Rapport d'étude

Etudes pour la gestion du trait de côte des plages de sable de Bandol

Renécros – Centrale – Casino – Grand Vallat

23029

CLIENT :

MAIRIE DE BANDOL

Mr EL GUIZANI Chakib

Tél. + 04.94.29.22.60

chakib.elguizani@bandol.fr

PROJET :

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

CONTROLE DU DOCUMENT				
NUM PROPOSITION	P23029			
REFERENCE DU DOC	Rapport d'étude pour la gestion du trait de côte des plages de sable de Bandol : Renécros – Centrale – Casino – Grand Vallat			
SOCIETE	MANE OCEANOGRAPHIE ET ENVIRONNEMENT Adresse : 71 Boulevard Jean Behra 06100 Nice Tel : +377 99 99 68 28 Email : info@mane-groupe.com Contact : egea@mane-oceanographie.com			
AUTEUR	Benoit SHEARN			
VALIDE ET APPROUVE	Nicolas EGEA		DATE	20/12/2023
VERSION	DATE	MODIFICATIONS	COMMENTAIRES	
IndA	10/12/2023		Version initiale	

SOMMAIRE

Etudes pour la gestion du trait de côte des plages de sable de Bandol 1
Renécros – Centrale – Casino – Grand Vallat 1
1 INTRODUCTION 6
2 Projets d'aménagement 8
2.1 Grand Valat 8
2.2 Renécros 9
3 Rappel des conditions 10
3.1 Statistiques de houle au large de Bandol 10
4 Modélisation de l'impact des aménagements 11
4.1 Stratégie de modélisation 11
4.2 Présentation des logiciels de modélisation 11
4.2.1 Modèle de houle TOMAWAC 11
4.2.2 Modèle courantologique (TELEMAC-2D) 11
4.2.3 Modèle sédimentologique (SISYPHE) 12
4.2.4 Méthodologie de couplage de codes 12
4.2.4.1 Calcul TOMAWAC (découplé) 12
4.2.4.2 Couplage interne TELEMAC 2D- SISYPHE 12
4.3 Mise en place du modèle 12
4.3.1 Emprise, maillage et bathymétrie 12
4.3.2 Etats aménagés 14
4.3.3 Conditions limites de forçage et cas simulés 14
4.4 Fonds rigides 15
4.5 Résultats - plage Grand Valat 16
4.5.1 Résultats du modèle hydrodynamique 16
4.5.1.1 Résultats modélisation de la houle - TOMAWAC 16
4.5.1.2 Résultats modélisation de la courantologie - TELEMAC-2D 19
4.5.2 Résultats du modèle sédimentologique 22
4.6 Résultats - plage Renécros 26
4.6.1 Résultats du modèle hydrodynamique 26
4.6.1.1 Résultats modélisation de la houle - TOMAWAC 26
4.6.1.2 Résultats modélisation de la courantologie - TELEMAC-2D 29

4.6.2 Résultats du modèle sédimentologique 32
5 Synthèse et conclusions 35
6 REFERENCES 36

1 INTRODUCTION

L'étude concerne le littoral de Bandol, et notamment les plages listées sur la Figure 1-1.



Figure 1-1 : Localisation des plages étudiées : plage de Renécros, plage centrale, plage du Casino et plage du Grand Valat

L'objectif général de cette étude est de comprendre l'impact d'aménagements potentiels (notamment rechargement de plage, mise en place d'ouvrages transversaux et/ou longitudinaux…) sur l'hydrodynamisme et la sédimentologie de plusieurs plages du littoral de Bandol identifiées dans le cadre d'une mission antérieure comme potentiellement à risque, et assister à la faisabilité de travaux de protection du littoral.

Les aménagements pressentis sont les suivants :

- Plage de Grand Valat :
  - Rechargement de plage (environ 3800 m^3), dépose épi central / avec mise en place ou non d'un atténuateur de houle
- Plage de Renécros :
  - Rechargement de plage (4110 m^3), réhabilitation épis existants
  - Rechargement de plage puis dépose épis (1 épi ou l'intégralité des 3 épis)

Cette étude s'appuie sur des données hydrodynamiques et sédimentologiques issues d'une mission antérieure (ICTP et Globocéan, 2021 [1]).

En complément des modélisations numériques, des essais de lançage ont été réalisés sur la plage de Renécros afin de déterminer les volumes disponibles pour le rechargement par pompage. Ces essais sont décrits dans un rapport à part.

Le présent rapport se décompose de la façon suivante :

- *Description des aménagements projetés sur chacune des plages (Grand Valat et Renécros) ;*
- *Rappel des conditions météo-océanographiques et conditions de projet ;*
- *Modélisation de l'impact des aménagements sur l'hydrodynamisme et la dynamique sédimentaire - plage de Grand Valat :*
    - *Modélisation de la propagation des houles ;*
    - *Modélisation courantologique ;*
    - *Modélisation sédimentologique ;*
    - *Conclusions sur l'impact des aménagements.*
- *Modélisation de l'impact des aménagements sur l'hydrodynamisme et la dynamique sédimentaire - plage de Renécros :*
    - *Modélisation de la propagation des houles ;*
    - *Modélisation courantologique ;*
    - *Modélisation sédimentologique ;*
    - *Conclusions sur l'impact des aménagements.*

2 Projets d'aménagement

Les projets d'aménagement des plages de Grand Valat et Renécros sont décrits à travers les figures suivantes.

2.1 Grand Valat

3 variantes d'aménagement étudiées :

- Rechargement de 2 800 m^3 + dépose épi central (plus de rôle de maintien de plage) ;
- Rechargement de 2 800 m^3 + dépose épi central (plus de rôle de maintien de plage) + mise en place atténuateur de houle en géoconteneurs (config 1) ;
- Rechargement de 2 800 m^3 + dépose épi central (plus de rôle de maintien de plage) + mise en place atténuateur de houle en géoconteneurs (config 2).

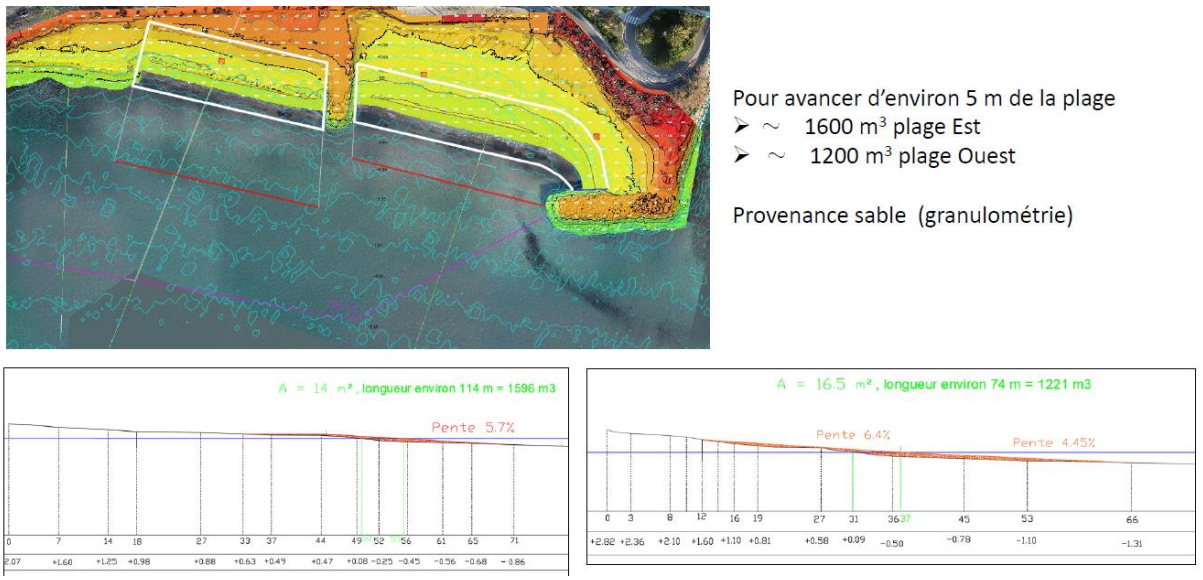
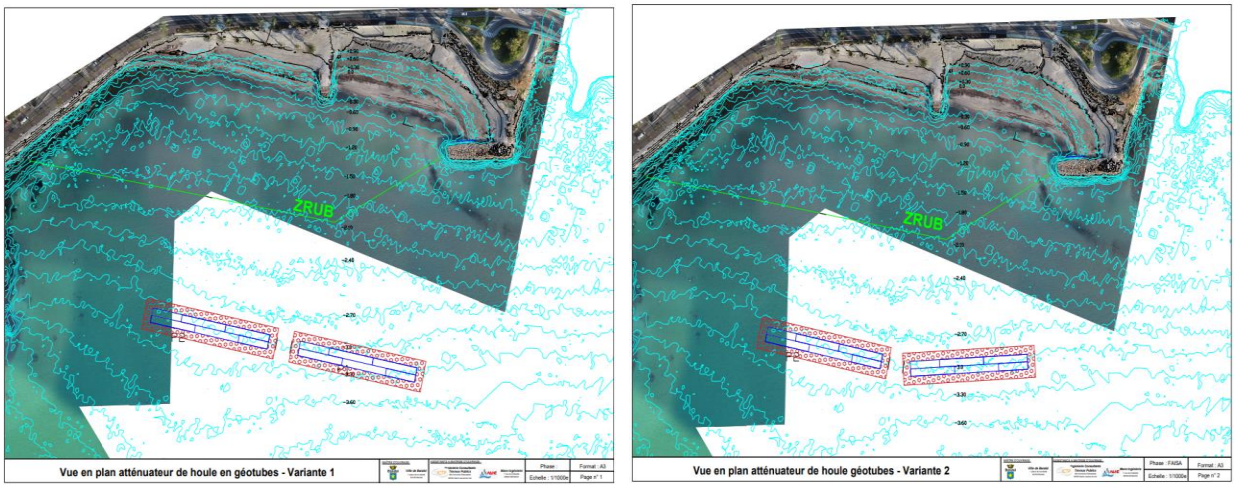


Figure 2-1 : Plan et coupe de principe du rechargement – plage de Grand Valat

L'atténuateur de houle possède les caractéristiques suivantes :

- Positionnement derrière la ZRUB ;
- L = 80m ; l = 7,6m ;
- Composé de 6 géoconteneurs de longueur variable (20 et 30 m) ;
- Diamètre : 3m.



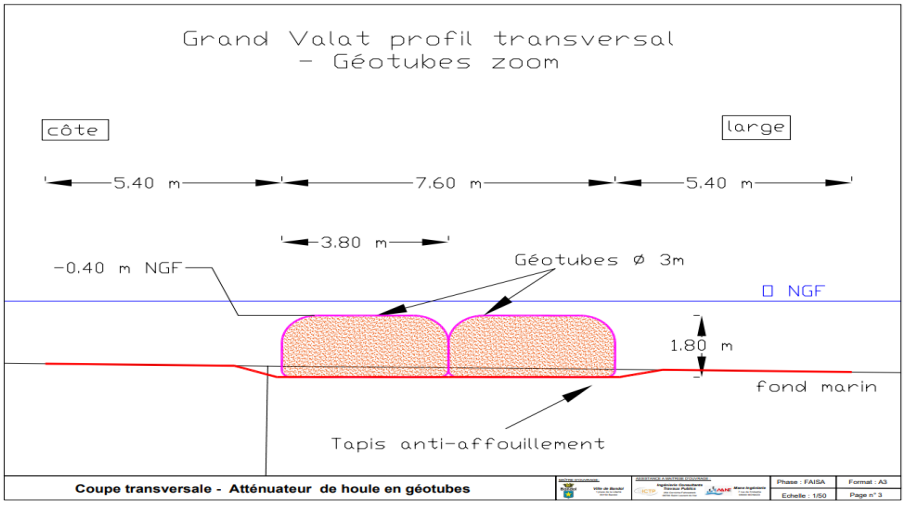


Figure 2-2 : Plan et coupe de principe des atténuateurs de houle (configuration 1 en haut à gauche et configuration 2 en haut à droite) – plage de Grand Valat

2.2 Renécros

3 variantes d'aménagement étudiées :

- Rechargement de 4 110 m^3 + épis existants (réhabilitation conseillée en lieu et place – hors mise à jour dimensionnement) ;
- Rechargement de 4 110 m^3 + retrait 2 épis au centre partie Nord de l'anse et maintien de l'épi à l'entrée (en face du port) – désartificialisation partielle ;
- Rechargement de 4 110 m^3+ retrait 3 épis – désartificialisation totale.

