Mairie de Bandol
1 Pl. de la Liberté
83150 Bandol

NOTICE ENVIRONNEMENTALE

Mai 2022 – Indice A

Etudes pour la gestion du trait de côte des plages de Bandol – Grand Vallat – Casino – Centrale – Renécros

Maîtrise d'œuvre	
Bureau d'études ICTP 254 Corniche Fahnestock 06700 ST-LAURENT DU VAR	ICTP INGÉNIERIE CONSULTANTS TRAVAUX PUBLICS
N° 22/01 – NE – Ind.A	

1. PREAMBULE 4
1.1. Contexte 4
1.2. Importance de l'étude à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire 5
2. DESCRIPTION DU PROJET 5
2.1. Projet communal 5
2.2. Localisation des plages de Bandol 7
3. DIAGNOSTIC DU LITTORAL 10
3.1. Qualité des sédiments 10
3.1.1. Résultats des analyses 11
3.1.2. Interprétations et projet communal 12
3.2. Analyse historique de l'évolution du trait de côte et des profils topo-bathymétriques 13
3.2.1. Evolution du trait de côte 13
3.2.2. Levés bathymétriques 18
3.2.3. Evolution des fonds (topo-bathymétrie) 19
3.3. Etude de la dynamique sédimentaire – modélisations houle et courantologie 28
3.3.1. Généralités 28
3.3.2. Résultats du modèle hydrodynamique 29
3.3.3. Conclusions de l'étude 35
3.3.4. Perspectives de gestion du trait de côte 35
3.4. Etude de la biocénose à *Posidonia oceanica* 36
3.4.1. Vitalité de l'herbier à Posidonia oceanica 36
3.4.2. Espèces associées sur l'ensemble des stations 38
3.5. Nettoyage des plages de Bandol 39
3.5.1. Macrodéchets et banquettes de Posidonie 39
3.5.2. Gestion raisonnée des banquettes de Posidonie et entretien des plages 41
3.5.3. Axes de réflexion sur la gestion de la laisse de mer 41
4. CONCLUSION 43
5. ELEMENTS UTILES A LA COMPREHENSION DU DOCUMENT 45
5.1. Annexes 45

FIGURES

Figure 1. Localisation de la commune de Bandol au sein du département du Var dans la région PACA 7
Figure 2. Localisation de la commune de Bandol au sein de la communauté d'agglomération Sud Sainte-Baume 7
Figure 3. Localisation des plages de Bandol (en bleu les plages de galet, en jaune les plages de sable) 8
Figure 4. Localisation et photos des plages rechargées – Image aérienne Géoportail, photographies ICTP 2021..... 9
Figure 5. Localisation des points de prélèvements sédimentaires (points rouges) au sein des zones d'études – SEMANTIC 2022 10
Figure 6. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage de Renécros et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022 14
Figure 7. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage Centrale et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022 15
Figure 8. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage du Casino et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022 16
Figure 9. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage du Grand Vallat et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022 17
Figure 10. Localisation des coupes des modèles bathymétriques et lithographiques – SEMANTIC TS 2022..... 19
Figure 11. Plage de Renécros : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage de Renécros – GlobOcéan 2022..... 21
Figure 12. Plage Centrale: MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage Centrale) – GlobOcéan 2022..... 23
Figure 13. Plage du Casino : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage du Casino – GlobOcéan 2022 25
Figure 14. Plage du Grand Vallat : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage Vallat – GlobOcéan 2022 27
Figure 15. Planches de hauteurs de houle - vues rapprochées – conditions fréquentes SO – GlobOcéan 2022..... 29
Figure 16. Planches de hauteurs de houle – vues rapprochées – conditions fréquentes SUD– GlobOcéan 2022 30
Figure 17. Courants générés par une houle fréquente de secteur SO – GlobOcéan 2022..... 31
Figure 18. Courants générés par une houle fréquente de secteur S – GlobOcéan 2022 32
Figure 19. Courants générés par une houle fréquente de secteur SO – GlobOcéan 2022..... 33
Figure 20. Evolutions bathymétriques modélisées (durée 24h) : houle fréquente de SO – GlobOcéan 2022..... 34
Figure 21. Evolutions bathymétriques modélisées (durée 24h) : houle fréquente de S – GlobOcéan 2022 34
Figure 22. Zone de rechargements et biocénoses le long des plages de Bandol - Medtrix 2014..... 36
Figure 23. Position des 9 stations d'observations de la vitalité de l'herbier de Posidonie – SEMANTIC TS 2022 37

TABLEAUX

Tableau 1. Résultats des analyses granulométriques pour la plage du Grand Vallat 11
Tableau 2. Résultats des analyses granulométriques pour la plage du Casino 11
Tableau 3. Résultats des analyses granulométriques pour la plage Centrale..... 12
Tableau 4. Résultats des analyses granulométriques pour la plage de Renécros..... 12
Tableau 5. Volume de sables rechargés depuis 2012 sur l'ensemble des plages de sable de Bandol 18
Tableau 6. Vertébrés observés lors des plongées de mesures des paramètres de vitalités de l'herbier de posidonie – SEMANTIC TS 2022..... 39

1. PREAMBULE

1.1. Contexte

Le littoral est un milieu soumis à des aléas spécifiques (érosion côtière, submersions marines) où la présence d'enjeux socio-économiques, humains, environnementaux génèrent une vulnérabilité.

L'érosion de la côte est un phénomène qui n'épargne aucune commune littorale française. A l'échelle régionale, la région PACA est considérée comme très exposée au risque d'érosion côtière. En réponse à cette menace, les fronts de mer des zones urbaines qui ont une haute valeur industrielle, touristique et écologique, ont généralement été aménagés au moyen de digues, brise-lames, jetées ou autres structures en enrochements qui visent à protéger les constructions ou autres biens situés sur la côte.
Or, des études ont mis en évidence les impacts environnementaux négatifs des aménagements « durs » construits à une époque où l'urgence et le manque de connaissance du phénomène érosif justifiait des interventions lourdes.

Particulièrement impacté, le département du Var dispose de peu de recul sur le phénomène, avec une côte de plus en plus artificialisée qui doit faire face au risque de recul voire de disparition. Une problématique non sans incidence dans la mesure où le Var est la première destination touristique de France, derrière Paris, avec plus de 8 millions de visiteurs par an.

Or, toute action de préservation du littoral, présente un coût et c'est pour cette raison que dans un contexte de gestion intégrée de zones côtières, chaque démarche envisagée doit être réfléchie au préalable (ampleur des phénomènes, enjeux des zones à préserver). La démarche à suivre sera différente en fonction des situations (espaces inondables, zone urbaine exposée aux risques, plages à fort potentiel touristique, …).
Dans la gestion de protection des côtes, face aux aléas, aux enjeux, à la vulnérabilité du territoire, le choix de la méthode de protection dépend de l'évaluation des risques, ceux-ci s'exprimant par la combinaison d'aléas et d'enjeux. L'aléas « érosion » se détermine par une étude du bilan sédimentaire du littoral et des évolutions à long terme du trait de côte ou des zones submersibles.

Quatre axes de gestion du trait de côte sont envisageables à l'échelle d'une commune :

- Pas d'intervention

Si les enjeux ne justifient pas une intervention ou s'il n'y a pas d'enjeux présents, il est convenu de suivre l'évolution naturelle tout en limitant les impacts anthropiques.

- Recul stratégique

Si les enjeux ne justifient pas une intervention (zones où l'analyse coût/avantages ne justifie pas une intervention technique de défense), si les enjeux sont faibles ou encore s'il s'agit de la seule option permettant d'assurer la protection de la population. Le recul peut notamment être le déplacement des équipements situés en première ligne qui doivent être déplacés vers l'intérieur des terres en suivant l'évolution du trait de côte. L'évacuation peut être définitive ou elle peut se faire avec une relocalisation sur des territoires rétro-littoraux ou encore selon une réorganisation urbaine.

- Intervention limitée

- Si les enjeux nécessitent une intervention mais ne sont pas exposés à un risque fort alors, il faut intervenir par l'emploi de méthode « douce » qui accompagnent les processus naturels de mobilité du trait de côte.

- Maintien du trait de côte

Si les enjeux sont importants, il faut envisager la protection de ces zones par l'intermédiaires de techniques « souple » et/ou « dures ». Il permet alors de maintenir en place les enjeux socio-économiques importants.

Dans un contexte de stratégie de réduction de l'artificialisation de la côte, le rechargement de plage, comme elle l'est pratiquée à Bandol, apparaît être la méthode de protection la plus douce. Cette méthode n'a pas de conséquence néfaste pour les plages voisines, *a contrario* d'autres méthodes qui peuvent influencer la dérive littorale comme l'ajout ou le retrait d'ouvrage. Le réensablement permet de rehausser la pente de la plage, dans un but de prévention contre l'élévation du niveau de la mer (ANCORIM).

1.2. Importance de l'étude à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire

Les plages font parties d'un ensemble hydrosédimentaire complexe au sein duquel les paramètres géomorphologique, hydrodynamique et biologique interagissent pour composer une cellule unique propre à chaque plage ou à chaque segment de plage selon le cas. Il est donc primordial de localiser les limites de la cellule sédimentaire à laquelle appartient une plage.
Le phénomène global d'érosion côtière tend à accroître les risques côtiers (recul du trait de côte, submersion) dans les secteurs à enjeux. La stratégie visant à la gestion des stocks sableux côtiers au sein même des cellules hydrosédimentaires apparaît comme la solution de gestion locale de l'érosion côtière. La connaissance des échanges au sein de la cellule hydrosédimentaire et avec le large est au cœur de la compréhension du fonctionnement des systèmes littoraux sableux et de leur mobilité au sein des cellules littorales.

Les études réalisées par la commune de Bandol et dont les résultats sont présentés dans ce document permettent d'établir un premier socle de connaissance des cellules sédimentaires des plages de sable de Bandol. Elles visent à comprendre le fonctionnement de chacune des plages qui seront rechargées, dans le but de déterminer les interactions hydrosédimentaires entre elles et le littoral bandolais.
En rassemblant des données bathymétriques, sédimentaires, courantologiques et biologiques, la commune pourra alors connaître les échanges et le transport du sable au sein des cellules définies, permettant ainsi d'adapter sa stratégie de gestion du trait de côte.

2. DESCRIPTION DU PROJET

2.1. Projet communal

Lors des tempêtes, certaines plages de Bandol subissent l'action de la houle, ce qui se traduit notamment par l'abaissement du profil de plage, un recul important du trait de côte. Couplé au phénomène naturel d'érosion, les plages de Bandol voient leur bande sableuse diminuer à tel point que la poursuite des activités balnéaires pourrait être menacée.

De ce fait, l'érosion est un phénomène important à prendre en compte et à intégrer dans les politiques publiques dans la mesure où une partie de l'économie de la commune est dépendante de l'attractivité touristique et résidentielle de son littoral. En effet, les plages de Bandol disposent d'un capital touristique majeur qu'il est nécessaire de conserver et qui demande de s'adapter au phénomène érosif et nécessitent une gestion qui vise le maintien du trait de côte afin de préserver les activités se déroulant sur les plages et aux alentours.

Si l'érosion est un phénomène naturel à intégrer dans la gestion de son territoire, l'entretien des plages fait partie des priorités de la commune afin de conforter, si ce n'est renforcer, l'attractivité de l'ensemble du territoire communal.
A ce titre, l'aménagement du territoire se doit d'apporter une réponse claire et cohérente vis-à-vis des enjeux de la commune et notamment la préservation et la mise en valeur de ses espaces naturels, de sa façade littorale et le confortement de l'attractivité touristique.

Pour compenser le phénomène d'érosion et afin d'assurer un espace balnéaire de qualité pour les activités touristiques estivales, la commune de Bandol opère annuellement depuis 2012 des rechargements de certaines de ses plages.
Le rechargement n'a pas pour but de stopper le phénomène d'érosion, mais il permet de le limiter et d'agir sur ses effets.
Le rechargement est une méthode douce qui permet de compenser le déséquilibre du littoral dû à l'érosion. Le but d'alimenter les plages en matériaux, que ce soit par apport exogènes ou par dragage in situ est de rétablir un profil d'équilibre de la plage, de protéger les structures contre les vagues de tempête par effet de « zone tampon ». Le maintien d'estrans larges permet la préservation des usages (activités humaines) et des enjeux.

En vue de préparer la saison estivale 2021, la mairie de Bandol a transmis une demande d'examen au cas par cas à l'Autorité Environnementale (AE) le 12 mars 2021, pour son projet de rechargement des plages communales de sable suivantes :

- Renécros
- Centrale
- Casino
- Grand Vallat

Par l'Arrêté n°AE-F09321P0081 du 30/04/2021, l'AE conclut que le projet de rechargement de plages situés sur la commune de Bandol n'est pas soumis à étude d'impact mais engage la commune de Bandol à mener les actions suivantes :

- Déterminer la granulométrie nécessaire aux rechargements en fonction des bathymétries et des conditions de houles dimensionnantes
- Fournir les dynamiques sédimentaires
- Fournir une analyse plus précise des causes de départ du sable et un bilan environnemental au cours de l'année suivant le rechargement, s'appuyant sur une connaissance préalable de la bathymétrie et des conditions d'équilibres (granulométrie, profils) des plages concernées,
- Une analyse sur la localisation des enjeux environnementaux et sur les pratiques en matière de nettoyage des plages et des banquettes de Posidonie

Le présent document constitue la notice environnementale reprenant les résultats des études mises en place consécutivement aux engagements de la commune de Bandol en avril 2021.

2.2. Localisation des plages de Bandol

D'une superficie de 8,58km², la commune de Bandol se situe dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, au sein du département du Var et appartient à la communauté d'agglomération Sud Sainte-Baume avec 8 autres communes.

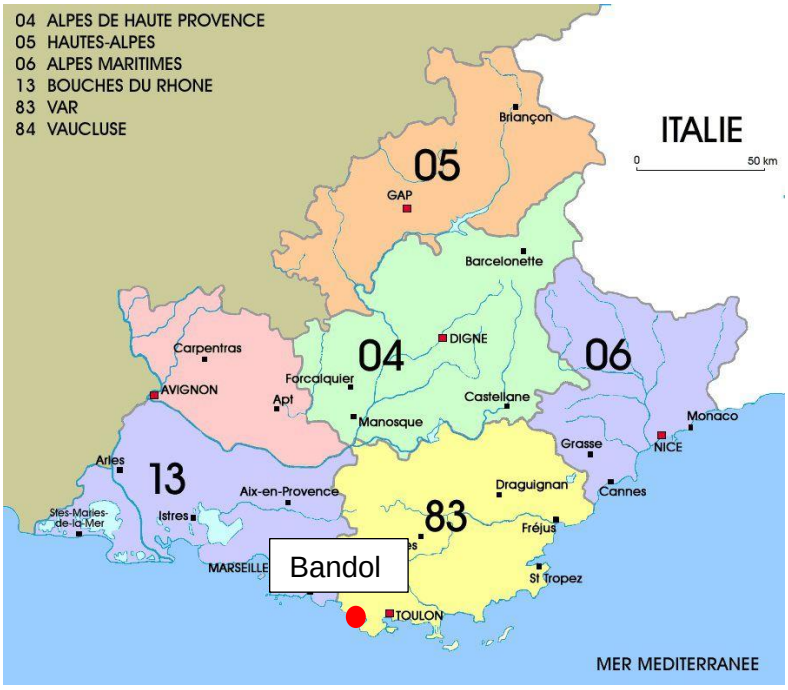


Figure 1. Localisation de la commune de Bandol au sein du département du Var dans la région PACA

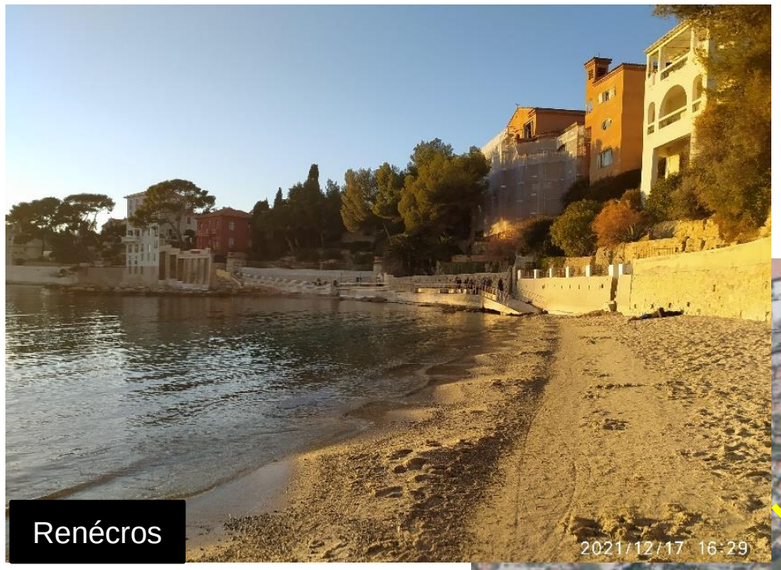
Figure 2. Localisation de la commune de Bandol au sein de la communauté d'agglomération Sud Sainte-Baume

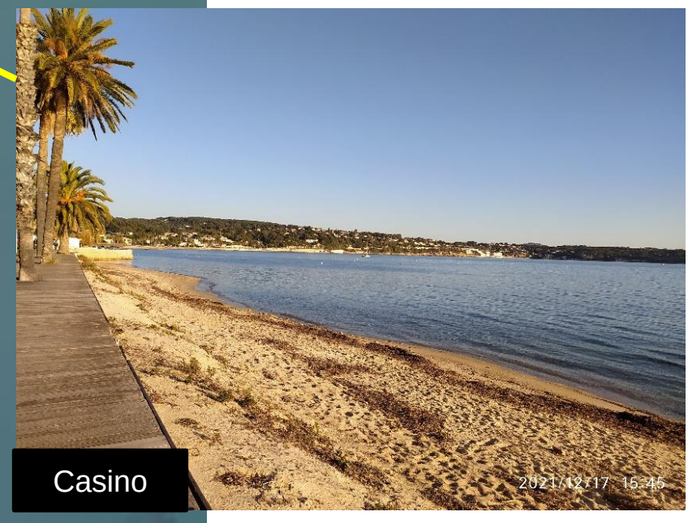
Le littoral de Bandol se découpe en plages de sable, de galets, en petite criques rocheuses, naturelles et artificielles qui se succèdent.

