



# Maîtrise d'Œuvre pour la conception et réalisation d'un dispositif d'ouvrages de protection du littoral contre la mer dans le secteur Sud Prado / Pointe Rouge

## Rapport d'Etudes Préliminaires

Avril 2017  
Version 1



En association avec



Jean-Louis DUROCHAT  
Architecte-Paysagiste E.S.A.J.  
23 AV. DES MIMOSAS DU 19 LE CANNET - FRANCE  
Tél. 04 93 87 11 11 - Fax 04 93 87 11 12 - Mail: jldurochat@orange.fr

## Informations relatives au document

### Informations générales

Auteur(s)	Camille LEQUETTE, Jacques PIALLAT
Projet	Maîtrise d'Œuvre pour la conception et réalisation d'un dispositif d'ouvrages de protection du littoral contre la mer dans le secteur Sud Prado / Pointe Rouge
Document	Rapport d'ETUDES PRELIMINAIRES
Date	Avril 2017
Version	Version 1
Référence	MAMG016A1

### Historique des modifications

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V1	25/04/2017	Camille LEQUETTE Jean-Louis DUROCHAT Guillaume GHESQUIERE Patrick MICHEL Martin PERROT	Jacques PIALLAT	

### Destinataires

Nom	Entité	Observations
Jérémie LECA	Ville de Marseille	

# Sommaire

<b>Chapitre 1 - Introduction .....</b>	<b>10</b>
1 Localisation du secteur d'étude .....	10
2 Contexte et enjeux de l'opération.....	10
3 Documents de référence .....	11
4 Abréviations, symboles et conventions .....	13
5 Systèmes de références planimétrique et vertical.....	14
<b>Chapitre 2 - Enjeux, données d'entrée et contraintes du Projet.....</b>	<b>15</b>
1 <b>Ouvrages et réseaux existants .....</b>	<b>15</b>
1.1 Historique des aménagements .....	15
1.2 Composition des ouvrages.....	16
1.3 Réseaux .....	17
2 <b>Enjeux environnementaux et paysagers .....</b>	<b>18</b>
2.1 <b>Préservation du milieu marin.....</b>	<b>18</b>
2.1.1 Biocénoses marines .....	21
2.1.2 Qualité des eaux de baignade .....	21
2.2 <b>Intégration architecturale et paysagère des ouvrages .....</b>	<b>23</b>
2.3 <b>Dossiers réglementaires.....</b>	<b>24</b>
2.3.1 Etude d'impact.....	24
2.3.2 Autorisation Environnementale (applicable au 01/03/2017).....	24
2.3.3 Dossier de demande de concession d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports.....	25
2.3.4 Enquête publique.....	25
3 <b>Les usages sur les plages du Prado Sud et de la Pointe Rouge....</b>	<b>26</b>
3.1 <b>Introduction.....</b>	<b>26</b>
3.2 <b>Zones règlementées par arrêtés .....</b>	<b>27</b>
3.3 <b>Les usages balnéaires et les sports nautiques .....</b>	<b>28</b>
3.3.1 L'Huveaune - Débouché en mer.....	28
3.3.2 Plage de l'Huveaune.....	28
3.3.3 Plage Borely .....	29
3.3.4 Plage de Bonneveine.....	29
3.3.5 Plage de la vieille Chapelle.....	30
3.3.6 Plage de la Pointe Rouge .....	32
4 <b>Contraintes liées à l'exploitation du site pour des manifestations.</b>	<b>34</b>
5 <b>Période des travaux.....</b>	<b>34</b>
<b>Chapitre 3 - Insertion paysagère des aménagements .....</b>	<b>35</b>
1 <b>Fonction urbaine et paysagère de la zone d'étude et parti d'aménagement.....</b>	<b>35</b>
2 <b>Esquisses paysagères des aménagements .....</b>	<b>39</b>
<b>Chapitre 4 - Diagnostic des facteurs responsables de l'érosion.....</b>	<b>42</b>
1 <b>Conditions océano-météorologiques.....</b>	<b>42</b>
1.1 <b>Vent.....</b>	<b>42</b>
1.1.1 Cadre général.....	42
1.1.2 Statistiques issues de données de modélisations .....	42
1.2 <b>Niveaux d'eau.....</b>	<b>44</b>
1.2.1 Evolution séculaire du niveau moyen .....	44
1.2.2 Marée astronomique.....	45
1.2.3 Surcotes et décotes.....	45

1.2.4	Niveaux d'eau extrêmes .....	46
1.3	Corrélation Houles et Niveaux d'Eau .....	46
1.4	Houles et mers du vent .....	48
1.4.1	Exposition de la zone d'étude .....	48
1.4.2	Etats de mer au large .....	50
1.4.3	Houles / mers du vent à la côte .....	56
<b>2</b>	<b>Courants – Aspects généraux .....</b>	<b>66</b>
2.1	Aspects généraux.....	66
2.2	Description de la courantologie générale en Rade de Marseille .....	66
2.3	Courants de dérive liés à la houle.....	68
2.3.1	Préambule .....	68
2.3.2	Scénarios modélisés.....	68
2.3.3	Résultats du modèle.....	69
<b>3</b>	<b>Contexte hydrologique – Apports en eau et sédiments des bassins versants .....</b>	<b>71</b>
3.1	Pluviométrie.....	71
3.2	Cadre hydrogéologique – Principaux apports du bassin versant .....	71
3.3	Débits des apports du bassin versant .....	73
3.4	Apports sédimentaires aux exutoires des cours d'eau .....	74
<b>4</b>	<b>Cadre géomorphologique de la zone d'étude .....</b>	<b>75</b>
4.1	Contexte géologique / Nature des sols .....	75
4.2	Contexte sédimentologique - Zonage morpho-sédimentaire .....	76
4.3	Description et évolution morphobathymétrique de la zone d'étude .....	77
4.3.1	Données topo-bathymétriques disponibles.....	77
4.3.2	Dimensions caractéristiques des plages de la zone d'étude .....	78
4.3.3	Description de la topo-bathymétrie et morphologie de la zone d'étude .....	78
4.3.4	Travaux d'entretien des plages.....	80
4.3.5	Evolution bathymétrique des fonds entre 2008 et 2012.....	82
4.4	Description et évolution du trait de côte de 1927 à nos jours .....	83
4.4.1	Données disponibles et caractérisation de la dynamique d'évolution .....	83
4.4.2	Morphologie et aménagements anthropiques du littoral étudié .....	84
4.4.3	Evolution du trait de côte de la zone d'étude .....	85
4.5	Nature des fonds marins et origine des sédiments superficiels.....	89
4.5.1	Nature des fonds et biocénoses marines.....	89
4.5.2	Caractéristiques des sédiments superficiels.....	90
4.6	Epaisseurs de sédiments meubles .....	91
<b>5</b>	<b>Dynamique sédimentaire de la zone d'étude .....</b>	<b>92</b>
5.1	Entrainement des sédiments non cohésifs sous l'action des houles et des courants.....	92
5.1.1	Aspects généraux.....	92
5.1.2	Modélisation du transport sédimentaire induit par la houle.....	94
5.1.3	Préambule .....	94
5.1.4	Entrants du modèle sédimentaire - Hypothèses retenues .....	94
5.1.5	Résultats du modèle .....	95
5.2	Etude de la forme à l'équilibre des plages .....	97
5.2.1	Plages au Nord de la zone d'étude.....	97
5.2.2	Plages de la zone d'étude .....	98
5.3	Transit éolien.....	103
5.3.1	Plage de l'Huveaune.....	103
5.3.2	Plage de Pointe Rouge.....	103
5.3.3	Plages constituées de matériaux plus grossier.....	104
5.4	Synthèse de la dynamique hydrosédimentaire actuelle du littoral.....	104
5.5	Facteurs responsables de l'érosion sur la zone d'étude.....	107

## **Chapitre 5 - Proposition de solutions de protection du littoral contre l'érosion .....**

**109**

<b>1</b>	<b>Rappel des principaux enjeux identifiés sur la zone d'étude</b>	<b>109</b>
<b>2</b>	<b>Principales techniques de protection existantes</b>	<b>112</b>
2.1	Protection contre les pertes éoliennes de sédiments	112
2.2	Protection contre les pertes de sédiments liées à l'action de la mer	117
2.2.1	Les méthodes « actives » ou méthodes « douces »	118
2.2.2	Les méthodes « passives » : la construction d'ouvrages maritimes	127
<b>3</b>	<b>Principe des scénarios proposés</b>	<b>136</b>
3.1	Description des aménagements proposés	138
3.1.1	Plages Huveaune / Borely	138
3.1.2	Plage de Bonneveine	148
3.1.3	Anse de la Vieille Chapelle	152
3.1.4	Plage de Pointe Rouge	159
3.2	Schémas de principe des aménagements	163
3.3	Spécifications techniques, mise en œuvre et mesures de gestion associées	170
3.3.1	Ouvrages en enrochements	170
3.3.2	Filets brise-vent	171
3.3.1	Panneaux d'information / orientation	171
3.3.2	Rechargements	171
3.3.3	Nettoyage des plages – Gestion des posidonies	172
<b>4</b>	<b>Mesures d'éco-conception susceptibles d'être intégrées au projet</b>	<b>174</b>
4.1	Principes généraux de l'éco-conception	174
4.2	Opportunité d'application pour le projet	176
4.3	Descriptions des actions susceptibles de pouvoir être intégrées au projet	178
4.3.1	Modification de la granulométrie des enrochements	178
4.3.2	Modification du profil de l'ouvrage	179
4.3.3	Intégration d'habitats additionnels de substrat dur à fonction d'habitat et de nurserie	179
4.3.4	Création de connectivité avec les zones d'herbiers fragmentés au large	181
<b>5</b>	<b>Analyse réglementaire des solutions d'aménagement</b>	<b>182</b>
<b>6</b>	<b>Etudes complémentaires</b>	<b>183</b>
6.1	Levé bathymétrique	183
6.2	Levé des biocénoses	183
6.3	Qualité des sédiments	183
6.4	Reconnaitances complémentaires des émissaires eaux pluviales et autres réseaux	183
6.5	Reconnaitances géotechniques	184
6.6	Suivis faune / flore	184
<b>7</b>	<b>Chiffrage estimatif</b>	<b>185</b>
7.1	Aménagements pris en compte dans le chiffrage du projet	185
7.2	Hypothèses pour définir les prix unitaires et forfaitaires	185
7.3	Métrés	185
7.4	Aléas, imprévus et non chiffrés	185
7.5	Chiffrage estimatif des aménagements	185
7.6	Analyse	186
7.7	Pistes d'économies ou d'optimisation des aménagements	187
<b>Chapitre 6 - Analyse multicritères des solutions proposées</b>		<b>188</b>
<b>1</b>	<b>Présentation de la méthodologie</b>	<b>188</b>
<b>2</b>	<b>Synthèse et présentation des critères</b>	<b>190</b>
2.1	Thèmes et critères de décision pour chacun des thèmes	190
2.2	Résultats de l'analyse multicritères	192
2.1	Conclusion	203

## **Annexes**

**Annexe 1 – Reportage photographique**

**Annexe 2 – Description des tempêtes survenues les 4 et 6 mars 2017**

**Annexe 3 – Résultats du modèle de propagation des états de mer du large**

**Annexe 4 – Résultats du modèle de courantologie SMC-MOPLA**

**Annexe 5 – Analyse des levés topo-bathymétriques disponibles**

**Annexe 6 – Photographies historiques du littoral et évolution du trait de côte**

**Annexe 7 – Résultats du modèle sédimentaire SMC-MOPLA**

**Annexe 8 – Liste des évènements prévus en 2017 sur la zone d'étude**

**Annexe 9 – Variantes d'aménagement non intégrées aux scénarios proposés**

**Annexe 10 – Chiffrage estimatif des scénarios d'aménagement**

## Liste des figures

Figure 1 : Localisation du secteur d'étude .....	10
Figure 2 - Référentiel altimétrique à Marseille (Corniche).....	14
Figure 3: Coupe type de brise lames mis en œuvre sur la zone d'étude [P2].....	16
Figure 4 : Illustration du « capital nature » caractérisant le sud de la rade de Marseille, dans laquelle s'insère la zone d'étude [D16].....	20
Figure 5: Carte DONIA® des biocénoses marines superposées aux isobathes (www.medtrix.fr) .....	21
Figure 6: Rose des vents, station Marseille-Longchamp de 2000 à 2009.....	42
Figure 7 : Localisation des données de vent disponibles.....	43
Figure 8 : Roses des vents établies au Planier (à gauche) et à l'entrée Sud du Port (à droite) .....	44
Figure 9 : Localisation des données d'état de mer au large de la zone d'étude .....	51
Figure 10 : Distribution statistique Hm0 (m) / Dir (°N) – Houles globales au large.....	52
Figure 11 : Distribution statistique Tp (s) / Dir (°N) – Houles globales au large .....	52
Figure 12 : Représentation sous forme de boxplots des distributions mensuelle et directionnelle de Hm0 (m) et Tp (s) (Planier) .....	53
Figure 13 : Rose des houles et tri mensuel de la série chronologique du 01/01/2009 au 31/12/2012 – Houles globales au large (Planier) .....	54
Figure 14: Fetchs considérés pour la génération des mers du vent de secteur Nord-Ouest .....	56
Figure 15: Distribution statistique Hs(m) / Dir (°N) et Hs / Tp (s) – Clapots levés localement.....	57
Figure 16: Rose des mers du vent locales et tri mensuel de la série chronologique du 01/01/2009 au 31/12/2012 .....	57
Figure 17 : Localisation des zones d'analyse de la houle à la côte (-10mNGF) .....	58
Figure 18 : Bathymétrie, emprises et maillages des modèles numériques mis en œuvre en configuration actuelle (houles de Sud-Ouest et Ouest) .....	60
Figure 19: Plans de vagues pour une houle annuelle de secteur Sud-Ouest et Ouest.....	62
Figure 20: Plans de vagues pour une houle centennale de secteur Sud-Ouest .....	63
Figure 21: Circulation des eaux du golfe de Marseille par temps calme (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creoccean, 2003) .....	67
Figure 22 : Circulation des eaux du golfe de Marseille par vent de Nord-Nord-Ouest (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creoccean, 2003).....	67
Figure 23 : Circulation des eaux du golfe de Marseille par vent d'Est - Sud Est (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creoccean., 2003).....	68
Figure 24 : Circulation littorale induite sur la zone de projet à l'état actuel par les houles de tempête annuelles de secteurs O et SO au large.....	70
Figure 25: Cumul mensuel moyen des précipitations (Source : Météo France - station de Marseille - Hippodrome du Prado de 2000 à 2009 – Longchamp de 1961 à 1990).....	71
Figure 26: Contexte hydrogéologique de la zone d'étude.....	72
Figure 27: Localisation des exutoires d'eaux pluviales .....	73
Figure 29 Extrait de la carte géologique du BRGM n° 1044 .....	75
Figure 30: Extrait de la carte bathymétrique du SHOM n°7392 .....	78
Figure 31 : Extrait de la carte bathymétrique du SHOM n°7391 .....	79
Figure 32 : MNT mis en œuvre à partir des données topo-bathymétriques disponibles .....	80
Figure 33 : Evolution bathymétrique entre 2008 et 2012 .....	82
Figure 34 : Morphologie de la zone d'étude [D14] .....	84

Figure 35 : Les étapes de construction du PBP (in F. Gourmelon et M. Robin, 2005).....	86
Figure 36: Tendance évolutive de la zone d'étude [D14].....	88
Figure 37 : Nature des fonds marins sur la zone d'étude (source: data.shom.fr).....	89
Figure 38: Carte DONIA® des biocénoses marines superposées aux isobathes (www.medtrix.fr).....	90
Figure 39: Surface et nature des plages de la zone d'étude (Ville de Marseille).....	91
Figure 40: Principe des courants de dérive littorale.....	93
Figure 41 : Transit littoral potentiel induit sur la zone de projet à l'état actuel par les houles de tempête annuelles de secteurs O et SO au large.....	96
Figure 42: Etude de la forme en plan à l'équilibre des plages situées au nord de la zone d'étude.....	98
Figure 43 : Etude de la forme en plan à l'équilibre des plages de l'Huveaune et Borely.....	99
Figure 44: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de Bonneveine.....	100
Figure 45: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de l'Anse de Vieille Chapelle.....	101
Figure 46: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de Pointe Rouge.....	102
Figure 47: Schéma de principe - Scénario 1 : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.....	164
Figure 48: Schéma de principe - Scénario 2 : Protection minimum de l'Huveaune à Bonneveine, reprise complète de la protection longitudinale de l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.....	165
Figure 49: Schéma de principe - Scénario 3 : Relocalisation des usages sur les plages d'Huveaune et Borely, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.....	166
Figure 50: Schéma de principe - Scénario 4 : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, aucun aménagement dans l'anse de Pointe Rouge.....	167
Figure 51: Schéma de principe - Scénario 5 : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle (et sans rechargement aucun à Bonneveine), mais création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge.....	168
Figure 52 : Schéma de principe - Scénario 6 : Création de nouveaux espaces balnéaires et relocalisation des usages sur les plages de l'Huveaune, Borely (stade de glisse), et dans l'anse de Vieille Chapelle, et création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge.....	169
Figure 53 : Exemples d'ouvrages maritimes éco-conçus intégrant différents aménagements écologiques (à gauche : blocs constitutifs de digues intégrant des dalles de béton biogène visant à stimuler la colonisation ; à droite : lest de conduite sous-marine intégrant des ragues traversantes adaptées à la colonisation par différentes espèces benthodémersales) (Crédits photos : Seaboost).....	175
Figure 54: Exemple d'éco-conception d'ouvrages maritimes par ajout de solutions d'habillage (habitats artificiels, cavités, micro-habitats) (Source : Seaboost).....	175
Figure 55 : Illustration du cycle de vie des espèces et de leur relation à l'habitat.....	177
Figure 56: Illustration d'enrochements naturels constitutifs d'ouvrages maritimes formant des amas chaotiques.....	178
Figure 57: Illustrations de récifs spécialisés à ragues horizontales (gauche – récifs à lagoustes, Mintz et al., 1994 ; ragues horizontales à corb et à Sparidae, Seaboost ; Manta reef, Seaboost).....	179
Figure 58: Illustrations de modules artificiels pouvant être associés à la création de tombants artificiels.	180
Figure 59: Schéma d'aménagement écologique de talus en enrochements éco-conçu sur la zone d'accroche du Larvotto à Monaco, associé à une solution de développement de l'hétérogénéité architecturale de l'assise en enrochements (gauche : Oursins Seaboost ; droite Biohut digue, Ecocéan)	180
Figure 60: Illustrations d'herbiers artificiels type Roselières (Seaboost).....	181
Figure 61: Matérialisation des zones d'intérêt pour un travail sur la connectivité.....	182
Figure 62 : Structure du système d'analyse multicritères.....	188
Figure 63 : Construction des indicateurs sur la base des expertises.....	189

