (vagues de vents, houles, courant) au droit des plages et leur modification à l'approche de la plage. Ceci pourrait être mesuré lors d'événements de diverses intensités en déployant des capteurs de pression et des courantomètres dans les deux anses. Il est aussi possible de modéliser numériquement la propagation des forçages sur ces sites pour compléter les mesures de terrain par modélisation. Dans ce second cas, il sera tout de même nécessaire d'avoir un point de mesure des vagues et du courant au large et des mesures à la côte pour pouvoir calibrer le modèle.
3. Quantifier les conséquences morphologiques de ces forçages à l'échelle de l'événement, de la saison et à l'échelle interannuelle en réalisant des suivis topo-bathymétriques à haute résolution spatiale avant et après chaque événement et aux limites des saisons.

6. Conclusion

Les sites de Balistra et de La Rondinara sont deux plages de poches de la façade sud-est de la Corse, situées respectivement au fond et au nord du Golfe de Sant'Amanza. Leurs configurations géographique, géologique et géomorphologique présentent des différences importantes qui induisent une exposition aux forçages hydrodynamiques ainsi qu'un fonctionnement hydromorphosédimentaire spécifiques à chacune.

Le site de Balistra, peu anthropisé, est suivi depuis 2002 par le BRGM dans le cadre du Réseau d'Observation du Littoral. Bien qu'une **relative stabilité géomorphologique** caractérise l'ensemble de ce site et que la flèche sableuse au nord présente une variabilité assez importante, le site semble **légèrement plus exposé aux phénomènes d'érosion marine au sud qu'au nord**. Le secteur Sud a une granularité plus grossière et une pente plus importante que le secteur Nord. Ces constats témoignent de **conditions hydrodynamiques plus fortes dans le secteur Sud**. Cela dit, la pente, et particulièrement la granularité, peuvent changer rapidement et ne peuvent être considérées comme le reflet long terme de la dynamique de la plage. Il est aussi fort possible que les sédiments les plus fins se déplacent le long du cordon en fonction de la direction des vagues (houles et vagues de vent) dans une logique de **rotation de plage, offrant une probable capacité de résilience en cas d'épisode érosif**.

Le site de La Rondinara, beaucoup plus anthropisé, n'étant pas suivi dans le cadre du ROL, l'évolution géomorphologique n'a pas pu être analysée avec la même précision que pour Balistra. La digitalisation des photographies aériennes de l'IGN a néanmoins permis de dégager une **tendance au recul lent du trait de côte et mettre en évidence une sensibilité à l'érosion marine**. Cependant, comprises dans la gamme de précision de la méthode et des données,

les valeurs de recul sont à exploiter avec prudence. L'étude de la plage actuelle a permis d'établir que les secteurs Sud et Nord sont certainement soumis à des conditions hydrodynamiques plus fortes que le secteur Centre, sauf lors d'événements de tempêtes très importants susceptibles d'impacter tout le site. Le transfert des sédiments les plus grossiers au nord sont limités vers les autres secteurs (granularité beaucoup plus fine) en raison de la présence d'affleurement rocheux.

Les données existantes et disponibles (mesures DGPS du ROL + images aériennes de l'IGN), ainsi que les données spécifiquement acquises (topographie haute-résolution + granulométrie) ont permis de compléter et d'**actualiser les portraits géomorphologiques des plages de Balistra et de La Rondinara**. Les secteurs les plus sensibles vis-à-vis de l'érosion marine, les secteurs les plus exposés aux fortes conditions hydrodynamiques ou bien au contraire les secteurs abrités, les zones du cordon sableux les plus basses, etc. ont été identifiés. **Ces informations sont primordiales pour la gestion de la plage notamment vis-à-vis de la problématique des banquettes de posidonie en période estivale** (zone de prélèvement et déplacement, zone de stockage des feuilles mortes, moyens mécaniques et humains à employer, etc.). En effet, l'un des enjeux majeurs actuel et futur est bien la gestion des plages concernant les banquettes de posidonie mais surtout des stocks de sédiments qui constituent une richesse écologique, qui contribuent à la réduction des risques d'érosion, de submersion et d'inondation fluviale et sur lesquels repose l'accueil du public. Un réel défi est de mettre en place des plans de gestion des sédiments à l'échelle des plages de poche, ce qui comprend notamment en amont une meilleure compréhension des systèmes sédimentaires, de leur dynamique, des stocks.