Figure 3. Localisation des plages de Bandol (en bleu les plages de galet, en jaune les plages de sable)

Cependant, les quatre plages de sable, qui sont les plus prisées de la commune, subissent le phénomène d'érosion qui nécessite des réensablements annuels en vue de conserver une bande sableuse suffisante au déroulé des activités touristiques et à l'accueil des estivants et des bandolais.

La carte ci-dessous présente la localisation des plages à recharger





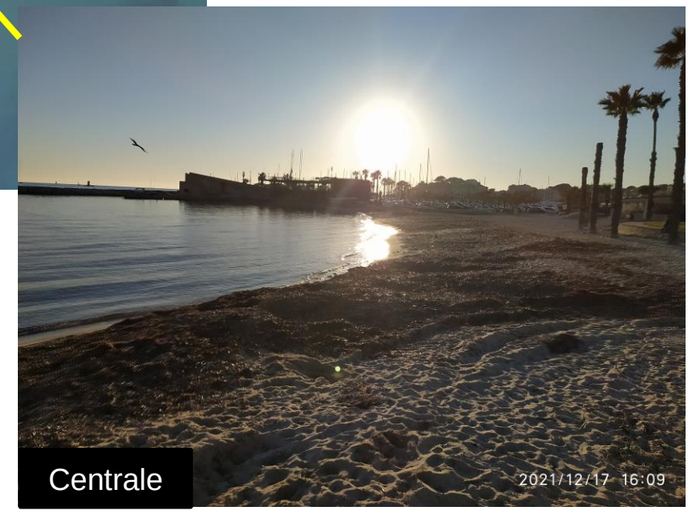


Figure 4. Localisation et photos des plages rechargées – Image aérienne Géoportail, photographies ICTP 2021

3. DIAGNOSTIC DU LITTORAL

Afin de répondre à ses engagements, la mairie de Bandol a souhaité mener différentes missions ayant permis l'acquisition de données sur son littoral qui permettent d'établir un premier bilan des effets des rechargements en sable conduit ces 10 dernières années.

3.1. Qualité des sédiments

Dans le cadre des rechargements de plage et conformément aux prescriptions de la DREAL, la commune de Bandol a fait réaliser des prélèvements et analyses sédimentaires des plages qui ont été et qui seront rechargées.
Les analyses granulométriques réalisées permettent alors de définir précisément la classe granulométrique de sables de Bandol, et de tenir compte de ces caractéristiques afin de disposer sur les plages un sable adapté à la dynamique sédimentaire.

Les prélèvements sédimentaires ont été réalisés aux points repérés sur la figure suivante :

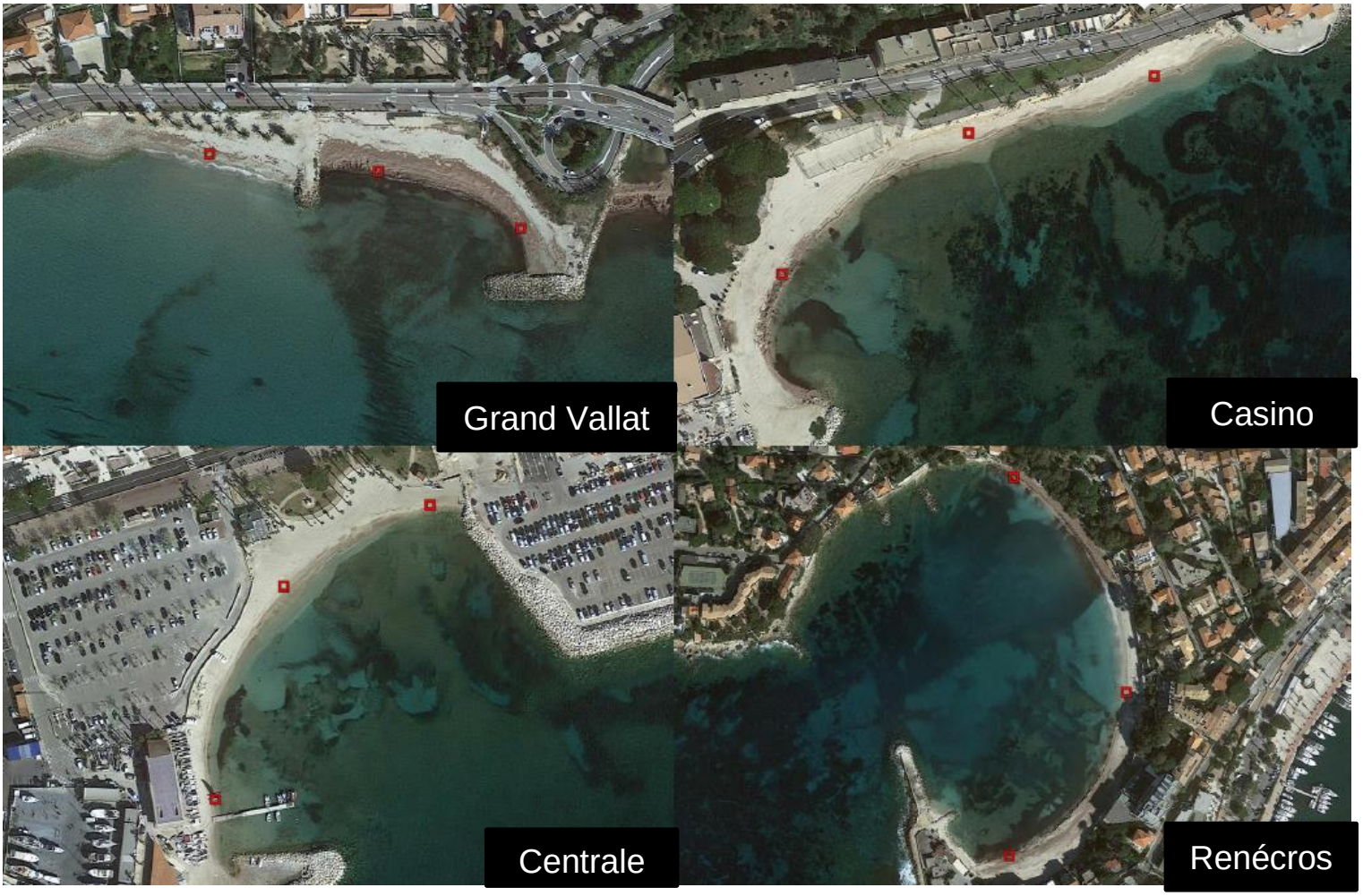


Figure 5. Localisation des points de prélèvements sédimentaires (points rouges) au sein des zones d'études – SEMANTIC 2022

La méthode choisie est un prélèvement superficiel entre 0-20cm de profondeur, en limite d'eau sur les 3 stations (avec deux réplicats), puis mélange et reconstitution de 2 échantillons moyen.

3.1.1. Résultats des analyses

Les tableaux suivants présentent les caractéristiques granulométriques des sédiments des différentes plages et présentent les fractions granulométriques dans lesquelles se classent les sédiments prélevés.

- Plage du Grand Vallat

Le sable de la plage Grand Vallat présente un D50 qui varie de 166,2µm à 278,4 µm, ce qui correspond à des sables fins-moyens.
Les résultats suivants montrent qu'il n'y a pas de particules fines dans le sable du Grand Vallat.

Tableau 1. Résultats des analyses granulométriques pour la plage du Grand Vallat

Paramètres	Unité	VA 1	VA 2
Fraction 2 - 20 µm	%	0	0
Fraction 20 - 63 µm	%	0	0
Fraction 63 - 200 µm	%	28,48	71,36
Fraction 200 - 2000 µm	%	71,52	28,64
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%	28,48	71,36
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000 µm	%	71,52	28,64
D50	µm	278,4	166,2
D moyen	µm	324,9	174,4

- Plage du Casino

Le sable de la plage du Casino présente un D50 qui varie de 511,7 µm à 549,3 µm ce qui correspond à des sables grossiers.
Les résultats suivants montrent qu'il n'y a pas de particules fines dans le sable plage Casino.

Tableau 2. Résultats des analyses granulométriques pour la plage du Casino

Paramètres	Unité	CA1	CA2
Fraction 2 - 20 µm	%	0	0
Fraction 20 - 63 µm	%	0	0
Fraction 63 - 200 µm	%	0	0
Fraction 200 - 2000 µm	%	0	0,15
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%	100	100
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%	0	0,15
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000 µm	%	100	99,85
D50	µm	549,3	511,7
D moyen	µm	586,0	549,0

- Plage Centrale

Le sable de la plage Centrale présente un D50 qui varie de 456,6 µm à 719,3 µm ce qui correspond à des sables moyens à grossiers.
Les résultats suivants montrent qu'il n'y a pas de particules fines dans le sable de la plage Centrale.

Tableau 3. Résultats des analyses granulométriques pour la plage Centrale

Paramètres	Unité	CE1	CE2
Fraction 2 - 20 µm	%	0	0
Fraction 20 - 63 µm	%	0	0
Fraction 63 - 200 µm	%	0	0
Fraction 200 - 2000 µm	%	1,12	0,84
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%	100	100
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%	1,12	0,84
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000 µm	%	98,88	99,16
D50	µm	456,6	719,3
D moyen	µm	501,3	793,0

- Plage de Renécros

Le sable de la plage Renécros présente un D50 qui varie de 371,8 µm à 403,4 µm ce qui correspond à des sables moyens.
Les résultats suivants montrent qu'il n'y a pas de particules fines dans le sable de la plage Renécros.

Tableau 4. Résultats des analyses granulométriques pour la plage de Renécros

Paramètres	Unité	RE1	RE2
Fraction 2 - 20 µm	%	0	0
Fraction 20 - 63 µm	%	0	0
Fraction 63 - 200 µm	%	0	0
Fraction 200 - 2000 µm	%	7,18	5,62
Pourcentage cumulé 0.02 à 2 µm	%	100	100
Pourcentage cumulé 0.02 à 20 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 63 µm	%	0	0
Pourcentage cumulé 0.02 à 200 µm	%	7,18	5,62
Pourcentage cumulé 0.02 à 2000 µm	%	92,82	94,38
D50	µm	403,4	371,8
D moyen	µm	462,1	400,2

3.1.2. Interprétations et projet communal

Afin d'assurer la pérennité de ses plages, la commune de Bandol dispose depuis 2012 jusqu'à 600 m^3 de sable sur plus de 2 ha de plage répartis sur les 4 sites. Ce sable de carrière d'élaboration naturelle, est lavé et de classe granulaire 0/2 (cette classification désigne le granulat en indiquant que son plus petit diamètre représentatif est 0 et son plus grand diamètre représentatif est 2mm).

Les analyses granulométriques réalisées en 2022 ont permis d'actualiser les données concernant les sables des plages de Bandol.

Les mesures montrent que le sédiment est composé de sables moyens de taille variable comprise entre 0.37mm et 0.40mm pour les plages à l'Ouest (sable moyen). Les sédiments les plus grossiers (compris entre 0.45 et 0.71 mm) ont été prélevés sur la plage Centrale.

Les analyses ont également montré l'absence de fine (<63µm) dans les échantillons de sables prélevés.

De manière générale, il est recommandé d'apporter sur les plages, des sables dont la fraction des fines ne dépasse pas 2%. En effet, ces particules sont celles qui sont le plus susceptibles de se disperser dans le milieu, de créer un panache turbide et d'atteindre les zones sensibles notamment les herbiers de Posidonie.
De plus, un sédiment d'apport trop fin augmente le volume de sable à mettre en place et sera instable et emporté au large ou sur des secteurs adjacents avec l'énergie des vagues.
Un sédiment d'apport trop grossier renforce la pente de la plage et en diminue l'attrait.

Les résultats montrent que les catégories de sable que l'on retrouve sur les plages sont variables malgré un apport en sable au caractéristique granulométrique similaire.

Plages de la baie de Bandol
Les résultats des analyses suggèrent une diminution de la granulométrie de sédiments d'Ouest en Est sur les plages de la baie de Bandol (D50 compris entre 0,17mm et 0,28mm sur la plage du Vallat vs. D50 entre 0,51mm et 0,55mm et entre 0,45mm et 0,71mm pour Casino et Centrale, respectivement). On peut donc imaginer qu'une partie des sédiments fins des plages Casino et Centrale ait été transportée par combinaison de transports transversal et longitudinal vers la plage du Vallat et la partie Est de la Baie de Bandol.

Plage de Renécros
Les résultats montrent des variations tout le long de la plage avec des sédiments grossiers sur la partie Nord-Ouest (galets, petits enrochements) et du sable fin à moyen au sud.

Catégorie granulométrique

Lors des rechargements par du sable natif, la commune de Bandol prévoit de continuer d'utiliser des matériaux uniquement issus de la carrière du Beausset.
Les apports pourraient être de catégorie 200µm – 2000µm, permettant de maintenir le fonctionnement actuel tout en évitant du sable trop fin notamment sur la plage du Grand Vallat.

La juste granulométrie et l'absence de la fraction fine permettra de limiter une fuite prématurée des matériaux.

3.2. Analyse historique de l'évolution du trait de côte et des profils topo-bathymétriques

Afin de comprendre la dynamique hydrosédimentaire des sites, le bureau d'études GlobOcéan a réalisé en avril 2022 un diagnostic du littoral de Bandol sur les secteurs identifiés comme potentiellement à risque érosif. Cette étude permet de déterminer la vulnérabilité des plages vis-à-vis du risque d'érosion du littoral et la faisabilité de travaux pour le maintien du trait de côte (rechargement de plage, mise en place d'ouvrages transversaux et/ou longitudinaux).

3.2.1. Evolution du trait de côte

Afin d'obtenir l'évolution du trait de côte depuis les rechargements de plage, 5 images aériennes de 5 dates différentes (2006, 2011, 2014, 2017, 2022) ont été retenues pour l'analyse.

Les résultats d'évolution du trait de côte montrent des différences importantes à la fois en fonction de la plage ainsi que du secteur considéré.

Les figures suivantes mettent en avant :

- Pour la plage Renécros :
  - Un recul du trait de côte sur l'extrémité Nord (-0,2 à -0,4m/an) ;
  - Un trait de côte stable au centre de la plage ;
  - Une avancée sur la partie sud (+0,2 à +0,4) – les changements topo-bathymétriques permettront de valider l'hypothèse d'une rétention des sédiments vers le large par les herbiers).