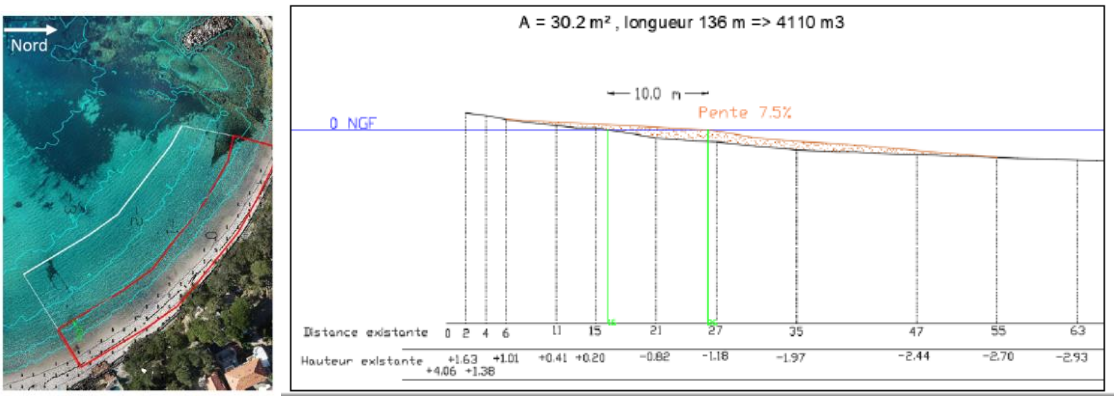


Figure 2-3 : Plan et coupe de principe du rechargement – plage de Renécros

3 Rappel des conditions

3.1 Statistiques de houle au large de Bandol

La base de données développée par GLOBOCEAN au large de la baie de Bandol est utilisée (GLOBOCEAN, 2022 [2]. Une analyse statistique des conditions de houle a été réalisée à partir des séries continues d'états de mer reconstituées par le modèle WaveWatchIII sur un point de référence au large de *Bandol,* dénommé 'PT1' (Figure 3-1). La rose des houles est donnée Figure 3-1, droite et les statistiques extrêmes directionnelles pour le secteur SO sont rappelés dans le Tableau 3-1.

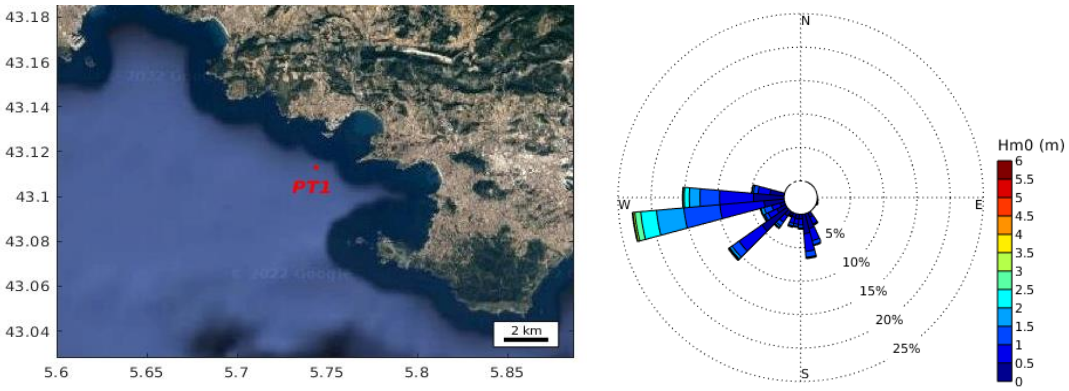


Figure 3-1 : Localisation du point d'extraction des états de mer du large (PT1) – figure de gauche ; rose de houle – figure de droite [1,2]

Tableau 3-1 : Synthèse des états de mer extrêmes d'incidence SO [2]

Secteur SUD-OUEST					
Loi	Exponentielle	Echelle	0,601		
Seuil (m)	2,8				
Nb tempêtes	42				
	Hm0 (m)			Paramètres associés	
		Intervalle de confiance (90%)		Tp (s)	
Périodes de retour	Modal	Borne inf.	Borne sup.	Borne inf.	Borne sup.
1	**3,1**	3,0	3,2	8,8	9,0
10	**4,7**	4,3	5,2	9,8	10,4

4 Modélisation de l'impact des aménagements

4.1 Stratégie de modélisation

Le système de modélisation TELEMAC (www.opentelemac.com) est un code open source développé à l'origine par EDF R&D. Ce modèle est aujourd'hui largement diffusé dans la communauté internationale et devenu un code de référence.
Le système TELEMAC repose sur la méthode des éléments finis. Il est donc parfaitement adapté pour représenter finement les géométries complexes des systèmes littoraux.
Le couplage de plusieurs modèles a été mis en œuvre pour représenter les interactions complexes entre la houle, les courants et les sédiments qui gouvernent l'évolution des plages en zone côtière.
Pour cette étude, les codes suivants ont été utilisés :

- TOMAWAC pour la propagation de la houle ;
- TELEMAC 2D pour la courantologie ;
- SISYPHE pour le transport de sédiments et les évolutions bathymétriques qui en résultent.

4.2 Présentation des logiciels de modélisation

4.2.1 Modèle de houle TOMAWAC

Le code TOMAWAC est un code de propagation de la houle depuis le large jusqu'en zone côtière. Ce modèle dit de 'troisième génération' repose sur une représentation spectrale de la houle.

TOMAWAC a été ici utilisé en mode non-couplé (fond stationnaire, pas de prise en compte des courants) pour calculer les contraintes de radiation et les contraintes de frottement dues à la houle qui seront imposées dans les modèles hydrosédimentaires.

Les processus pris en compte sont les suivants :

- Réfraction bathymétrique ;
- Dissipation d'énergie par déferlement, frottement sur le fond ;
- Dissipation par moutonnement ;
- Interaction non linéaire (triades et quadruplets interactions).
- Les hypothèses de modélisation sont les suivantes :
- Spectre JONSWAP ;
- Pas de temps Dt= 2s ;
- Discrétisation en 36 directions ;
- 20 fréquences (fmin= 0.05 Hz, r = 1.1) ;
- Vent et courant non pris en compte ;
- Niveau d'eau moyen constant (correspondant à la surcote).

4.2.2 Modèle courantologique (TELEMAC-2D)

Le code Telemac-2D résout les équations de St Venant par la méthode des caractéristiques et avec prise en compte des bancs découvrants. La prise en compte dans les termes sources des contraintes de radiation permet de représenter l'effet de la houle (courants générés par la houle et surcote). L'effet du

frottement sur le fond et de la contrainte exercée par le vent en surface sont pris en compte par le biais de coefficients de frottement quadratiques. Les paramètres hydrodynamiques sont les suivants :

- Dt= 1s ;
- Chainage avec Tomawac ;
- Prise en compte des effets du vent ;
- Frottement de Nikuradse (ks= 5 cm) ;
- Prise en compte des évolutions du fond (couplage interne avec Sisyphe).

4.2.3 Modèle sédimentologique (SISYPHE)

Le code Sisyphe calcule le transport sédimentaire par le biais d'une formule empirique (ici formule de Bijker) en fonction des variables hydrodynamiques et du sédiment (diamètre et densité). Le modèle résout l'équation d'Exner pour calculer les évolutions du fond (avec prise en compte des fonds rigides) par une méthode similaire au traitement des bancs découvrants.

- Courant et houle imposés par les modèles hydrodynamiques ;
- Couplage avec Telemac, chainage avec Tomawac ;
- Diamètre constant (1 seule classe) : d_{50} = 0,40 mm ;
- Fonds rigides en dehors des plages de sable ;
- Chainage avec Tomawac : Effet de la houle sur le transport solide ;
- Formule de Bijker ;
- Correction pour frottement de peau (k_{sp}=3 d50).

4.2.4 Méthodologie de couplage de codes

4.2.4.1 Calcul TOMAWAC (découplé)

Le niveau d'eau est imposé et considéré comme constant. Les contraintes de radiation et les variables de la houle (hauteurs significative, période de pic) sont sauvegardées dans le fichier de résultats. Les résultats obtenus au dernier pas de temps seront utilisés comme données d'entrée des modèles de courant et de transport solide.

4.2.4.2 Couplage interne TELEMAC 2D- SISYPHE

Les deux codes sont couplés et échangent à chaque période de couplage (ici tous les 10 pas de temps) des variables hydrosédimentaires. Le code TELEMAC 2D calcule la hauteur d'eau et les courants qui sont envoyés à SISYPHE. Le code SISYPHE calcule les évolutions du fond. Le niveau bathymétrique est alors réactualisé dans TELEMAC.

4.3 Mise en place du modèle

4.3.1 Emprise, maillage et bathymétrie

Le domaine de modélisation et le maillage sont représentés sur la Figure 4-1. Le modèle s'étend sur une dizaine de km d'extension de la plage de la Coudoulière à l'Est jusqu'à l'Ile Rousse à l'Ouest. Le maillage est composé de 118 658 éléments triangulaires pour 60 931 nœuds avec une taille de maille variable de plus de 250 m le long de la frontière maritime à moins de 5m dans la baie de Bandol et comprise entre 1 et 2m au niveau de la plage. La frontière au large du modèle coïncide avec la localisation du point

d'entrée de houle au large (point PT1, sortie WW3). L'emprise permet également de prendre en compte les éléments bathymétriques qui pourraient influencer la propagation de houles. Le maillage a été interpolé sur un assemblage de bathymétries composé à partir de plusieurs jeux de données.

Tableau 4-1 : Liste des données de bathymétrie disponibles

Type données	Source	Couverture/résolution	Remarques
HOMONIM	SHOM	0 – 2800 m (résolution 100m)	Disponible PBMA et NM
LITO3D	SHOM	Bande littorale (résolution 1m)	Levés de 2015
Topographie par photogrammétrie	SEMANTIC TS	Plage émergée (résolution 0,2m)	Levés de 2022

La Figure 4-1 montre la bathymétrie au niveau de la baie de Bandol. Ces figures illustrent l'irrégularité de la bathymétrie dans cette zone. Les maillages des états aménagés sont donnés Figure 4-2 et Figure 4-3.

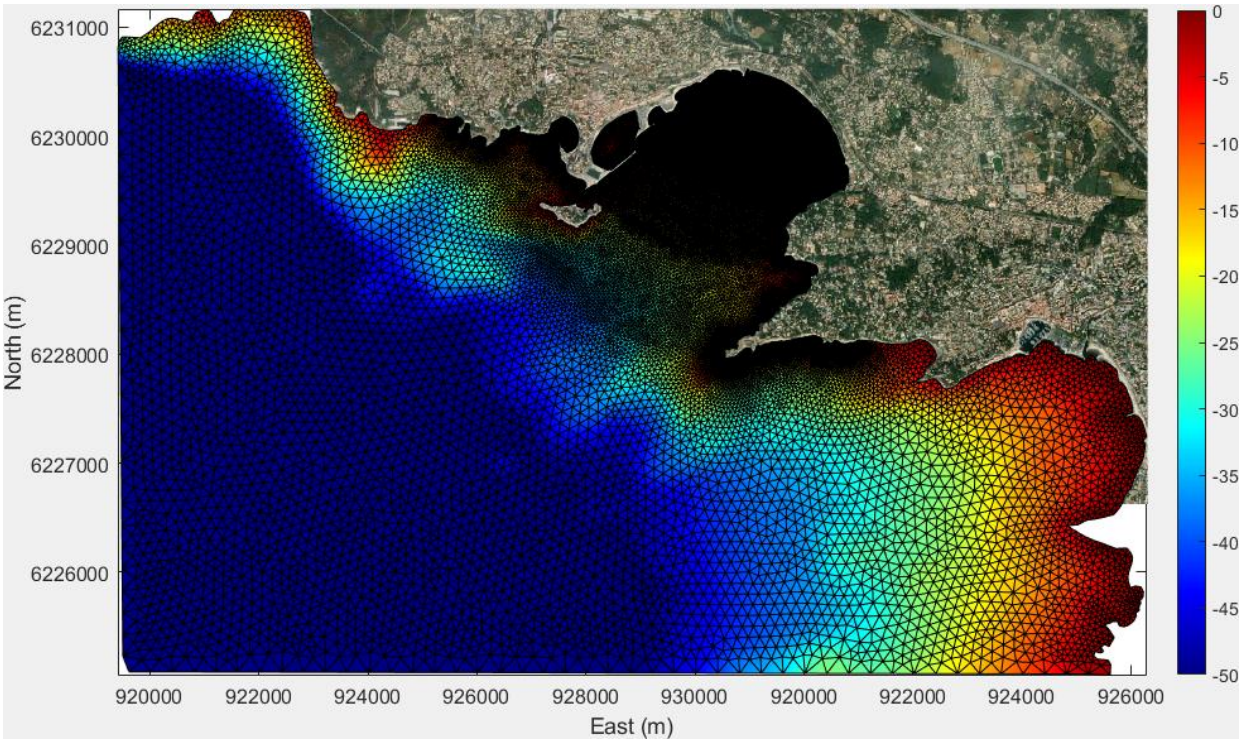


Figure 4-1 : Emprise horizontale et maillage

4.3.2 Etats aménagés

Les projets d'aménagement sont donnés Figure 4-2 (Plage Grand Valat) et Figure 4-3 (Plage Renécros).