Le diagnostic mené sur La Rondinara représente un état « initial » de la situation qui permettra la poursuite des mesures avec la mise en place d'un suivi dans le cadre du ROL par exemple. Pour chacune des 2 plages, ce diagnostic permettra, si l'OEC le souhaite, la poursuite d'un **suivi adapté à la problématique des banquettes de posidonie** avec la comparaison de **l'impact de différents modes de gestion** (volumes déplacés, zone stockage, moyens employés, etc.). Des moyens supplémentaires techniques (e.g. système de caméra) et humains (observateurs, fiche de plages) peuvent être envisagés si nécessaires afin d'améliorer la connaissance de la dynamique des banquettes sur ces deux plages et des impacts des tempêtes.

Enfin, la caractérisation du mode de fonctionnement hydro-sédimentaire essentielle pour la gestion de la bande côtière, pourrait être améliorée par une connaissance de la dynamique marine à l'échelle du Golfe plus fine ainsi que par la propagation des forçages marins jusqu'aux deux plages. Pour cela, des acquisitions de données hydrodynamiques et topo-bathymétriques à haute fréquence spatiale et temporelle ainsi que des modélisations numériques sont nécessaires.

7. Bibliographie

- ANDROMEDE (2019)** - Projet GIREPAM - *Mise en évidence des effets de l'impact des ancrages de la grande plaisance sur les herbiers de Posidonie de la Réserve Naturelle des Bouches de Bonifacio. Contrat Andromède Océanologie / Office de l'Environnement Corse, 56 p.*
- Belon R. et Bodéré G. (2016)** - *Réseau d'Observation du Littoral de la Corse-Sites sensibles à évolution forte et problématique. Année 2015. Rapport final BRGM/RP-66353-FR, 44 p., 24 ill.*
- Buron K., Monville I., Jousseau M., Chéry A., Vela A., Cancemi. G, Lejeune P. (2012)** - *Inventaires biologiques et analyse écologique des habitats marins patrimoniaux. Sites Natura 2000 en mer du Lot Corse Extrême Sud. Volet III : Sites Natura 2000 FR9402015 - Bouches de Bonifacio, Iles des Moines ; FR9400587 - Iles Cerbicale et frange littorale et FR9400591 - Plateau de Pertusato/Bonifacio et Iles Lavezzi. Rapport EVEMar - Stareso - Sintinelle /Agence des Aires Marines Protégées - 261 pages + Annexes.*
- Delpont G, Robelin Ch., Oliveros C. (1998)** - *Littoral septentrional sud-oriental Corse : Évolution du trait de côte de 1951 à 1996. Étude de 40 plages des Agriates au golfe de Sant'Amanza. Rapport BRGM R 40290, 173 p.*
- Laigre T., Mugica J., Bodéré G. (2018)** - *Réseau d'Observation du Littoral de la Corse Compte rendu de la campagne 2017. Rapport intermédiaire BRGM/RP-68373-FR, 205 p., 137 ill. 1 ann.*
- Mallet C., Michot A., De La Torre Y., Lafon V., Robin M., Prevotiaux B. (2012)** - *Synthèse de référence des techniques de suivi du trait de côte. Rapport final BRGM/RP-60616-FR, 162 p., 100 fig., 7 ann.*
- Mugica J., Pedreros R., Louisor J., Maspataud A., Laigre T. avec la collaboration de Nicolae Lerma A., Paris F. (2019)** - *Caractérisation des zones basses potentiellement exposées aux submersions marines - Secteurs de Sant'amanza (Bonifacio) à Zonza. Rapport final. BRGM/RP-68934-FR, 134 p., 76 fig., 3 ann.*
- Paquier A.-E., Meulé S., Anthony E.J., Bernard G. (2014)** - *Sedimentation and erosion patterns in a low shoot-density Zostera noltii meadow in the fetch-limited Berre lagoon, Mediterranean France. Journal of Coastal Research 70. <https://doi.org/10.2112/SI70-095.1>.*
- Paskoff R. (1985)** - *Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. Armand Colin, 3^{ème} édition, Collection U, série « Géographie ».*
- Pluquet F. (2006)** - *Évolution récente et sédimentation des plates-formes continentales de la Corse. Thèse de doctorat de l'Université de Corte – Pascal Paoli.*
- SHOM (2016)** - *Ouvrage de marée, Références Altimétrique Maritimes. Ports de France métropolitaine et d'outre-mer. Côtes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée.*
- Stépanian A, Balouin Y., Belon R., Bodéré G. (2011)** - *ROL - Étude complémentaire sur l'impact des tempêtes sur le littoral de la Plaine Orientale de Corse - État des connaissances sur les impacts des tempêtes sur le littoral. Rapport final. BRGM/RP-59046-FR, 137p, 64 ill., 4 ann.*
- Stépanian A., Belon R., Calistri A. (2017)** - *Contribution du BRGM au projet ADAPTO pour une gestion souple du trait de côte sur le littoral nord de la Casinca et de la Marana (Haute-Corse). Rapport final. BRGM/RP-67389-FR, 84 p., 56 ill., 3 ann., 1 CD.*

Annexe 1

Principes généraux de la méthode d'acquisition

Le réseau de mesures du ROL repose sur l'acquisition conjointe :

- de données topo-bathymétriques sur des profils transversaux de la plage ;
- de données topographiques longitudinales du trait de côte sur certains sites.