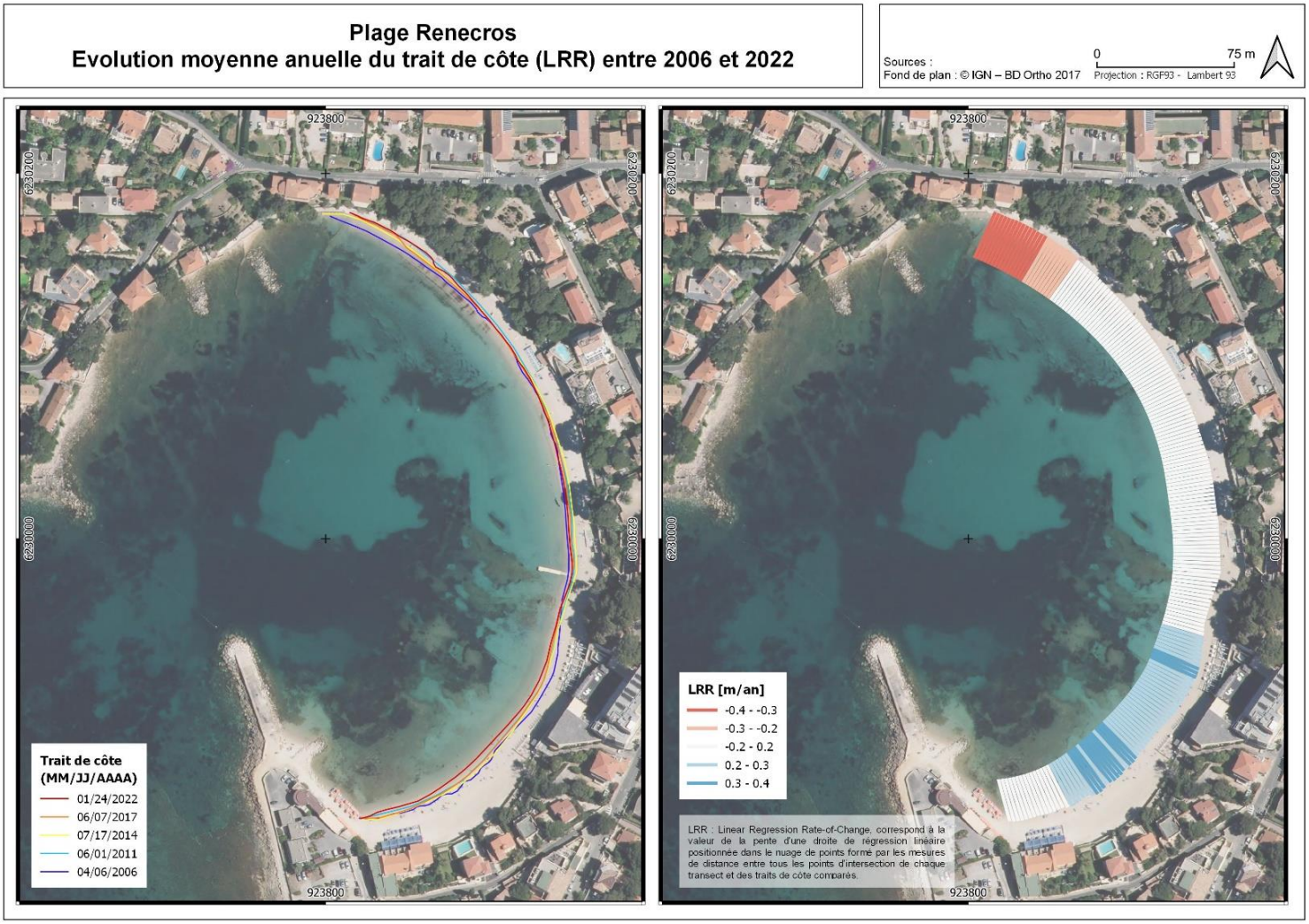


Figure 6. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage de Renécros et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022

- Pour la plage Centrale :
    - Un trait de côte relativement stable (voire en légère avancée) sur l'ensemble de la plage ;

Figure 7. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage Centrale et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022

- Pour la plage du Casino :
    - Un recul du trait de côte sur la partie Ouest (entre -0,2m/an et -1m/an) ;
    - Une avancée sur la partie Est (+0,1 à +0,4m/an) ;

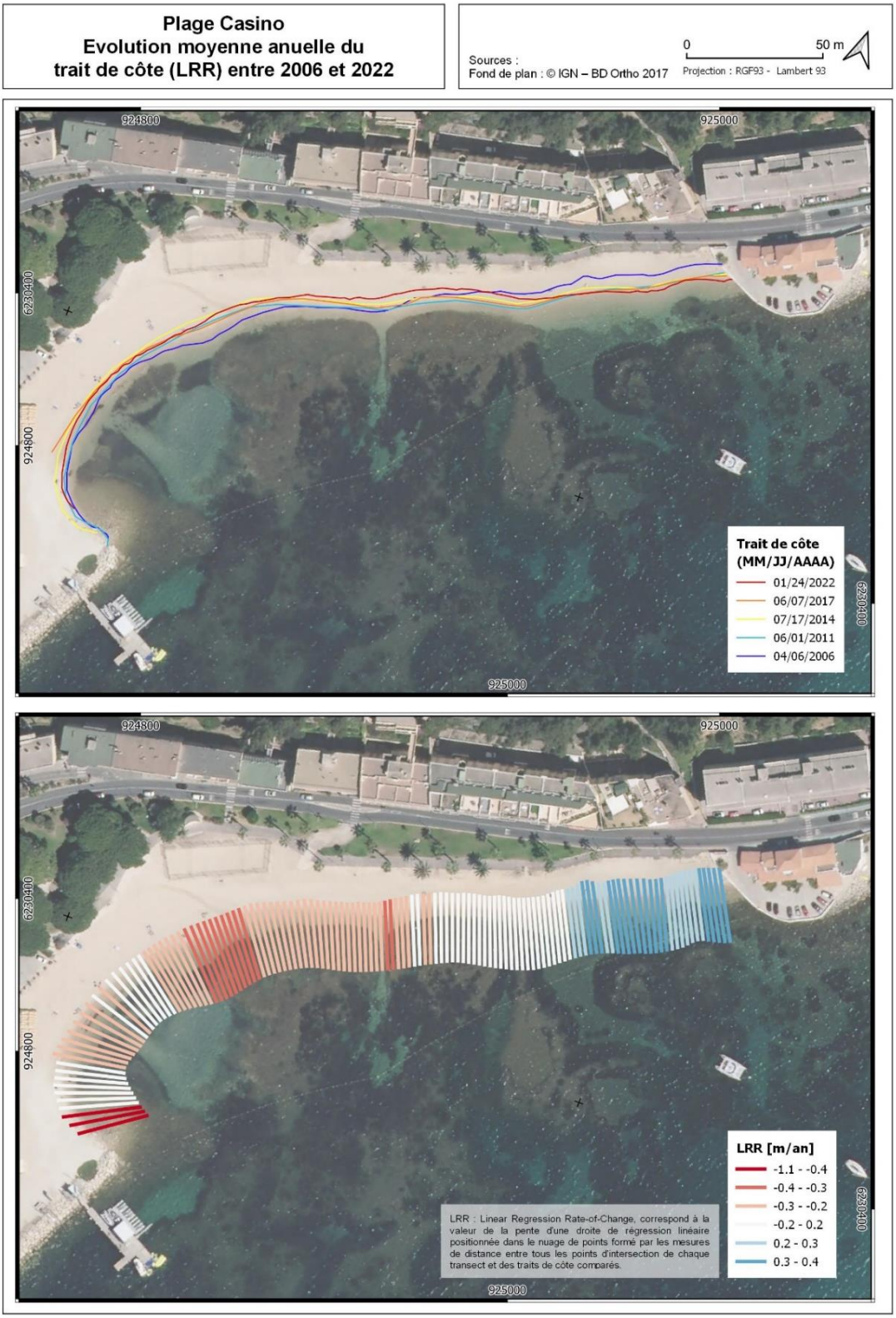


Figure 8. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage du Casino et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022

- Pour la plage du Grand Vallat :
  - Un trait de côte alternant entre recul et avancée à l'ouest de l'épi ;
  - Un trait de côte en avancée généralisée à l'Est de l'épi (entre +0,4m/an et +1,4m/an) ;

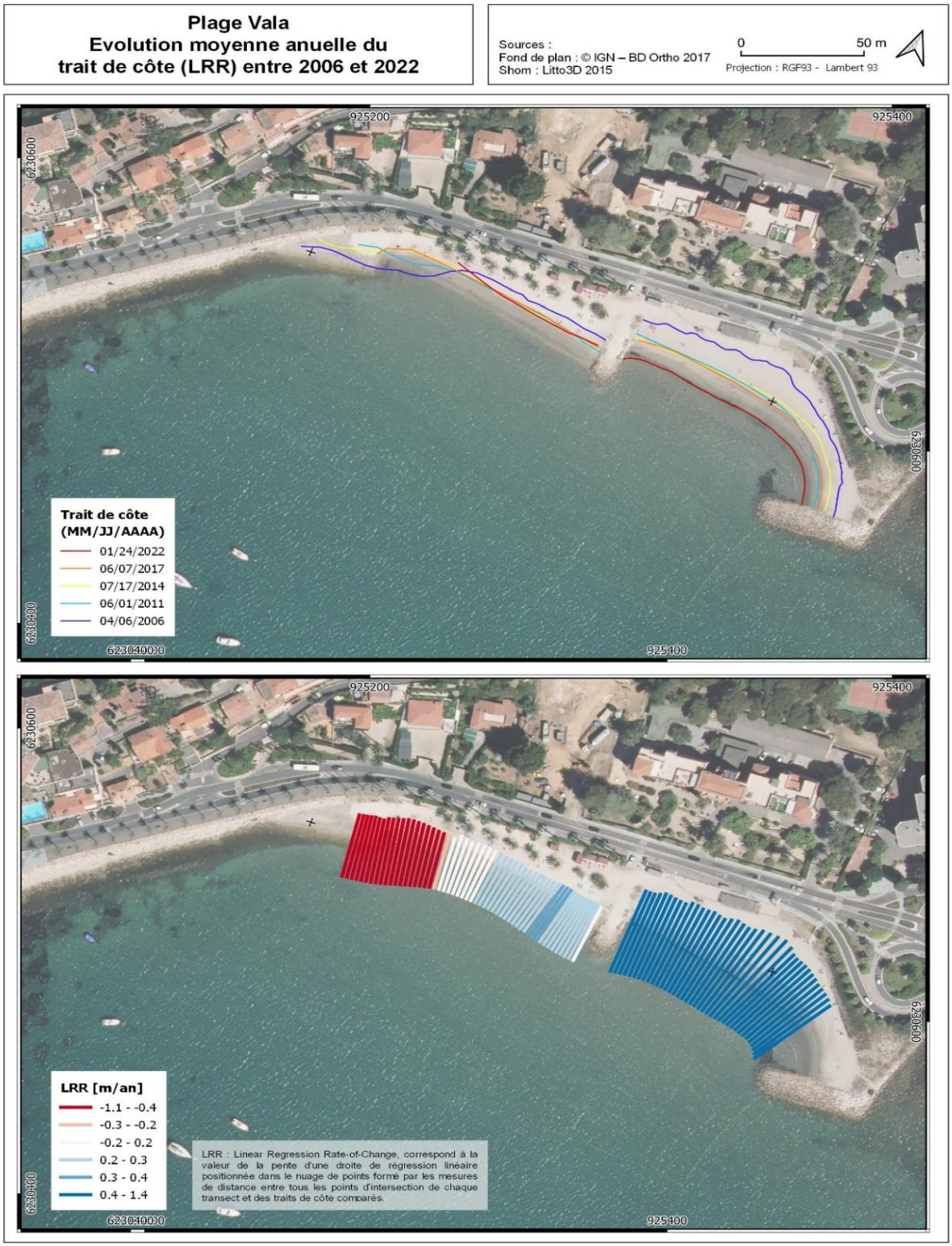


Figure 9. Position des traits de côte utilisés dans le cadre de l'analyse de l'évolution du trait de côte de la plage du Grand Vallat et résultats de l'évolution entre 2006 et 2022 avec la méthode LRR (Taux de Régression Linéaire) – GlobOcéan 2022

A noter que certaines zones d'avancée de trait de côte sur le secteur ouest sont dues à des rechargements de plage. Les figures mettent en avant l'impact des ouvrages et des rechargements de plage.

Les résultats de l'étude d'évolution du trait de côte sont également à mettre en perspective avec les évolutions topo-bathymétriques traitées dans le chapitre 3.2.3.

Tableau 5. Volume de sables rechargés depuis 2012 sur l'ensemble des plages de sable de Bandol

Années	Volume de sédiment	Surface de plage rechargée
2012	280 m^3	Grand Vallat : 0,30 ha Casino : 0,51 ha Centrale : 0,35 ha Renécros : 0,90 ha Total : 2,06 ha
2013	280 m^3	
2014	334 m^3	
2015	280 m^3	
2016	340 m^3	
2017	0 m^3	
2018	600 m^3	
2019	206 m^3	
2020	150 m^3	
2021	600 m^3	

Bien que ces apports semblent limités, ils ont néanmoins permis de maintenir des largeurs de plages partiellement satisfaisantes et ont permis aux plages de se maintenir ou de progresser par endroit. Cependant, même s'ils sont réguliers, ils ne compensent que partiellement les signes de l'érosion puisque ¾ plages ont au moins un secteur exposé à l'érosion et qui présente un recul visible depuis 2006 (excepté la plage Centrale qui s'est maintenue ou a progressé depuis 2006).
En complément de ces rechargements la commune pourrait alors étudier l'opportunité de mettre en œuvre des solutions raisonnées combinées afin d'améliorer sa gestion du trait de côte.

3.2.2. Levés bathymétriques

Les profils topo-bathymétriques relevés en 2022 marquent le début d'acquisition des données concernant les plages de Bandol. Ces premières données permettent d'établir une base de connaissance qui sera complétée au fil des années par d'autres acquisition de profils. Le différentiel des différentes données d'un même site permettra de retracer le mouvement des stocks sédimentaires.

D'une manière générale, l'agitation est à l'origine de nombreux déplacements de sédiments dont l'intensité et les interactions sont dépendantes de la géomorphologie locale et générale des fonds. Les principaux mouvements sédimentaires sont :

- Les mouvements dans le profil, soit la descente de sédiments vers le large, soit la remontée de sédiments côté terre. Ces mouvements peuvent être importants en période de tempête ; si les masses de sédiments transportées dans le profil (rechargement naturel en période calme) ne sont pas rendues au profil, ces mouvements participent grandement au déficit sédimentaire d'un site ;
- Le transit littoral est généré par le déferlement des vagues qui créent un courant parallèle au rivage. La direction des courants créés dépend de la direction de la houle par rapport à l'orientation du littoral et dépend grandement de la géomorphologie locale.

- Les courants de déchirure, ou courant de retour, correspondent aux courants ramenant vers le large les eaux apportées par les vagues à la côte. Ces courants sont globalement perpendiculaires à la côte et leur intensité est variable en fonction des caractéristiques de la houle agissant sur le site mais peut être importante. Ces courants de retour favorisent les mouvements dans le profil de la plage vers le large.

Ces données ont permis au bureau d'étude GlobOcéan d'étudier les mouvements sédimentaires des plages de Bandol dont les résultats sont présentés au paragraphe 3.3.

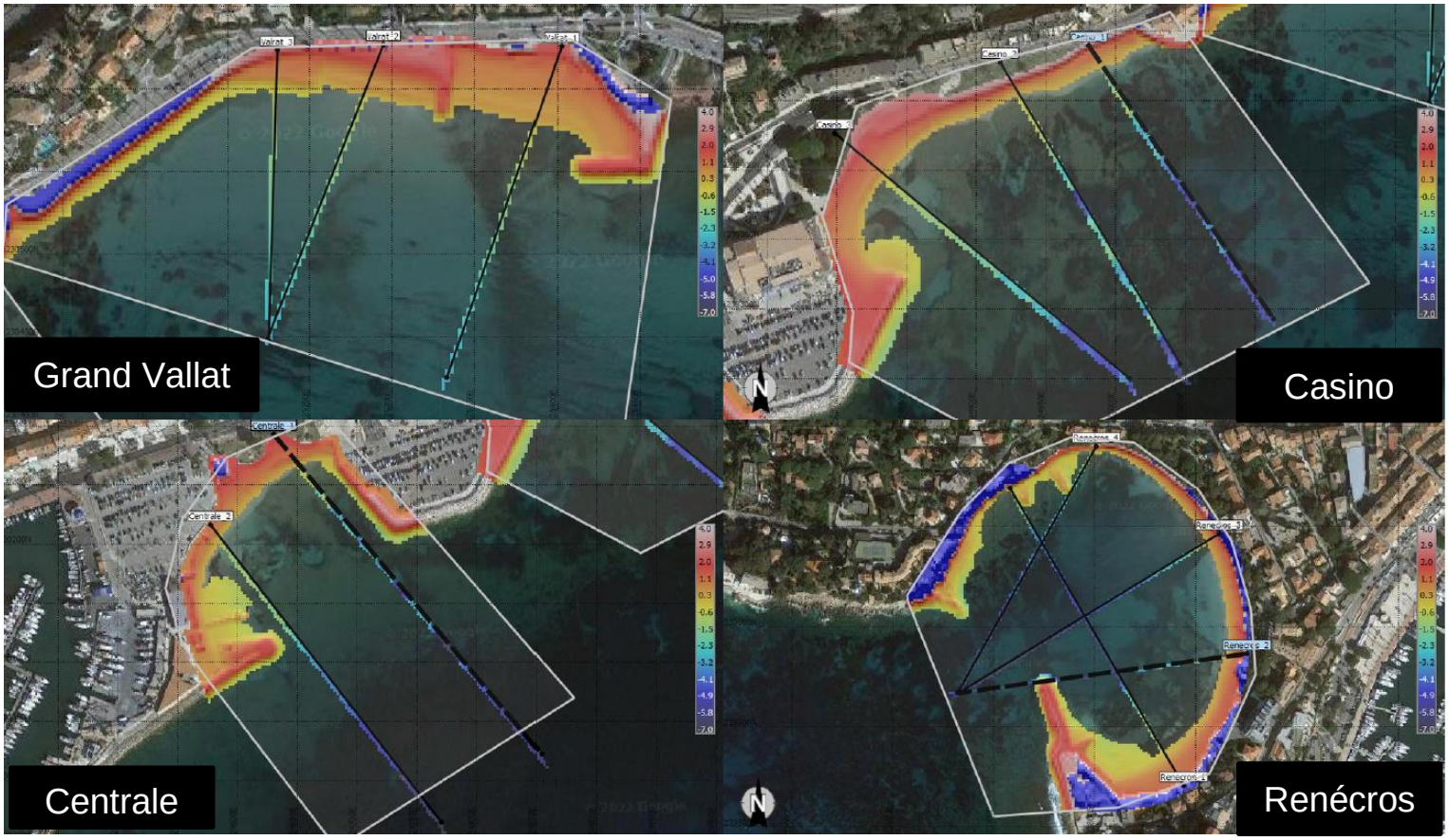


Figure 10. Localisation des coupes des modèles bathymétriques et lithographiques – SEMANTIC TS 2022

3.2.3. Evolution des fonds (topo-bathymétrie)

Pour l'étude des mouvements sédimentaires des plages de Bandol, les jeux de données disponibles suivants ont été exploités :

- Modèle Numérique de Terrain de l'IGN-SHOM avec le produit L3D, 2015 ;
- Levé drone et bathymétrie SEMANTIC TS, 2022 ;

Un MNT a pu être généré pour les jeux de données de topographie de 2022 et ainsi permettre de réaliser un différentiel altimétrique par plage par rapport aux données du MNT LITO3D. Concernant la bathymétrie, le nombre restreint de profils levés par plage n'a pas pu permettre de générer un MNT (trop d'erreurs dues aux interpolations) ; l'analyse des changements bathymétriques est donc basée sur l'étude des changements le long des profils.