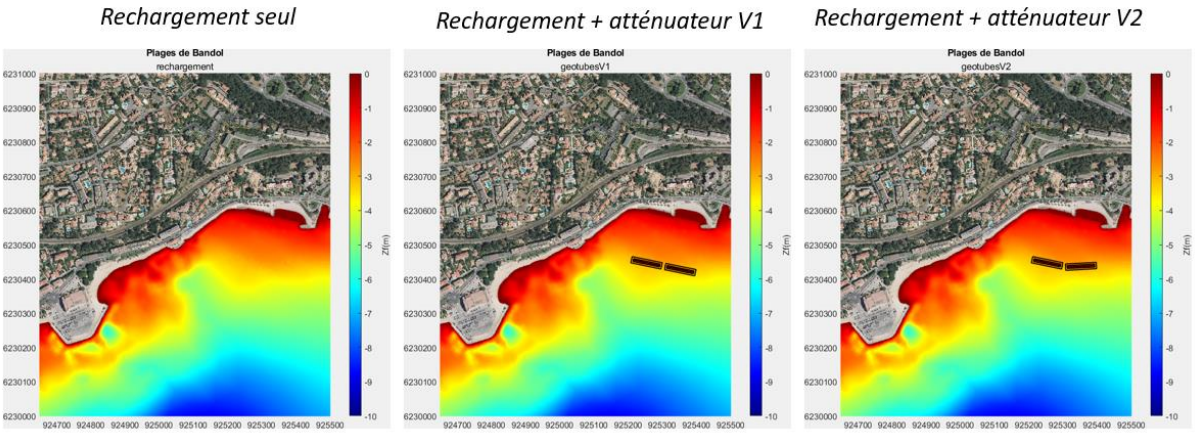


Figure 4-2 : Scénarios d'aménagement - Plage Grand Valat

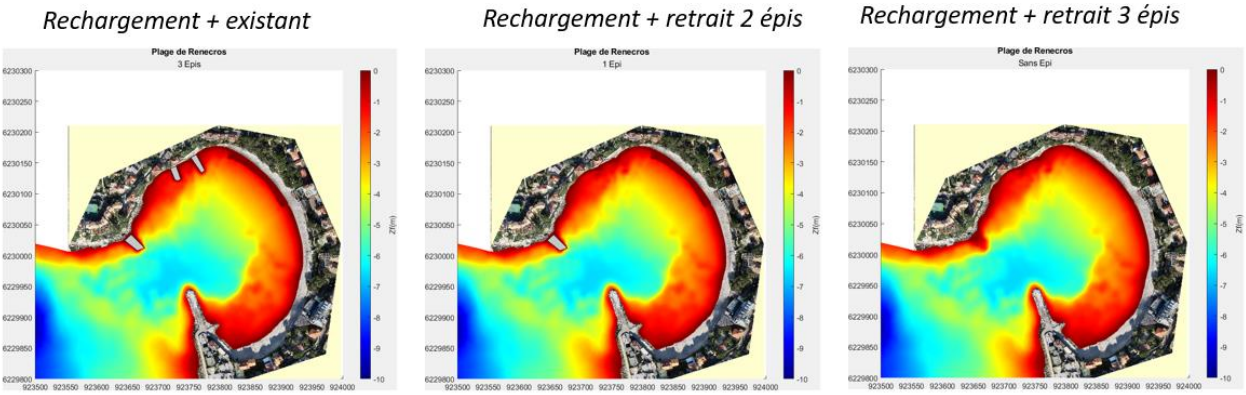


Figure 4-3 : Scénarios d'aménagement - Plage Renécros

4.3.3 Conditions limites de forçage et cas simulés

Les conditions extrêmes sur une période de retour de 1an (T1) et usuelle (tables d'occurrences conjointes Hm0/Dirp, Hm0/Tp, et Tp/Dirp) d'états de mer au large de la baie de Bandol, pour forçage du modèle hydro-sédimentaire sont issues de l'étude GLOBOCEAN et ICTP [1,2]. Les conditions retenues pour estimer les risques d'érosion sont les tempêtes fréquentes et annuelles. Pour la modélisation des houles provenant du secteur SO, les états de mer extrêmes au large du secteur 3 - (entre 220°N et 240°N) ont été sélectionnés (§3.1).

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 Valat).

Les conditions metéo-océaniques retenues comme conditions de forçage du modèle (2 périodes de retour x 3 incidences au total) sont synthétisées dans le Tableau 4-2. Les conditions imposées concernent la houle au large (hauteur significative H_s et période de pic T_p), le niveau moyen Z_s. Le forçage du vent n'a pas été pris en compte dans les simulations, étant donné qu'il est négligeable par rapport au forçage dû à la houle en zone littorale. Les secteurs Nord et Est n'ont pas été modélisés car la baie de Bandol est largement abritée des coups d'Est.

Pour chaque condition, le niveau d'eau moyen Z_s imposé correspond à un niveau fréquent auquel sont ajoutées les valeurs de surcote calculées dans le guide du CETMEF pour le Port de Toulon [33].

Tableau 4-2: Conditions météo-océaniques (modélisation des houles d'incidence SO - 225°N)

Conditions	H_s (m)	T_p (s)	Z_s (m, NGF)
Fréquent	0.75	5.5	0.5
Annuelle (T1)	3.10	8.9	0.7

4.4 Fonds rigides

Les fonds rigides ont été implémentés dans le modèle. Les biocénoses sont extraites des données Andromède [7].

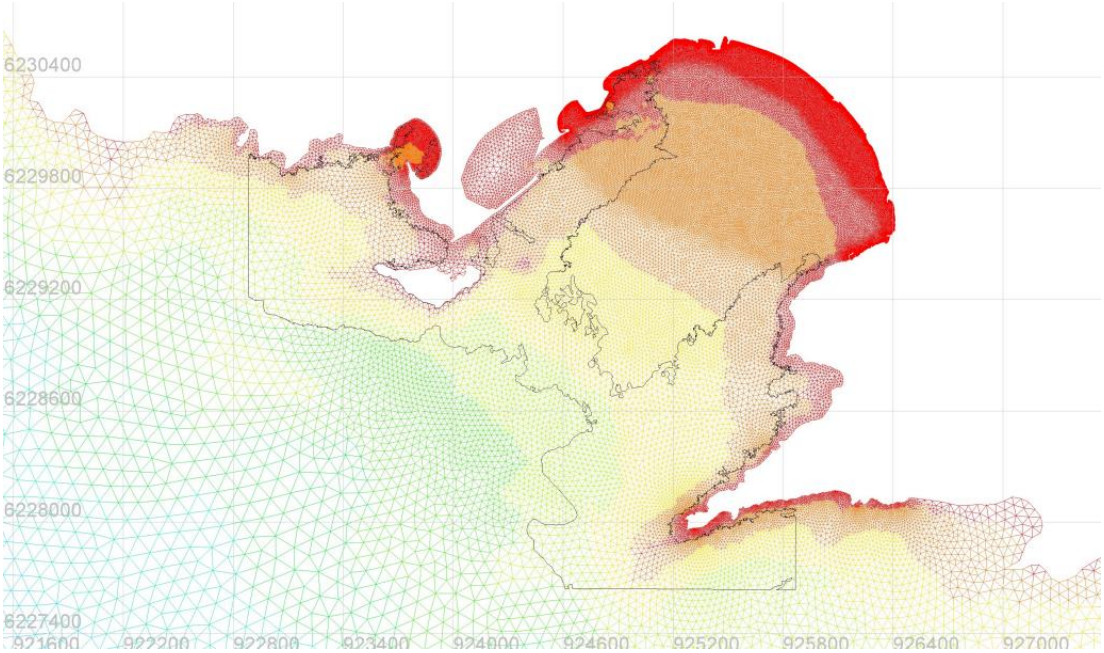


Figure 4-4: Implémentation des biocénoses dans le modèle (ANDROMEDE, 2009)

4.5 Résultats - plage Grand Valat

4.5.1 Résultats du modèle hydrodynamique

4.5.1.1 Résultats modélisation de la houle - TOMAWAC

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

Les planches représentant les champs de hauteurs pour une houle fréquente d'incidence SUD OUEST (225°N), de période de retour inférieure à des conditions annuelles (T1) sont présentées sur la Figure 4-5. Des cartes de différentiels de hauteurs de houle comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 et pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V2 sont données Figure 4-6Figure 4-7.

Les planches de propagation pour les conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-7 et les différentiels associés sont donnés Figure 4-8.

Les résultats mettent en avant :

- Des différences spatiales en fonction du secteur directionnel, dues à la configuration complexe de la côte :
- Des hauteurs de houles 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 ;
- Absence d'effet de l'atténuateur de houle sur les houles fréquentes mais effet significatif sur les conditions annuelles (pas de déferlement en conditions fréquentes, mais un gonflement de la houle à l'arrière de l'ouvrage) ;
- Impact plus important de la configuration 2 sur la réduction des hauteurs de houle.