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Evolution du classement des plages de la ville de Marseille dont le PBP, entre 2008 et 2016 (SSPH, VDM, 2017) .....	22
Tableau 2 : Distribution statistique Wv (m/s) / Dir (°N) au Planier (en haut) et à l'entrée Sud du Port (en bas) .....	43
Tableau 3 : Niveaux caractéristiques de la marée à Marseille .....	45
Tableau 4 : Estimation des surcotes extrêmes de Marseille (CETMEF, 2013) .....	46
Tableau 5 : Niveaux d'eaux extrêmes (en m NGF) .....	46
Tableau 6 : Couples houles/niveaux d'eau .....	48
Tableau 7 : Statistiques des houles extrêmes au large – Secteur N220°-N250° .....	55
Tableau 8 : Statistiques des houles primaires extrêmes au large – Secteur N180°-N210° .....	55
Tableau 9 : Cas de calculs pour le transfert des états de mer du large à la côte .....	60
Tableau 10 : Résultats des houles au droit de la zone d'étude .....	64
Tableau 11: Caractéristiques des états de mer au large de la zone d'étude retenus pour les modélisations numériques hydrodynamiques .....	69
Tableau 12 : Principales caractéristiques des plages de la zone d'étude (adapté de Sabatier, 2007 [D12], complété pour la plage de l'Huveaune) .....	78
Tableau 13 : Travaux d'entretien annuels actuels moyens .....	81
Tableau 14: Vitesses moyennes d'entraînement des sables .....	93
Tableau 15: Vitesses orbitales maximales engendrées par la houle sur le fond .....	94
Tableau 26 : Montant estimé des aménagements proposés au stade EP .....	186
Tableau 16 : Synthèse de l'analyse multicritères – Etape n°1 – Comparaison des sous-scénarios par plage ou groupe de plages .....	193
Tableau 17 : Synthèse de l'analyse multicritères – Etape n°2 – Comparaison des scénarios d'aménagement globaux .....	201

# Chapitre 1 - Introduction

## 1 Localisation du secteur d'étude

Le secteur d'étude concerne la portion littorale allant de la plage de l'Huveaune, située au Sud du débouché de la rivière du même nom, jusqu'à la plage de Pointe Rouge ; cette zone est illustrée sur la figure suivante :



**Figure 1 : Localisation du secteur d'étude**

## 2 Contexte et enjeux de l'opération

Situé au cœur de la rade Sud, le Parc Balnéaire du Prado et la plage de la Pointe Rouge constituent le principal espace côtier meuble de la ville et de la métropole marseillaise. Aménagé à partir des années 1970, ce site a perdu sa morphologie originelle au profit d'équipements portuaires (Port de la Pointe Rouge, Base nautique du Roucas Blanc), balnéaires (plages du Prado) et fluviaux (artificialisation de l'Huveaune)

Cet espace concentre une grande diversité d'usages et d'usagers et héberge de nombreux événements d'envergure locale, métropolitaine voir national ou international. Il s'agit de ce fait d'un lieu emblématique pour l'image de la Ville de Marseille, mais qui est soumis à une forte érosion littorale, mettant en péril activités et infrastructures existantes (route notamment) et nécessite de ce fait un entretien récurrent de la part des services de la Ville.

Dans le but notamment de maîtriser ses coûts de maintenance, développer et pérenniser les usages sur cet espace, la Ville souhaite mettre en place un dispositif d'ouvrages répondants aux deux fonctions rappelées ci-dessous :

- Fonction 1 - Soustraire les plages et infrastructures côtières des secteurs : 1, 2 et 3 de l'érosion marine tout en préservant ou confortant les usages nautiques existants.
- Fonction 2 – Gagner, sur la mer, des espaces balnéaires pérennes dans le secteur 3, afin d'établir une liaison entre le Parc Balnéaire du Prado et la plage de la Pointe Rouge.

Dans la mesure où les deux fonctions ci-dessus sont satisfaites, le dispositif d'ouvrage pourra également comporter des fonctions écologiques, d'habitat artificiel notamment.

Le montant des travaux dans le cadre de la présente étude de maîtrise d'œuvre est limitée à 2.4 M € HT. Cependant, en phase « Etudes Préliminaires », certains scénarii présentés pourront dépasser ces montants, ils seront phasables en plusieurs opérations.

### 3 Documents de référence

Le présent rapport fait référence à la documentation suivante :

#### Documents de référence du projet :

<b>[P1].</b>	CR de réunion n°1 / MAMG016A1_PRADO-EP-CRR-01-REV1
<b>[P2].</b>	Service Maritime des Bouches du Rhône, 1982. Ville de Marseille, Aménagement de la plage du Prado – De l'Huveaune à la Vieille Chapelle – Profils en travers. Echelle 1/200

#### Documentation et données locales

<b>[D1].</b>	SHOM, 2016. Références Altimétriques Maritimes - Cotes Du Zéro Hydrographique Et Niveaux Caractéristiques De La Marée
<b>[D2].</b>	P.A. Pirazzoli, 2006. Projet DISCOBOLE – Contribution à la Tâche 5 : calcul de hauteur des niveaux d'eau extrêmes sur le littoral français. CNRS
<b>[D3].</b>	IGN-SHOM, 2015. Litto3D® - PACA
<b>[D4].</b>	IGN-SHOM, 2009. Trait de Côte Histolitt – V1.0
<b>[D5].</b>	Carte SHOM 7391 - ABORDS SUD DE MARSEILLE - Des îles du Frioul à l'île de Jarre – 1/25000°
<b>[D6].</b>	ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2008. Levé bathymétrique multifaisceaux de la baie du Prado
<b>[D7].</b>	ANDROMEDE OCEANOLOGIE, 2007. Levé des biocénoses en baie du Prado
<b>[D8].</b>	Levé topographique de la zone d'étude / Fichier « PointALT.dwg »
<b>[D9].</b>	Plan du réseau d'assainissement / Fichiers « DEA Assainissement.dwg » et « 7-04-EAUX-USEES+PLUVIALES.pdf »
<b>[D10].</b>	Ville de Marseille. Données météorologiques / Fichier « PART 2- SD3- annexe Q21-données météorologiques.odt »
<b>[D11].</b>	GlobOcean, 2013. Climat de houle - Passe Sud du Port de Marseille
<b>[D12].</b>	Sabatier et al., 2007. L'érosion côtière et les sédiments - Workshop OCEANOMARS, présentation ppt, 43p.

[D13]	BRGM, 1972. Evaluation des ressources hydrauliques – Carte hydrogéologique du département des Bouches-Du-Rhône – Echelle 1/200000
[D14]	CG13, 2009. Étude de l'évolution du trait de côte du littoral des Bouches-du-Rhône au regard de l'érosion marine
[D15]	J.Leca, 2014. Parc Balnéaire du Prado et plage de la Pointe Rouge - Modification de la gestion du Domaine Public Maritime 2017-2029. Opération Littoral Sud. Ville de Marseille, DGVDE/DEEU/SML. 132p
[D16]	Miton A. et al., 2011. Le parc balnéaire du Prado sud – Diagnostic – Agence d'Urbanisme de l'Agglomération Marseillaise. 70p.
[D17]	Pinazo C. et al., 2013. MASSILIA: Modélisation de la baie de MArSeiLLe : Influence des apports Anthropiques de la métropole sur l'écosystème marin. RST.ODE/LER/PAC/13-14. 136p.
[D18]	Blanc, 1975. Recherches de sédimentologie appliquée. au littoral rocheux de la Provence - Aménagement et protection – CNEXO. 204p.
[D19]	Ville de Marseille, Direction de l'Ecologie et des Espaces verts, 2001 - PARC BALNEAIRE DU PRADO - Récolement Réseaux – Eclairage EDF. Echelle 1/1000
[D20]	IXSURVEY. Project Marseille Monaco Link – Etat initial – Secteur de Marseille. Plan de récolement des câbles optiques MML et AAE-1.

#### Publications scientifiques, codes et standards

[S1].	Bonnefille, 1992. Cours d'hydraulique maritime – 3ème édition
[S2].	Ouvrage collectif, 2008. BEACHMED-e, La gestion stratégique de la défense des littoraux pour un développement soutenable des zones côtières de la Méditerranée, PHASE B - Cahier Technique, Mesure 3.4 : le Systèmes de défense naturel POSIDUNE

#### Etudes antérieures sur la zone d'étude

[A1].	BRLi, GIS Posidonies. <i>Récifs Prado 2006 - Dossier d'enquête publique : Pièce B - Etude d'impact sur l'environnement</i>
[A2].	BCEOM, 2004. Mise en sécurité du chemin littoral de la plage de la Vieille Chapelle. Ville de Marseille.
[A3].	Rivages Protech, avril 2011. Ville de Marseille. Profils de zones de baignade : Prado Nord, Prado Sud, L'Huveaune, Borely, Bonneveine, Vieille Chapelle, Pointe Rouge.

## 4 Abréviations, symboles et conventions

### Abréviations / acronymes

<b>AVP</b>	Avant-Projet
<b>CETMEF</b>	Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
<b>CM</b>	Cote marine (équivalent Zéro Hydrographique)
<b>CNPN</b>	Conseil National de la Protection de la Nature
<b>DPM</b>	Domaine Public Maritime
<b>DREAL</b>	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
<b>EP</b>	Etudes Préliminaires
<b>GIEC</b>	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
<b>Hm0</b>	Hauteur Significative spectrale de la houle
<b>Hs</b>	Hauteur Significative de la houle : moyenne du tiers des vagues les plus fortes
<b>IGN</b>	Institut National de l'Information Géographique et Forestière
<b>MOA</b>	Maître d'Ouvrage du projet
<b>MOE</b>	Maître d'Œuvre du projet
<b>NGF</b>	Nivellement Général de la France
<b>NM</b>	Niveau Moyen
<b>ONERC</b>	Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
<b>PBMA</b>	Plus Basse Mer astronomique
<b>PHMA</b>	Plus haute Mer Astronomique
<b>PRO</b>	Projet
<b>REPOM</b>	Réseau national de surveillance des ports maritimes
<b>SHOM</b>	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
<b>TN</b>	Terrain Naturel
<b>Tp</b>	Période pic de la houle
<b>Tr</b>	Période de retour
<b>VRD</b>	Voirie et Réseaux Divers
<b>ZH</b>	Zéro Hydrographique (Zéro des cartes marines)
<b>ZNIEFF</b>	Zone Naturelle d'Intérêt Ecologique Faunistique et Floristique

### Conventions

Le système d'unités pris en compte dans ce rapport est le système métrique international (SI).

**Convention relative à la notion de direction**

<b>Direction</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• du vent: direction d'où souffle le vent,</li><li>• des vagues: direction de provenance des vagues,</li><li>• des courants marins: direction où portent les courants</li></ul>
------------------	---

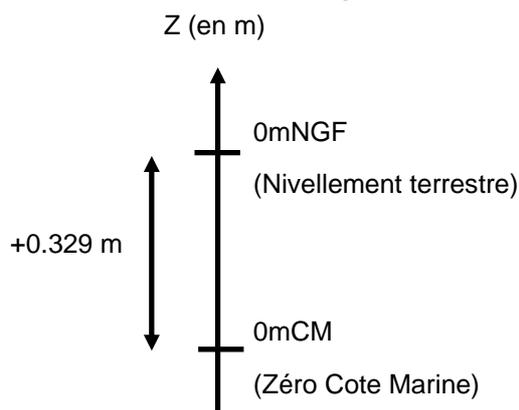
## 5 Systèmes de références planimétrique et vertical

Le système de coordonnées retenu pour la présente étude est la projection RGF93 CC44.

Par défaut, les cotes altimétriques évoquées dans cette étude sont rapportées au zéro du nivellement terrestre, c'est-à-dire le nivellement général de la France (0 m NGF, ou 0 m IGN69).

Comme illustré sur la figure suivante, sur la zone de projet, le zéro terrestre se situe à +0.329m au-dessus du zéro hydrographique, qui correspond au niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement (aussi appelé Zéro Cote Marine ; 0mCM).

**Figure 2 - Référentiel altimétrique à Marseille (Corniche)**



# Chapitre 2 - Enjeux, données d'entrée et contraintes du Projet

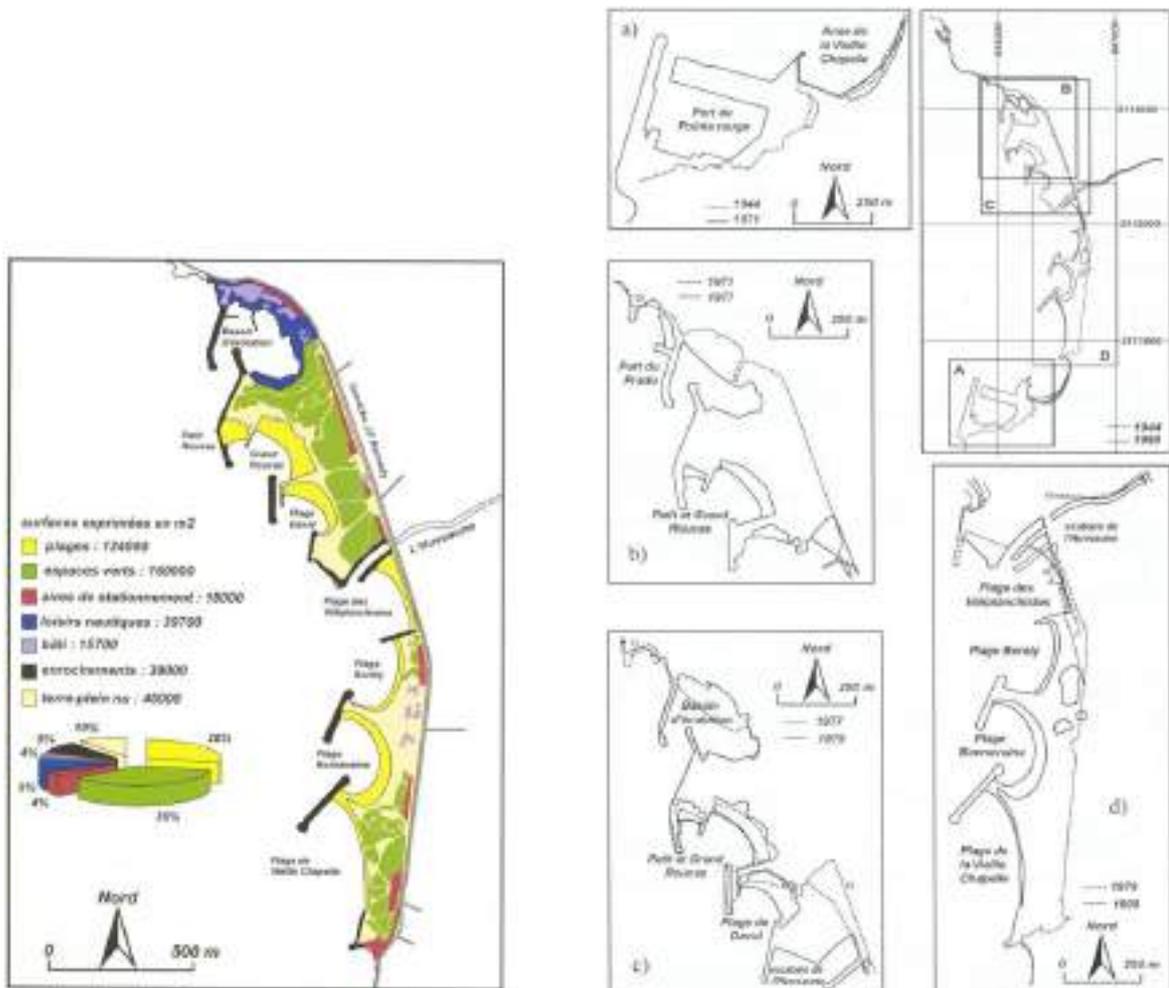
## 1 Ouvrages et réseaux existants

### 1.1 Historique des aménagements

Le territoire s'étendant est un espace majoritairement artificiel. Au total, ce sont près de 50 ha (70 ha avec le port de la Pointe-Rouge) qui ont été gagnés sur la mer en plusieurs phases de travaux, grâce aux déblais des grands chantiers menés sur la commune :

- réalisation de la ligne 1 du métro (1ère tranche du parc balnéaire du Prado livrée en 1977),
- puis de la station d'épuration et de la ligne 2 du métro (2ème tranche livrée en 1988).