Ces mesures topo-bathymétriques sont associées à une expertise géomorphologique des corps morpho-sédimentaires tels que décrits sur la Figure 26.

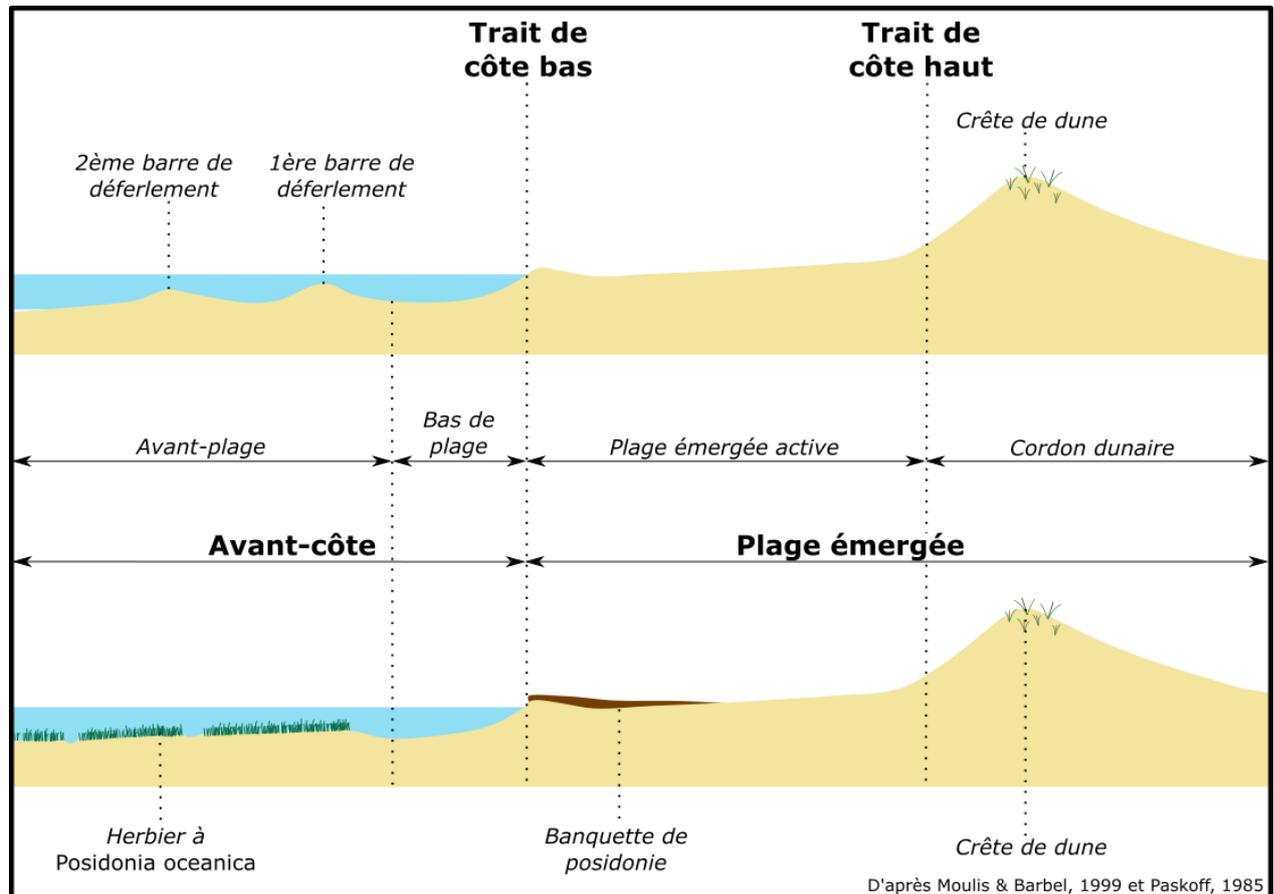


Figure 26 : Profil Type Méditerranéen.

Le choix des méthodes de mesures employées et des indicateurs géomorphologiques retenus répond à la problématique spécifique des plages insulaires microtidales (Mallet *et al.* 2012).

La Figure 27 présente les méthodes utilisées pour les levés du profil de plage émergée, du profil d'avant-côte et du trait de côte. Depuis 2012, les mesures s'appuient sur le réseau ACTISAT® de stations permanentes pour le géo-positionnement qui permet de maintenir le niveau de précision des mesures tout en facilitant le déploiement du matériel sur le terrain.