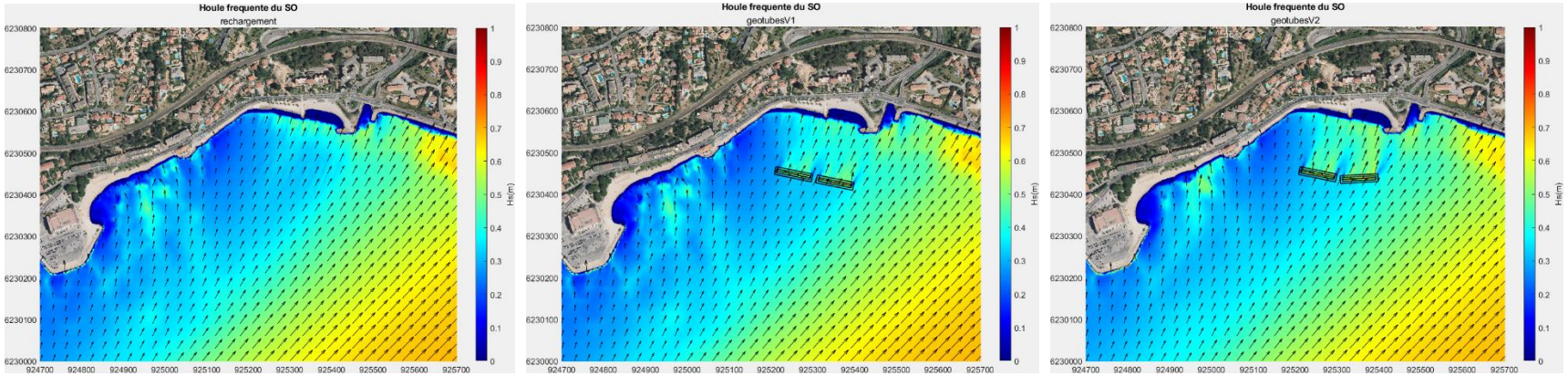


Figure 4-5 : Planches de hauteurs de houle pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions fréquentes SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

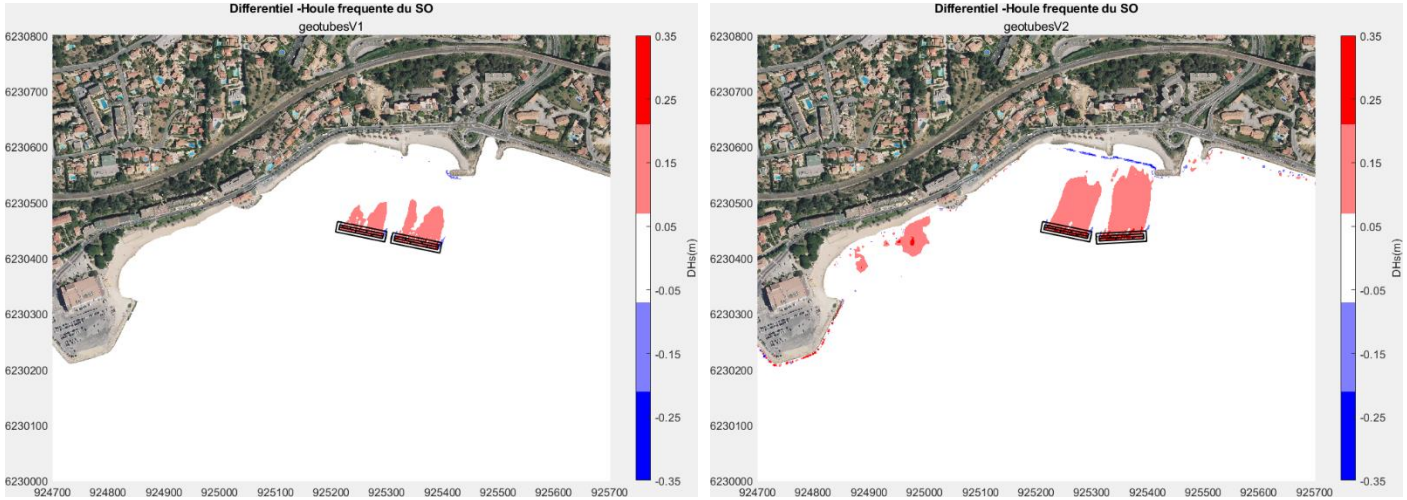


Figure 4-6 : Planches de différentiels de hauteurs de houle modélisées pour les conditions fréquentes : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

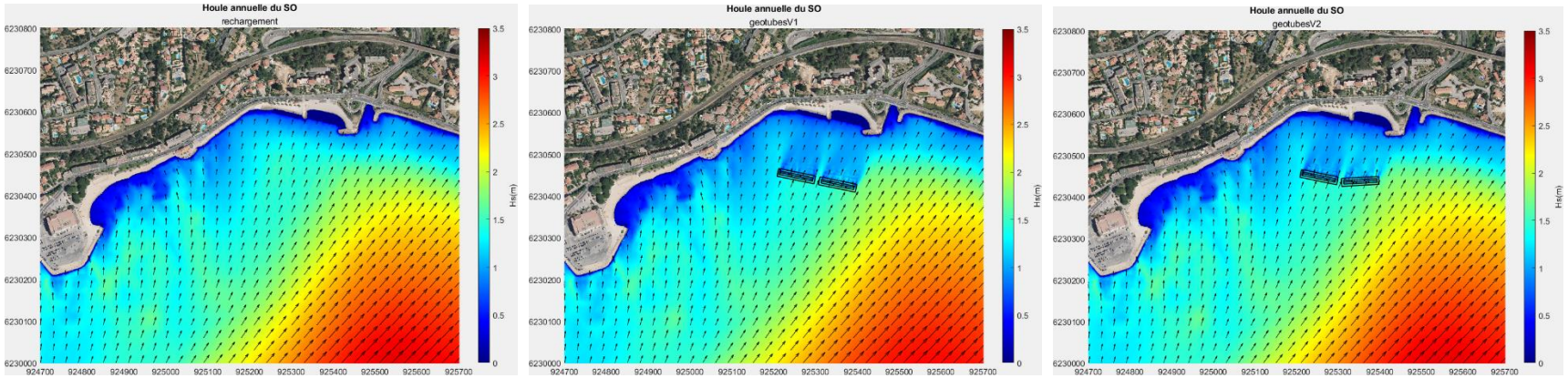


Figure 4-7 : Planches de hauteurs de houle pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

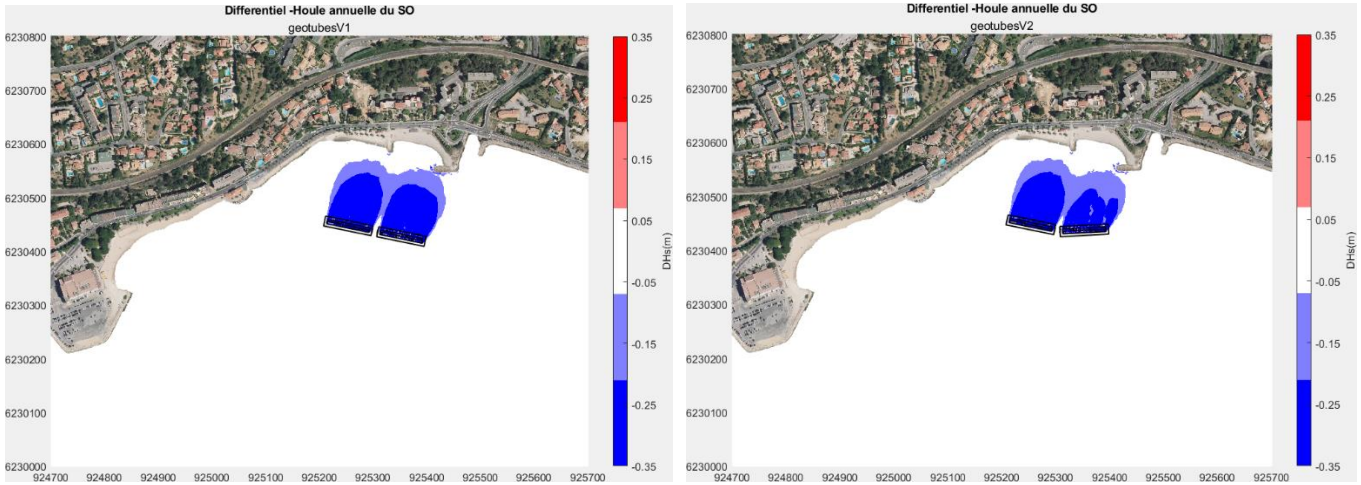


Figure 4-8 : Planches de différentiels de hauteurs de houle modélisées pour les conditions pour les conditions annuelles SO : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

4.5.1.2 Résultats modélisation de la courantologie - TELEMAC-2D

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 planches représentant les champs de vitesses pour une houle fréquente d'incidence SUD OUEST (225°N) de période de retour inférieure à des conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-9. Des cartes de différentiels de vitesses de courant comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 et pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V2 sont données Figure 4-10.

Les planches de vitesses pour les conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-11 et les différentiels associés sont donnés Figure 4-12.

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 :
    - 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
- L'effet négligeable de l'atténuateur sur la courantologie pour les conditions fréquentes mais un effet bien plus important pour les conditions extrêmes (T1) avec une diminution vitesses le long du littoral

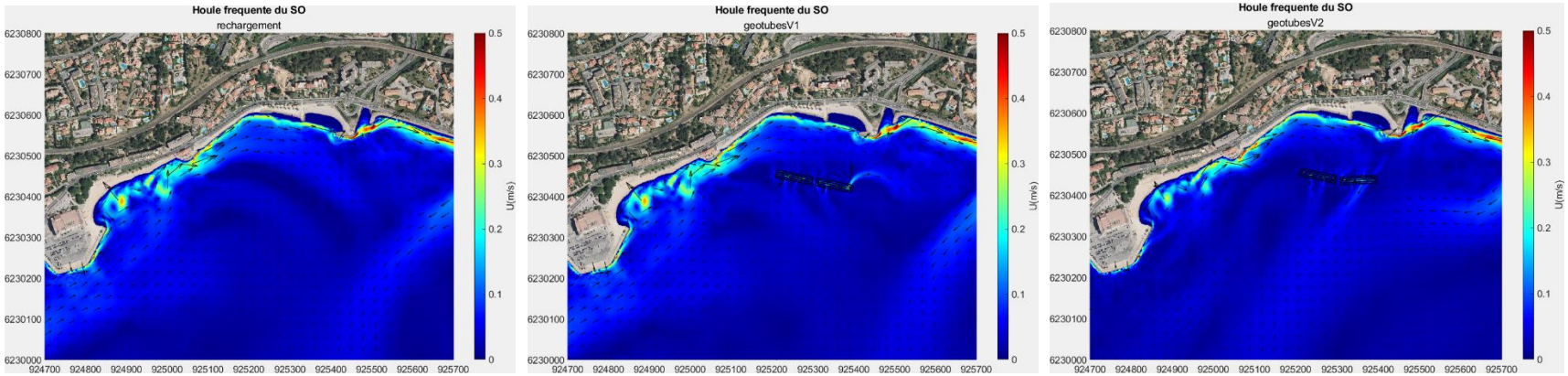


Figure 4-9 : Planches de vitesses de courant pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

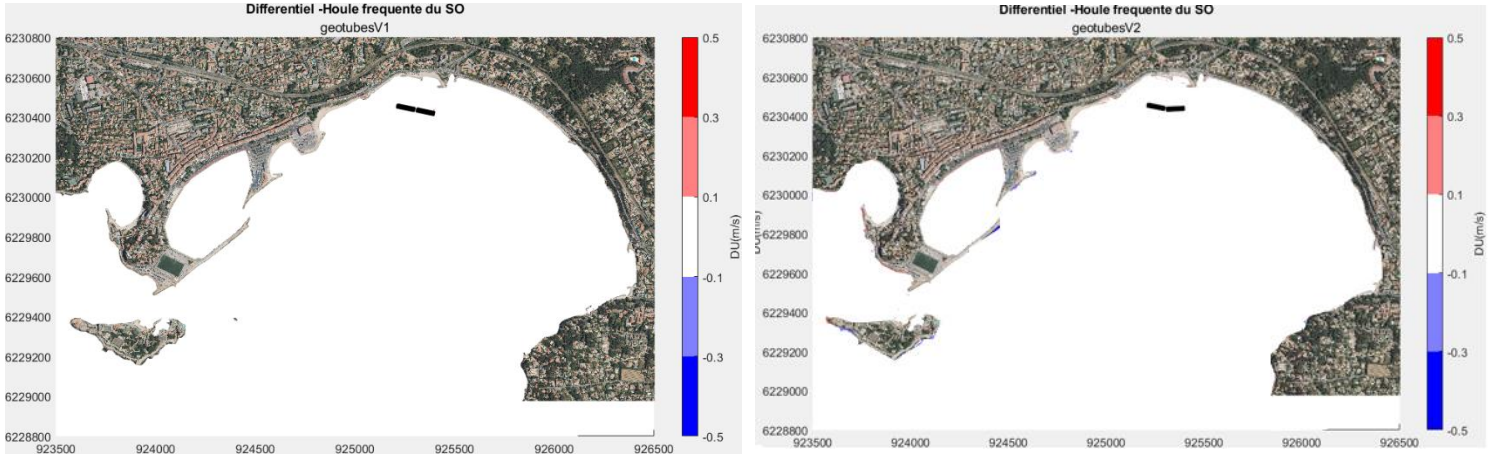


Figure 4-10 : Planches de différentiels d'évolution de vitesses de courant pour les conditions fréquentes : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