Les figures mettent en avant :

- Pour la plage Renécros :
    - Un abaissement des fonds du haut de plage sur le secteur Nord (-0,1 à -0,3m)
    - Des dépôts généralisés en haut de plage en partie Sud (+0,2 à +0,4m)
    - Des dépôts au centre de la baie sur le banc de sable (profils 1 et 3)
    - Des dépôts en limite d'herbier (profil 2)

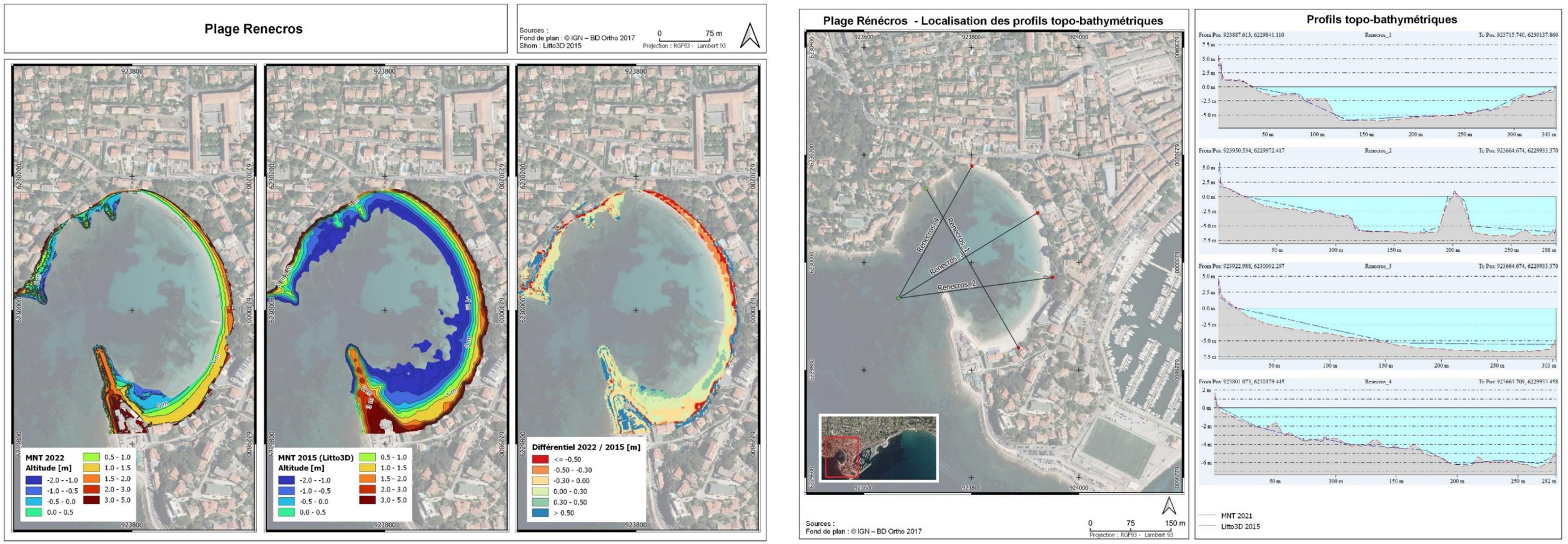
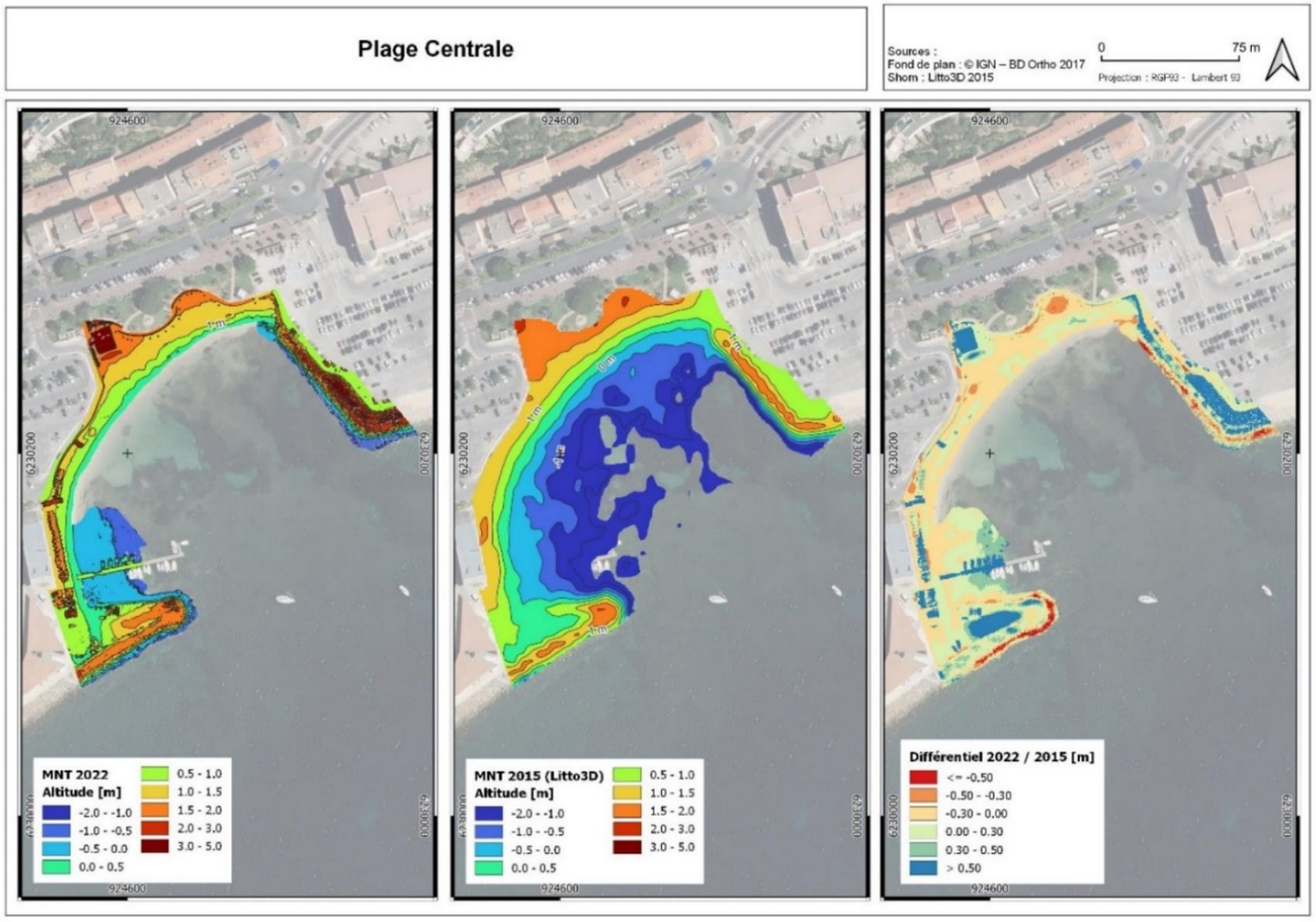
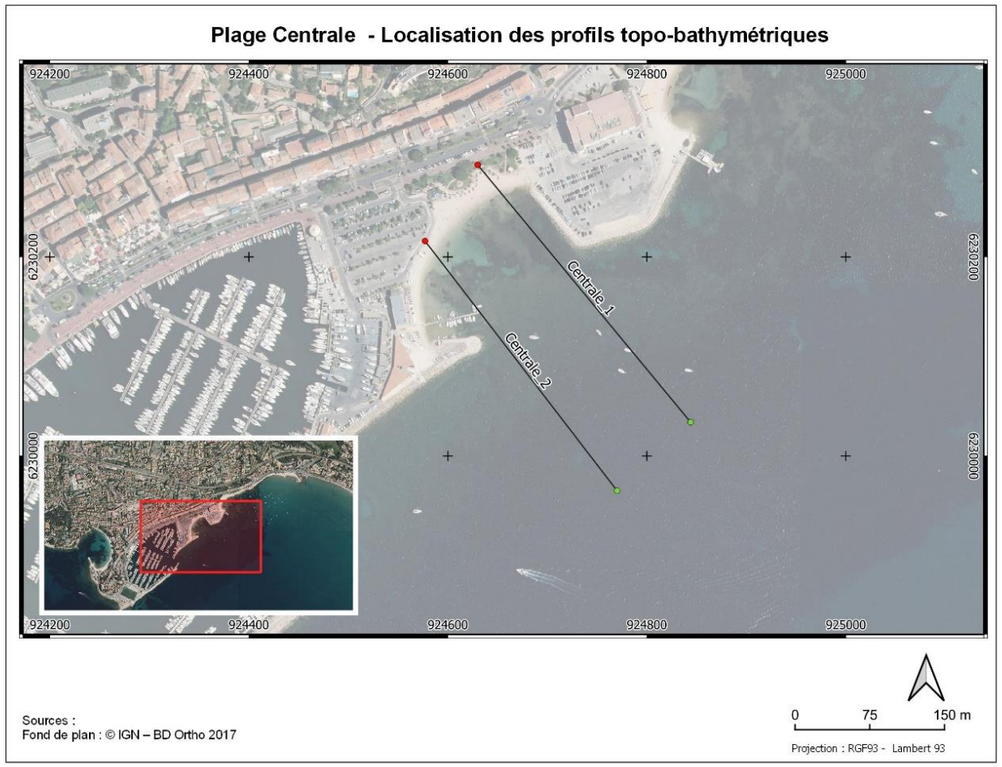


Figure 11. Plage de Renécros : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage de Renécros – GlobOcéan 2022

- Pour la plage Centrale :
    - Une plage relativement stable avec un léger abaissement généralisé du terrain naturel (TN) de l'ensemble de la plage ;
    - Un profil de plage relativement stable (profils 1 et 2) avec une tendance à l'érosion (abaissement du TN) en haut de plage et des dépôts dans les petits fonds (0,1 à 0,2m) en particulier sur le profil 2.





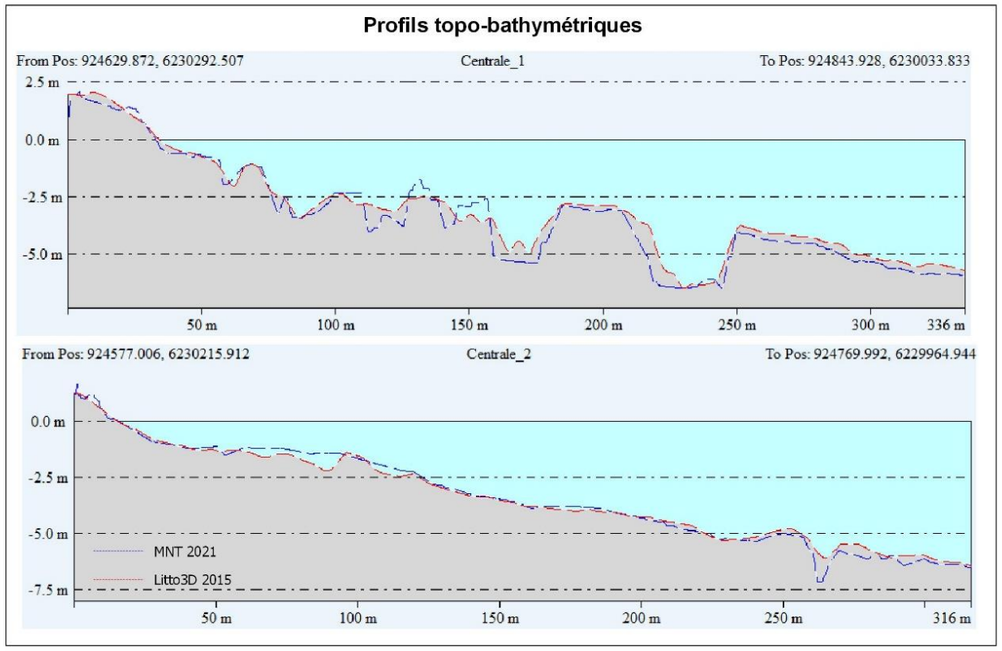
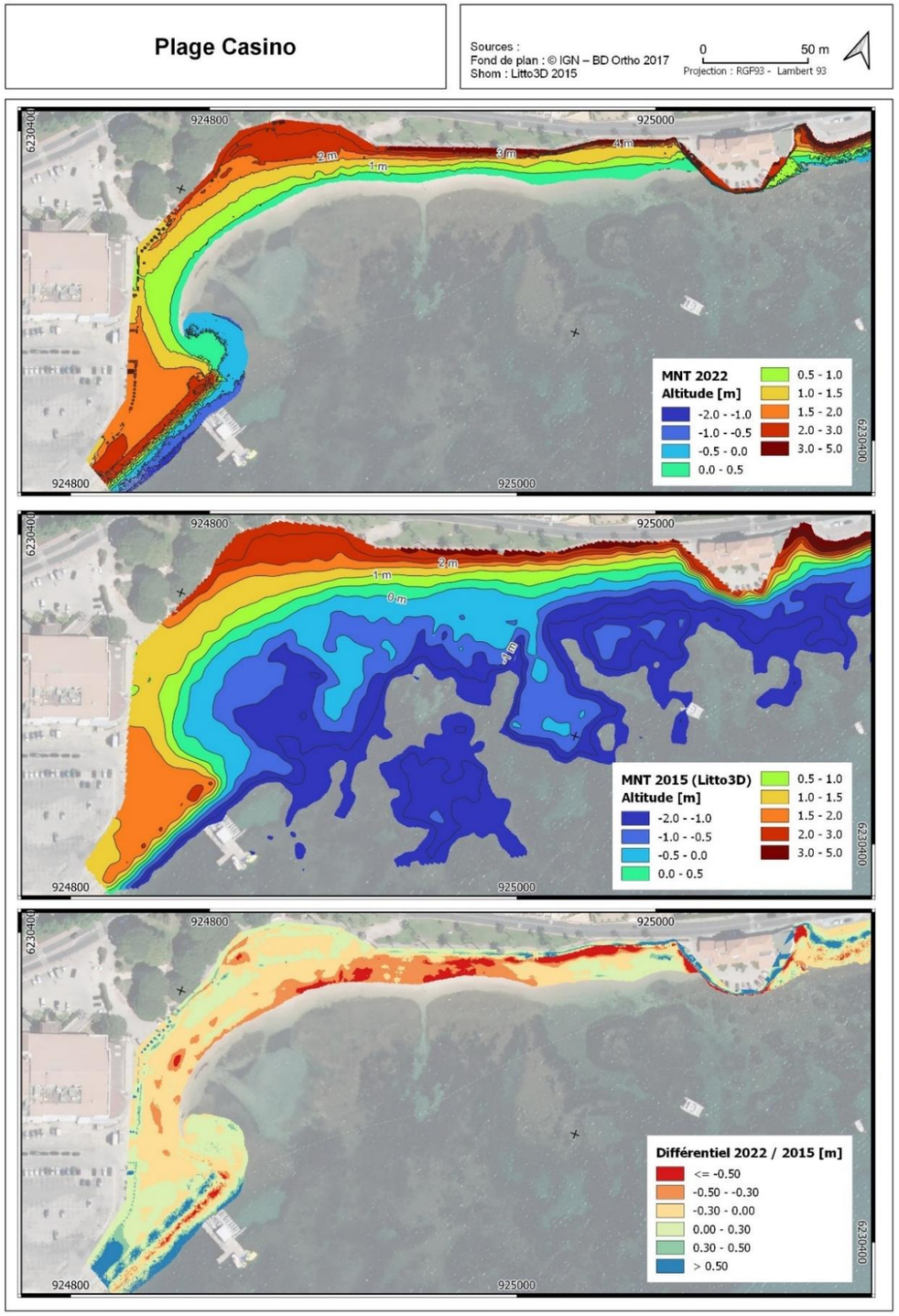
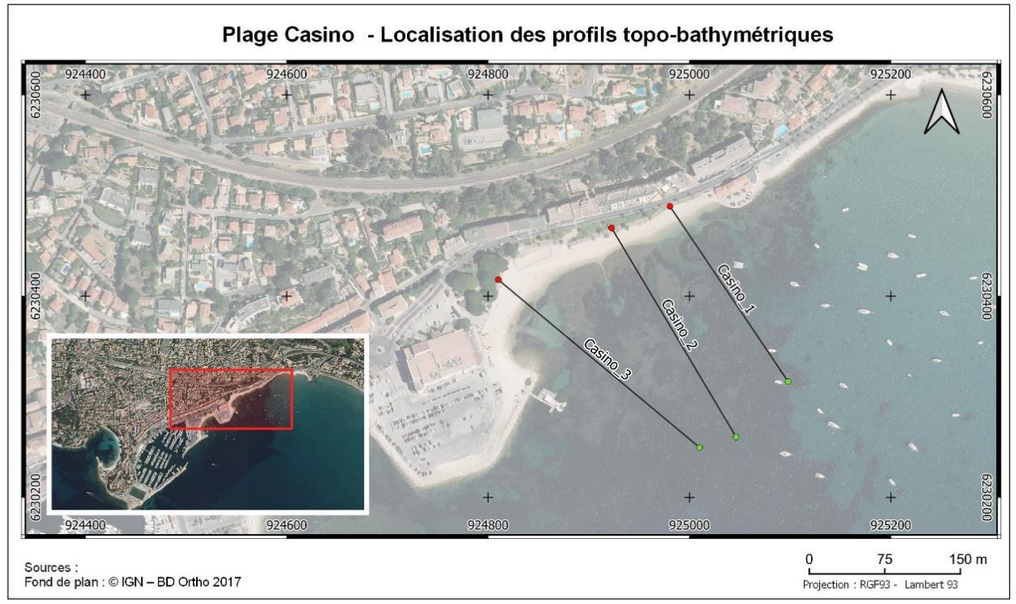


Figure 12. Plage Centrale: MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage Centrale) – GlobOcéan 2022

- Pour la plage du Casino :
    - Un abaissement sur la partie centrale (entre -0,2m et -0,5m) ;
    - Des tendances d'érosion de la zone de swash, puis dépôts dans les petits fonds (isobathe -2,5m) ;
    - Un profil relativement stable avec une tendance à l'érosion en haut de plage et des dépôts dans les petits fonds (0,1 à 0,2m) en particulier sur le profil 2 et 3.