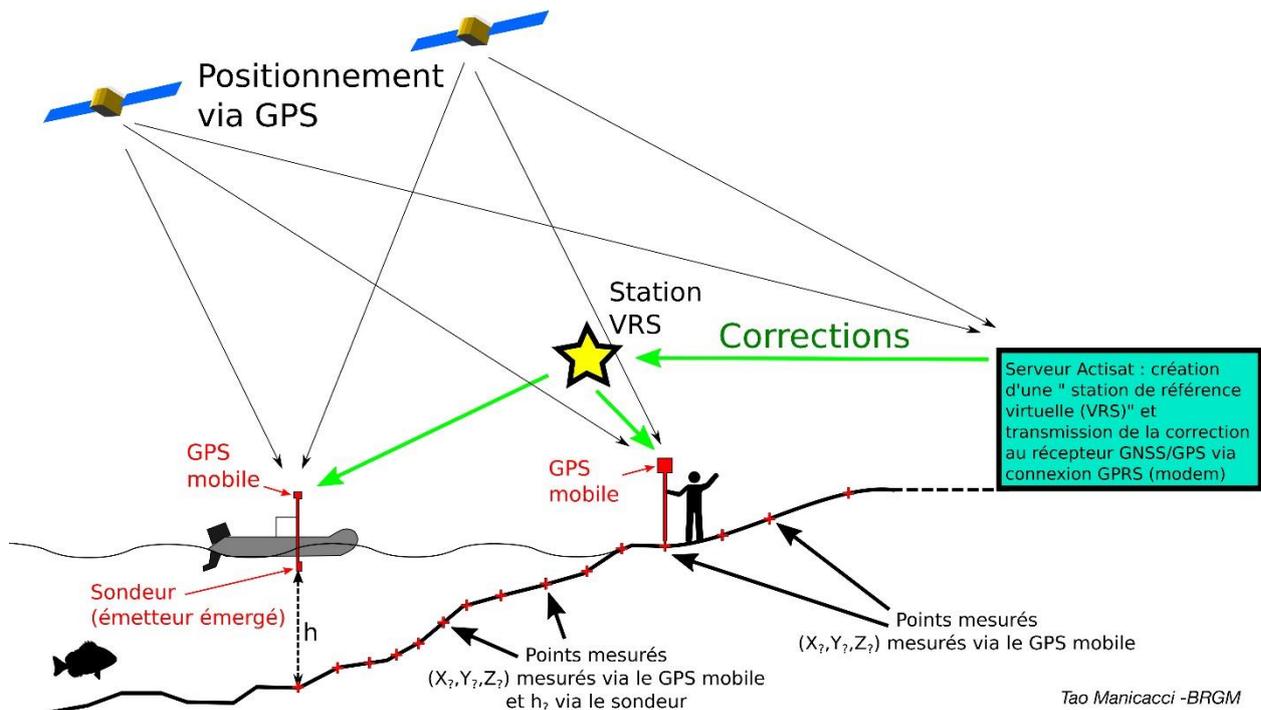


Figure 27 : Méthodologies des mesures réalisées dans le cadre du ROL.

• Les profils de plage

Sur la partie émergée, les levés topographiques sont réalisés par un opérateur à pied muni d'un DGPS (GPS Différentiel) cinématique TRIMBLE® R10 de précision centimétrique (Figure 28.a).

Sur la partie sous-marine, les levés bathymétriques sont effectués depuis un zodiac avec un sondeur acoustique mono-faisceau TRITECH® de précision décimétrique dont l'acquisition haute fréquence est couplée en temps-réel au DGPS cinématique par l'interface du logiciel HYPACK® (Figure 28.b).

☞ Avantages et limites de la méthode :

L'assemblage des profils émergés et sous-marins permet d'avoir un levé topo-bathymétrique continu de l'interface terre-mer. En revanche, l'interprétation de ces données à dire d'expert est indispensable notamment pour :

- relativiser les évolutions en lien avec les variations de techniques d'acquisition (différentes incertitudes en fonction des outils de mesures) ou d'observateurs ;
- mettre en évidence la présence d'affleurements rocheux ou d'herbiers.