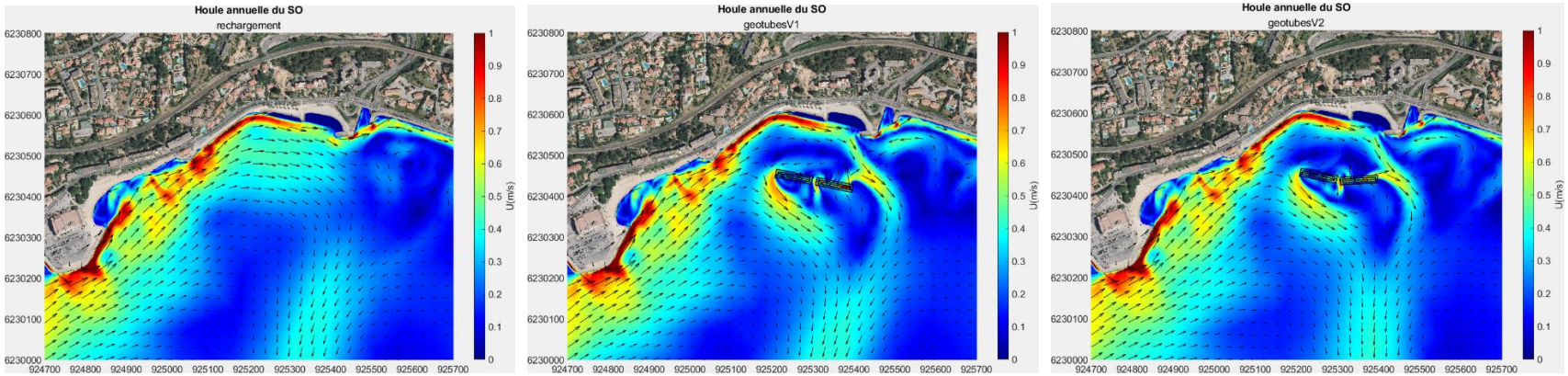


Figure 4-11 : Planches de vitesses de courant pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

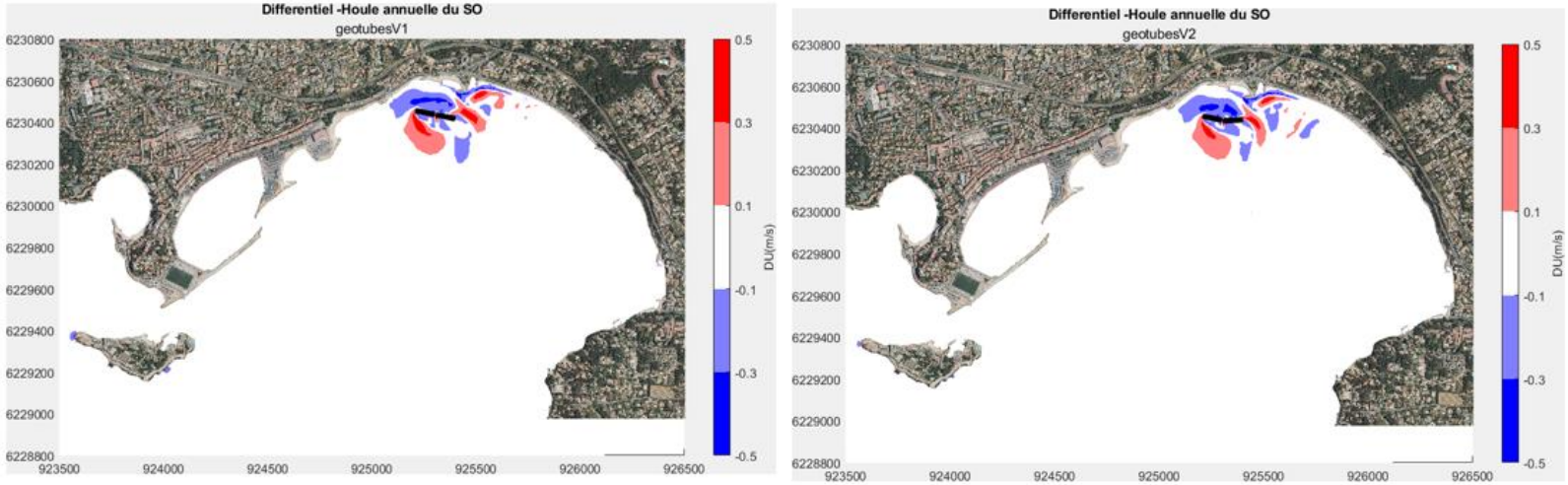


Figure 4-12 : Planches de différentiels d'évolution de vitesses de courant pour les conditions annuelles : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

4.5.2 Résultats du modèle sédimentologique

Les résultats des modélisations d'évolution des fonds (évolutions bathymétriques) calculées au bout de 24h de simulation pour l'incidence de houle de SO (conditions fréquente et annuelles) sont donnés dans ce chapitre.

Les évolutions pour les houles fréquentes de secteur SO sont présentées Figure 4-13. Des cartes de différentiels d'évolution des fonds comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 et pour un rechargement seul – rechargement + atténuateur config V2 sont données Figure 4-14.

Les planches d'évolution des fonds pour les conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-15 et les différentiels associés sont donnés Figure 4-16.

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 la baie au droit de la plage de Grand Valat. On observe des affouillements au niveau des épis et talus en enrochements et des dépôts au droit des ouvrages. Les figures mettent également en avant :

- Des dépôts à l'arrière des atténuateurs de houle en géoconteneurs agissant comme une butée (réduction des pertes sédimentaires et donc des pertes volumiques sur la cellule hydrosédimentaire à l'arrière de l'ouvrage) ;
- Des différences non significatives entre les variantes de positionnement des géoconteneurs ;
- Peu d'impact pour les conditions fréquentes mais un intérêt pour les conditions extrêmes (T1).

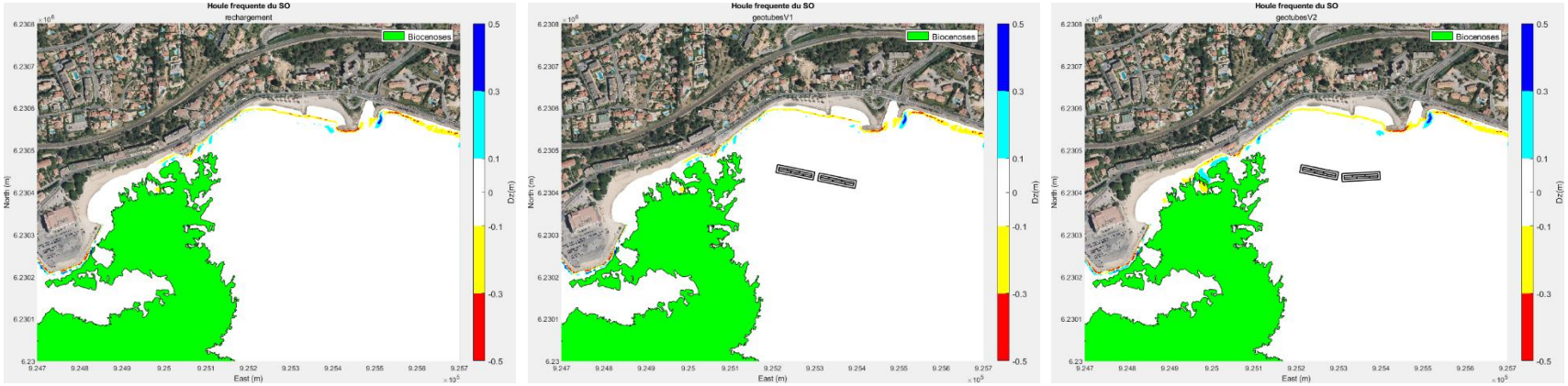


Figure 4-13 : Planches d'évolution des fonds pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions fréquentes SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

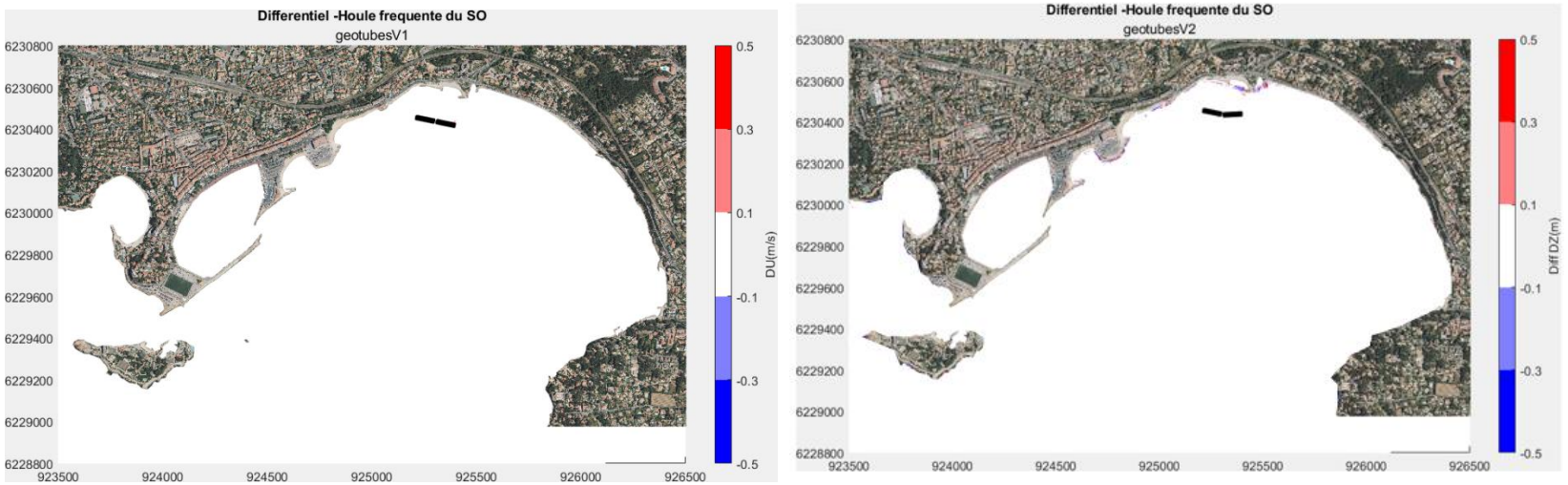


Figure 4-14 : Planches de différentiels d'évolution des fonds pour les conditions fréquentes : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

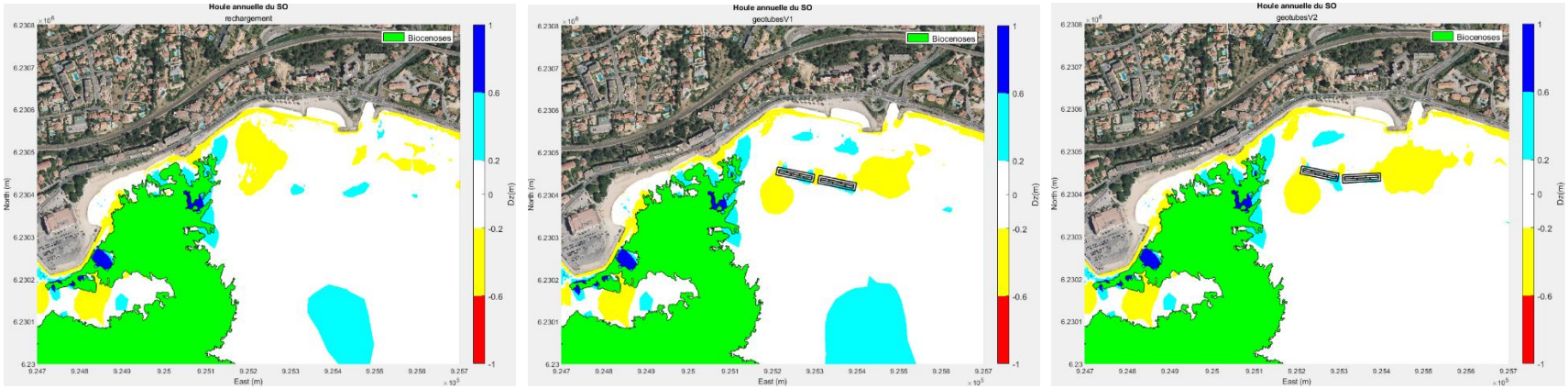


Figure 4-15 : Planches d'évolution des fonds pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions fréquentes SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 1 (centre) et rechargement + atténuateur en géoconteneurs config. 2 (droite)