La figure ci-dessous illustre les étapes de la construction du parc balnéaire du Prado (d'après Suanez, 2005 in [D12]) :



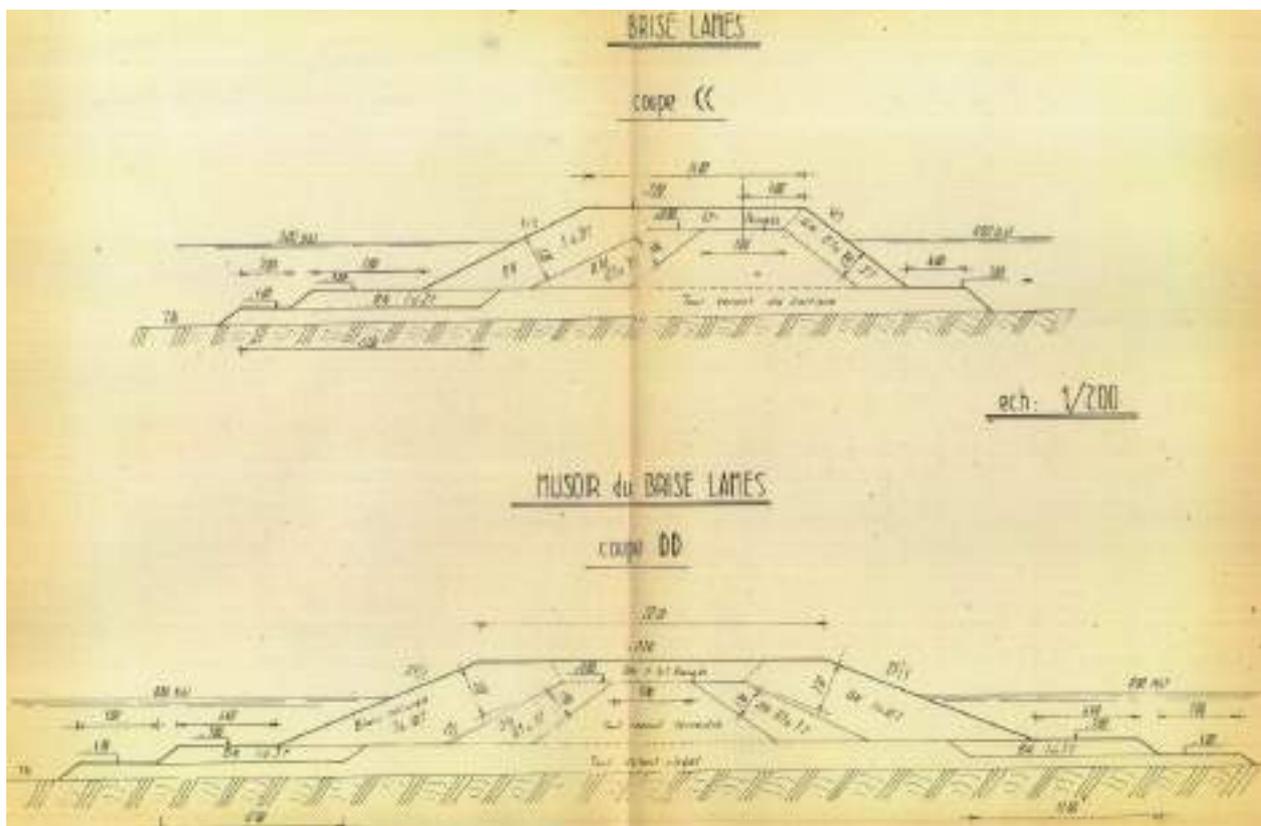
## 1.2 Composition des ouvrages

Les plans de recollement des ouvrages mis en œuvre sur la zone d'étude n'ont pu être analysés pour l'heure.

Les coupes disponibles pour les brises lames de la zone d'étude [P2] (cf. figure suivante) montrent un corps de digue constitué :

- d'une carapace arasée à +2.2mNGF avec une pente de 2H:1V côté mer ; la blocométrie de cette carapace serait comprise entre 5-8t en section courante, 7-10t au musoir ;
- d'une couche filtre de blocométrie 0.5-3t, servant de carapace côté plage avec une pente de 4H:3V, excepté au niveau du musoir ;
- d'un noyau en TVC.
- d'une butée de pied enfin, de blocométrie comprise entre 1-2t en section courante et 1-3t au musoir.

Ni la localisation, ni le niveau de détail de ces coupes ne sont cependant connus. Il s'agit cependant d'une coupe qui pourrait être représentative des brise-lames encadrant la plage de Bonneveine.



**Figure 3: Coupe type de brise lames mis en œuvre sur la zone d'étude [P2]**

Par ailleurs, le rapport d'AVP de l'« étude de mise en sécurité du chemin littoral de la plage de la Vieille Chapelle » (BCEOM, 2004 ; [A2]) apporte les éléments suivants concernant le littoral de l'anse de Vieille Chapelle, corroborés par la Ville de Marseille :

- des enrochements de 2 à 4 tonnes ont petit à petit été mis en œuvre en protection du talus laissé inachevé dans l'attente théorique de l'aménagement d'un troisième brise-lames,

- la structure du talus était constituée d'un remblai en enrochements de 50 à 800kg. Ce dernier était surmonté côté mer d'un matériau présentant une fraction comprise entre 10 et 350mm.

La mise en place d'enrochements de 2 à 4 tonnes a partiellement stabilisé cette portion du littoral du Parc Balnéaire, mais a semble-t-il favorisé l'apparition de tassement au niveau de talus. Ces tassements s'expliquent par le fait que le matériau de 10 à 350mm n'a pas joué son rôle de filtre entre le cavalier constitué de matériaux 50-800kg et les enrochements de 2-4t.

### 1.3 Réseaux

Des informations nous ont été transmises ou ont pu être récupérées concernant les réseaux suivant :

- Eclairage EDF [D19] ;
- Assainissement eaux usées / eaux pluviales [D9];
- Câbles sous-marins [D20].

Les réseaux identifiés susceptibles d'interférer avec les travaux d'aménagements de protection de la zone d'étude sont les suivants :

- Réseau d'eaux pluviales (cf. Chapitre 4 -3.2 / Figure 27) : les exutoires situés au nord immédiat de la plage de Pointe Rouge devront être déviés en cas de création d'une plage sur cette zone ;
- Câbles sous-marins : l'analyse des documents disponibles, en particulier la carte bathymétrique locale du SHOM (cf. Chapitre 4 -4.3 / Figure 30), met en évidence la présence de câbles sous-marins (optiques et/ou électriques) sur la zone d'étude ayant pour atterrissage les plages de l'Huveaune (partie Sud), et de Bonneveine (en son centre).

Une DICT devra être lancée pour répertorier tous les réseaux au niveau des travaux retenus.

## 2 Enjeux environnementaux et paysagers

Le projet doit prendre en compte les principaux enjeux environnementaux et paysagers existants sur la zone, et s'inscrit dans la mesure du possible dans une démarche d'écoconception :

- préservation du milieu marin et notamment des espèces protégées proches des futurs ouvrages, et cela aussi bien pendant la phase de chantier que pendant l'exploitation,
- intégration architecturale et paysagère des futurs ouvrages dans l'environnement urbain du Parc Balnéaire et de la Pointe Rouge, et de manière plus globale par rapport au front de mer,
- valorisation au plan fonctionnel des « services rendus » par les ouvrages futurs (ou existants).

Les choix doivent prendre en compte l'ensemble des exigences réglementaires en vigueur, et intégrer les orientations et doctrines « Eviter, Réduire, Compenser » ERC. Les questions environnementales font partie des données de conception du projet au même titre que les autres éléments techniques, financiers, etc.

La conception s'attache tout d'abord à éviter les impacts sur l'environnement, y compris au niveau des choix fondamentaux liés au projet (nature du projet, localisation, voire opportunité). Cette phase est essentielle et préalable à toutes les autres actions consistant à minimiser les impacts environnementaux des projets, c'est-à-dire à réduire au maximum ces impacts et en dernier lieu, si besoin, à compenser les impacts résiduels après évitement et réduction.

C'est en ce sens et compte-tenu de cet ordre que l'on parle de séquence «Eviter, Réduire, Compenser».

### 2.1 Préservation du milieu marin

***Le projet se situe au sein du littoral marseillais, dans un contexte environnemental et humain riche et sensible***

Le territoire bénéficie d'un **capital nature** exceptionnel, en particulier avec le Parc National des Calanques au Sud (cf. figure suivante). Les éléments remarquables sont les suivants.

- Un **herbier de Posidonie à préserver dans la baie du Prado**. (ZNIEFF marine 13-008-000).
- Une **vaste zone Natura 2000 mer** à proximité du site de projet, depuis le Frioul jusqu'au Cap Canaille (Cassis), en passant par l'archipel de Riou : la Zone de Protection Spéciale «Iles marseillaises – Cassidaigne» (n°FR9312007) et le Site d'Intérêt Communautaire «Calanques et îles Marseillaises – Cap Canaille et massif du Grand Caunet» (n°FR9301602).
- Le projet est inclus dans l'**Aire Marine Adjacente (AMA) du Parc National des Calanques**.
- « **Récifs Prado** » : 27 300 m<sup>3</sup> de récifs artificiels immergés au large de la baie sur 200 ha dans l'objectif de repeupler les fonds marins meubles de la baie.

<p><b>Les enjeux environnementaux au cœur de la démarche de projet</b></p>	<p>L'érosion est un phénomène qui touche l'ensemble des côtes méditerranéennes. Le trait de côte du parc balnéaire Sud n'est pas stabilisé, et l'érosion est particulièrement marquée sur les plages Huveaune, Borely et Bonneveine.</p> <p>La dispersion du sable contribue à la détérioration de l'herbier de Posidonie, l'un des garants de la stabilité du trait de côte : les tempêtes hivernales redistribuent le sable, pouvant générer l'augmentation de la turbidité de l'eau et l'ensablement des herbiers. La sable s'accumule également sur les arrières-plages (pelouses, jardinières...), voire sur la chaussée lorsque la route est proche de la plage (plage de l'Huveaune). Ce phénomène impose le rechargement régulier de ces plages.</p> <p>Le dispositif de protection à concevoir a pour objectif de préserver les infrastructures, maintenir puis développer les usages balnéaires et sportifs.</p>
	<p>Aussi, au regard des éléments de connaissance de la zone concernée par le projet, les principaux enjeux environnementaux (hors aspects paysagers abordés au paragraphe suivant) qui devront être pris en compte dans la démarche d'évaluation environnementale et traduits dans les dossiers réglementaires, sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De préserver la qualité des eaux et des sédiments pour ne pas porter atteinte aux herbiers et aux écosystèmes sensibles,</li> <li>• d'éviter de modifier les grands équilibres hydrodynamiques et courantologiques du fait de l'implantation de nouveaux ouvrages,</li> <li>• ne pas impacter, notamment pendant les travaux, les usages et l'écologie marine.</li> </ul>

Le contexte environnemental en termes de nature des biocénoses marines ainsi que de qualité des eaux de baignades sur la zone d'étude est abordé dans les paragraphes suivants. Ils seront développés plus en détail dans le cadre de l'élaboration des dossiers réglementaires.

Figure 4 : Illustration du « capital nature » caractérisant le sud de la rade de Marseille, dans laquelle s'insère la zone d'étude [D16]



### 2.1.1 Biocénoses marines

Les cartes marines DONIA® disponibles sur le site [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr) montrent la répartition des biocénoses marines sur la zone, avec la présence de :

- biocénose des galets infralittoraux au niveau de la plage de l'Huveaune, ainsi que sur la partie Sud de l'anse de la vieille chapelle et la partie nord de la plage du Prado ;
- biocénose des algues infralittorales / photophiles au Nord de la plage de Borely ;
- mattes mortes et herbiers à posidonie entre -9 m et -25m environ.



Figure 5: Carte DONIA® des biocénoses marines superposées aux isobathes ([www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr))

### 2.1.2 Qualité des eaux de baignade

L'analyse des données disponibles montre que la plage de l'Huveaune, soumise à des pollutions chroniques au regard des paramètres *E. coli* et entérocoques, est la plus sensible aux contaminations microbiologiques sur la zone d'étude, suivie de près néanmoins par les plages de Borely et de Pointe Rouge.

Le tableau ci-dessous indique l'évolution de la qualité bactériologique des eaux de baignade pour les plages de Marseille depuis une dizaine d'années.

Bien que les progrès soient constants sur l'ensemble des plages entre 2008 et 2016, la plage de l'Huveaune, longtemps classée en qualité insuffisante d'année en années, doit confirmer la bonne qualité des eaux constatée les trois dernières années. Par ailleurs, bien qu'en amélioration constante, la plage de Borély est également à surveiller. L'amélioration de la qualité des eaux sur la plage de la Pointe Rouge enfin, est avérée depuis 2011 et peut s'expliquer par les nombreux travaux effectués sur le réseau vieillissant du quartier (vérification du réseau et chemisage des conduites notamment).

**Tableau 1 : Evolution du classement des plages de la ville de Marseille dont le PBP, entre 2008 et 2016 (SSPH, VDM, 2017)**

Nouvelle méthode de calcul de calcul  
du classement de la qualité des eaux

AnnéePlage	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Fortin	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Lave	Bonne	Suffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
St Esteve	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente
Catalans	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne
Prophètes	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente
Prado Nord	Suffisante	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Prado Sud	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Huveaune	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Bonne	Bonne	Bonne
Borely	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Bonne
Bonneveine	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Vieille Chapelle	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Pointe Rouge	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Bain des Dames	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Phocéens	Suffisante	Insuffisante	Suffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Sabliettes	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Insuffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente
Bonne Brise	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Goudes	Suffisante	Suffisante	Suffisante	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Sormiou	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Morgiou	Bonne	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
En Vau	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente
Port Pin	Suffisante	Suffisante	Bonne	Bonne	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente	Excellente

Les causes de pollution bactériologique potentielles de ces zones de baignade sont encore nombreuses. Elles ont été analysées dans le cadre de la réalisation des profils de vulnérabilité des cinq zones de baignade du territoire d'étude réalisés par la Ville de Marseille en 2011 : Prado Nord, Prado Sud, L'Huveaune, Borely, Bonneveine, Vieille Chapelle et Pointe Rouge [A3].

L'Huveaune, avec son affluent le Jarret, apparait comme la principale source de contamination microbiologique des zones de baignade de la zone d'étude. Le détournement de ces apports en temps sec et petite pluie en direction du site de la Pugette vers la Calanque de Cortiou a largement participé à la reconquête de la qualité des eaux de baignade au niveau des plages du Prado. Néanmoins, lors d'un épisode pluvieux significatif (> 8 mm/heure ou 30 m3/s), la vanne barrage du site de la Pugette est abaissée et l'Huveaune reprend son cours naturel jusqu'aux plages du Prado.

Les eaux de l'Huveaune représentent une source de pollution bactériologique importante qui affecte notamment la plage de l'Huveaune. Ces événements se produisent en moyenne 2 à 3 fois durant la saison estivale entraînant la fermeture momentanée des plages impactées. Par ailleurs, la pollution peut perdurer pendant plusieurs jours après l'épisode pluvieux sur la plage de l'Huveaune alors que ce phénomène n'est pas observé sur les autres plages. Au-delà de 72 h, cela impacte le classement de la zone de baignade. Même si la qualité de l'eau de la plage de l'Huveaune est « suffisante » pour la première fois à l'issue de la saison balnéaire 2014, cette plage reste une plage en risque en raison de la proximité du cours d'eau.

Les autres sources de contamination identifiées sont :

- Le réseau d'assainissement « unitaire par temps sec » sur le littoral Sud : à l'instar de l'Huveaune, par temps sec et en cas de petits épisodes pluvieux, les eaux pluviales sont envoyées dans le réseau sanitaire par une vanne by-pass. Ce système permet de traiter les premières eaux de ruissellement et de préserver les plages de ces pollutions. Lorsque les précipitations sont supérieures à 3 mm, les eaux pluviales partent directement en mer sans traitement préalable. Les principales sources identifiées sont :

- Le déversoir d'orage du Prado : il sert de point de délestage du réseau unitaire en cas de pluie supérieure à 12 mm/h et représente également une source de pollution par temps sec (eaux contaminées entre le poste de relèvement Gironne et l'exutoire du déversoir),
  - Le ruisseau de Bonneveine, source de pollution par temps de pluie mais également par temps sec (eaux stagnantes),
  - L'hippodrome Borely : un problème d'étanchéité de la cuve à lisier génère des rejets d'eaux contaminées dans le réseau pluvial de Bonneveine. L'épandage de lisier peut également contaminer la zone de baignade.
  - Le lac Borely : il génère une pollution liée à sa surverse dans l'Huveaune et en cas de vidange.
  - Le réseau sanitaire du secteur Pointe-Rouge, en particulier le collecteur Littoral Sud sous-dimensionné.
  - Plusieurs exutoires pluviaux proches des zones de baignade de Vieille-Chapelle et Pointe-Rouge.
  - Plusieurs postes de relèvement : CMV4, Muette, Ponson, Borely, Gironne, Bonneveine, Hambourg, Molinari, Zizinia ; les postes de relèvement Molinari-Parangon, Pointe Rouge, Néréides et relais Fleuri (plage de Vieille Chapelle).
  - Le déversoir du Prado qui sert de point de délestage instrumentalisé du réseau unitaire en cas de pluies supérieures à 12 mm/h. Il est également une source de pollution par temps sec en relation avec la présence d'un volume d'eaux contaminées entre le poste de relèvement Gironne (qui pompe les eaux de temps sec) et l'exutoire du déversoir.
- La fréquentation balnéaire : L'importante fréquentation des plages pendant la saison balnéaire a une incidence sur la qualité bactériologique des eaux, en particulier sur la plage de la Pointe-Rouge, aggravée par la fermeture des sanitaires publics la nuit

☞ **Bien que la qualité des eaux de baignade semble en amélioration ces dernières années sur la zone d'étude, il reste de nombreuses sources de contamination potentielles, et certaines plages comme celles de l'Huveaune, Borely et Pointe Rouge restent encore relativement sensibles. Il est de ce fait important que les futurs aménagements ne réduisent pas la capacité de renouvellement de ces zones, sauf à prévoir par la même occasion une suppression des principales causes de contamination existantes (p.ex. dévoiement d'exutoires pluviaux).**

## 2.2 Intégration architecturale et paysagère des ouvrages

Bien qu'une étude de programmation des aménagements terrestres soit lancée en parallèle de ce projet pour définir les contours du Parc balnéaire du Prado (mobilier urbain, liaisons terrestres, parkings, transports, etc.), les conclusions de celle-ci ne sont pas encore disponibles. Les aspects d'intégration architecturale et paysagère du dispositif d'ouvrages de protection contre l'érosion à concevoir apparaissent cependant comme fondamentaux, et ont de ce fait été traités par l'Architecte-Paysagiste (Jean-Louis Durochat), totalement intégré à l'équipe de conception afin de combiner la réponse optimale aux contraintes techniques des ouvrages et de l'insertion paysagère.