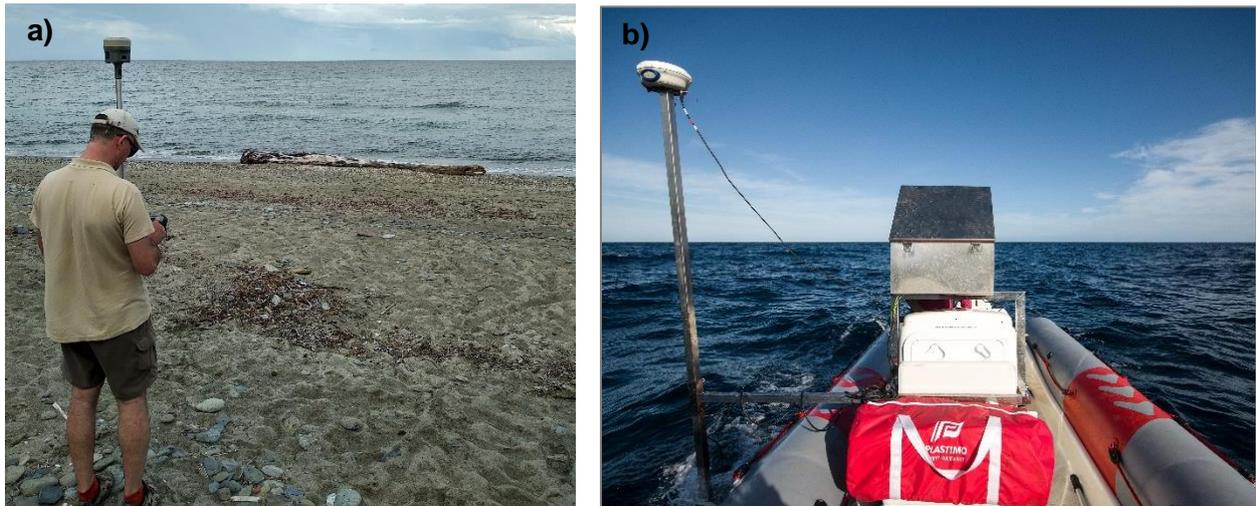


Figure 28 : Mesure du profil topographique au DGPS (a), mesure du profil bathymétrique au sondeur mono-faisceau couplé au DGPS (b), (ROL/BRGM).

- **Les traits de côte**

Les levés longitudinaux du trait de côte sont effectués à l'aide d'un DGPS cinématique TRIMBLE® R10 porté par un opérateur à pied (Figure 29).



Figure 29 : Levé du trait de côte bas à pied.

Deux indicateurs morphologiques permettent d'identifier deux types de traits de côte :

- **le trait de côte bas** correspond à la berme de basse plage ou à la ligne de rivage. Il s'agit du niveau moyen de l'eau en période calme ou « **trait de côte moyen** » ;
- **le trait de côte haut** correspond au pied de dune ou à la limite de végétation ou au pied d'ouvrage. Il s'agit de la limite maximale de l'influence marine ou « **trait de côte maximal** » résultant en général des conditions d'agitations les plus intenses telles qu'en hiver ou lors d'évènement majeur par exemple. Cette position n'est pas systématiquement levée lorsque le haut de plage est fortement anthropisé (fixation du trait de côte par des ouvrages, trait de côte indiscernable sous l'effet de rechargement en sédiments ou matériaux divers et reprofilage).

Ces deux indicateurs, trait de côte bas et trait de côte haut, délimitent **la zone active de la plage émergée** qui correspond à la zone de déferlement des vagues sur les plages micro-tidales (jet de rive et nappe de retrait). La largeur de la plage active est un paramètre important pour évaluer la vulnérabilité du littoral à l'érosion.

☞ *Avantages et limites de la méthode :*

Les incertitudes de la méthode ne sont pas liées à la précision instrumentale mais au repérage parfois difficile des différents indicateurs géomorphologiques suivis. C'est pourquoi, seules les **évolutions supérieures ou égales à 5 m** peuvent être considérées comme significatives.

Références géographiques

Dans ce rapport, la **référence altimétrique des mesures** est le zéro NGF (Nivellement Général de la France), soit 0 m NGF/IGN78.

Sur l'ensemble des marégraphes du littoral corse, le niveau moyen de la mer mesuré est de +0,02 m NGF (niveaux moyens compris entre -0,07 m et +0,095 m ; SHOM 2016).

Le **système de projection** des données cartographiques utilisé est le **Lambert-93**.

Représentation des profils

Les données topo-bathymétriques (en m NGF/IGN78) des profils de plage sont représentées dans un graphe sur un axe perpendiculaire au trait de côte, en fonction de la distance à l'origine du profil (distance « cross-shore »). La Figure 30 fournie en exemple présente plusieurs graphes :

- **les profils topo-bathymétriques complets (A) et (B) ;**
- **les profils zoomés autour de l'interface terre-mer et de la plage émergée (C) et (D).** Il s'agit d'un secteur très évolutif sur lequel sont généralement concentrés les principaux enjeux ;
- **les différentiels entre les profils consécutifs d'une campagne à l'autre (A) et (C).** Ils permettent d'identifier plus facilement les zones du profil qui évoluent entre 2 campagnes. Les valeurs positives et négatives indiquent respectivement une accrétion et une érosion.