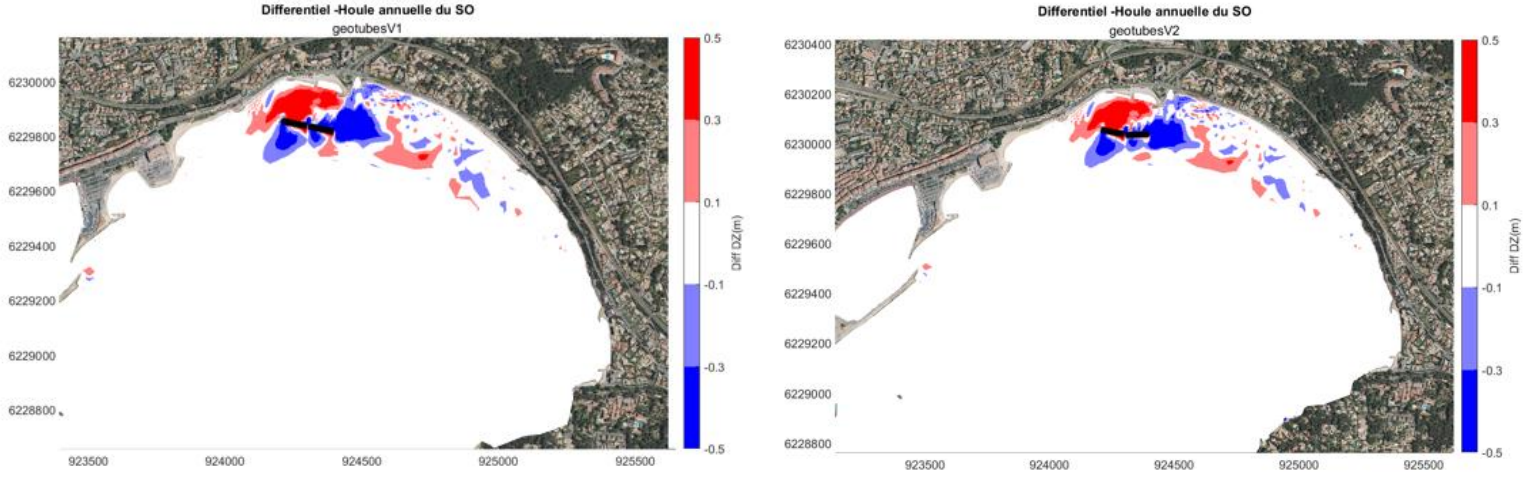


Figure 4-16 : Planches de différentiels d'évolution des fonds pour les conditions annuelles : rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (gauche) ; rechargement seul – rechargement + atténuateur config V1 (droite)

Tableau 4-3 : Synthèse des volumes

Aménagement	Condition hydro	Dépôt (m3)	Erosion (m3)	Net (m3)
Rechargement seul	SO Fréquente	374	40	334
	Annuelle	174	5 165	-4 990
Géoconteneurs config V1	SO Fréquente	323	27	295
	Annuelle	3 007	663	2 343
Géoconteneurs config V2	SO Fréquente	347	62	285
	Annuelle	2 783	734	2 050

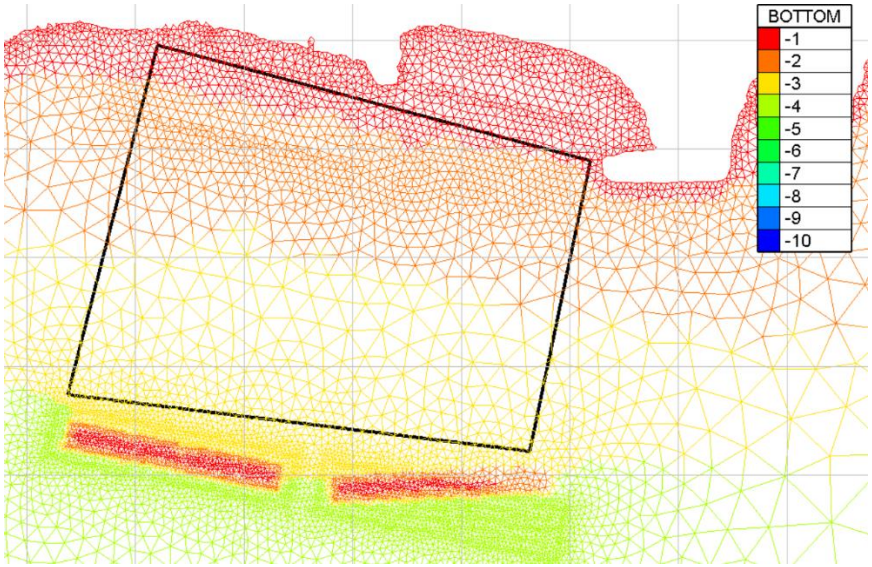


Figure 4-17 : Localisation du polygone d'extraction des volumes de sédiment

4.6 Résultats - plage Renécros

4.6.1 Résultats du modèle hydrodynamique

4.6.1.1 Résultats modélisation de la houle - TOMAWAC

Les résultats du modèle de propagation de houle sont présentés dans cette section. Les planches représentant les champs de hauteurs pour une houle fréquente d'incidence SUD OUEST (225°N) de période de retour inférieure à des conditions annuelles (T1) sont présentées sur la Figure 4-18. Des cartes de différentiels hauteurs de houle comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement combiné avec dépose des épis (soit 1 soit les 3) sont données Figure 4-19.

Les planches de propagation pour les conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-20 et les différentiels sont donnés Figure 4-21.

Les résultats mettent en avant :

- Des différences spatiales en fonction du secteur directionnel, dues à la configuration complexe de la côte – effet de gradient hydraulique ;
- Effet atténuateur sur les houles (déferlement) notamment de l'épi à l'entrée de l'anse ;
- Diminution des Hs à l'arrière des ouvrages.

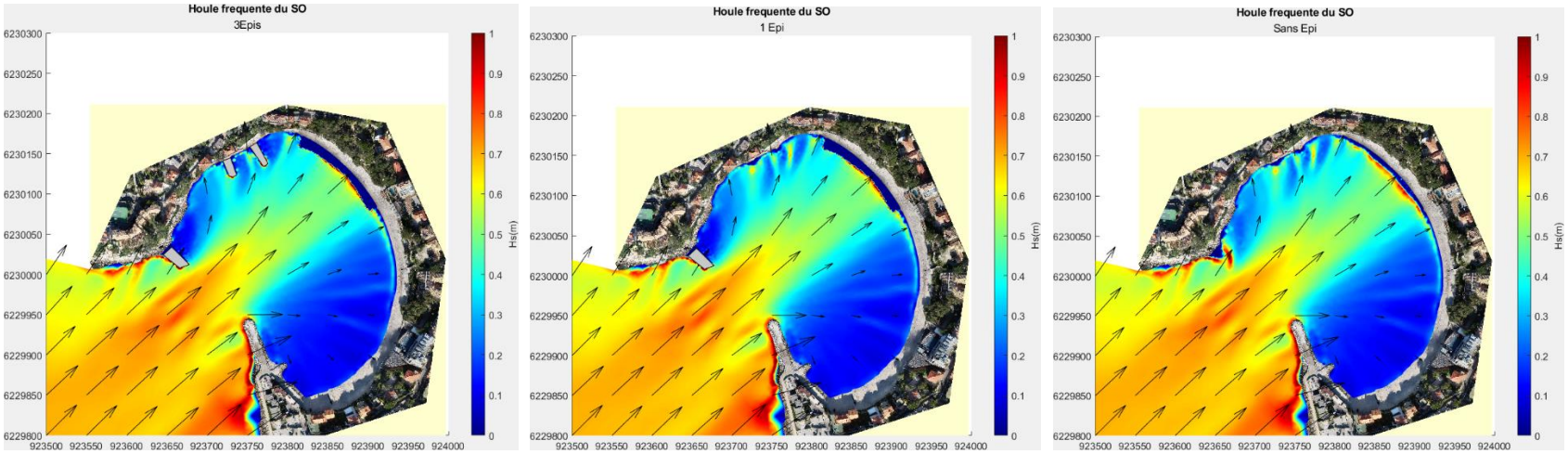


Figure 4-18 : Planches de hauteurs de houle pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions fréquentes SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

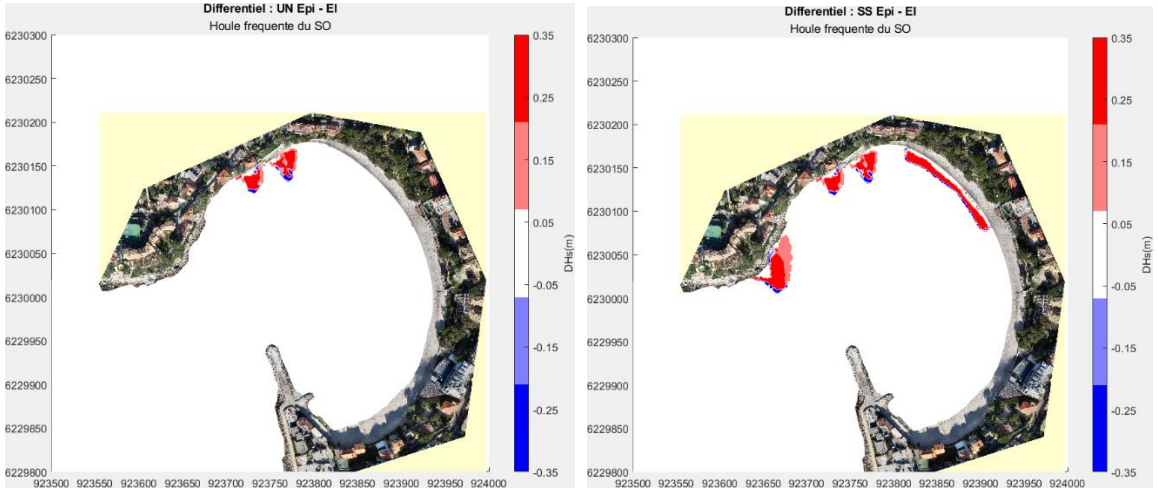


Figure 4-19 : Planches de différentiels de hauteurs de houle modélisées pour les conditions fréquentes : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

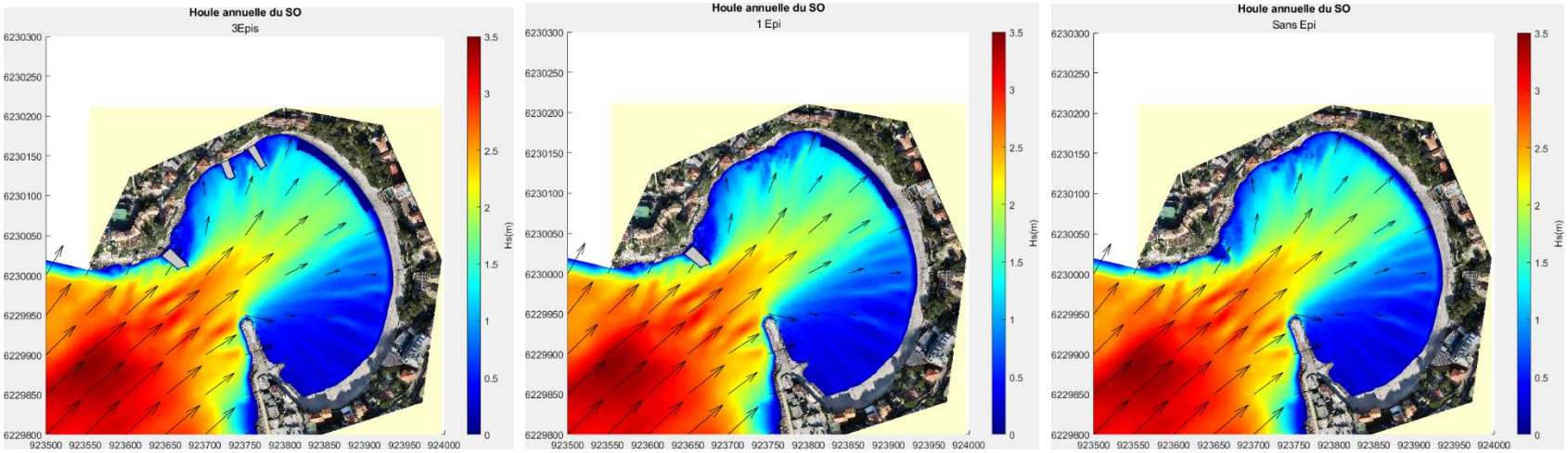


Figure 4-20 : Planches de hauteurs de houle pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