Les aménagements prévus sont en effet l'occasion de redonner une nouvelle identité au front de mer du Prado à la fois par sa requalification structurelle (nouveaux ouvrages, choix, qualité et assemblage de différents matériaux) mais aussi fonctionnelle : réduction des conflits d'usages, pérennité et continuité des fonctions portuaires et urbaines, qualité visuelle (depuis la ville, depuis la mer et depuis les ouvrages eux-mêmes), sécurité.

L'équilibre à trouver entre l'objectif technique, l'insertion dans le site et la qualité des nouveaux espaces publics ainsi développés, doit idéalement remplir pleinement chacun des objectifs suivants :

- Les ouvrages de protection devront répondre aux objectifs demandés et résoudre durablement la protection,
- L'insertion dans le site par une composition générale appropriée, devra permettre de ne pas créer de rupture dans le paysage,
- L'unité des matériaux et du mobilier sera également recherchée pour accentuer cette liaison entre la plage de la pointe rouge et le parc balnéaire du Prado.

La réalisation des ouvrages de protection doit de ce fait assurer une interface harmonieuse avec la ville en termes d'intégration paysagère, de cheminements piétonniers, de stationnements et d'organisation des loisirs balnéaires, en tenant compte notamment de la proximité du site classé de la Pointe Rouge.

## 2.3 Dossiers réglementaires

En parallèle des études techniques AVP et PRO seront réalisées des dossiers réglementaires pour permettre in fine la réalisation des travaux.

Au stade actuel de définition du projet, compte tenu du contexte dans lequel il s'insère, les procédures applicables peuvent être cadrées comme suit. Elles seront vérifiées et complétées, en cours de mission auprès des services de l'Etat, une fois le scénario d'aménagement retenu.

### 2.3.1 Etude d'impact

Le projet est soumis à **examen au cas par cas** au titre de l'annexe à l'article R. 122-2 au titre des catégories qui peuvent s'appliquer en fonction des types de travaux envisageables :

- Catégorie 11 : Travaux, ouvrages et aménagements en zone côtière : Ouvrages et aménagements côtiers destinés à combattre l'érosion et travaux maritimes susceptibles de modifier la côte par la construction notamment de digues, de môles, de jetées, d'enrochements, d'ouvrages de défense contre la mer et d'aménagements côtiers constituant un système d'endiguement.
- Catégorie 13 : Travaux de rechargement de plage : Tous travaux de rechargement de plage.

L'autorité environnementale dispose d'un délai de 35 jours pour statuer sur la nécessité ou non de réaliser une étude d'impact.

### 2.3.2 Autorisation Environnementale (applicable au 01/03/2017)

L'article L. 181-1 du code de l'environnement précise le champ d'application de l'autorisation environnementale : sont ainsi soumis à la nouvelle procédure les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA) soumis à la législation sur l'eau et les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), lorsqu'ils relèvent du régime d'autorisation.

Les travaux de protection du littoral contre la mer sont des IOTA, sont soumis au régime d'autorisation au titre de l'article L 211-3, relevant de la rubrique 4.1.2.0. : Travaux d'aménagement portuaires et autres ouvrages réalisés en contact avec le milieu marin et ayant une incidence directe sur ce milieu d'un montant supérieur ou égal à 1 900 000 € (Autorisation).

L'article L 181-2 mentionne que l'autorisation environnementale tient lieu, y compris pour l'application des autres législations, des autorisations, enregistrements, déclarations, absences d'opposition, approbations et agréments suivants, lorsque le projet d'activités, installations, ouvrages et travaux relevant de l'article L. 181-1 y est soumis ou les nécessite, soit dans le cas du projet Prado, sans préjuger des travaux qui seront retenus :

- Absence d'opposition au titre du régime d'évaluation des incidences Natura 2000 en application du VI de l'article [L. 414-4](#),  
 → Le projet se situe à proximité de zones Natura 2000 et nécessite donc la réalisation d'une évaluation d'incidences au regard de la conservation de ces sites.
- Autorisation spéciale au titre des sites classés en application des articles [L. 341-7](#) et [L. 341-10](#),  
 → La partie sud de la zone est en site classé (sud de l'anse de la Vieille Chapelle). Le classement d'un monument naturel ou d'un site soumet à autorisation spéciale, la réalisation de tous travaux modifiant l'aspect du site, hormis les travaux d'entretien courant du bâti.
- Dérégation aux interdictions édictées pour la conservation d'habitats naturels, d'espèces animales non domestiques ou végétales non cultivées et de leurs habitats en application du 4° de l'article [L. 411-2](#),  
 → Dans le cas où l'inventaire du milieu marin identifierait la présence d'espèces protégées (Posidonie, Grande Nacre...).

### 2.3.3 Dossier de demande de concession d'utilisation du domaine public maritime en dehors des ports

Le dossier de demande de concession d'utilisation du Domaine Public Maritime est établi selon les formes de l'article 2 du décret du 29 mars 2004 codifié aux articles 2124-2 et suivant du code général de la propriété des personnes publiques.

### 2.3.4 Enquête publique

Le projet, enfin, fait l'objet préalablement à son approbation, d'une **enquête publique** menée dans les formes prévues par les articles R. 123-1 à R. 123-23 du code de l'environnement. A l'issue de l'enquête publique, la convention est approuvée par arrêté du préfet.

Ce projet est en effet soumis à **enquête publique** au titre des articles :

- L 123-2-I-1° du code de l'environnement, dans le cas où l'examen au cas par cas statuerait sur la nécessité de soumettre le projet à étude d'impact,
- L 214-4 du code de l'environnement, le projet faisant l'objet d'une demande d'autorisation unique au titre de l'article L 214-3 du code de l'environnement,
- et L 2124-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

## 3 Les usages sur les plages du Prado Sud et de la Pointe Rouge

### 3.1 Introduction

Le parc balnéaire du Prado et la plage de La Pointe Rouge constituent l'espace littoral « sableux » le plus important de la ville et de la métropole marseillaise.

Les usages de cette zone sont très diversifiés (balnéaires, sportifs, aquatiques, nautiques, commerciaux, récréatifs, festifs...) et se pratiquent tout au long de l'année, de jour comme de nuit en période estivale

L'objectif du projet est de concevoir et réaliser un dispositif de protection des aménagements littoraux dans le secteur Sud Prado/ Pointe Rouge, afin de préserver les infrastructures, maintenir puis développer les usages balnéaires et sportifs.

**Usages balnéaires.** L'espace du parc balnéaire du Prado/ Pointe Rouge comprend trois grandes zones balnéaires qui sont localisées :

- entre le Roucas Blanc et le Nord de l'Huveaune où se développent des activités balnéaires, aquatiques, récréatives et festives (zone en dehors du périmètre de cette étude) ;
- autour des plages de Bonneveine et Borely ; où une activité commerciale de front de mer est implantée (plages-guinguette en été, espace commercial Borely toute l'année) ; la plage de l'Huveaune, revêt elle aussi un caractère spécifique puisque c'est une des seules plages de sable fin naturel de la zone
- sur la plage de Pointe Rouge qui présente un caractère populaire, familial et patrimonial, cette plage existait avant l'aménagement du parc Balnéaire.

**Les pratiques sportives.** Elles évoluent rapidement avec l'apparition de nouveaux sports. Ceux-ci se cumulent avec les sports nautiques « historiques » (voile légère et planche à voile + nage en mer), ce qui augmente la fréquentation du plan d'eau, même si certains sports voient leurs pratiquants diminuer.

Ces pratiques se partagent entre :

- la voile légère (autour des deux centres nautiques au sud et au nord)
- Les sports de glisse au sud de l'Huveaune : Planche à voile ; Kite surf ; Surf ; Body board ; Paddle ; Kayak de mer ; Canoé
- La nage en mer

La pratique collective des sports nautiques est concentrée autour :

- de l'espace portuaire du Roucas Blanc au Nord,
- de l'école de voile de Pointe Rouge au Sud.

La pratique individuelle est localisée principalement au sud de l'Huveaune et jusqu'à Pointe Rouge.

Pour les sports de glisse, des chenaux d'accès au-delà des 300m sont installées en saison estivale et hors saison.

Notons qu'avec l'apparition du kayak de mer et du SUP (Sand Up Paddle), la pratique nautique est dorénavant présente même pour des conditions de mer et de vent calmes.

**Les conflits d'usages entre les pratiques balnéaires (plage-baignade) et nautiques se concentrent :**

- en partie centrale de l'aménagement du parc balnéaire du Prado / Pointe Rouge (entre les plages de l'Huveaune et Vieille Chapelle zone nord),
- dans une moindre mesure, au sud, le long du môle de l'école de voile de Pointe Rouge.

Ils sont détaillés aux § suivants.

### 3.2 Zones règlementées par arrêtés

Sur le parc balnéaire du Prado et la plage de la Pointe Rouge, des **ZRUB** (Zone Réservées Uniquement à la Baignade) sont actuellement en vigueur :

- en saison estivale (plage de l'Huveaune, plage Borely, plage de la Pointe Rouge) de début mai à fin septembre
- à l'année : plage de Bonneveine
- à l'année, mais de surface réduite hors saison estivale (plage de La Vieille Chapelle)

Dans ces zones toutes activités autres que la baignade sont rigoureusement interdites.

**Chenaux d'accès à la mer :** Un chenal pour PNT (Planche Nautique Tractée (i.e. Kite Surf) est en vigueur dans l'anse de Vieille Chapelle ; il est réduit en été. Un autre chenal pour engins à Moteurs est localisé au niveau du plan incliné du port de Pointe Rouge.

La figure ci-dessous donne la localisation des zones règlementées par arrêté municipal (16-023- DIR MER du 18 mai 2016) et préfectoral (116-2016 du 8 juin 2016).



### 3.3 Les usages balnéaires et les sports nautiques

Pour rappel, la zone d'étude s'étend de la plage de l'Huveaune à la plage de la Pointe Rouge (cf Figure 1).)

#### 3.3.1 L'Huveaune - Débouché en mer

A proximité, il y a la base nautique de l'Huveaune gérée par la mairie, service jeunesse et sports, proposant la pratique du canoë et du kayak.

Ce cours d'eau est fréquenté par des kayakistes (parcours et portes sur sa partie aval) et les canoës. Sa partie aval s'ensable et doit être entretenue.

#### 3.3.2 Plage de l'Huveaune

Cette plage est fréquentée par des habitués (forte fréquentation balnéaire surtout dans sa partie nord, plage la plus large) car c'est une des seules plages historiques de sable fin qui restent après l'aménagement de la 2<sup>ème</sup> tranche du parc du Prado. Hors saison et en semaine, le stationnement est facile, ce qui en augmente l'attractivité.

Le long de la digue rive gauche de l'Huveaune, la plage de sable est large, un poste de secours est installé. Il est prêt hors saison par la ville à l'association La Sardine (association de surf depuis 1992 – [www.sardinesurfclub.over-blog.com](http://www.sardinesurfclub.over-blog.com) ).

En été, la zone le long de la digue face au poste de secours est une ZRUB (de fin mai à début septembre). Cette ZRUB étant localisée contre la digue de l'Huveaune, la pratique des autres sports nautiques est possible sur la moitié sud de la plage.

Hors saison, cette plage est pratiquée à la fois par les surfeurs+bodyboards, les planches à voiles (sport initial) et par les kite-surfeurs.

Les sports nautiques qui utilisent cette plage sont principalement la planche et le surf (dès qu'il y a des vagues). Par Mistral le départ pour les planches se fait vent travers, cap vers le Sud-Est. Les surfeurs utilisent généralement la moitié Sud de l'anse et aussi les vagues qui se développent le long de l'épi qui sépare cette plage de celle de Borely. Vu l'implantation du club, ils peuvent être nombreux (par Mistral mais surtout par SW à W). Dans certaines conditions, un fort courant offshore est perçu au centre de cette plage (une noyade récente).



*Plage de l'Huveaune par Mistral (milieu de semaine mois de mars)*

### 3.3.3 Plage Borely

Cette plage est constituée de Galets sur sa partie nord et de sable + galets sur sa partie sud.

De fin mai à début septembre, une ZRUB occupe toute cette plage et rend donc impossible toute exploitation par les sports nautiques tels que la Planche à Voile ou le Kite Surf. Seule l'activité balnéaire y est possible

Hors saison, cette plage est pratiquée par quelques surfeurs, surtout sur sa partie Nord. Peu de Kite et de planchistes l'utilisent.

Cette zone est liée à l'Espace Borely, et aux divers commerces qui y sont installés.



### 3.3.4 Plage de Bonneveine

Une ZRUB à l'année (arrêté municipal 2016) occupe toute cette plage et rend donc toute exploitation par les sports nautiques tels que la Planche à Voile ou le Kite Surf impossible.

Cette plage est entièrement dédiée à l'activité balnéaire, et est liée, comme la plage Borely aux activités commerciales de l'Espace Borely. En saison, des plages privées - guinguettes s'installent en bordure de l'eau, y compris sur l'espace entre la plage Borely et la plage de Bonneveine.

Cependant, des Kites exploitaient cet espace en mars 2017, à partir du poste de secours situé à proximité également de l'Anse de Vieille Chapelle et mis à disposition hors saison par la Ville. La plage était balisée avec des cônes de chantier pour l'envol des ailes, et un panneau avertissait les autres usagers (cf. photos suivantes).

Cette plage est entretenue régulièrement (ajout de sable et reprofilage). En dehors du fort transit éolien par Mistral, les feuilles de Posidonies (et déchets) s'y accumulent notamment en partie centrale, poussées par les vents et les courants après chaque coup de mer.



*Plage de Bonneveine par Mistral (mars 2017)*

### 3.3.5 Plage de la vieille Chapelle

Une ZRUB est définie de fin mai à début septembre de la pointe de la digue Nord à la hauteur de l'établissement de plage, et le reste de l'année le long de la digue Nord sur une largeur de 15m. La zone le long de la digue de séparation avec Bonneveine est fréquentée par les nageurs en mer.

La « plage » subsiste au nord. En partie centrale, les fonds sont faibles devant le talus en enrochements, il y a quelques années, une étroite bande de sable/galets s'y développait (en été). Au sud, la profondeur est plus importante interdisant tout accès à la mer.

En saison, la partie nord de cette plage est uniquement balnéaire, le Kite-surf se fait alors à partir la rampe réalisée dans le talus en enrochements, quand les conditions de vent permettent ce sport. Quelques planchistes utilisent aussi cette zone.

Hors saison. Les kite-surfeurs utilisent la partie nord de cette zone pour partir en mer. L'accès par la rampe en partie centrale n'est quasiment pas utilisé car il n'est pas facile.

	
<p><i>Panneau informatif sur l'activité Kite-Surf</i></p>	<p><i>Zone nord de l'anse, sud de la plage, par Mistral</i></p>
	
<p><i>Zone centrale de l'anse par Mistral</i></p>	<p><i>Mise à l'eau pour les Kite-Surfer</i></p>
	
<p><i>Partie Sud de la zone (vagues)</i></p>	<p><i>Partie sud de la zone</i></p>

### 3.3.6 Plage de la Pointe Rouge

Cette zone se décompose en trois zones distinctes :

La partie nord, sur laquelle il n'y a pas de plage émergente. Zone rocheuse qui a donné son nom à La Pointe Rouge

La partie centrale qui abrite une plage qui s'élargie du nord-est au sud-ouest. Sur cette plage, de nombreux établissements sont installés. Sur la zone la plus au nord de la plage de sable, certains établissements ont plus ou moins les pieds dans l'eau (plage très étroite), suivant l'évolution saisonnière de la plage et les coups de mer. Cette zone centrale est protégée en été par une ZRUB.

Sur la partie Ouest, qui jouxte le môle de l'école de voile, la plage de sable se réduit progressivement. En été des bateaux « beachent » sur cette plage.



*Plage de Pointe Rouge (photo Google été 2016). La ZRUB est matérialisée en blanc.*

#### Nota sur le devenir des établissements de plage :

Domanialité et autorisations en cours de modification ; hors périmètre de l'étude.

#### Usage balnéaire.

Du fait de l'implantation des établissements de plage, cette anse est en presque totalité dédiée à la baignade (ZRUB) en été, mais elle est encore très recherchée hors saison. Les variations saisonnières de la plage font que l'établissement qui est le plus au nord a les pieds plus ou moins dans l'eau. Cet établissement, en l'état actuel, doit être détruit (concession non renouvelée ?).

#### Usages nautiques.

La plage est limitée par à l'Ouest par le môle de l'école de voile. Ce môle est desservi par un chenal d'accès de 15 m de large orienté au 200° situé au droit du plan incliné du port de Pointe Rouge réservé aux navires à moteurs.