Pour faciliter la lisibilité des graphes, seules les données des deux dernières campagnes ainsi que l'enveloppe au sein de laquelle a évolué le profil pendant toute la période d'observation (valeurs maximales et minimales atteintes par le profil) sont représentées.

Ces graphes obtenus à partir du langage de programmation MATLAB® (TheMathWork) permettent d'analyser pour chaque site, les principales informations suivantes :

- variations d'altitudes et déplacements cross-shore des indicateurs géomorphologiques entre deux campagnes de mesures (dune, pied de dune, pied de falaise, bermes, microfalaise, barre sous-marine, etc.). Il est parfois possible d'identifier d'éventuels transits sédimentaires le long du profil (migration cross-shore de barre sous-marine par exemple) ;
- l'enveloppe au sein de laquelle le profil a évolué pendant toute la période d'observation met en évidence les zones du profil les plus mobiles. Pour faciliter la lecture, la totalité des levés n'est pas représentée. Seuls les levés les plus récents sont représentés au sein de l'enveloppe afin de juger de leur représentativité par rapport à une valeur moyenne sur la période d'observation.

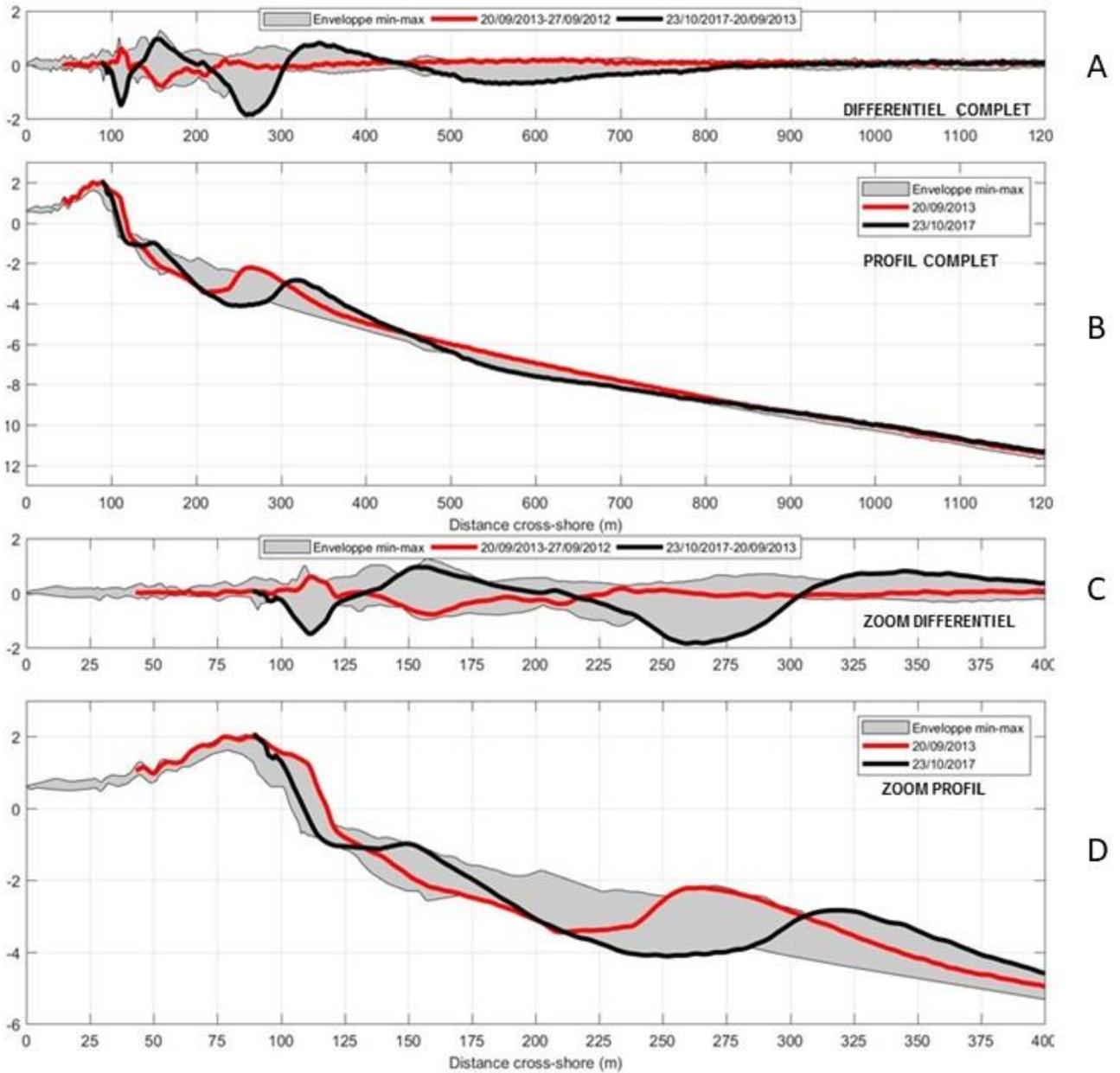


Figure 30 : Représentation graphique des différents levés d'un profil de plage. Le dernier levé apparaît en noir (ici le 23/10/2017), l'avant dernier levé apparaît en rouge (ici le 20/09/2013).

A : évolutions différentielles entre 2 campagnes de mesures. B : profil topo-bathymétrique complet. C : évolutions différentielles zoomées sur la plage et l'avant-côte. D : profil topo-bathymétrique zoomé sur la plage et l'avant-côte.