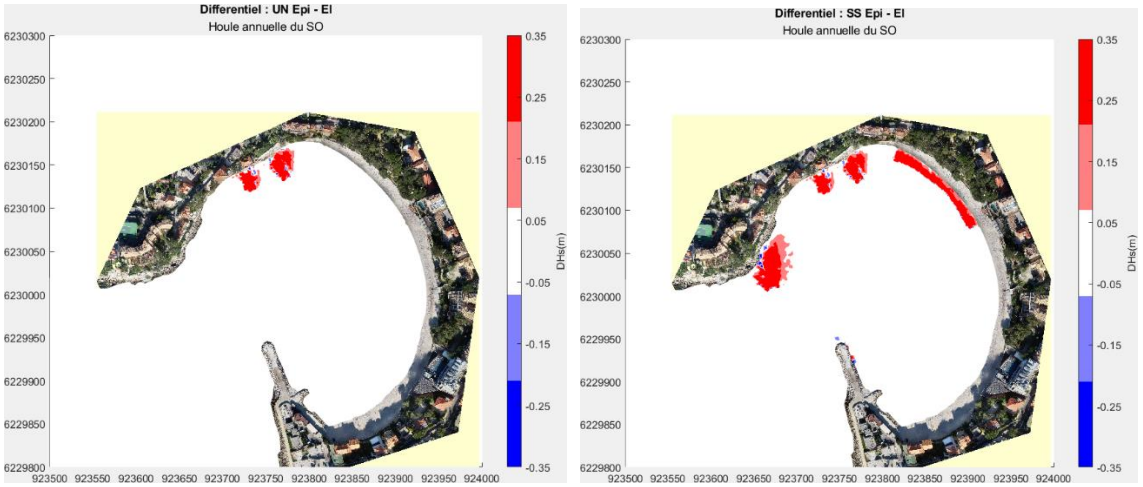


Figure 4-21 : Planches de différentiels de hauteurs de houle modélisées pour les conditions annuelles SO : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

4.6.1.2 Résultats modélisation de la courantologie - TELEMAC-2D

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 planches représentant les champs de vitesses pour une houle fréquente d'incidence SUD OUEST (225°N) de période de retour inférieure à des conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-22. Des cartes de différentiels hauteurs de houle comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement combiné avec dépose des épis (soit 1 soit les 3) sont données Figure 4-23.

Les planches de vitesses pour les conditions annuelles (T1) sont présentées Figure 4-24 et les différentiels associés sont donnés Figure 4-25.

Les résultats mettent en avant :

- Effet important des épis sur la courantologie ;
- Diminution des vitesses le long du littoral et au centre de l'anse ;
- Effet d'autant plus accentué que les conditions sont fortes (T1).

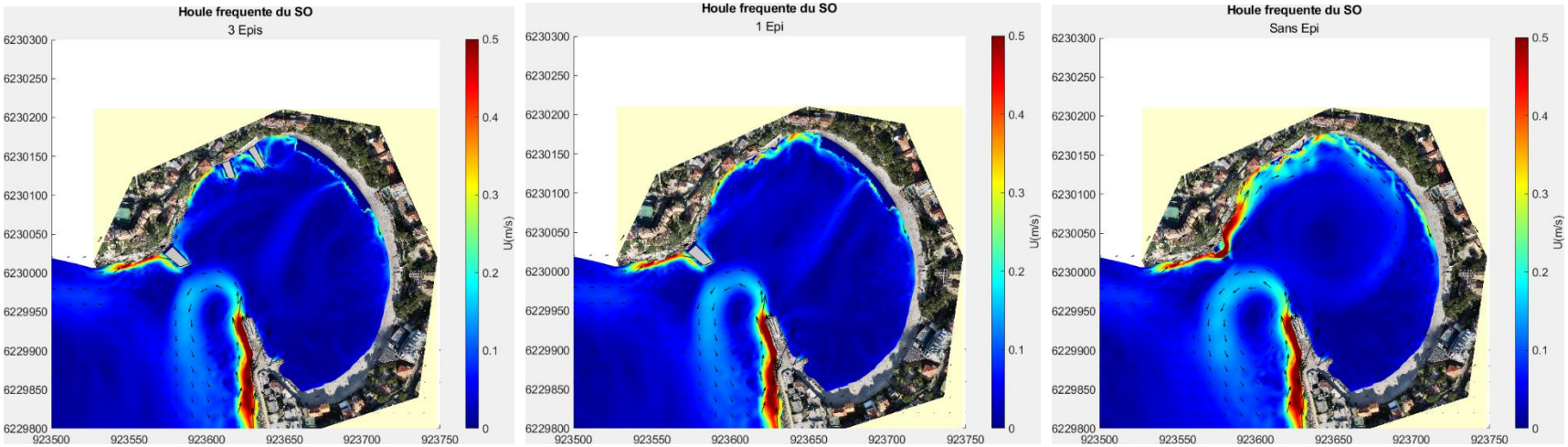


Figure 4-22 : Planches de vitesses de courant pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

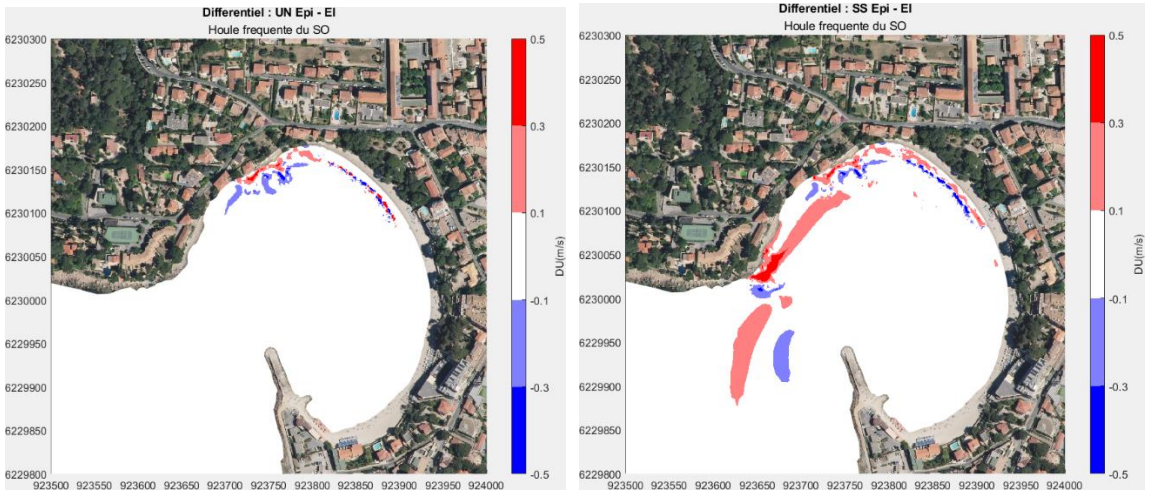


Figure 4-23 : Planches de différentiels d'évolution de vitesses de courant pour les conditions fréquentes : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

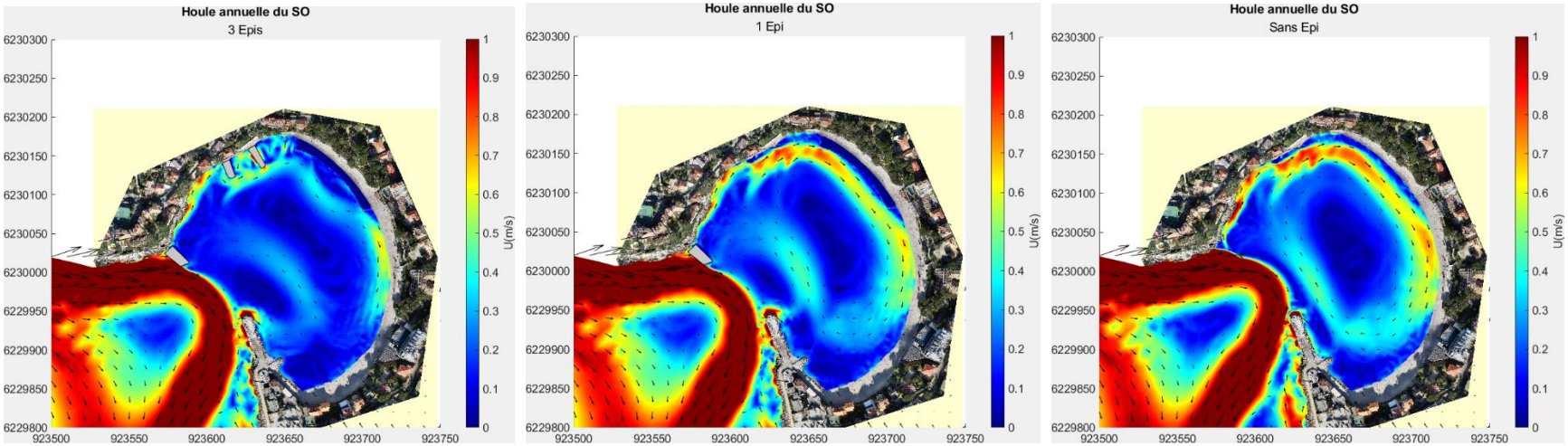


Figure 4-24 : Planches de vitesses de courant pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

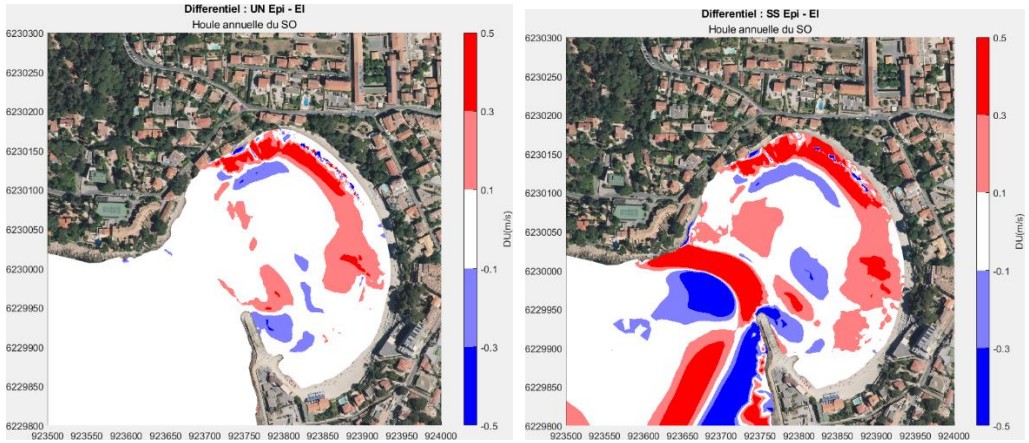


Figure 4-25 : Planches de différentiels de vitesses de courant pour les conditions fréquentes : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

4.6.2 Résultats du modèle sédimentologique

Les résultats des modélisations d'évolution des fonds (évolutions bathymétriques) calculées au bout de 24h de simulation pour l'incidence de houle de SO (conditions fréquente et annuelles) sont donnés dans ce chapitre.

Les évolutions pour les houles fréquentes de secteur SO sont présentées Figure 4-26. Des cartes de différentiels hauteurs de houle comparant les résultats des modèles pour un rechargement seul – rechargement combiné avec dépose des épis (soit 1 soit les 3) sont données Figure 4-27.

Les figures pour les conditions annuelles sont données Figure 4-28 (évolution des fonds) et Figure 4-29 (différentiel).