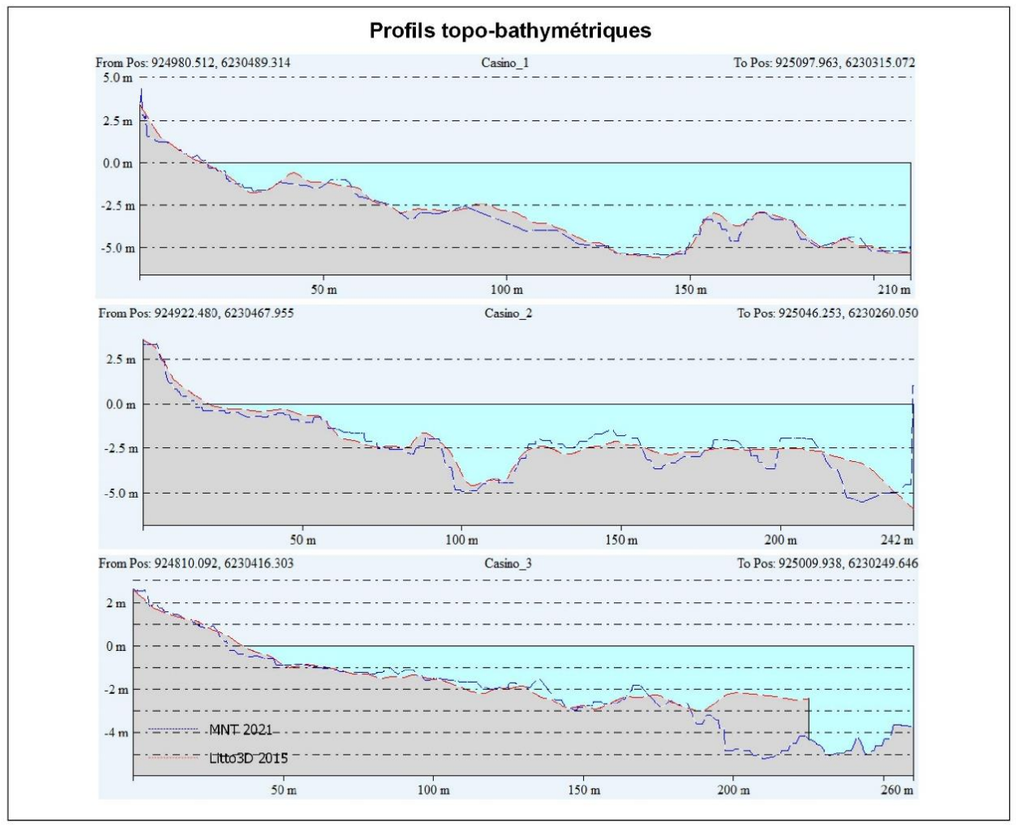
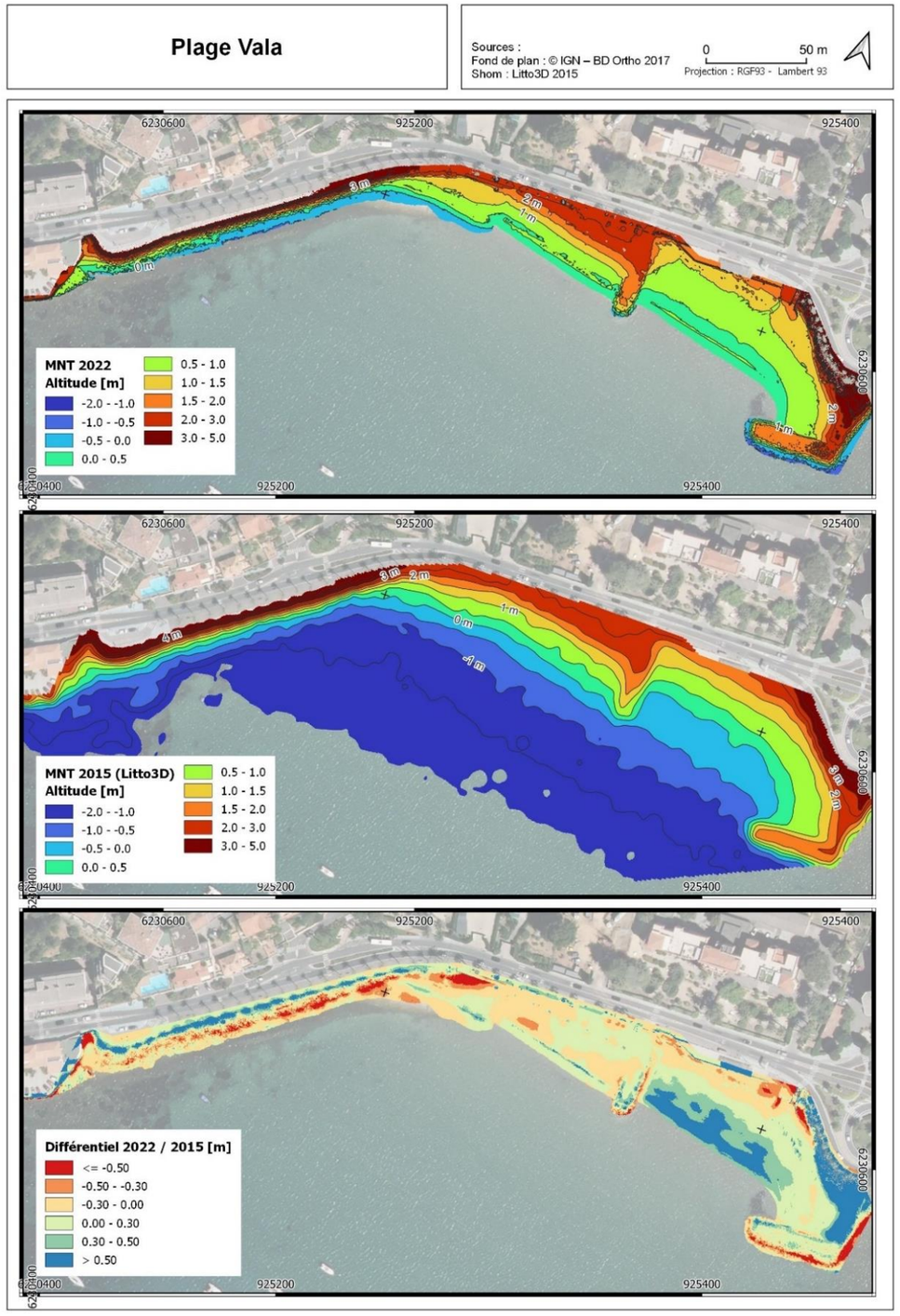
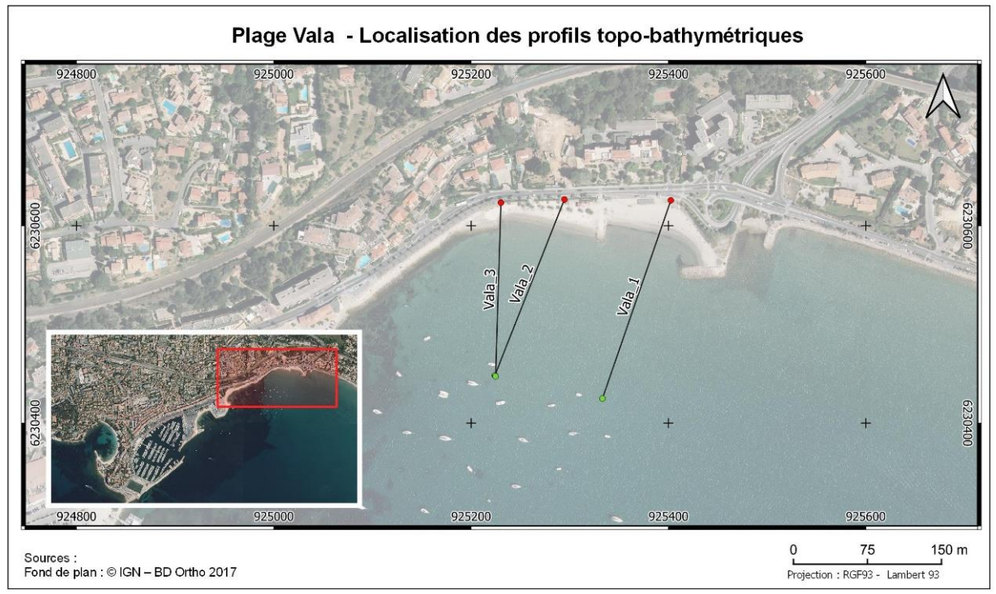


Figure 13. Plage du Casino : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage du Casino – GlobOcéan 2022

- Pour la plage du Grand Vallat :
    - L'abaissement du TN au droit de l'ouvrage longitudinal de protection de talus en enrochements ;
    - Des zones d'abaissement de la plage à l'ouest de l'épi ;
    - Des dépôts à l'Est de l'épi en lien avec les observations d'avancée du trait de côte ;
    - Un profil en équilibre avec des gains notamment sur le profil ouest proche de l'ouvrage en enrochements (profil 3) ;
    - Des évolutions en haut de plage dues aux variabilités saisonnières et date des levés (présence d'une berme en 2022 par exemple).





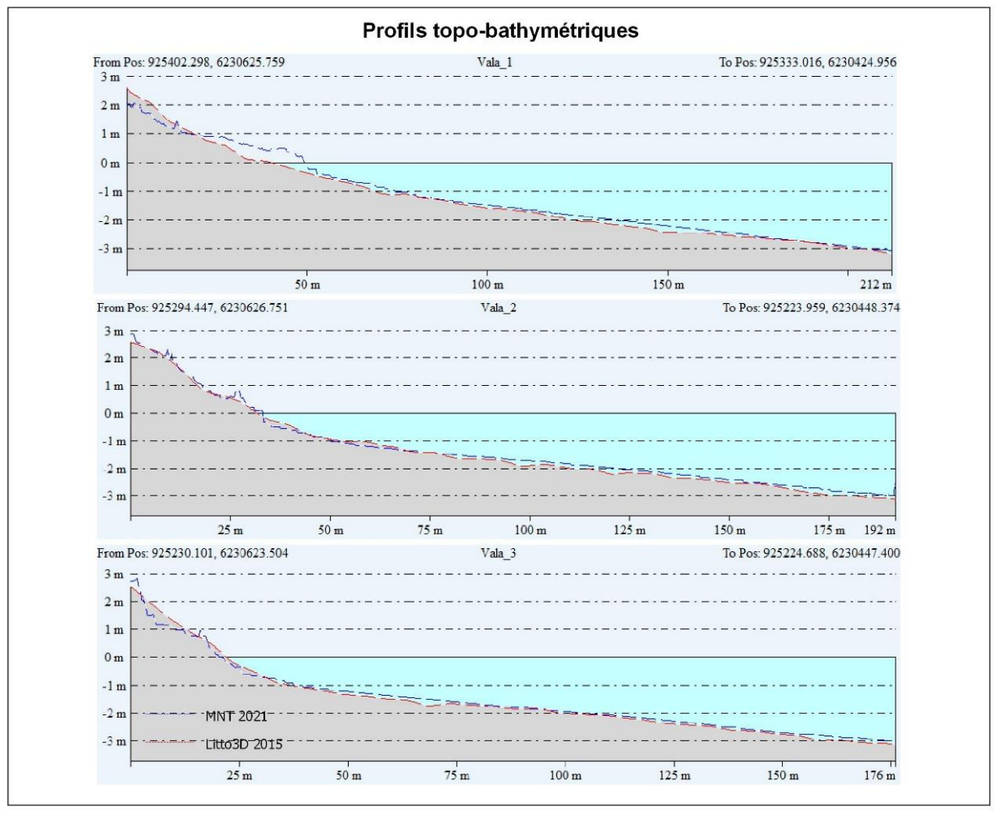


Figure 14. Plage du Grand Vallat : MNT 2022 (gauche), MNT LITTO3D (centre) et différentiel (droite) et évolution des profils topo-bathymétriques – plage Vallat – GlobOcéan 2022

Remarque : attention à l'interprétation des changements bathymétriques le long des profils (et en particulier au niveau des herbiers) car les jeux de données ont été mesurées par des techniques différentes (données bathymétriques issues de sonar mono-faisceau alors que la LITTO3D est issu d'un levé LIDAR). Il est donc important de croiser ces résultats avec les résultats de l'étude de vitalité des herbiers (paragraphe 3.4)

Ce premier différentiel permet donc de montrer que sur la plage de Renécros, le transit sédimentaire s'effectue du Nord vers le Sud. Au cours de ce transit, il y a également une partie du sédiment qui se dépose au centre de la baie, au niveau de la rivière de retour.

Pour la plage Centrale, les comparaisons des images aériennes ont montré une accrétion depuis 2006, qui pourrait être attribuée aux rechargements effectués. Les figures d'évolution des fonds (Figure 12) ont montré qu'il y a une perte de sable limitée, un dépôt dans les petits fonds au droit de la plage. Sachant que le différentiel 2006-2022 (Figure 7) a montré une progression de la plage, on peut supposer que les rechargements permettent de fournir un stock sédimentaire qui ne semble pas quitter la cellule et qui suit un phénomène naturel d'érosion/accrétion saisonnier.

Pour Casino, les Figure 13 ont montré un abaissement sur la partie centrale de la plage, signe d'érosion à cet endroit tandis que les comparaisons d'images aériennes (Figure 8) montrent que l'érosion se situe plutôt sur la partie Ouest de la plage (différentiel 2006-2022).
Il y des dépôts dans les petits fonds en particulier sur les profils 2 et 3 alors que ce dernier se situe au droit d'une zone identifiée comme en situation érosive. Cela nous amène à penser que les dépôts de sables dans les petits fonds proviennent de ces zones et que la fuite de sable hors de la cellule semble limitée.

Pour Grand Vallat, les Figure 14 ont montré des dépôts de sable à l'Est de l'épi, résultats en accord avec le différentiel 2006-2022.
En revanche, l'évolution des profils montre qu'il y a un gain de plage à l'Ouest, proche de l'ouvrage en enrochement alors que le différentiel 2006-2022 montre que cette zone est en érosion. Cependant, l'évolution en haut de plage peut être dues à la date des levés (présence d'une berme en 2022).

Les résultats d'évolution du trait de côte et des fonds ont mis en évidence les mouvements des stocks sédimentaires au sein des cellules. Les cartes d'évolution montrent qu'en général, on observe des tendances érosives, plus ou moins marquées sur l'ensemble des plages (recul du trait de côte et abaissement du haut de plage, dépôts dans les petits fonds) avec des secteurs d'érosion et d'accrétion identifiés et ce, même avec les rechargements ponctuels.

3.3. Etude de la dynamique sédimentaire – modélisations houle et courantologie

3.3.1. Généralités

Cette étude conduite par GlobOcéan en avril 2022 permet d'étudier les tendances de houle, de courantologie et de transport sédimentaire en fonction de plusieurs conditions météo-océaniques représentatives.
Cette étude a

De façon générale, l'étude a montré que :

- L'ensemble des plages du littoral de Bandol est abrité des houles de secteur Est. La plage Renécros située à l'Ouest de Bandol est bien abritée des coups de vents de Sud et Sud Sud-Est, mais reçoit pleinement l'énergie des houles de SO ;

- A l'inverse, les plages de la Baie de Bandol (Centrale, Casino et Valat) sont bien abritées des coups de mer du SSE mais plus exposées aux houles de secteur Sud (voire SO pour les plages du Grand Vallat) ;

- Les plages étudiées sont toutes soumises à l'érosion littorale (en fonction des conditions) et font l'objet de projet de rechargement. Sur la plage Centrale, Casino et Vallat, on note toutefois la présence de banquettes de posidonies dans la zone de swash. La plage de Renécros est quant à elle caractérisée par des sédiments grossiers notamment sur la partie Nord-Ouest (galets, petits enrochements). En règle générale, une granulométrie plus importante est synonyme de conditions hydrodynamiques plus énergétiques. Les modélisations numériques mettront en avant que cette zone est particulièrement agitée.

3.3.2. Résultats du modèle hydrodynamique

3.3.2.1. Modélisation de la houle

Les résultats du modèle de propagation de houle sont présentés dans cette section.