Le plan d'eau est occupé à la fois par les pratiquants de l'école de voile, mais aussi par des planchistes et kite-surfeurs en pratique libre. Ceux-ci partent à la fois de la Vieille Chapelle et de l'école de voile. En été des bateaux à moteur beachent sur la partie Ouest de la plage (en dehors de la ZRUB). Le quai et le talus côté Est du môle de l'école de voile sert aussi de stationnement pour les bateaux.



*Pratique nautique par Mistral avec houle résiduelle de secteur Ouest (jour de semaine - mars 2017)*



*Pratique nautique en été*

## 4 Contraintes liées à l'exploitation du site pour des manifestations

En dehors des dates de travaux (début octobre à fin avril), **les contraintes d'exploitation** relatives à l'organisation de manifestations ont été identifiées et sont indiquées ci-après.

Ces contraintes sont à préciser aux phases ultérieures.

D'une manière générale, quand il y a un co-usage/partage de certaines zones entre chantier et usagers, le bon fonctionnement du chantier est à prendre en compte dans l'arbitrage principalement si cela peut avoir une incidence sur le respect des délais imposés au chantier.

En complément des contraintes d'exploitations décrites ci avant, l'entreprise adjudicataire des travaux doit prendre en compte les manifestations sur la ville de Marseille qui impliquent des contraintes supplémentaires au niveau de la circulation routière et des occupations d'espaces en dehors de la zone de travaux.

Nota : La Ville de Marseille a fourni la liste des principales manifestations prévues en 2017 (cf. Annexe 8), liste qui sera mise à jour avant les travaux.

Il sera nécessaire de fournir avant la consultation des entreprises les dates prévisionnelles des manifestations en indiquant le nombre de participants pour que les entreprises puissent prendre en compte les contraintes de circulation et d'occupation des espaces (en dehors de la zone de travaux) dans leur organisation de chantier.

Sur la période du 01/10 au 31/05, relativement peu de manifestations sont a priori susceptibles d'interférer avec les travaux. Ce point sera néanmoins à préciser au stade ultérieur en précisant les zones et surfaces utilisées dans le cadre de ces manifestations, afin de vérifier l'impact potentiel sur les zones terrestres dédiées aux travaux.

## 5 Période des travaux

Compte-tenu des différentes manifestations et des usages de ces zones, la période de travaux sera réduite :

- à 7 mois : d'octobre à fin avril ;
- ou sur 8 mois (Octobre à fin mai) si la mairie accepte que le chantier se déroule aussi en mai où il y a de nombreux « ponts ».

Par ailleurs, travailler en période estivale serait difficile pour ce qui est des approvisionnements en matériaux (plusieurs dizaines de camions par jour), ce qui aurait des incidences financières pour le chantier et économiques pour les activités localisées sur le parcours des camions ou à proximité.

# Chapitre 3 - Insertion paysagère des aménagements

---

Ce chapitre présente l'insertion architecturale/paysagère envisagée pour les ouvrages qui pourraient être mis en œuvre sur la zone d'étude.

Cette notice est intégrée en début de rapport, avant la partie technique de l'EP, car elle est importante puisque les futurs ouvrages envisagés dans l'EP sont réalisés en étroite liaison avec l'aménagement urbain et paysager. Ces aspects constituent en effet un des principaux enjeux de la zone d'étude.

## 1 Fonction urbaine et paysagère de la zone d'étude et parti d'aménagement

Le parc balnéaire du Prado se termine côté Sud comme un aménagement sans liaison avec la plage de Pointe rouge. Cette liaison n'existe pas au niveau plage mais est également peu développée au niveau route avec un rétrécissement très conséquent des flux piétons, la promenade se réduisant à un trottoir de faible largeur. Il n'y a pas de piste cyclable. Elle s'interrompt de part et d'autre des deux zones accentuant ainsi la discontinuité.



En supprimant cette discontinuité, cette liaison permettra de donner une synergie entre la fin actuelle du parc balnéaire du Prado qui a le succès que l'on connaît et la plage de la pointe rouge de tradition familiale devenue exigüe et indispensable à la vie du quartier.

D'autre part au Nord, les aménagements linéaires le long de l'Huveaune se terminent dans le parc Borelli sans liaison également avec le parc balnéaire du Prado. La liaison de ces trois entités ne faisant pas explicitement partie du programme semble cependant importante pour une liaison qui pourrait relier les rives de l'Huveaune avec le bord de mer.

Enfin en arrière du parking de la plage de l'Huveaune, la liaison piétonne est réduite et la piste cyclable est interrompue en basculant côté terre.

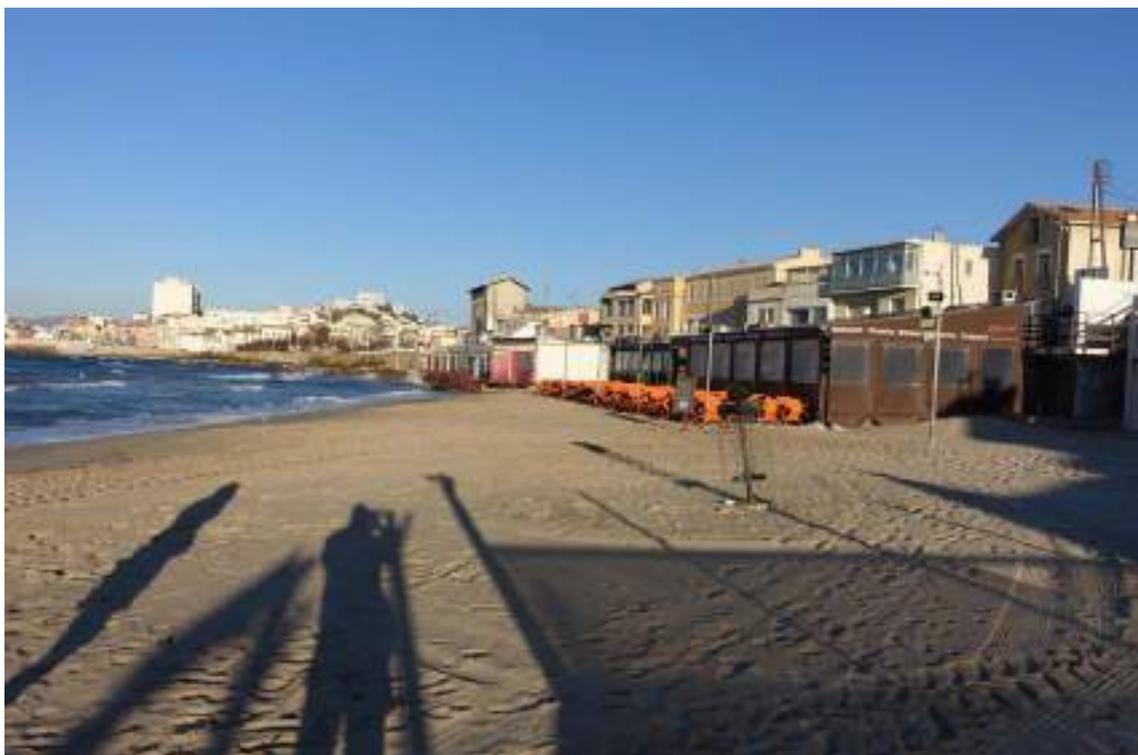
Pour avoir une cohérence paysagère entre les aménagements maritimes et les aménagements terrestres prioritaires, nous sommes partis du scénario N°6 (cf. Chapitre 5 -3) qui regroupe toutes les actions souhaitées à terme mais qui ne font pas toutes l'objet de la présente mission de maîtrise d'œuvre.

Nous y avons intégré les études réalisées pour les établissements balnéaires de Pointe rouge et répondu en partie aux premières actions préconisées par l'AGAM pour "un parc balnéaire de nouvelle génération".

Il ne s'agit pas là, de parler de la restructuration du parc balnéaire du Prado qui fait aujourd'hui l'objet d'une programmation en cours mais de proposer des solutions:

1. Sur les parties qui feront l'objet des travaux dans le cadre de notre mission de Maîtrise d'œuvre avec notamment la liaison au niveau des plages de Pointe rouge et les plages du Prado.
2. Des éléments de réflexion sur des points indispensables à la cohérence paysagère et urbanistique des aménagements maritimes et terrestres mais également des liaisons en mode doux.

Sur la plage de Pointe rouge, des aménagements maritimes permettront le rechargement en sable et d'assurer ainsi la liaison au niveau plage entre la plage de Pointe rouge et les plages au sud du parc balnéaire du Prado.



La liaison entre ces deux zones est le sujet principal de notre mission. Le raccordement maritime n'est qu'un aspect de cette liaison pour avoir une cohérence urbanistique et paysagère entre ces deux zones. La liaison terrestre au niveau route est indispensable pour remplir cet objectif, elle consiste en la création d'une circulation piétonne d'une largeur minimale de trois mètres et d'une piste cyclable à double sens d'une largeur constante de trois mètres de large.

Cette liaison terrestre irait du parking situé au sud Prado au parking situé au sud de Pointe rouge. Pour pouvoir réaliser cette double liaison d'une largeur totale de six mètres, il conviendra d'avoir dans le cas le plus extrême un passage en porte à faux sur le DPM, et plus au Sud la suppression du stationnement en long, comme cela a été préconisé dans l'étude de l'AGAM pour "un parc du Prado de nouvelle génération".

Afin d'accentuer cette cohérence entre les plages de Pointe rouge et du Prado, le jeu de boules, lieu de rencontre et de convivialité, est ombragé, amélioré et relié directement à la circulation.



La continuité de cette nouvelle piste cyclable se fait par un trajet libre à travers les larges allées du parc depuis vieille chapelle à la plage de l'Huveaune.

Les aménagements maritimes sur l'anse de Vieille chapelle permettraient d'accentuer dans le paysage et dans l'usage le raccordement de ces deux zones aujourd'hui dissociées. En effet, ces protections permettraient de créer une grande plage avec en arrière-plan une zone de prairie sur l'anse de vieille chapelle qui en est aujourd'hui totalement dépourvue.

De même, les aménagements maritimes pour les plages de Bonneveine et de Borely permettraient d'agrandir les plages par rechargement en sable auquel il conviendrait de rajouter un platelage bois pour les bains de soleil sur la digue actuelle entre les deux plages.

La continuité du déplacement en mode doux depuis le parc balnéaire du Prado situé au nord de l'Huveaune jusqu'à Pointe rouge entraine la restructuration du parking de la plage de l'Huveaune en modifiant les parkings en épis par des parkings en long et permettant ainsi d'intégrer notre circulation piétonne de trois mètres de large ainsi que notre piste cyclable à double sens de trois mètres de large également.



La liaison entre le parc Borely et le parc balnéaire du Prado est également d'une importance majeure et elle est préconisée, à juste titre, comme une action prioritaire dans l'étude de l'AGAM.

Au-delà du parc Borely, il y a un symbole fort entre les aménagements des rives de l'Huveaune et les aménagements du littoral. Ce sont deux éléments très différents mais en même temps proches par la présence commune de l'eau et d'un paysage longitudinal avec une échelle totalement diverse. D'un côté, le calme dominant des bords d'une rivière avec une végétation spécifique et une activité de promenade ou de jogging, de l'autre, le littoral marin avec la vaste étendue de la mer en ligne d'horizon et une activité de promenade également, mais aussi et surtout de sports de la mer et de baignades.



Pour accentuer cette liaison, nous avons imaginé un très large plateau traversant permettant de redonner dans cette interface piétons/véhicules une dominante aux piétons et provoquer une forte rupture de la vitesse sur cet axe routier coupant en deux ces entités paysagères. Il peut être d'ailleurs doublé par une passerelle permettant d'avoir un point de vue intéressant sur la globalité du paysage urbain et littoral.

Comme nous l'avons déjà évoqué, ces actions périphériques à l'objet même du projet sont importantes à terme et peuvent s'insérer dans les éléments du programme en cours de préparation pour la création d'un parc balnéaire du Prado de nouvelle génération.

## 2 Esquisses paysagères des aménagements

Des plans de cohérence paysagère des aménagements maritimes et terrestres au 1/1000 sont présentés ci-après.

Comme introduit plus haut, les aménagements maritimes reproduits sur ces esquisses correspondent aux aménagements proposés dans le cadre du Scénario 6, qui regroupe toutes les actions souhaitées à terme mais qui ne font pas toutes l'objet de la présente mission de maîtrise d'œuvre.

En effet, ce scénario n°6 représente en quelque sorte l'aménagement littoral optimal de la zone d'étude, mais son budget estimé est très supérieur à l'enveloppe budgétaire définie initialement (cf. Chapitres 5 et 6).

PLAN DE COHERENCE PAYSAGERE DES AMENAGEMENTS MARITIMES ET TERRESTRES PARTIE NORD - BASE SCENARIO 6 - ECH 1/1000



Aménagement maritime pour  
renforcement de la plage et  
de la zone de baignade

Aménagement maritime pour  
renforcement de la plage et  
de la zone de baignade

Contribu à la mise en œuvre  
d'un espace public de qualité  
pour le piéton

Intégration de la voirie  
à l'aménagement maritime  
pour assurer la continuité  
de l'espace public de qualité

Aménagement  
pour la zone de baignade

Aménagement maritime pour  
renforcement de la plage et  
de la zone de baignade

LE 24 AVRIL 2017



PLAN DE COHERENCE PAYSAGERE DES AMENAGEMENTS MARITIMES ET TERRESTRES - PARTIE SUD - ECHELLE 1/1000



LE 24 AVRIL 2017



# Chapitre 4 - Diagnostic des facteurs responsables de l'érosion

## 1 Conditions océano-météorologiques

### 1.1 Vent

#### 1.1.1 Cadre général

Le secteur d'étude est soumis à l'influence de deux grands vents dominants :

- Le Mistral, vent de Nord souvent puissant et prédominant sur la ville de Marseille. A la station Meteo-France de Marseille-Longchamp, l'axe de fréquence maximal de ce vent se situe sur l'azimut 320°. Les vents de Mistral supérieurs à 5 m/s et d'azimuts compris entre 300° et 340° représentent 18 % des vents (près de 28 % des vents, toutes vitesses confondues).
- Les vents d'Est à Sud-Est, dont les azimuts se situent entre 100° et 160°. Ils représentent environ 20 % des vents sur la ville de Marseille.

La position du site en bordure de littoral se caractérise également par l'apparition de brises marines. La figure suivante récapitule la fréquence des vents enregistrés à la station de Marseille-Longchamp entre 2000 et 2009, répartis en fonction des groupes de vitesse et du pourcentage de direction. Cette station en centre-ville, n'est pas totalement représentative des vents en zone côtière.

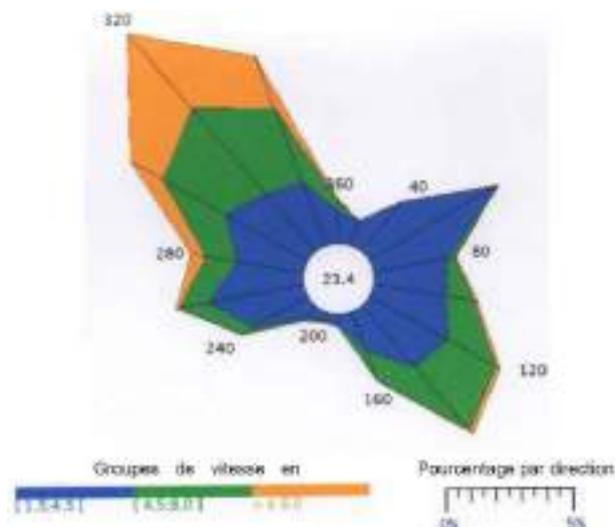


Figure 6: Rose des vents, station Marseille-Longchamp de 2000 à 2009

#### 1.1.2 Statistiques issues de données de modélisations

Nous avons exploité deux séries chronologiques de la vitesse du vent moyen à 10m, au pas de temps de 1h, de 2009 à 2012 (4 ans), localisées :

- au nord immédiat de l'île du Planier, environ 13km au Sud-Ouest de la zone d'étude,
- à l'entrée Sud du Port, environ 5km au Nord-Nord-Ouest de la zone d'étude.

Ces données de vents sont issues d'un modèle à haute résolution de Météo-France (Arome, 2.5km) permettant de rendre compte d'effets locaux de la topographie.