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 la baie. Les dépôts sédimentaires restent toutefois concentrés dans les petits fonds, avec des dépôts plus proches des herbiers le long des plages de Renécros en conditions de houle de SO. Les figures mettent en avant :

- Courants bien plus importants pour les cas avec 1 épi et 0 épi (dépose des 3 épis) et tendances d'augmentation aux affouillements et érosion dans le cas d'un retrait des épis ;
- Intérêt de conserver les épis.

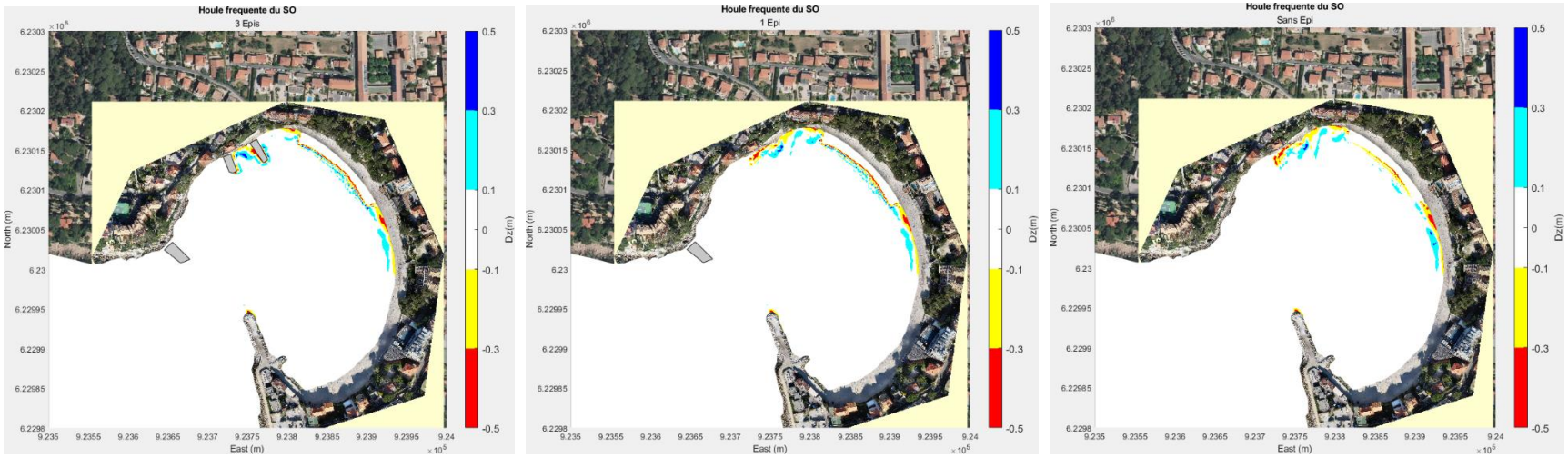


Figure 4-26 : Planches d'évolution des fonds pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions fréquentes SO (Hs=0.75m, Tp=5.5s, Zs=0.5m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

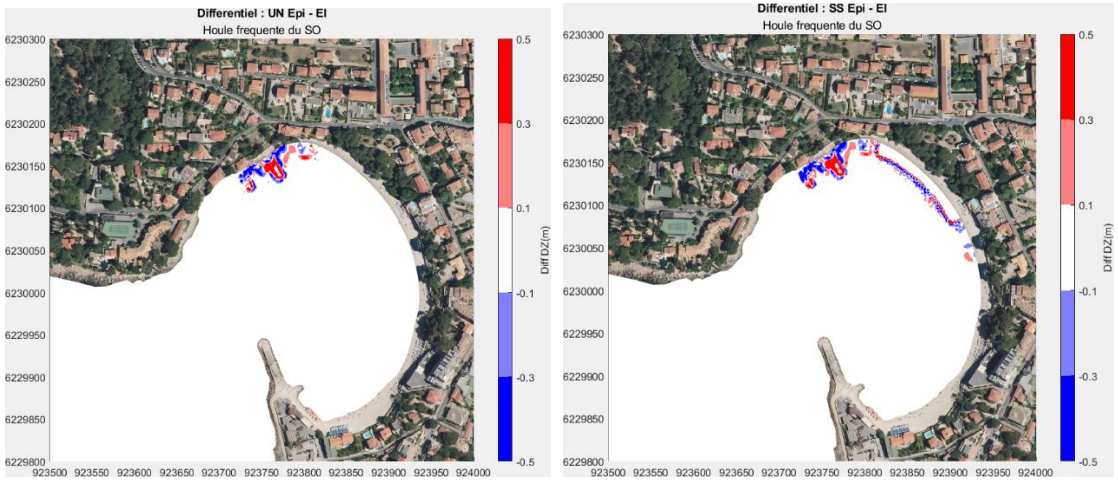


Figure 4-27 : Planches de différentiels d'évolution des fonds pour les conditions annuelles : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

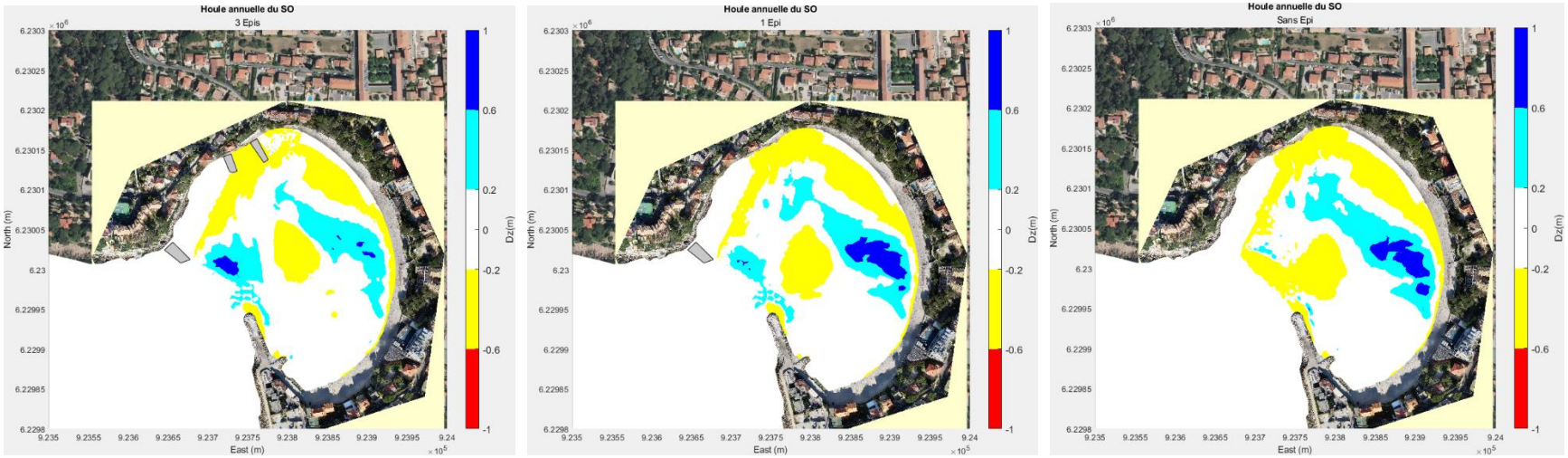


Figure 4-28 : Planches d'évolution des fonds pour les scénarios d'aménagement - vue rapprochée – conditions annuelles SO (Hs=3.1m, Tp=8.9s, Zs=0.7m) : rechargement seul (gauche) ; rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (centre) et rechargement + dépose 3 épis (droite)

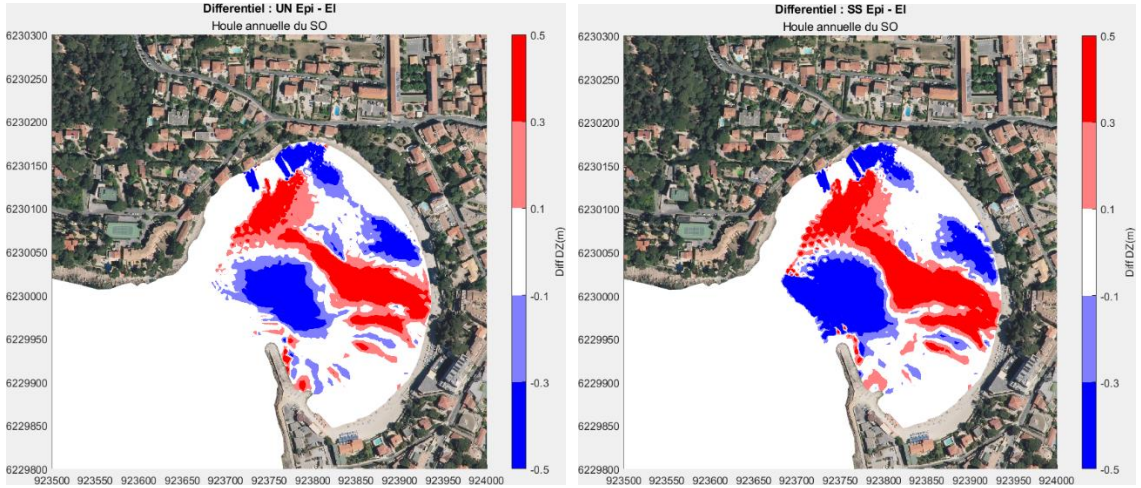


Figure 4-29 : Planches de différentiels d'évolution des fonds pour les conditions annuelles : rechargement seul– rechargement + dépose 1 épi (entrée baie) (gauche) ; rechargement seul – rechargement + dépose 3 épis (droite)

5 Synthèse et conclusions

Dans le cadre de l'étude de diagnostic du littoral de Bandol et la proposition d'aménagements en vue de réduire les aléas érosion et submersion marine, des modèles numériques couplés (suite TELEMAC) ont été mis en œuvre afin de comprendre l'impact d'aménagements sur les tendances de houle, de courantologie et la dynamique sédimentaire, pour différentes incidences et conditions hydrodynamiques (fréquentes et annuelles - T1).

Les modélisations ont permis de déterminer l'impact des aménagements pour chacune des plages :

- Grand Valat :
  - Impact négligeable de l'atténuateur de houle en géoconteneurs sur les vagues, courantologie et évolution des fonds pour les conditions fréquentes ;
  - Impact plus significatif pour les conditions annuelles (plus sévères) avec une réduction des hauteurs de vagues à l'arrière de l'atténuateur de houle ;
  - Impact local sur la courantologie – pas de modification à grande échelle des courants marins ni d'impact potentiel sur les herbiers (déviation courants) ;
  - Dépôts à l'arrière des géoconteneurs (réduction des pertes volumiques sur la cellule hydrosédimentaire à l'arrière de l'ouvrage) pour les conditions hydrodynamiques sévères (T1) ;
  - Différences non significatives entre les variantes de positionnement des géoconteneurs.

- Renécros :
  - Impact significatif des épis existants en enrochements (malgré leur état dégradé) sur les vagues, la courantologie et l'évolution des fonds dès les conditions fréquentes ;
  - Impact plus important pour les conditions annuelles ;
  - Réduction des hauteurs de vagues à l'arrière des épis (notamment celui en entrée de baie) ;
  - Impact local sur la courantologie – diminution des vitesses le long du mur de soutènement des habitations et du cheminement béton ;
  - Courants bien plus importants pour les cas avec 1 épi et 0 épi et tendances d'augmentation aux affouillements et érosion si retrait ;
  - Intérêt de conserver les épis.

6 REFERENCES

1. ICTP, 2022. Diagnostic du littoral et étude de la dynamique sédimentaire des plages de Bandol en vue de travaux de protection du littoral

2. GLOBOCEAN, 2022. Etats de mer au large de Bandol.

3. CETMEF. REFMAR (Réseaux de référence des observations marégraphiques)

4. SHOM, produit LITTO3D, https://data.shom.fr/

5. SEMANTIC TS, 2022. Rapport de mission : levé bathymétrique, topographie par photogrammétrie aérienne, prélèvements sédimentaires et stations de vitalité herbier – plages de Bandol

6. EUROFINS, 2022. Rapport d'Analyse sédimentologique (AR-22-LK-036783-01).

7. Nature des fonds 150245_Biocenoses_Var_Andromede2009-Modif_POL_NUTM31_WGS84

8. Biocénoses : 150245_Biocenoses_Var_Andromede2009-Modif_POL_NUTM31_WGS84