Les résultats mettent en avant :

- Des différences spatiales en fonction du secteur directionnel, dues à la configuration complexe de la côte :
  - La plage de Renécros particulièrement impactée par les houles de SO et relativement protégée des houles de S et SSE

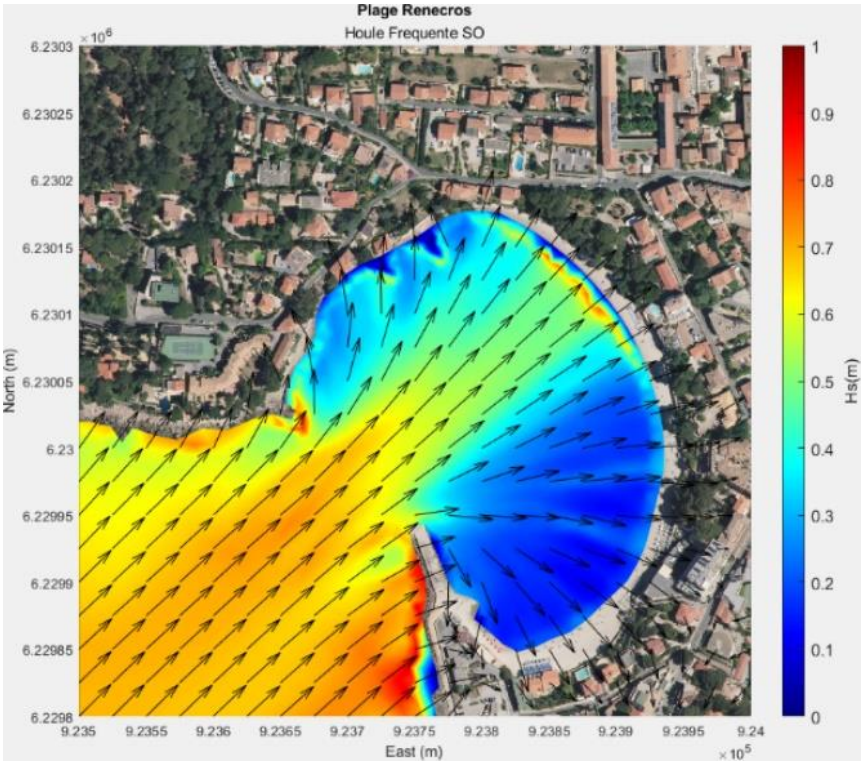


Figure 15. Planches de hauteurs de houle - vues rapprochées – conditions fréquentes SO – GlobOcéan 2022

  - A l'inverse les plages Centrale, Casino et Grand Vallat particulièrement exposées aux houles d'incidence Sud et dans une moindre mesure SO et SSE

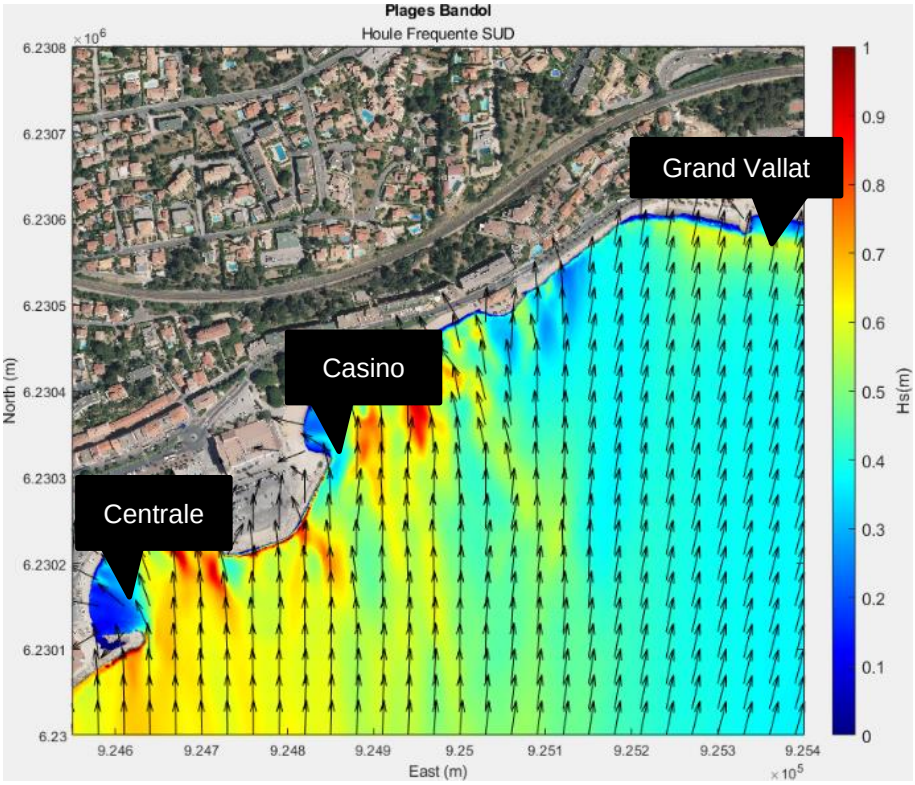


Figure 16. Planches de hauteurs de houle – vues rapprochées – conditions fréquentes SUD– GlobOcéan 2022

- Des hauteurs de houles relativement non uniformes le long du littoral (impact des haut fonds, herbiers, platiers, etc.) ;

- La houle au large subit une atténuation par dissipation sur les fonds lorsqu'elle pénètre dans la baie de Bandol et Renécros.

3.3.2.2. Modélisation de la courantologie

Les résultats du modèle de courantologie sont présentés dans cette section.
Les courants générés par la houle ne sont importants que dans la zone proche côtière lorsque l'énergie de la houle se dissipe sur les hauts fonds, et lorsque des interactions avec les ouvrages portuaires et côtiers se produisent.

Les résultats mettent en avant :

- Des différences spatiales de vitesses de courant en fonction des conditions de houle (incidence et période de retour) en lien avec les tendances de propagation et déferlement :
  - Des vitesses plus élevées en condition de SO pour la plage de Renécros
  - Des vitesses plus élevées en conditions de S pour les plages situées dans la baie de Bandol (Centrale, Casino et Grand Vallat)
  - Des vitesses relativement faibles pour l'ensemble des plages en condition de SSE

- Des tendances de courantologie complexes à l'échelle locale, en lien avec les interactions avec la bathymétrie / morphologie (y compris herbiers/matte) et les ouvrages :

- Accélération des courants / gradients le long des ouvrages de protection, développement de zones de recirculation dues aux irrégularités de la bathymétrie et ouvrages transversaux

➢ Plage Renécros :

- Conditions particulièrement énergétiques pour des houles d'incidence SO avec la génération de courants circulaires tout autour de la baie (intensité maximale sur le secteur nord à la suite du déferlement des houles le long de la pointe rocheuse et génération d'un courant de « jet » dirigé vers le Nord Est (sens horaire) puis interactions avec les épis/enrochements) qui permettent de le freiner.
- Tendance moins marquée avec des vitesses moins élevées pour conditions de S.
- Dépôts sédimentaires vers le centre de la baie (Mise en place ouvrage transversal).
- Partie nord de la plage sujette à des courants marins importants expliquant en partie le recul du trait de côte et l'absence de plage ; avec un transport sédimentaire vers le sud de la baie et vers le large (dans les petits fonds entourés des herbiers / zone dépôt (à la suite de la diminution des courants au centre de la baie).

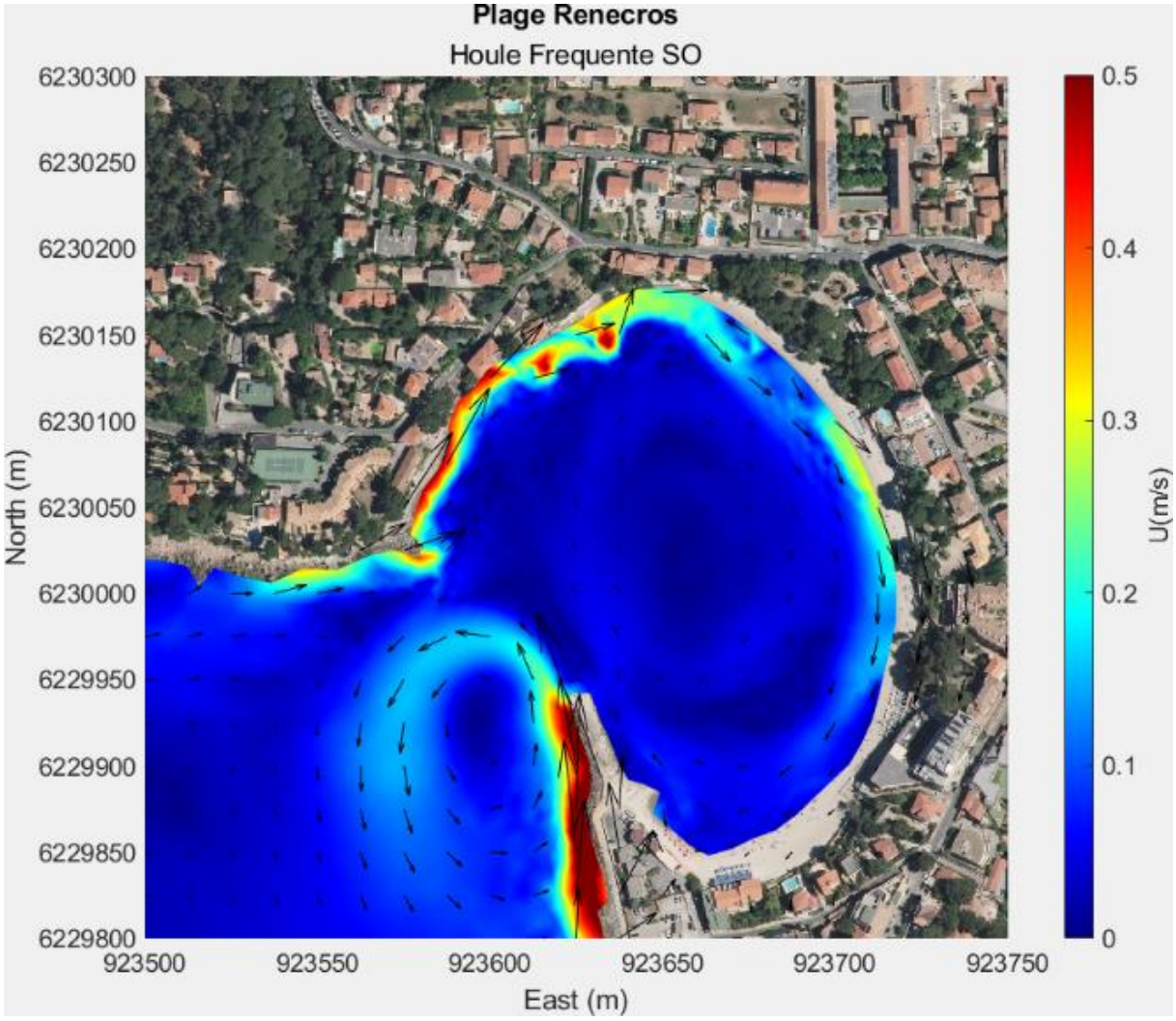


Figure 17. Courants générés par une houle fréquente de secteur SO – *GlobOcéan 2022*

- Plage Centrale :
  - Vitesses les plus élevées pour des houles de Sud, avec des courants circulaires (sens anti horaire) longeant l'ouvrage de protection du talus du casino en enrochements et s'accélérant pour ressortir en « jet ».
  - Tendance favorisant les dépôts sédimentaires au droit du musoir de la digue du port (à l'ouest) en bordure d'herbier.

- Plage Casino :
  - Présence de courants transversaux / courants d'arrachement (rip currents) liés aux tendances de propagation et de déferlement de houle et les interactions avec la morphologie de la plage et les ouvrages (dépôts vers le large) ; développement de courants longitudinaux / longshore sur l'extrémité Est (proche de la plage du Grand Vallat).
  - Courantologie plus importante pour les houles d'incidence Sud (et dans une moindre mesure SO).

- Plage Grand Vallat :
  - Courant longitudinal important (gradient) par rapport aux autres plages – expliquant en partie les différences de granulométrie observées.
  - Vitesses élevées le long de l'ouvrage de protection du talus de protection de la route en enrochements.
  - Interaction avec l'épi qui redirige l'écoulement vers le large et suggère des tendances de dépôt vers le large en bordure d'herbiers.

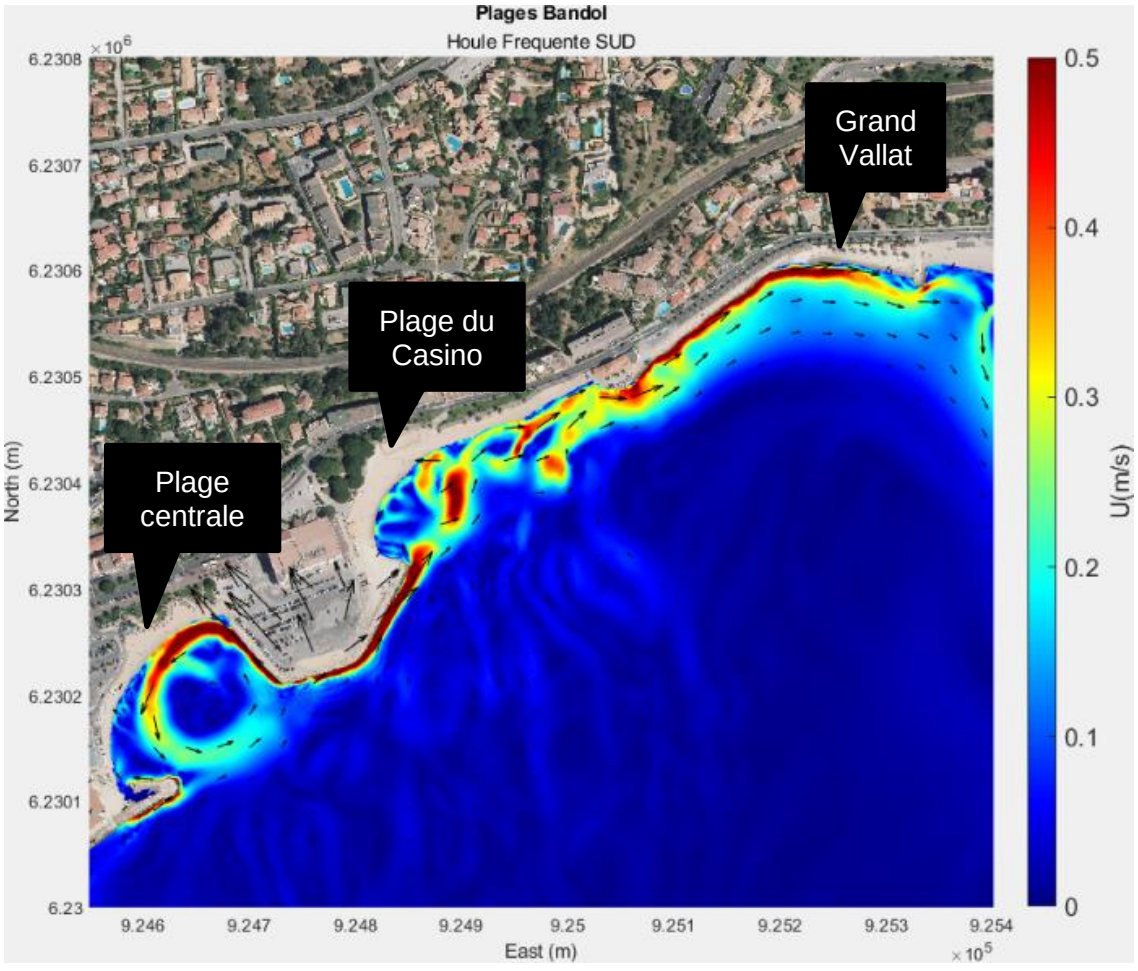


Figure 18. Courants générés par une houle fréquente de secteur S – *GlobOcéan 2022*

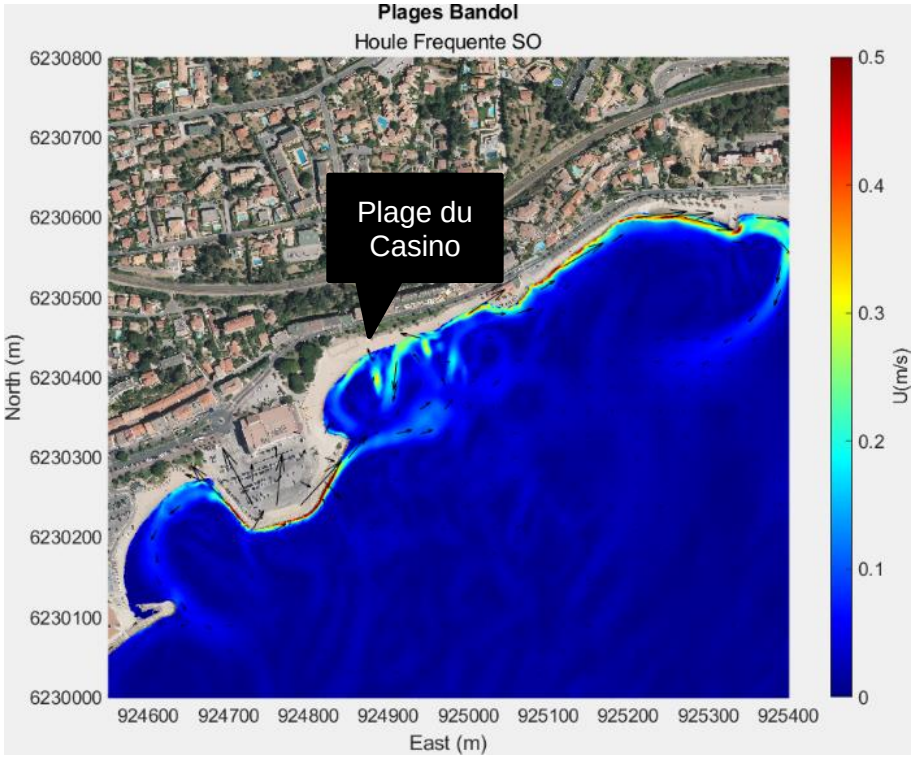


Figure 19. Courants générés par une houle fréquente de secteur SO – *GlobOcéan 2022*

3.3.2.3. Résultats du modèle sédimentologique

Les résultats des modélisations d'évolution des fonds (évolutions bathymétriques) sont donnés dans ce chapitre à titre indicatif. Les évolutions ont été calculées au bout de 24h de simulation pour les 3 incidences de houle.