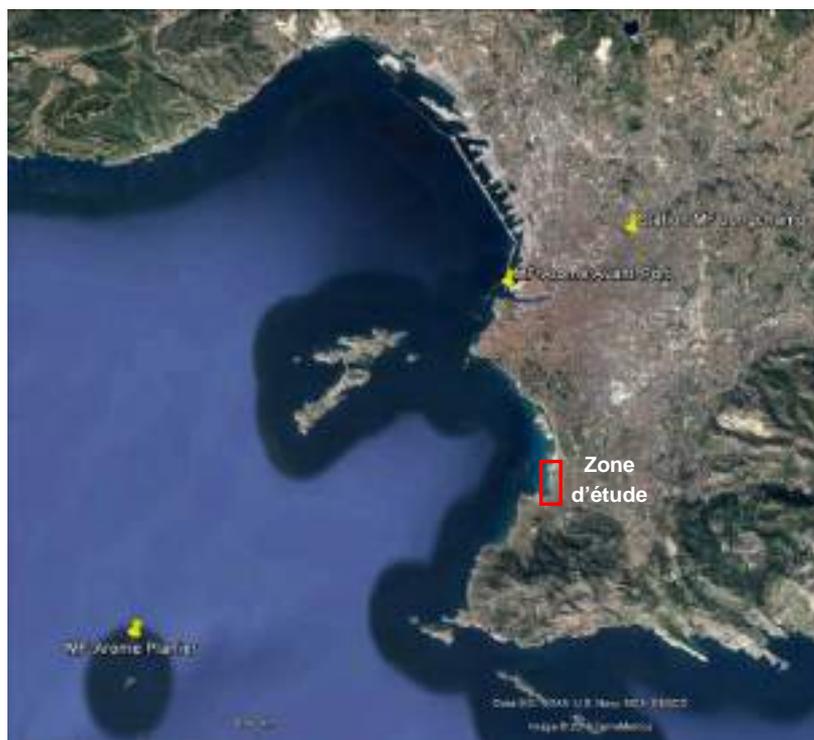


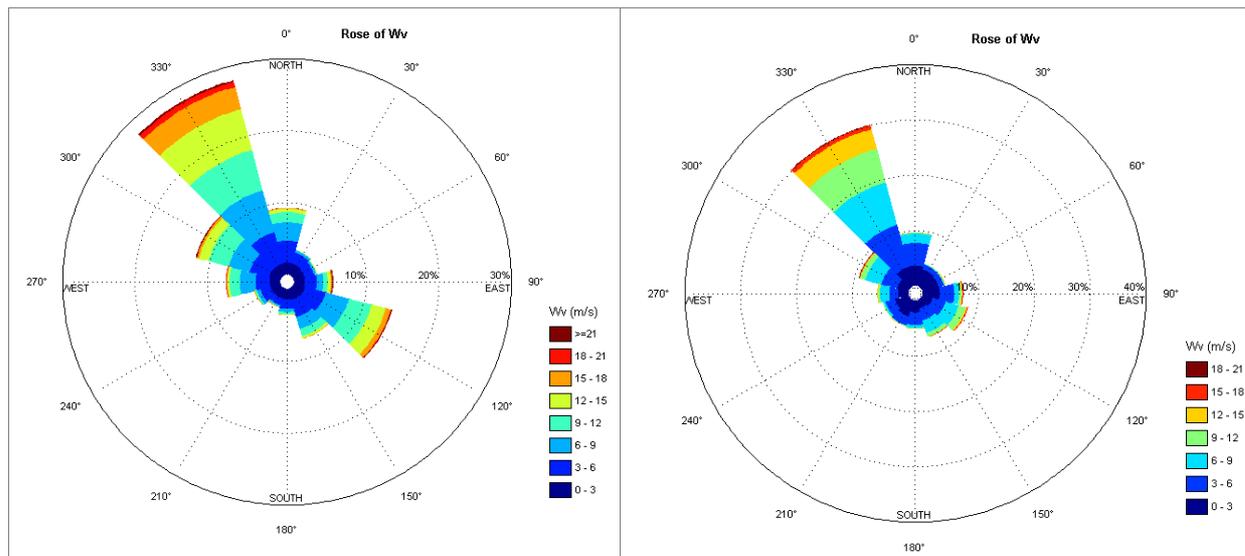
Figure 7 : Localisation des données de vent disponibles

Les tableaux suivants présentent les statistiques de vitesse du vent moyen à 10m (Wv) établies sur la base des données Météo-France sur la période 2009-2012 (4 années) :

Planier WvDirv	[0 - 30[	[30 - 60[	[60 - 90[	[90 - 120[	[120 - 150[	[150 - 180[	[180 - 210[	[210 - 240[	[240 - 270[	[270 - 300[	[300 - 330[	[330 - 360[	CUMUL
[0 - 5[	3,09%	2,84%	2,54%	3,06%	3,59%	2,97%	2,27%	2,36%	2,69%	3,09%	3,91%	4,35%	36,76%
[5 - 10[	1,44%	0,61%	0,75%	3,42%	5,32%	1,52%	0,56%	0,42%	2,14%	3,81%	7,39%	8,58%	35,96%
[10 - 15[	0,09%	0,03%	0,13%	2,53%	2,72%	0,48%	0,20%	0,08%	0,30%	2,06%	6,42%	6,58%	21,61%
[15 - 20[	0,00%	0,00%	0,01%	0,75%	0,21%	0,02%	0,02%	0,00%	0,02%	0,16%	1,77%	2,31%	5,26%
[20 - 25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,17%	0,21%	0,40%
[25 - 30[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
[30 - 35[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>CUMUL</b>	<b>4,62%</b>	<b>3,49%</b>	<b>3,42%</b>	<b>9,77%</b>	<b>11,84%</b>	<b>4,99%</b>	<b>3,05%</b>	<b>2,86%</b>	<b>5,15%</b>	<b>9,11%</b>	<b>19,67%</b>	<b>22,03%</b>	<b>100,00%</b>

Port WvDirv	[0 - 30[	[30 - 60[	[60 - 90[	[90 - 120[	[120 - 150[	[150 - 180[	[180 - 210[	[210 - 240[	[240 - 270[	[270 - 300[	[300 - 330[	[330 - 360[	CUMUL
[0 - 5[	4,75%	3,77%	4,44%	4,51%	3,05%	3,19%	4,39%	4,48%	3,30%	3,13%	5,93%	8,96%	53,91%
[5 - 10[	0,48%	0,23%	0,57%	3,00%	4,06%	2,37%	0,54%	0,25%	1,58%	2,47%	8,91%	10,14%	34,58%
[10 - 15[	0,00%	0,01%	0,09%	0,76%	0,86%	0,18%	0,11%	0,00%	0,05%	0,26%	4,12%	4,15%	10,61%
[15 - 20[	0,00%	0,00%	0,01%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,40%	0,43%	0,89%
[20 - 25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%
[25 - 30[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>CUMUL</b>	<b>5,23%</b>	<b>4,00%</b>	<b>5,11%</b>	<b>8,31%</b>	<b>7,97%</b>	<b>5,75%</b>	<b>5,04%</b>	<b>4,73%</b>	<b>4,93%</b>	<b>5,87%</b>	<b>19,37%</b>	<b>23,68%</b>	<b>100,00%</b>

Tableau 2 : Distribution statistique Wv (m/s) / Dir (°N) au Planier (en haut) et à l'entrée Sud du Port (en bas)



**Figure 8 : Roses des vents établies au Planier (à gauche) et à l'entrée Sud du Port (à droite)**

L'analyse de ces données met en évidence une variabilité spatiale importante de l'exposition au vent, qui reflète l'influence de la topographie locale.

Dans l'objectif d'évaluer les mers du vent générées localement en baie du Prado (de secteur Nord-Ouest), nous retiendrons les données de vent disponibles à l'entrée Sud du Port.

## 1.2 Niveaux d'eau

Comme indiqué en préambule, l'ensemble des cotes altimétriques évoquées dans cette étude sera rapporté au zéro NGF ou zéro du nivellement général français, situé environ 0.33m au-dessus du zéro hydrographique correspondant au niveau des plus basses mers (soit 0mNGF = +0.33mZH).

### 1.2.1 Evolution séculaire du niveau moyen

L'évolution séculaire du niveau moyen est liée d'une part à l'élévation générale moyenne liée au changement climatique, d'autre part à l'élévation locale du niveau relatif de la mer (d'origine locale – p.ex. compaction de sédiments, tectonique - ou régionale - isostasie post-glaciaire).

Cette dernière a été quantifiée par Pirazzoli (2005a,b) à environ +0.12 +/-0.08 cm/an.

Concernant l'élévation générale moyenne liée au changement climatique La circulaire du 27 juillet 2011 relative à la prise en compte du risque de submersion marine dans les plans de prévention des risques naturels littoraux recommande d'intégrer systématiquement une surcote de 20 cm sur le niveau marin de référence. Cette marge qui constitue une première étape vers la prise en compte du changement climatique doit donc d'ores et déjà être prise en compte dans le cadre du dimensionnement des aménagements. La même circulaire retient une augmentation de 60 cm du niveau marin (hypothèse pessimiste de l'ONERC) si l'on souhaite se placer à un horizon 2100.

Depuis cette circulaire, le rapport de la 12ème session du groupe des experts du GIEC (septembre 2013) a réévalué l'évolution du niveau moyen de la mer. D'ici 2100, les scientifiques estiment maintenant que le niveau marin peut augmenter en moyenne de +26 à +98 cm suivant les modèles contre +18 à +59 cm dans le précédent rapport paru en 2007.

Nous retiendrons néanmoins l'hypothèse pessimiste de l'ONERC, soit +60cm à l'horizon 2100.

**Sur la base d'une durée de vie de 30 ans et d'une finalisation du dispositif avant 2020, l'élévation du niveau marin liée au changement climatique autour de 2050 devrait être de +30cm, auxquels seront ajoutés +0.12cm/an liés à l'élévation locale du niveau relatif de la mer.**

### 1.2.2 Marée astronomique

La variation du niveau des eaux liée à la marée astronomique est faible, inférieure à 0.5m (milieu microtidal). La marée est de type semi-diurne avec une légère inégalité diurne.

Le tableau suivant donne les niveaux d'eau caractéristiques établis par le SHOM [D1] :

**Tableau 3 : Niveaux caractéristiques de la marée à Marseille**

Marseille (Corniche)	Niveau (mNGF)	Niveau (mZH)
PHMA (Plus Haute Mer Astronomique)	0.37	0.70
NM (Niveau Moyen)	0.16	0.49
PBMA (Plus Basse Mer Astronomique)	-0.06	0.27

### 1.2.3 Surcotes et décotes

Le niveau d'eau subit des variations plus importantes sous l'effet du vent et des dépressions atmosphériques (marée météorologique). La surcote météorologique est la différence positive entre la marée prédite et la hauteur d'eau observée. Les surcotes sont liées au passage dépressionnaire de la tempête (effet de barométrique inverse, surélévation due au vent - wind setup - et effet dynamique lié à la vitesse de déplacement de la dépression). Enfin, la configuration du littoral joue un rôle important, dans la mesure où les effets dynamiques dus aux vents, aux courants, au déferlement des vagues, sont très dépendants de la morphologie du rivage.

Lors des tempêtes, les deux effets générateurs de surcotes (dépression et vent de mer) coexistent et de ce fait, toute tempête survient avec des niveaux hauts de la mer.

Une étude intitulée « Analyse des surcotes extrêmes le long des côtes métropolitaines » et commandée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie a été réalisée en 2013 par le CETMEF (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales). Celle-ci présente une analyse des surcotes extrêmes sur les principaux ports métropolitains dont le port de Marseille.

Leur échantillon de données de surcotes horaires s'étend sur 13,6 années (1985-2011).

Pour leur analyse des surcotes extrêmes, ils ont travaillé sur deux lois différentes : la loi exponentielle et la loi GPD. D'après le CETMEF, il n'existe pas à ce niveau de critère permettant à dire d'expert de privilégier le choix d'une loi par rapport à l'autre. Les estimations obtenues avec la loi GPD sont plus sécuritaires (borne haute de l'intervalle de confiance plus élevée), le CETMEF a tendance à favoriser cette dernière solution.

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants.

**Tableau 4 : Estimation des surcotes extrêmes de Marseille (CETMEF, 2013)****Loi exponentielle – seuil 30 cm :**

Période de retour Ts (ans)	5	10	20	50	100	1000
Surcote horaire (cm)	78	89	99	113	124	158
Intervalle de confiance à 70%	72 - 85	81 - 96	91 - 108	103 - 124	112 - 135	142 - 174

**Loi GPD – seuil 24 cm :**

Période de retour Ts (ans)	5	10	20	50	100	1000
Surcote horaire (cm)	76	85	93	104	111	134
Intervalle de confiance à 70 %	69 - 83	75 - 94	80 - 106	85 - 122	88 - 134	93 - 175

On constate par exemple que pour une période de retour décennale ( $T_r=10$  ans), les valeurs de surcotes atteignent environ 85 cm.

**Surcote de pleine mer maximale observée sur la période de données :** 89 cm le 28/12/1999.

#### 1.2.4 Niveaux d'eau extrêmes

Les niveaux d'eau extrêmes à Marseille ont été estimés par Pirazzoli (2006) selon la méthode des probabilités jointes (JPM) dans le cadre du projet DISCOBOLE d'après les enregistrements disponibles au marégraphe de Marseille.

Ces niveaux, référencés au niveau moyen en 2000, ainsi que ceux finalement retenus tenant compte des évolutions séculaires à l'horizon 2050 sont reportés dans le tableau suivant.

A noter qu'il est précisé dans le rapport de Pirazzoli qu'un pic marégraphe peut se produire à des moments intermédiaires entre deux heures entières. D'après l'analyse de quelques marégrammes au moment de fortes surcotes, il a été estimé qu'en l'espace d'une demi heure le pic peut difficilement dépasser les mesures horaires de plus de 10% de la surcote maximale enregistrée dans la station considérée. Une surélévation de 9 cm a été retenue pour le marégraphe de Marseille, et est intégrée aux valeurs données ci-dessous.

**Tableau 5 : Niveaux d'eaux extrêmes (en m NGF)**

Période de retour $T_r$	10 ans	50 ans	100 ans
Niveaux d'eau extrêmes d'après Pirazzoli (mNGF) (réf. année 2000)	1.07	1.21	1.26
Niveaux d'eau extrêmes en 2050 (+36cm) (mNGF)	1.43	1.57	1.62

### 1.3 Corrélation Houles et Niveaux d'Eau

Pour définir le niveau d'eau concomitant avec une houle de durée de retour donnée, nous utilisons la méthode du DEFRA, décrite dans le Rock Manuel). Cette méthode prend en compte le degré de corrélation entre la période de retour de la houle et la période de retour des niveaux d'eau.

Cette méthode est mise en œuvre pour définir les événements de durée de retour 100 ans utilisés pour le calcul des carapaces et structures.

Elle prend en compte le degré de corrélation entre les deux variables (période de retour de la houle et période de retour des niveaux d'eau). Selon le Rock Manuel, quatre catégories de corrélation sont définies associées avec un coefficient de corrélation C : « aucune corrélation, C=2 », « faiblement corrélés, C=20 », « corrélés, C=100 » et « fortement corrélés, C=500 ». Néanmoins, ce ne sont que des exemples, il est possible d'utiliser les coefficients C de valeurs comprises entre 1 et 706 (à savoir le nombre de cycles de marée sur une année).

Ces coefficients de corrélation C permettent d'établir une correspondance entre les périodes de retour de la houle et les périodes de retour des niveaux d'eau.

En Méditerranée, on observe une forte dépendance entre les hauteurs de houle extrêmes et le niveau d'eau au repos, soit **C=600 en Méditerranée** pour la durée de retour de 100 ans. Ce coefficient C diminue en principe pour les plus faibles durées de retour ; néanmoins, nous avons de manière sécuritaire conservé le niveau d'eau calculé avec C = 600 pour les autres durées de retour présentées ci-dessous.

Le tableau suivant présente les couples houles/niveaux d'eau pour les 4 périodes de retour 10 ans, 30 ans, 50 ans et 100 ans.

Les niveaux d'eau en pied de ouvrages de protection sont fonction de la marée, des surcotes et de la surélévation anticipée du niveau de la mer (+36 cm en 2050).

Les profondeurs en pied des ouvrages étant relativement faibles (entre -2 et -5m NGF), un écrêtement des houles extrêmes par la profondeur d'eau est possible pour les ouvrages les plus en retrait comme les épis de la plage de l'Huveaune et la protection de l'anse de la vieille Chapelle. Néanmoins, à ce stade, nous considérerons que la hauteur des vagues est le paramètre prépondérant par rapport au niveau d'eau, lequel fluctue peu par ailleurs.

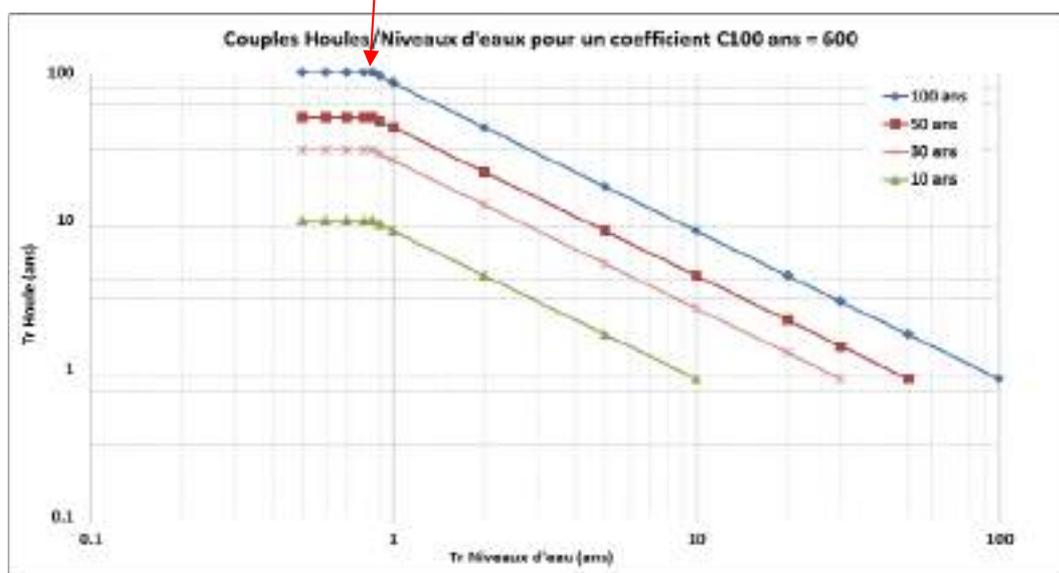
Pour le dimensionnement structurel des ouvrages de protection, nous retiendrons donc le couple houle/niveau d'eau suivant :

- Evènement 100 ans : Houle = Tr 100 ans, Niveau = Tr 0.85 ans (échéance 2050).

↳ **Le niveau d'eau correspondant est évalué à +1.23mNGF** par extrapolation des valeurs données au §1.2.4, et en tenant compte d'une hausse du niveau d'eau de +36 cm à l'horizon 2050.