Représentation des données du trait de côte

Les différentes données géographiques sont représentées sous forme de cartes de trois types :

- **une carte de l'évolution récente** (distance en mètres) des traits de côte bas (berme) et haut (pied de dune) **entre les 2 dernières campagnes**. Les teintes jaunes à rouges traduisent une érosion, c'est-à-dire un recul vers l'intérieur des terres. Les teintes vertes traduisent une accrétion, c'est-à-dire une avancée du trait de côte vers la mer (Figure 31.A) ;
- **une carte des taux d'évolution** (en mètres par an) des traits de côte bas (berme) et haut (pied de dune) **calculés sur la période d'observations du ROL**. La symbologie est similaire à celle de la carte précédente (Figure 31.B) Le taux est calculé selon une régression linéaire grâce à la méthode des moindres carrés. Une explication détaillée de la méthode et de son choix est présentée en Annexe 1 du rapport 2017 du ROL (Laigre et al. 2018). La variabilité de la position des traits de côte est mise en évidence par des cercles violets dont la taille et la teinte augmentent avec l'amplitude des variations.
- **une carte de l'ensemble des positions anciennes du trait de côte** (berme) disponibles pour chacun des sites sur le portail internet du ROL (Figure 32).

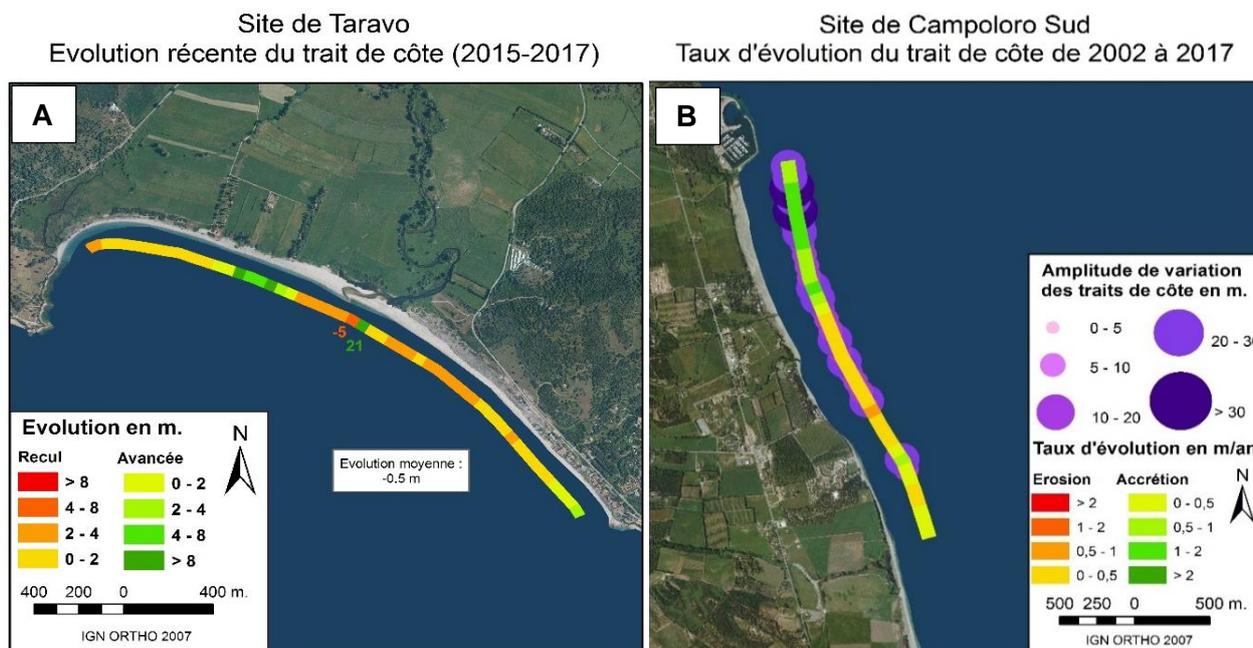


Figure 31 : A : représentation des évolutions récentes du trait de côte entre les deux dernières campagnes. B : représentation des taux d'évolution du trait de côte sur l'ensemble de la période d'observations du ROL.