Les évolutions pour les houles fréquentes de secteur SO, Sud et SSE sont présentées. Les évolutions sont minimales pour les conditions S et SSE et plus importantes pour la condition SO pour les conditions fréquentes.

Les évolutions calculées sont très irrégulières et la variabilité spatiale reflète la variabilité de la bathymétrie. Les zones d'érosion et de dépôt sont liées à la distribution des hauteurs de houle et vitesses de courant ; les zone de dépôt sont observées au centre de baie notamment plage de Renécros et Grand Vallat. On observe des affouillements au niveau des épis et talus en enrochements plage Centrale et Casino et des dépôts au droit des ouvrages.

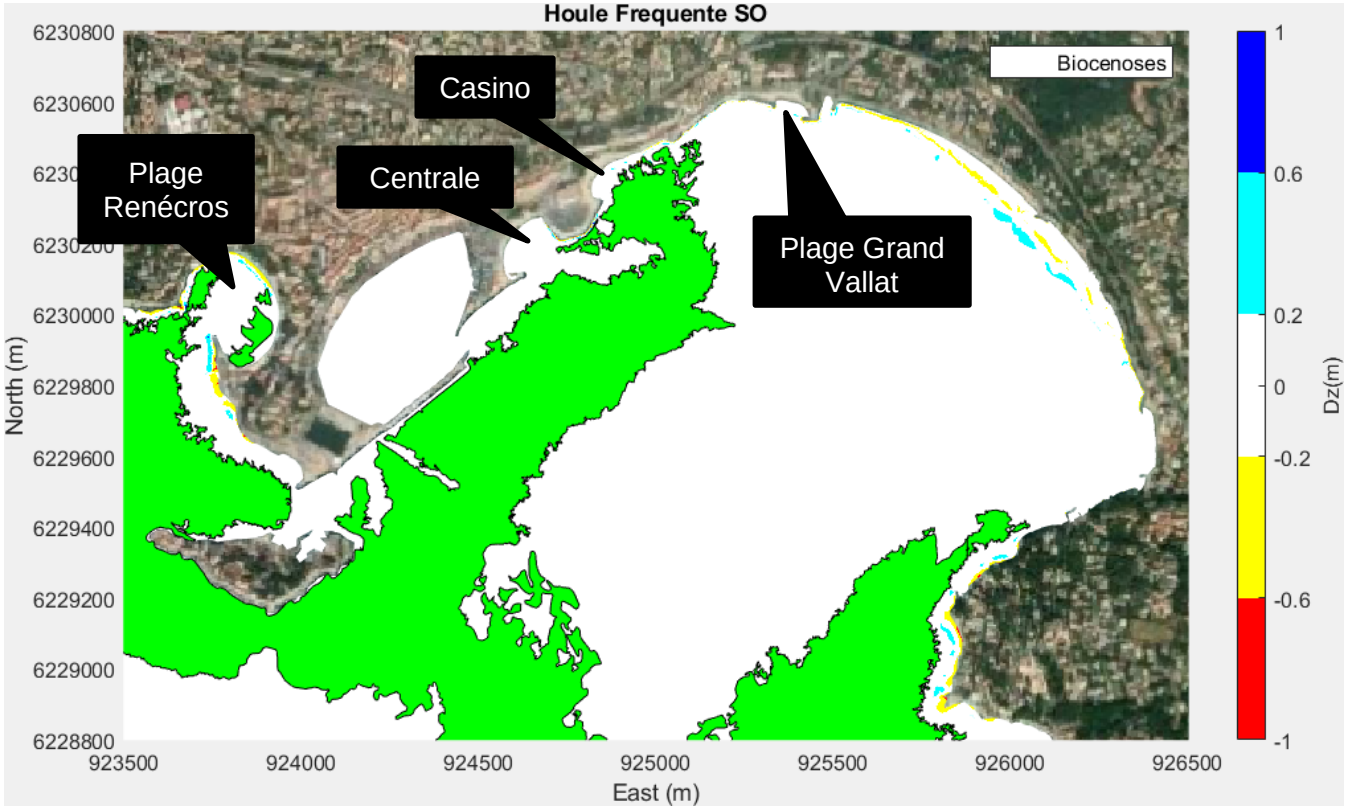


Figure 20. Evolutions bathymétriques modélisées (durée 24h) : houle fréquente de SO – GlobOcéan 2022

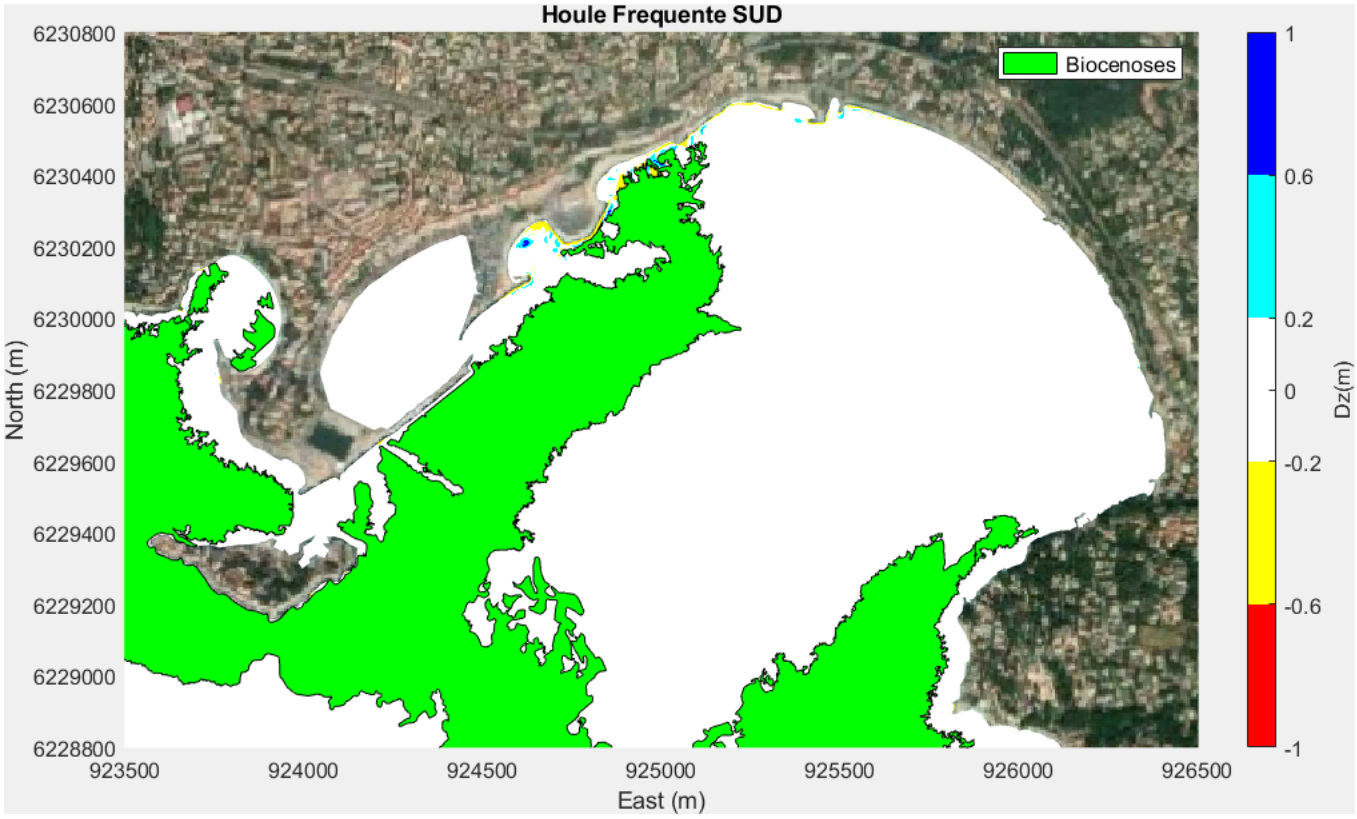


Figure 21. Evolutions bathymétriques modélisées (durée 24h) : houle fréquente de S – GlobOcéan 2022

3.3.3. Conclusions de l'étude

Un diagnostic du littoral de Bandol a été réalisé à l'aide de l'analyse de plusieurs jeux de données (météo-océaniques, sédimentologiques, topo-bathymétriques et images aériennes) historiques et mis à jour dans le cadre de la présente étude.

En complément, des modèles numériques couplés (suite TELEMAC) ont été mis en œuvre afin de comprendre les tendances de houle, de courantologie et la dynamique sédimentaire, pour différentes incidences et conditions hydrodynamiques (fréquentes et annuelles - T1) et ainsi reproduire les mécanismes responsables du transport sédimentaire.

Les résultats des modélisations de houle et de courant ont permis de reproduire la dynamique sédimentaire et de comprendre l'impact de la morphologie / bathymétrie et des d'ouvrages.

Pour les conditions de Secteurs Sud-Ouest, c'est la plage de Renécros qui est la plus vulnérable au risque d'érosion littorale. Les tendances de courantologie entrainent une érosion le long de la plage au centre de la baie (sud de la zone rocheuse) et des dépôts au droit de la plage, en limite d'herbier.

Pour les conditions de Secteurs Sud, les plages de la baie de Bandol (Centrale, Casino et Grand Vallat) sont les plus exposées, avec des tendances d'évolution des fonds caractérisées par l'érosion du haut de plage et des dépôts dans les petits fonds. Les plages de la baie de Bandol sont relativement abritées des conditions de SSE.

La majorité des dépôts sédimentaires est observée en bordure d'herbiers (coté plage).

L'étude montre qu'il est donc nécessaire de poursuivre les opérations de rechargement ponctuels sur les plages de Bandol au risque de perdre des plages.

3.3.4. Perspectives de gestion du trait de côte

Concernant la plage de Renécros, les résultats ont mis en avant des dépôts sédimentaires concentrés au centre de la baie (présence d'un stock sableux exploitable comme gisement) ; il serait envisageable de procéder à des opérations de rechargement via pompage/refoulage.

Afin d'améliorer le maintien du stock sableux / rechargement mis en place (éviter les pertes cross shore), il est recommandé de combiner le rechargement à un ouvrage submergé (type butée de pied/atténuateur de houle).

Une autre solution pourrait consister à mettre en place un ouvrage transversal (type épi) au centre de la baie afin de limiter le gradient de transport et les vitesses de courant longitudinales élevées responsables de l'érosion (cet épi aurait cependant un impact significatif sur le transport longitudinal et engendrerait des problèmes d'érosion en aval dérive).

Concernant la plage du Grand Vallat, on remarque également la présence de stocks sableux en bordure d'herbiers qui pourraient servir de gisement.
La géométrie et la morphologie de la plage semblent également adaptée à la mise en place d'ouvrage longitudinaux (type butée de pied ou atténuateur de houle).

Ces différentes solutions devront faire l'objet d'études plus approfondies en termes de dimensionnement et devront être testées en modèle numérique (à la fois 2D et 1D).

Etant donné la nature des fonds des deux autres plages (Centrale et Casino) et notamment la présence de matte morte et d'herbier de Posidonie, il est difficilement envisageable de proposer un ouvrage immergé sans conduire à une destruction du substrat qui bénéficie d'un statut de protection.

3.4. Etude de la biocénose à *Posidonia oceanica*

3.4.1. Vitalité de l'herbier à Posidonia oceanica

Les herbiers de Posidonie présents au droit des zones d'études ont fait l'objet de mesure de vitalité en mars 2022 par le bureau d'étude SEMANTIC TS afin de suivre les effets de rechargements de plage.
9 stations d'observations ont été définis et les paramètres suivant ont été mesurés :

- Densité des faisceaux
- Recouvrement de l'herbier
- Orientation des rhizomes ou pourcentage de rhizomes plagiotropes

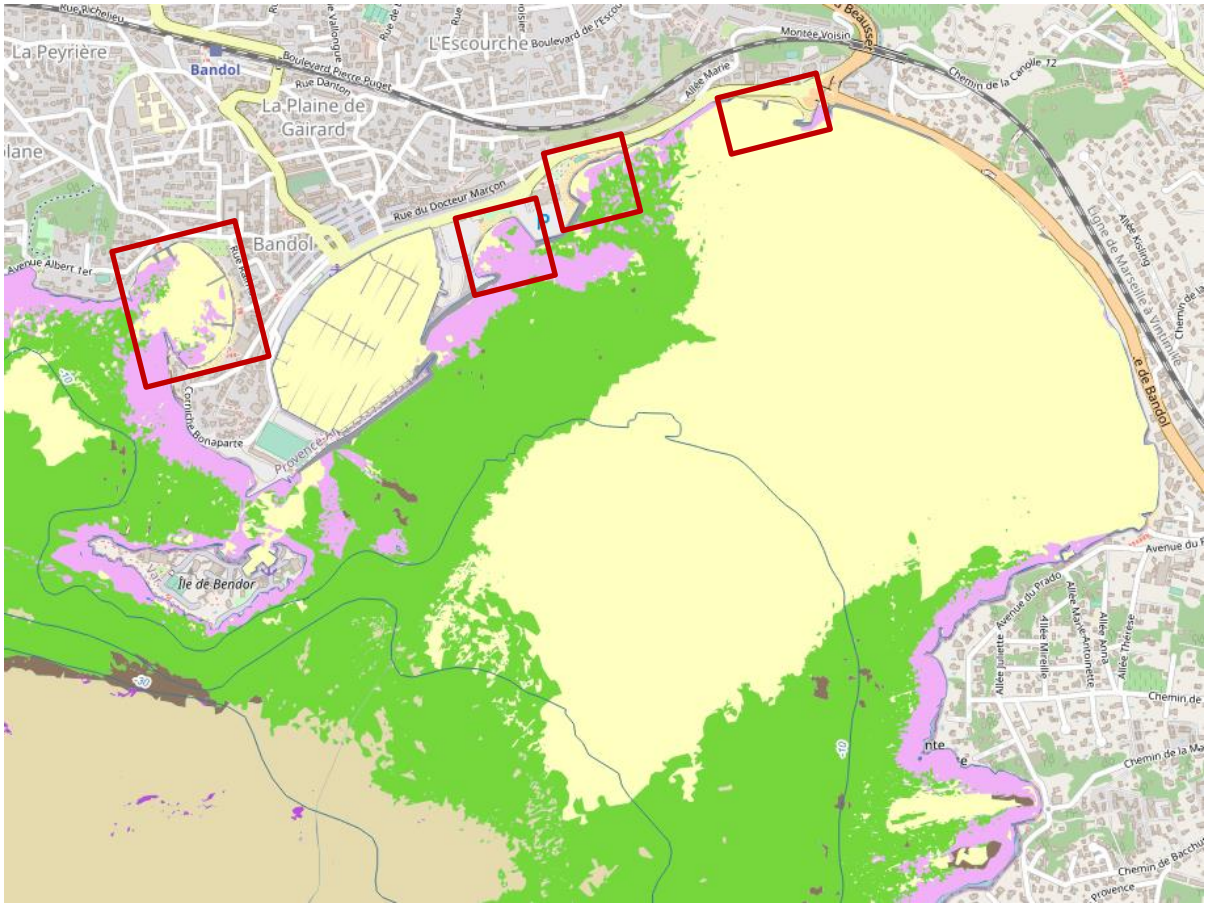


Figure 22. Zone de rechargements et biocénoses le long des plages de Bandol - Medtrix 2014

Figure 23. Position des 9 stations d'observations de la vitalité de l'herbier de Posidonie – SEMANTIC TS 2022

Parallèlement aux mesures de l'herbier, un atlas d'environ 330 photographies sous-marines géoréférencées a été réalisé en plongée subaquatique.

- Plage de Renécros

3 stations de vitalités ont été définis pour cette plage.
La station 1 ne présente pas d'ensablement en bordure de rivière de retour. Les intermattes sont ensablés.
L'état de vitalité de l'herbier est bon.

La station 2 ne présente pas d'ensablement ni de déchaussement au niveau des rhizomes. L'état de vitalité de l'herbier est bon.

La station 3 est située à la sortie de l'anse de Renécros, sur une langue de matte localisée au droit de la rivière de retour.
Il y a une forte densité de vie. Il y a une forte accumulation de sédiments grossiers formant une large ripple marks. Les rhizomes sont ensablés. Bien que l'herbier présente de bonnes densités, il subit toutefois un ensablement, probablement lié au transfert de sédiment par la rivière de retour, comme l'atteste la présence de larges rides de sédiment grossier au droit de la station.
L'état de vitalité est moyen.

- Plage Centrale

La station centrale W est située à 50m du bord au centre d'une tache de posidonie sur un fond de matte morte. Ce lieu d'observation a été retenu car les images aériennes suggéraient la

présence potentielle de cymodocées. Ce qui était en réalité une tache de posidonie de densité médiocre.
Côté terre, il y a un ensablement des rhizomes, ce qui n'est pas le cas côté large.
L'état de vitalité de l'herbier est médiocre.

La station centrale E est située au milieu de l'herbier de Posidonie où la limite est franche.
Pas d'ensablement signalé.
L'état de vitalité est moyen.

- Plage Casino

La station Casino W est située au large de la plage au milieu d'une tache de Posidonie.
Pas d'ensablement signalé.
L'état de vitalité de l'herbier est bon.

La station Casino E est située à 50m de la plage.
Pas d'ensablement signalé.
L'état de vitalité est moyen.

- Plage Grand Vallat

La station Vallat est située devant la réserve, à 30m de la digue en bordure d'une tache de Posidonie.
Pas d'ensablement signalé.
L'état de vitalité de l'herbier est moyen.
Il y a des jeunes pousses de *Zostera noltii* à proximité immédiate de la limite de l'herbier de Posidonie.