**Tableau 6 : Couples houles/niveaux d'eau**

Couples pour un coefficient de corrélation C100 ans de 600 - Fortement corrélé				
R (ans)	100 ans	50 ans	30 ans	10 ans
Tr Niveaux (ans)	Tr houle (ans)			
0.5	100.0	50.0	30.0	10.0
0.6	100.0	50.0	30.0	10.0
0.7	100.0	50.0	30.0	10.0
0.8	100.0	50.0	30.0	10.0
0.85	100.0	50.0	30.0	10.0
0.9	94.4	47.2	28.3	9.4
1	85.0	42.5	25.5	8.5
2	42.5	21.2	12.7	4.2
5	17.0	8.5	5.1	1.7
10	8.5	4.2	2.5	0.8
20	4.2	2.1	1.3	
30	2.8	1.4	0.8	
50	1.7	0.8		
100	0.8			



**Exemple en rouge : le tableau ci-avant se lit de la manière suivante :**

**Une houle de  $Tr=100$  ans associée avec un niveau d'eau de  $Tr=0.85$  ans représente un évènement de période de retour globale 100 ans.**

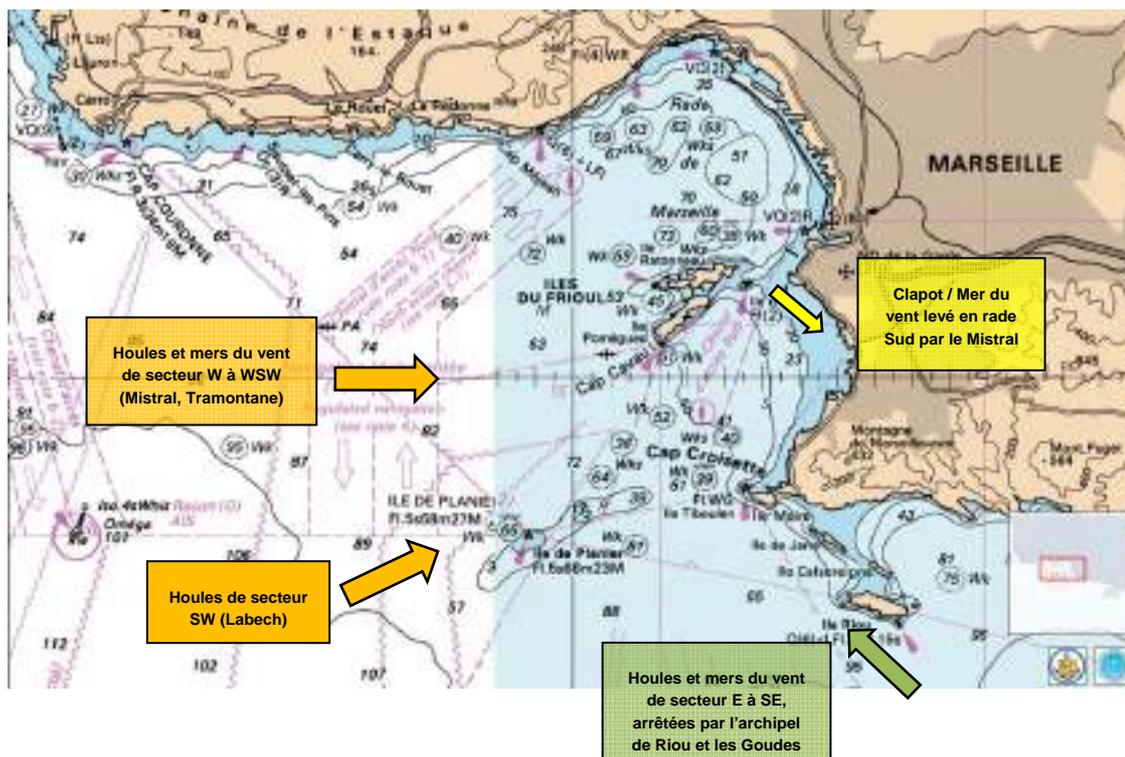
## 1.4 Houles et mers du vent

### 1.4.1 Exposition de la zone d'étude

Comme illustré sur la figure suivante, le littoral de la zone d'étude est en partie protégé par l'archipel du Frioul au Nord-Ouest, par les hauts fonds du Planier à l'Ouest et par les Goudes et l'île Maire au Sud. Il est orienté globalement Nord-Sud et est principalement exposé aux houles et mers du vent de secteur Ouest à Sud-Ouest, ainsi qu'aux clapots de Nord-Ouest levés entre le Frioul et les plages du Prado par temps de Mistral.

Par rapport aux principales conditions météorologiques :

- Les tempêtes de Mistral génèrent des houles de Nord-Ouest au large qui réfractent et diffractent autour du Frioul et qui arrivent quasiment Ouest devant les ouvrages. Ce même Mistral génère localement des clapots (entre Frioul et les plages) qui arrivent Nord-Ouest.
- Les tempêtes de secteur Est à Sud-Est n'arrivent pas sur le site qui est protégée par les Goudes et l'île Maire.
- Les houles et mers du vent de secteur Ouest à Sud-Ouest, plus rares, sont contrariées par les hauts-fonds du Planier qui peuvent atténuer ou concentrer l'énergie dans la rade.





#### 1.4.2 Etats de mer au large

##### Reconstitution historique des états de mer par modélisation

Nous avons exploité une série chronologique d'états de mer de 1992 à 2012 (21 ans), localisée au nord immédiat de l'île du Planier par -70m de fond, issue d'un modèle numérique de résolution spatiale finale 400m [D11]. Les vents utilisés en forçage météorologique du modèle de houle sont issus de modèles à haute résolution de Météo-France (maille de 2.5 à 10 km) permettant de rendre compte d'effets locaux de la topographie.



**Figure 9 : Localisation des données d'état de mer au large de la zone d'étude**

La reconstitution des conditions d'états de mer au large, a été réalisée à l'aide d'un modèle de vague de 3<sup>ème</sup> génération (WaveWatch III) dans lequel les mesures satellitales d'états de mer disponibles sur la zone de génération ont été assimilées, pour l'ensemble des années (1992-2012). Ce processus d'assimilation, qui opère un couplage entre la modélisation et la mesure des états de mer, apporte une grande confiance dans la qualité de la base de données ainsi élaborée.

Dans une deuxième phase, la propagation des états de mer reconstitués a été réalisée jusqu'au point d'étude, à l'aide du logiciel de propagation SWAN, qui est également un modèle de 3<sup>ème</sup> génération, mais spécifique des influences côtières.

La modélisation des états de mer a été effectuée à partir de deux sources différentes de champs de vents :

- Modélisation à partir des vents NCEP CFSR disponibles sur la période 1992 – 2012 avec une maille géographique de l'ordre de 50km et au pas de 6 heures
- Modélisation à partir des vents Météo-France (Arpege / Aladin / Arome) disponibles sur la période 2009 – 2012 de mailles géographique (de 2.5 à 10 km) et temporelle (1heure) plus fines et rendant mieux compte des effets locaux.

La base de données issue de la modélisation des états de mer à partir des vents plus fins (période 2009 – 2012) a été utilisée pour établir les statistiques usuelles, et affiner les états de mer extrêmes extrapolés au point étudié

Finalement, les mesures in-situ effectuées sur la période 2011 – 2013 par la bouée du Planier (CETMEF) ont été utilisées à des fins de validation. Cette bouée est positionnée au même point, par 70 mètres de profondeur.

### **Statistiques du climat opérationnel des houles au large**

Les tableaux suivants présentent les statistiques des états de mer globaux au large (-70m) établies sur la base des données modélisées à partir des vents Météo-France sur la période 2009-2012 (4 années).



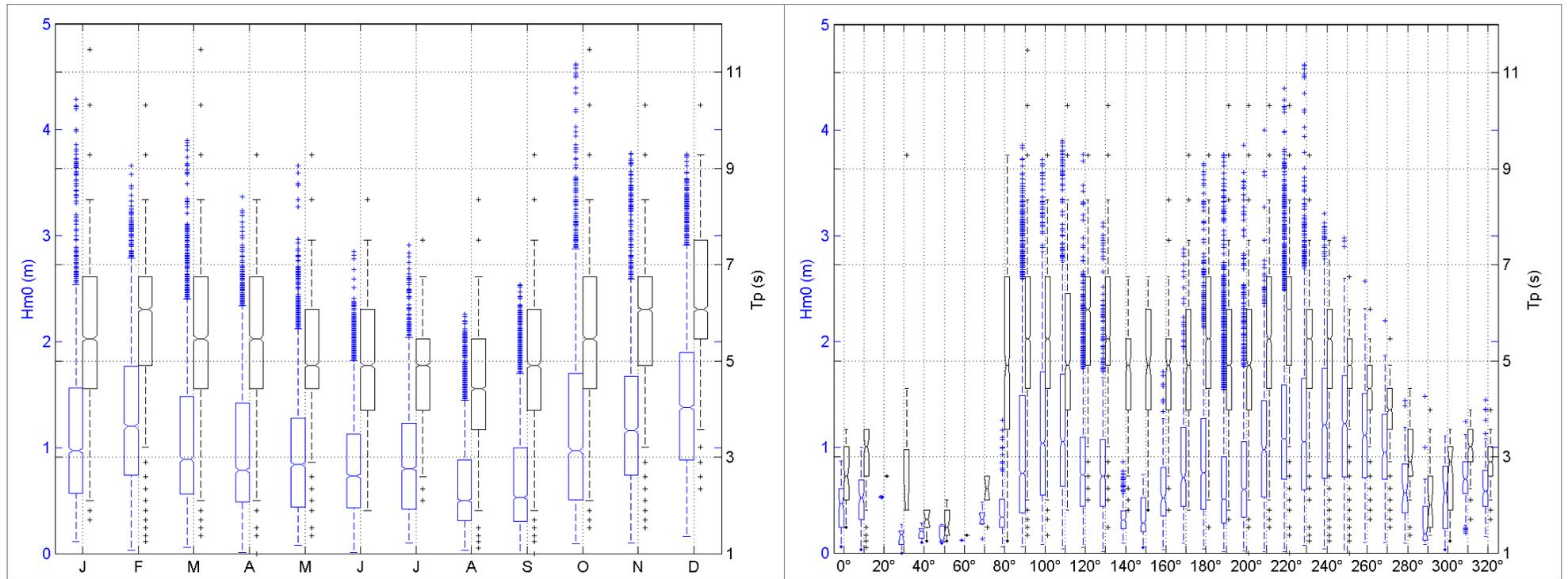


Figure 12 : Représentation sous forme de boxplots des distributions mensuelle et directionnelle de Hm0 (m) et Tp (s) (Planier)

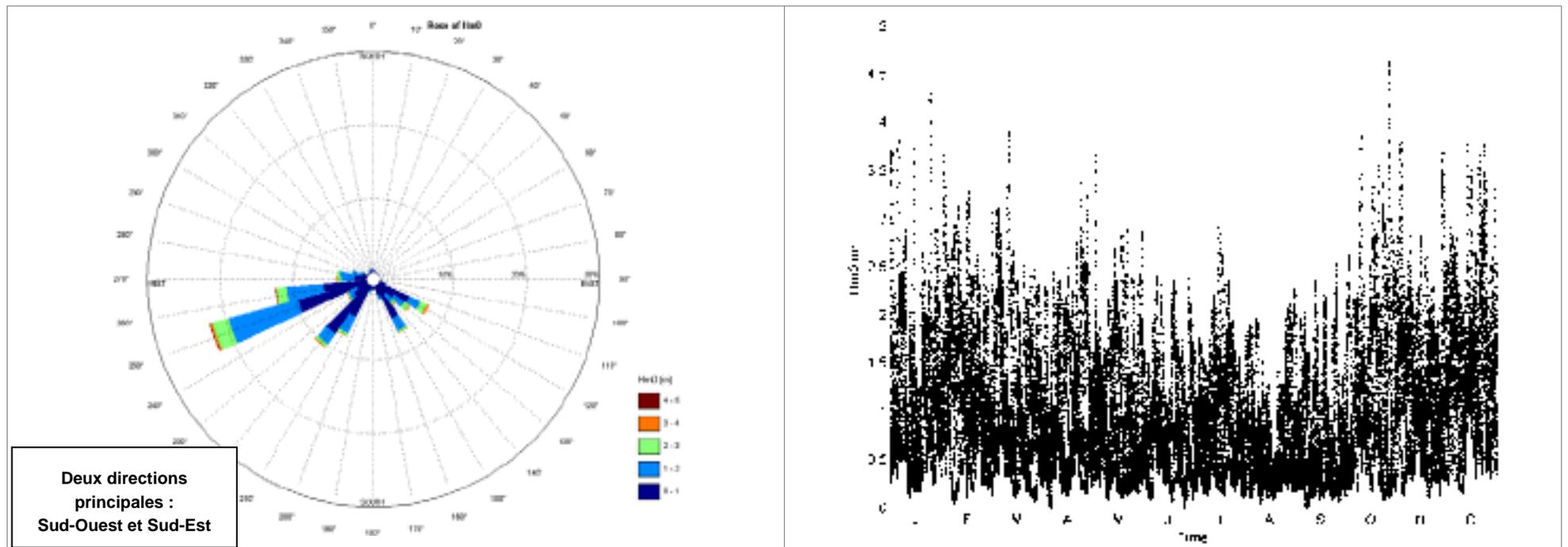


Figure 13 : Rose des houles et tri mensuel de la série chronologique du 01/01/2009 au 31/12/2012 – Houles globales au large (Planier)

D'après les tableaux ci-avant, on constate pour les états de mer globaux que :

- Les houles les plus fortes au large de Marseille proviennent des deux secteurs principaux suivants :
  - les houles en provenance du secteur WSW N220°-N270°,
  - les houles en provenance du secteur SSE N120°-N160°.
- Sur la période 2009-2012, les houles les plus fortes ont atteint :
  - environ  $H_{m0} = 4.5$  m pour le secteur Sud-Ouest compris entre N250° et N270°, avec des périodes de pic de l'ordre de 9 à 11 s ;
  - environ  $H_{m0} = 4.0$  m pour le secteur Sud-Est compris entre N120° et N160°, avec des périodes de pic de l'ordre de 9 à 12 s.

On a vu précédemment que les états de mer en provenance du Sud-Est n'atteignent pas la zone d'étude, protégée par les Goudes et l'île Maire.

**Ainsi, les houles au large les plus dommageables et qui seront considérées dans le cadre des calculs de dimensionnement sont les houles de secteur N220°- N270°.**

### Statistiques des houles extrêmes

Le tableau suivant présente les statistiques des houles extrêmes au large au niveau du Planier pour les secteurs directionnels N220° à N250° et N250° à N280°:

Période de retour Tr	Point au large – Planier (01/1992 à 12/2012) Hm0 Global N220° - N250°				
	Hm0 (m)			Tp associée (s)	
	Inf.*	Mode	Sup.*	Min	Max
1 an	3,3	3,5	3,7	9	11
10 ans	4,3	4,7	5,2	10	12
30 ans	4,6	5,1	5,7	10	12
50 ans	5,0	5,5	6,2	11	13
100 ans	5,3	5,9	6,6	12	13

\* borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90 %

\*\* borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90 %

**Tableau 7 : Statistiques des houles extrêmes au large – Secteur N220°-N250°**

Période de retour Tr	Point au large – Planier (01/1992 à 12/2012) Hm0 Global N250° - N280°				
	Hm0 (m)			Tp associée (s)	
	Inf.*	Mode	Sup.*	Min	Max
1 an	3,1	3,2	3,3	8	10
10 ans	3,9	4,1	4,5	8	10
30 ans	4,1	4,4	4,8	9	11
50 ans	4,5	4,8	5,3	10	12
100 ans	4,7	5,1	5,6	10	12

\* borne inférieure de l'intervalle de confiance à 90 %

\*\* borne supérieure de l'intervalle de confiance à 90 %

**Tableau 8 : Statistiques des houles primaires extrêmes au large – Secteur N180°-N210°**

### 1.4.3 Houles / mers du vent à la côte

#### Mers du vent / Clapot généré en baie du Prado

Les clapots / mers du vent levés en baie du Prado par les vents de secteur Nord-Ouest ont été évalués selon la méthode SMB 1973 (Sverdrup-Munk-Bretschneider), appliquée aux données de vent disponibles à l'entrée Sud du Port (4 années).

Des fetchs, distance sur laquelle agit le vent ont été définis pour plusieurs secteurs directionnels, reportés sur la figure ci-dessous, en considérant que les mers du vent levées en rade Nord ne traversent quasiment pas la passe située entre Endoume et le Frioul.

Les tableaux suivants présentent les statistiques relatives aux hauteurs et périodes des mers du vent ainsi calculées.