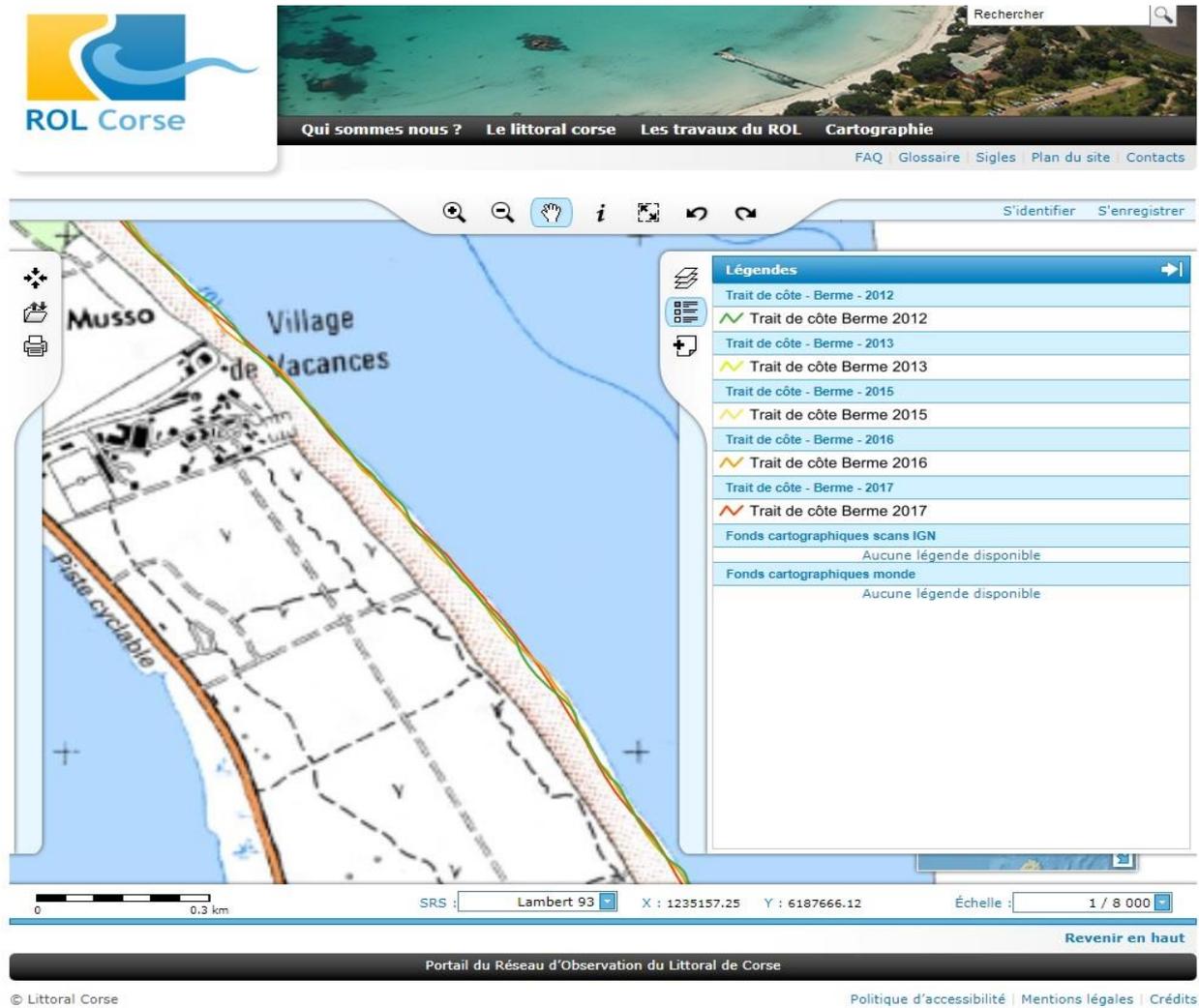


Figure 32 : Catalogue des traits de côte disponible sur <http://www.littoral-corse.fr/>.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr

Direction régionale Corse

Immeuble Agostini,
Zone Industrielle de Furiani
20600 – Bastia – France

Tél. : 04 95 58 04 33