- Station de référence

La station se situé entre l'Île de Bendor et la côte au milieu d'un herbier de posidonies homogène et en dehors de pressions liées au passages de câbles et émissaires.
Pas d'ensablement signalé.
L'état de vitalité est très bon.

3.4.2. Espèces associées sur l'ensemble des stations

Plusieurs espèces de vertébrés ont été observées sur les secteurs lors des plongées de mesure de paramètre de vitalité de l'herbier de posidonie :

Tableau 6. Vertébrés observés lors des plongées de mesures des paramètres de vitalités de l'herbier de posidonie – SEMANTIC TS 2022

Densité : + 1 ou 2 individus ++ 3 à 10 individus +++ [10,100] individus ++++>100 individus - (J) : Juvéniles

Famille	Nom Commun	Genre espèce	Station								
			Renecros 1	Renecros 2	Renecros large	S_ REF Référence	Centrale W	Centrale E	Casino W	Casino E	Vallat
Atherinidae	Athérine	*Atherina sp.*	+++	++++ *(J)*	++	++	++			++	
Labridae	Crénilabre tanche - Paon	*Symphodus tinca*			+					+	
	Crénilabre à queue noire	*Symphodus melacercus*	+		+				+	+	+
	Crénilabre nettoyeur (Sublet)	*Symphodus rostratus*	++		++	++				++	
	Girelle	*Coris julis*	++		++	+++			++		
Pomacentridae	Castagnole	*Chromis chromis*				++	++		++		
Serranidae	Serran écriture	*Serranus scriba*									
Sparidae	Saupe	*Sarpa salpa*			++	++++		+++ *(J)*		+++ *(J)*	
	Sar à museau pointu	*Diplodus puntazzo*									
	Oblade	*Oblada melanura*							+		
	Sar à tête noire	*Diplodus vulgaris*	+		+	+			++		+
	Sar commun	*Diplodus sargus*			+				+		
Sciaenidae	Corb	*Sciaena umbra*			+ *à proximité*						
	Larves				++++						
	Nombre d'espèces		*5*	*1*	*10*	*6*	*2*	*1*	*6*	*5*	*2*

Synthèse et conclusion de l'étude :

L'herbier de posidonies du secteur étudié est globalement en bon état de vitalité à l'Ouest et médiocre à moyen à l'Est, avec néanmoins un bon état observé sur la station Casino W.
Sur l'ensemble des stations les taux de rhizomes plagiotropes sont faibles, révélant la faible capacité de l'herbier à se développer horizontalement.
Sur les deux stations de Renécros situées le plus à l'Ouest, ainsi que sur le secteur de Centrale, un ensablement des rhizomes a été observé.

L'herbier étudié est localisé au droit des plages de Bandol et situé en eaux peu profondes, entre -5m et -1,5m.
L'herbier peut ainsi être soumis à un fort hydrodynamisme et subir de forts mouvements sédimentaires notamment pour la plage de Renécros, pouvant conduire à terme à structurer son état général.

Les dépôts sédimentaires, concentrés au centre de la baie de Renécros notamment, pourraient faire l'objet d'opérations de pompage puis refoulage afin de redisposer le sable sur les parties exposées à l'érosion.

Ces pompages pourraient permettre de limiter l'ensablement des rhizomes qui peuvent être dû à l'action couplée des rechargements et des conditions hydrodynamiques importantes. Le dépôt du sable dans les petits fonds témoigne qu'il reste concentré dans la cellule sédimentaire.

3.5. Nettoyage des plages de Bandol

3.5.1. Macrodéchets et banquettes de Posidonie

Les plages de Bandol dont certaines d'entre elles ont été récompensées par le label européen « Pavillon Bleu » pour leur qualité environnementale, et dont certaine possèdent également une certification handiplage constituent une façade côtière d'intérêt majeur pour la ville.

Les macrodéchets rejetés, chaque année dans l'environnement marin, proviennent à 80% de la terre. Entre 60 et 80% des déchets marins sont constitués de produits à usage unique, le plus souvent en plastique. Or les déchets plastiques posent particulièrement un problème dans la mesure où la dégradation des polymères dont ils sont constitués conduit à leur fragmentation en microparticules.
Sur le littoral, ils peuvent être abandonnés directement par les usagers des plages, par les activités balnéaires, en particulier en période estivale, ou provenir des apports par la mer ou le vent.
La présence de déchets dans le milieu marin représente un risque de mortalité directe ou d'impacts indirects pour la vie marine. Ceux-ci impactent le littoral, au niveau touristique et économique, et nuisent au bon état de santé des organismes aquatiques. Au-delà de la nuisance esthétique qu'ils occasionnent, les déchets sont sources de perturbations pour l'ensemble de l'écosystème marin : perte et dégradation des habitats, transport et relargage de substances dangereuses, augmentation de la mortalité des espèces, transport et introduction d'espèces invasives, vecteur d'espèces indésirables. De plus, la fragmentation de macrodéchets en plus petits éléments constitue un danger pour la chaine alimentaire car ces microparticules se comportent comme du plancton, comparable à des proies pour les échelons trophiques supérieurs. Ils sont également une source de dégradation très importante de l'habitat de laisse de mer.
La présence de déchets dans le milieu a également un impact économique pour différents secteurs (cultures marines, tourisme, pêche, navigation, port).

Les plages de Bandol représentent des lieux de tourisme très fréquentés en période estivale. Cette fréquentation entraine des abandons conséquents de déchets chaque jour contre lesquels un nombre important de poubelles est installé sur le front de mer.

En plus des macrodéchet, les feuilles mortes de Posidonie s'échouent chaque année en masse sur les plages de Bandol et forment ainsi des banquettes de Posidonie.
La posidonie joue plusieurs rôles fondamentaux pour le milieu marin littoral et fait partie des espèces protégées en Méditerranée. Les feuilles de posidonies, très coriaces se dégradent très lentement et constituent, même mortes, des accumulations propices à la vie marine, ainsi qu'au transfert de carbone. Les fibres qu'elles contiennent, difficilement dégradables, sont ultimement rassemblées par les mouvements de la mer en banquette préservant l'érosion des littoraux, ainsi qu'en boules feutrées appelées aegagropiles.
Les banquettes de Posidonies qui se déposent sur ces plages sont le plus souvent soumises à un nettoyage mécanique. Une telle opération occasionne un grave préjudice pour le milieu littoral dans la mesure où il existe un cycle naturel d'utilisation de ces rejets. Lors des tempêtes d'hiver, les feuilles de Posidonies sont reprises par les vagues et servent alors de support et d'apport alimentaire pour certains peuplements de l'infralittoral et du circalittoral, favorisant ainsi leur développement. La suppression mécanique des banquettes de Posidonies provoque donc un appauvrissement général au sein de l'écosystème littoral.

Lorsque la quantité de banquettes est jugée préjudiciable à l'accueil du public, une gestion raisonnée peut être mise en place. Espèces protégées même mortes, les banquettes de feuilles de posidonies déposées par les flots sur les littoraux ne sont pas détruites et peuvent être, après stockage pendant la période estivale, rejetée en mer, et laissée au gré des éléments naturels, selon une opération dénommée « clapage » permettant leur entrainement loin de la côte.

3.5.2. Gestion raisonnée des banquettes de Posidonie et entretien des plages

Depuis quelques années, La Région Sud souhaite que les communes portent une réflexion spécifique sur la gestion de leurs banquettes de Posidonie en favorisant le fonctionnement naturel des plages.

Conformément aux recommandations, les banquettes de Posidonie qui se déposent chaque hiver sur les plages de Bandol sont laissées sur place durant la période hivernale et sont retirées par les services municipaux, juste avant les vacances de printemps. La commune procède au déplacement des posidonies pour les stocker sur des espaces naturels en vue de les redéployer sur les plages à l'issue de la saison balnéaire.
En accord avec ces recommandations, chaque année, dans le cadre des préparatifs de la saison estivale, la commune de Bandol réaménage ses plages pour accueillir dans les meilleures conditions les usagers.
Les banquettes sont gerbées en monticules par des engins de chantier type tracteurs, chargées sur des camions type semi-remorques, acheminées jusqu'au terrain de stockage.

La préparation estivale des plages comprend alors :
- Enlèvement de macrodéchets
- Rassemblement des posidonies et reprofilage partiel des plages de sable
- Enlèvement des Posidonie
- Apport de sable et reprofilage afin de rétablir un profil de plage régulier
- Pose et ouverture des postes de secours

L'entretien estival des plages comprend :
- La vidange des poubelles
- L'enlèvement manuel des déchets sur le littoral permettant le tri des déchets sans destruction de l'écosystème

Cette méthode est opérée sur toutes les plages de sable et criques de galets par des agents municipaux, afin d'enlever les déchets déposés par la mer et les usagers. Une épuisette est utilisée pour enlever les déchets flottant au bord de l'eau.

L'entretien des plages vise un nettoyage raisonné permettant :
- De maintenir la biodiversité
- De préserver les espèces végétales et animales
- De lutter contre l'érosion

Cependant, par soucis d'offrir une plage propre, la commune de bandol réalise également le nettoyage mécanique du sable des plages tous les matins en période estivale par le passage d'un tamis cribleur et d'un râteau de surface ; celui-ci permet de recueillir les déchets tels que mégots de cigarette, papiers, bois, canettes, capsules etc. Mais celui-ci est non sans conséquence négative sur le milieu naturel :
- Le sable est parfois emporté avec les matériaux ramassés ;
- Le ramassage de la laisse de mer entraine la disparition d'une microfaune importante à la base de la chaine alimentaire de l'estran.

3.5.3. Axes de réflexion sur la gestion de la laisse de mer

Afin d'intégrer la préservation de la laisse de mer dans le projet de rechargement des plages, des évolutions de pratiques pourront être mises en place afin de déployer le nettoyage raisonné de la plage et afin de tendre vers l'objectif « zéro perte nette de biodiversité ».

En effet, lors de nettoyage mécanique, la tranche supralittorale est susceptible d'être impactée par les opérations de criblage de la couche superficielle et du ramassage de la laisse de mer. Ces opérations peuvent conduire à une modification de la hauteur du sable, de sa répartition granulométrique, de l'équilibre physique et biologique de la plage, une perte de la biodiversité (notamment dans l'habitat laisse de mer).

Or, à l'interface mer et terre parfois très urbanisée, les plages sont tout à la fois :

- Des espaces « remparts » naturels, en perpétuel mouvement ;
- Des milieux originaux fourmillant de vie et composant un écosystème à très haute valeur biologique et patrimoniale ;
- Les réceptacles des laisses de mer, essentielles pour l'engraissement de la plage, vitales pour la biodiversité mais qui captent les déchets anthropiques nuisibles comme les hydrocarbures et autres macrodéchets ;
- Des espaces fréquentés pour de multiples usages : tourisme, loisir, professionnels, eux-mêmes conditionnés par le bon état écologique et sanitaire des plages.

Autant de paramètres à prendre globalement en compte pour mieux raisonner le nettoyage des plages, afin qu'à l'avenir, celui-ci, préférentiellement manuel et sélectif, contribue à leur préservation.

L'intérêt de la gestion raisonnée des plages, notamment par un nettoyage adapté, a été largement débattu et porté à connaissance par de nombreux acteurs et médias.
Les plages sont des espaces de loisir, de détente, des lieux d'activités, une porte d'entrée sur la mer mais aussi des milieux naturels fragiles abritant une biodiversité à préserver.

La mairie souhaite alors utiliser les outils à sa disposition afin de :

- D'utiliser une méthode générale pour la mise en place d'un plan nettoyage raisonné des plages.

- Sensibiliser la population sur l'utilité de la laisse de mer. Celle-ci jouant un rôle fixateur, elle permet de retenir du sable et à terme de renforcer le maintien du trait de côte. C'est donc, un frein naturel à l'érosion du littoral.
  Sur le cas des plages de Bandol, une gestion raisonnée du nettoyage de plages, peut permettre de ralentir le phénomène d'érosion mais également de favoriser la présence d'espèces floristiques et faunistiques inféodées à ce milieu.

- Afin de compléter les mesures de protection de la laisse de mer, des études pourront être mise en place dans le but de suivre la reconquête de l'étage supralittoral par la végétation et permettront de mesurer les effets positifs de l'arrêt du nettoyage mécanique de la laisse de mer.

Afin d'éviter ces pertes, la commune de Bandol souhaite alors conduire une nouvelle réflexion sur son entretien des plages pour que celui-ci soit moins impactant sur l'environnement. Il pourrait s'agir notamment de développer la collecte manuelle notamment sur les zones sensibles à fort intérêts écologiques, ce qui permettrait de maintenir la laisse de mer et le sable.

4. CONCLUSION

Par suite de l'Arrêté n°AE-F09321P0081 du 30/04/2021, ne soumettant pas à étude d'impact la commune de Bandol pour son projet de rechargement de plages, celle-ci était engagée à conduire les actions suivantes :

- Déterminer la granulométrie nécessaire aux rechargements en fonction des bathymétries et des conditions de houles dimensionnantes
- Fournir les dynamiques sédimentaires
- Fournir une analyse plus précise des causes de départ du sable et un bilan environnemental au cours de l'année suivant le rechargement, s'appuyant sur une connaissance préalable de la bathymétrie et des conditions d'équilibres (granulométrie, profils) des plages concernées,
- Une analyse sur la localisation des enjeux environnementaux et sur les pratiques en matière de nettoyage des plages et des banquettes de Posidonie

Les études menées par SEMANTIC TS et GlobOcéan ont alors permis de tenir les engagements pris par la commune et ainsi consolider les connaissances concernant les paramètres physiques et biologiques des plages artificielles de sable de Bandol :

- Les analyses granulométriques des sédiments ont montré des sables de taille moyenne pour les plages à l'Ouest et des sédiments plus grossiers pour la plage Centrale.

- Les modélisations ont permis de reproduire la dynamique sédimentaire des plages et comprendre l'impact de la morphologie/bathymétrie et des ouvrages.

- Les résultats d'évolution du trait de côte ont mis évidence les mouvements des stocks sédimentaires au sein des cellules avec dépôts de sédiments dans les petits fonds au droit des plages. Les cartes d'évolution ont montré qu'en général, on observe des tendances érosives, plus ou moins marquées sur l'ensemble des plages.

- La plage de Renécros est la plus vulnérable au risque d'érosion du littoral et présente en son centre, une zone d'accumulation de sédiments, y compris en limite d'herbier, en niveau de la rivière de retour.

- Les plages de la baie de Bandol (Centrale, Casino et Grand Vallat) sont exposées aux houles de secteurs Sud et présentent des tendances d'érosion du haut de plage et des dépôts dans les petits fonds.

- La vitalité de l'herbier de Posidonie a été caractérisé et les résultats ont ainsi contribué à montrer un herbier de posidonies globalement en bon état de vitalité à l'Ouest et médiocre à moyen à l'Est.
  Sur l'ensemble des stations l'herbier présente une faible capacité à se développer horizontalement.
  A Renécros ainsi que sur le secteur de Centrale, un ensablement des rhizomes a été observé.
  L'herbier peut être soumis à un fort hydrodynamisme et subir de forts mouvements sédimentaires notamment pour la plage de Renécros, pouvant conduire à terme à structurer son état général.
  Ces premières données de vitalités sur l'herbier de Posidonie permettront de suivre son évolution dans le temps.

- Dans le cadre de la gestion du trait de côte, les conclusions des études réalisées préconisent :
    - Le maintien des rechargements réguliers (en utilisant des catégories de sable plus précises) ;
    - L'étude de l'écrêtage des petits fonds afin de limiter l'accumulation de sédiments au pied des herbiers de Posidonie et de réduire le rechargement avec du sable natif, notamment sur la plage de Renécros ;
    - L'étude de solutions combinées (ouvrage submergé, ouvrage transversal, …), notamment sur la plage de Renécros, permettant de circonscrire la fuite de sédiments vers le large.

  Des études complémentaires devront alors être menées afin d'étudier ces techniques, aménagements et solutions innovantes.
  Notamment des modélisations numériques pour montrer que la récupération du sable au centre des plages ne serait pas de nature à entrainer des modifications des houles, des courants et du transport sédimentaire et ainsi à perturber les herbiers de Posidonies.
  Ces études seront à associer à des propositions de mesures spécifiques pour s'assurer de l'absence d'impact en phase travaux, telles que le filet anti-MES lors de l'utilisation de la pompe TOYO.

- Afin de tendre vers l'objectif « zéro perte nette de biodiversité », la commune de Bandol pourrait conduire une nouvelle réflexion sur son entretien des plages et la gestion des laisses de mer, pour que celui-ci soit moins impactant sur l'environnement. Il pourrait s'agir notamment de développer la collecte manuelle notamment sur les zones sensibles à fort intérêts écologiques, ce qui permettrait de maintenir la laisse de mer et le sable.

5. ELEMENTS UTILES A LA COMPREHENSION DU DOCUMENT

5.1. Annexes

Annexe n°1 – Diagnostic du littoral et étude de la dynamique sédimentaire des plages de Bandol en vue de travaux de protection du littoral – **GlobOcéan 2022**

Annexe n°2 – Rapport de mission – Levé bathymétrique – Topographie par photogrammétrie aérienne – Prélèvements sédimentaire et Stations de vitalités herbier, plages de Bandol – **SEMANTIC TS 2022**

Annexe n°1 – Diagnostic du littoral et étude de la dynamique sédimentaire des plages de Bandol en vue de travaux de protection du littoral – GlobOcéan 2022

Annexe n°2 – Rapport de mission – Levé bathymétrique – Topographie par photogrammétrie aérienne – Prélèvements sédimentaire et Stations de vitalités herbier, plages de Bandol – SEMANTIC TS 2022