Figure 14: Fetchs considérés pour la génération des mers du vent de secteur Nord-Ouest

MDV Hs\Dir	[290 - 300[	[300 - 310[	[310 - 320[	[320 - 330[	[330 - 340[	CUMUL
[0 - 0,25[	1,20%	1,65%	2,85%	3,72%	6,07%	15,50%
[0,25 - 0,5[	0,73%	1,37%	2,77%	4,52%	4,95%	14,34%
[0,5 - 0,75[	0,10%	0,15%	0,37%	1,87%	1,10%	3,58%
[0,75 - 1[	0,01%	0,02%	0,03%	0,04%	0,01%	0,10%
[1 - 1,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>CUMUL</b>	<b>2,04%</b>	<b>3,19%</b>	<b>6,01%</b>	<b>10,16%</b>	<b>12,12%</b>	<b>33,53%</b>

	[0 - 1[	[1 - 2[	[2 - 3[	[3 - 4[	[4 - 5[	CUMUL
[0 - 0,25[	69,37%	12,61%	0,00%	0,00%	0,00%	81,97%
[0,25 - 0,5[	0,00%	2,49%	11,86%	0,00%	0,00%	14,34%
[0,5 - 0,75[	0,00%	0,00%	3,44%	0,14%	0,00%	3,58%
[0,75 - 1[	0,00%	0,00%	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%
[1 - 1,25[	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
<b>CUMUL</b>	<b>69,37%</b>	<b>15,09%</b>	<b>15,30%</b>	<b>0,24%</b>	<b>0,00%</b>	<b>100,00%</b>

Figure 15: Distribution statistique Hs(m) / Dir (°N) et Hs / Tp (s) – Clapots levés localement

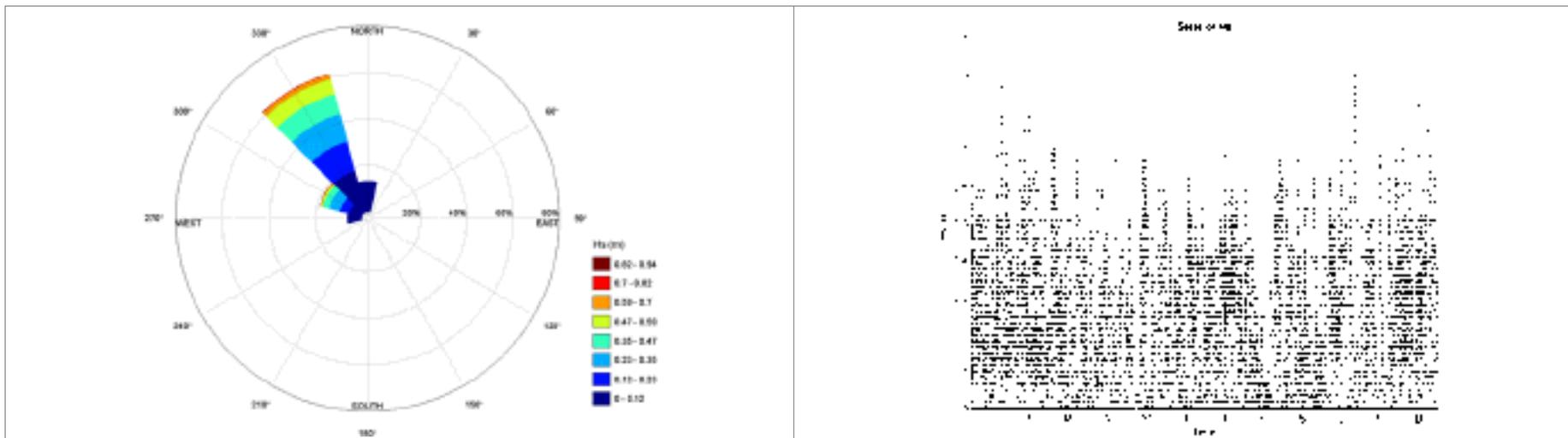


Figure 16: Rose des mers du vent locales et tri mensuel de la série chronologique du 01/01/2009 au 31/12/2012

D'après les tableaux ci-avant, on constate pour les mers du vent levées en baie du Prado que :

- Les clapots les plus forts sur la zone d'étude proviennent a priori principalement du secteur N310°-N330° ;
- Sur la période 2009-2012, les clapots les plus forts ont atteint environ  $H_s = 1$  m, associé à une période de pic de l'ordre de 3 à 4 s.

### Transfert des houles du large (secteur Ouest / Sud-Ouest)

Les états de mer du large définis pour les tempêtes de périodes de retour 1 an et 100 ans définies précédemment ont été propagés jusqu'au droit de la zone d'étude selon la méthodologie présentée ci-après.

Par ailleurs, deux cas de calcul complémentaires ont été menés afin de préciser la sensibilité des résultats à la hauteur de houle du large, ainsi qu'au niveau d'eau.

Enfin, la houle correspondant à la tempête Zeus, survenue dans la nuit du 6 au 7 mars 2017 a également été simulée (un compte-rendu descriptif de l'évènement est donné en Annexe 2).

Les résultats sont donnés sous la forme de plans de vagues présentant de manière synthétique les hauteurs et direction de la houle sur la zone d'étude, ainsi que des vues 2D synthétiques de la surface libre (cf. Annexe 3).

Par ailleurs, les hauteurs de houle au droit de chaque zone Nord (Huveaune / Borely), Centre (Bonneveine / Vieille Chapelle), et Sud (Vieille Chapelle / Pointe Rouge) obtenues dans les fonds de -10mNGF environ sont reportées dans le tableau suivant. Ces zones, situées à environ 500m de la côte, sont localisées au moyen des 3 points figurant sur la figure ci-après :



**Figure 17 : Localisation des zones d'analyse de la houle à la côte (-10mNGF)**

## Déformation de la houle

Avant d'arriver au rivage, les vagues se déforment sous les effets de la réfraction, de la diffraction et du shoaling, elles changent de direction pour s'orienter de manière parallèle aux isobathes et voient leur amplitude s'accroître ou diminuer en fonction des évolutions bathymétriques du site.

Les hauteurs maximales des vagues au rivage sont limitées par le déferlement sur les fonds de faible profondeur. Le niveau d'eau joue de ce fait un rôle important dans la hauteur maximale des vagues au déferlement.

L'ensemble de ces phénomènes sont pris en compte et reproduits par le modèle de plans de vagues MOPLA du logiciel SMC. Ce logiciel de modélisation aux différences finies permet d'obtenir une représentation globale du transfert des houles du large à la côte, et de mettre en évidence des zones d'accumulation d'énergie, ou au contraire des zones naturellement protégées.

## Présentation du logiciel SMC-MOPLA

Le logiciel SMC-MOPLA, en appui à l'expertise de cette étude, fait partie de la suite logicielle **SMC** (Système de Modélisation Côtière) développé par l'université de Cantabrie (Espagne) dans le cadre du projet de recherche : "Modèle d'Aide à la Gestion du Littoral" développé par le Ministère de l'Environnement Espagnol.

Cette suite logicielle permet, à partir d'un ensemble de documents et d'outils numériques, d'analyser, de façon simple et structurée la stabilité, la fonctionnalité de plages existantes, mais aussi de dimensionner des aménagements, concevoir des rechargements artificiels, et évaluer l'impact d'ouvrages sur les plages adjacentes (évolution de la position du trait de côte, etc.).

Le modèle numérique MOPLA utilisé calcule la propagation des états de mer (houle aléatoire multidirectionnelle) entre le large et la plage en prenant en compte les phénomènes locaux de réfraction/diffraction sur les fonds et les ouvrages littoraux mais aussi les phénomènes de shoaling et déferlement des vagues. Ainsi MOPLA permet de connaître les zones de concentrations et de dissipations d'énergie et calcule la hauteur de houle à la côte.

A partir des données de houle transférées du large au rivage, ce modèle permet également de calculer les courants induits en zone de déferlement qui sont le moteur principal des évolutions des plages et des petits fonds marins, et peut finalement en déduire les mouvements sédimentaires potentiels à court terme (événements de durée inférieure à 72h).

## Bathymétrie, emprise et maillage du modèle mis en œuvre

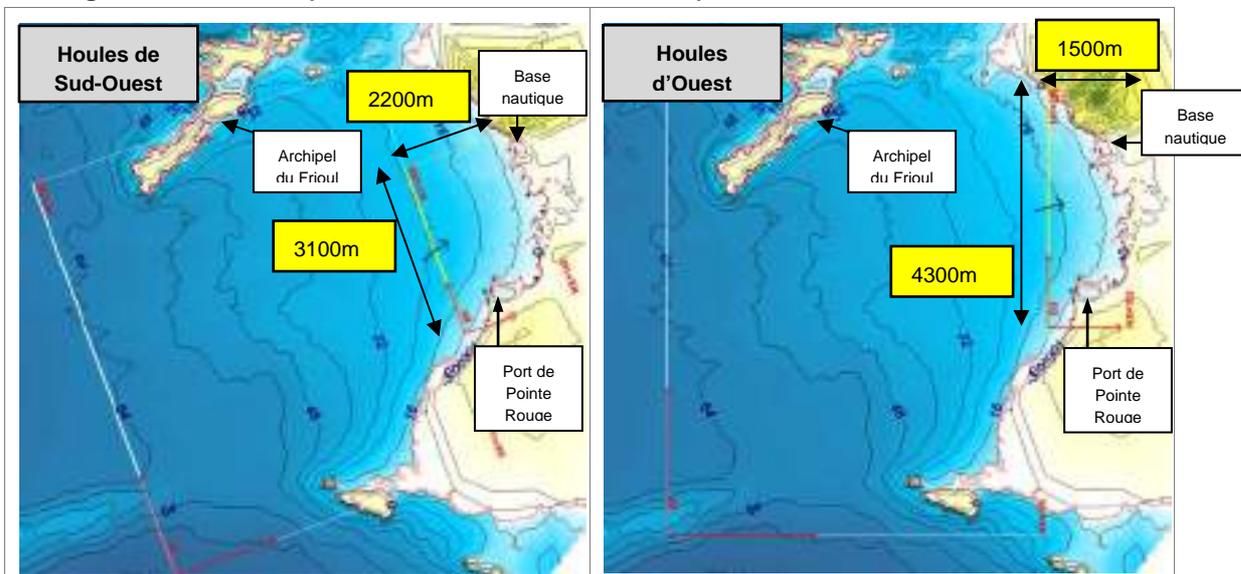
Un emboîtement de maillages a été réalisé pour optimiser les temps de calcul. L'emprise du modèle de détail est centrée sur la zone de projet. Deux emboîtements sont mis en œuvre, orientés selon la direction principale de la houle, et étendus en mer de manière à propager les états de mer depuis le point situé au large (Planier) dont nous avons analysé les statistiques disponibles.

Chaque maillage de détail permet de restituer les résultats sur un linéaire côtier s'étendant jusqu'à la base nautique du Roucas au Nord, et au port de Pointe Rouge au Sud, et s'éloigne de plus de 1.5km en mer.

La bathymétrie de chaque grille de modèle est interpolée sur le MNT présenté plus loin, au paragraphe 4.3.2 selon une grille rectilinéaire de taille de maille environ égale à 15 m sur la zone de projet. Ce maillage permet de représenter au mieux les phénomènes physiques de shoaling, de déferlement et de réfraction par les fonds.

Les figures ci-après présentent la bathymétrie et les emprises des modèles mis en œuvre.

**Figure 18 : Bathymétrie, emprises et maillages des modèles numériques mis en œuvre en configuration actuelle (houles de Sud-Ouest et Ouest)**



### Cas de calcul

Le tableau suivant présente les cas de calcul simulés.

Le niveau d'eau retenu pour les cas de tempêtes annuelles correspond à un niveau d'eau de période de retour environ mensuelle corrigé de la surélévation locale du niveau d'eau donnée par Pirazzoli (2005a,b). Le niveau d'eau retenu pour les événements extrêmes correspond au niveau de période de retour 0.85 ans défini à l'horizon 2050 au §1.3.

A noter que les valeurs de hauteur de houle issues de la base de données sont exprimées en Hm0 qui est une hauteur de houle spectrale. Au large, comme c'est le cas ici, il peut être considéré Hm0 = Hs. C'est cette valeur qui est imposée dans le modèle hydrodynamique.

**Tableau 9 : Cas de calculs pour le transfert des états de mer du large à la côte**

Etats de mer au large de la zone de projet						
N° cas	Objectif	Période de retour	Direction	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)
1	Conditions usuelles fortes / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70
2			N265°	3,20	9,0	
3	Conditions extrêmes / Appréhension du dimensionnement des ouvrages	100 ans	N235°	5,90	12,5	1,23
4			N265°	5,10	11,0	
5	Analyse de sensibilité à la hauteur de houle	100 ans	N235°	<b>6,60</b>	12,5	1,23
6	Analyse de sensibilité au niveau d'eau		N235°	5,90	12,5	<b>0,37</b>
7	Tempête Zeus (06/03/2017)	20 ans	N260°	4,40	9,1	0,35

## Conditions aux limites

Les conditions aux limites sont définies sur la frontière maritime par la définition des états de mer présentés dans le tableau ci-dessus.

Chacun des états de mer est modélisé à l'aide d'une représentation théorique de la distribution fréquentielle de l'énergie selon un spectre de type Jonswap/TMA ( $\gamma=3.3$ ).

## Analyse des résultats du modèle

Les résultats sont donnés sous la forme de plans de vagues présentant de manière synthétique les hauteurs et directions moyennes de la houle sur la zone d'étude, ainsi que des vues 2D synthétiques de la surface libre (cf. Annexe 3). Ces cartes mettent notamment en évidence les zones de concentration de l'énergie de la houle sur la zone de projet.

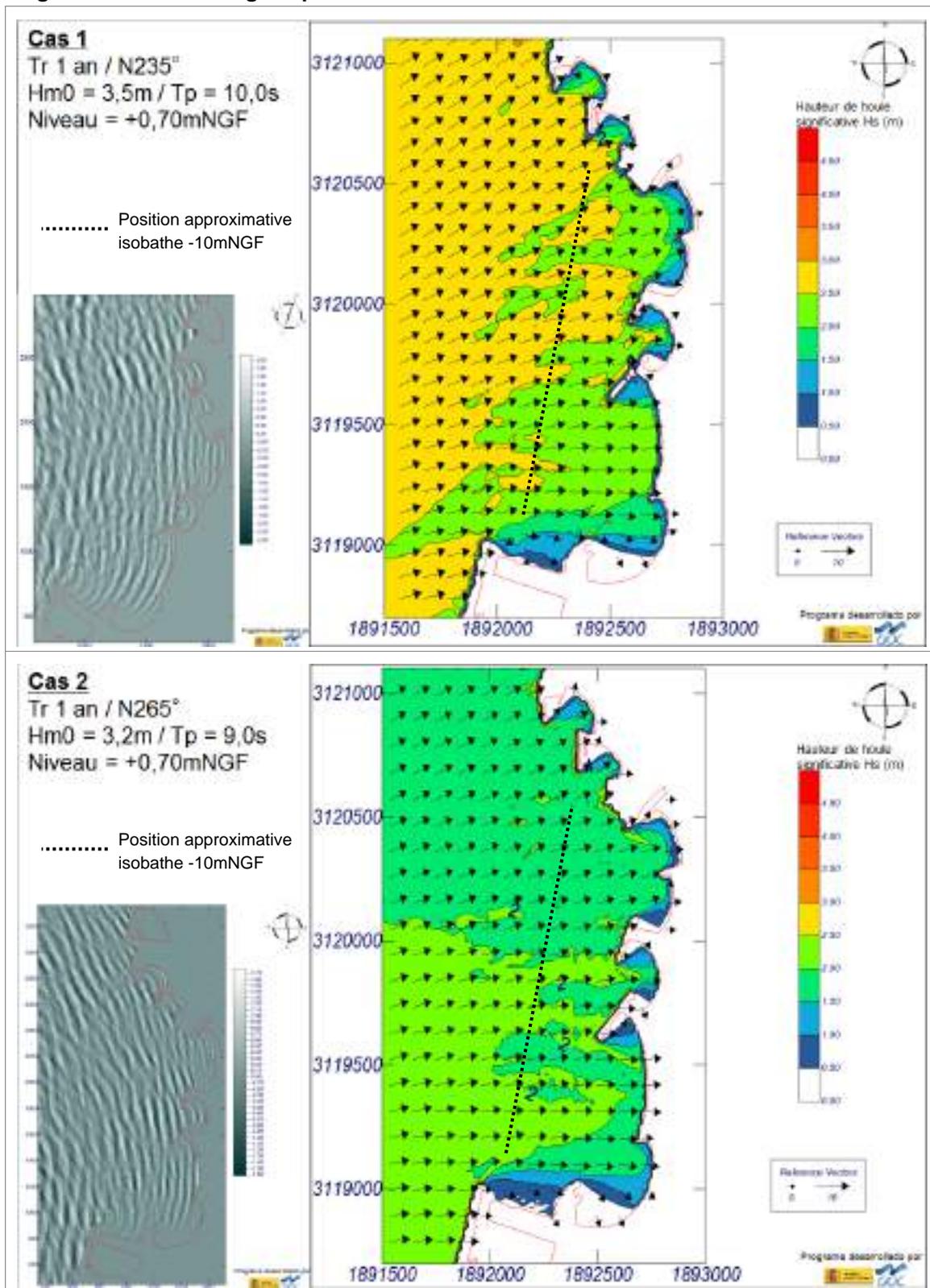
A l'approche du rivage, la houle incidente est réfractée par les fonds marins. Lorsque la houle arrive près des côtes, les crêtes des vagues tendent à s'aligner avec les lignes iso-bathymétriques et tournent de manière à atteindre la côte avec un angle de plus en plus proche de la normale à celle-ci. Ce phénomène est visible sur tout le littoral étudié, en particulier à l'approche de la plage de la Pointe Rouge où la houle s'oriente plus nettement vers le Sud-Est, tandis qu'elle s'oriente plutôt au Nord-Est au niveau des plages du Roucas (cf. figures suivantes et en Annexe 3), et est amplifié pour les houles de plus grande période.

Néanmoins, les fonds remontant lentement sur la zone, la direction des houles à la côte est peu dépendante de la période de houle et varie donc peu parmi les cas simulés. Les houles atteignent le rivage avec un angle sensiblement frontal en tous points du littoral étudié.

L'effet de la réfraction est néanmoins visible sur les zones de concentration/expansion d'énergie, induisant une légère variabilité dans les hauteurs de houle au droit des différents ouvrages de protection. La bathymétrie est cependant relativement régulière le long de la zone de projet, avec des isobathes relativement parallèles au rivage ; la hauteur de houle le long de la zone étudiée est de fait plus dépendante de la direction de provenance au large, comme le montrent le tableau et les éléments graphiques qui suivent.

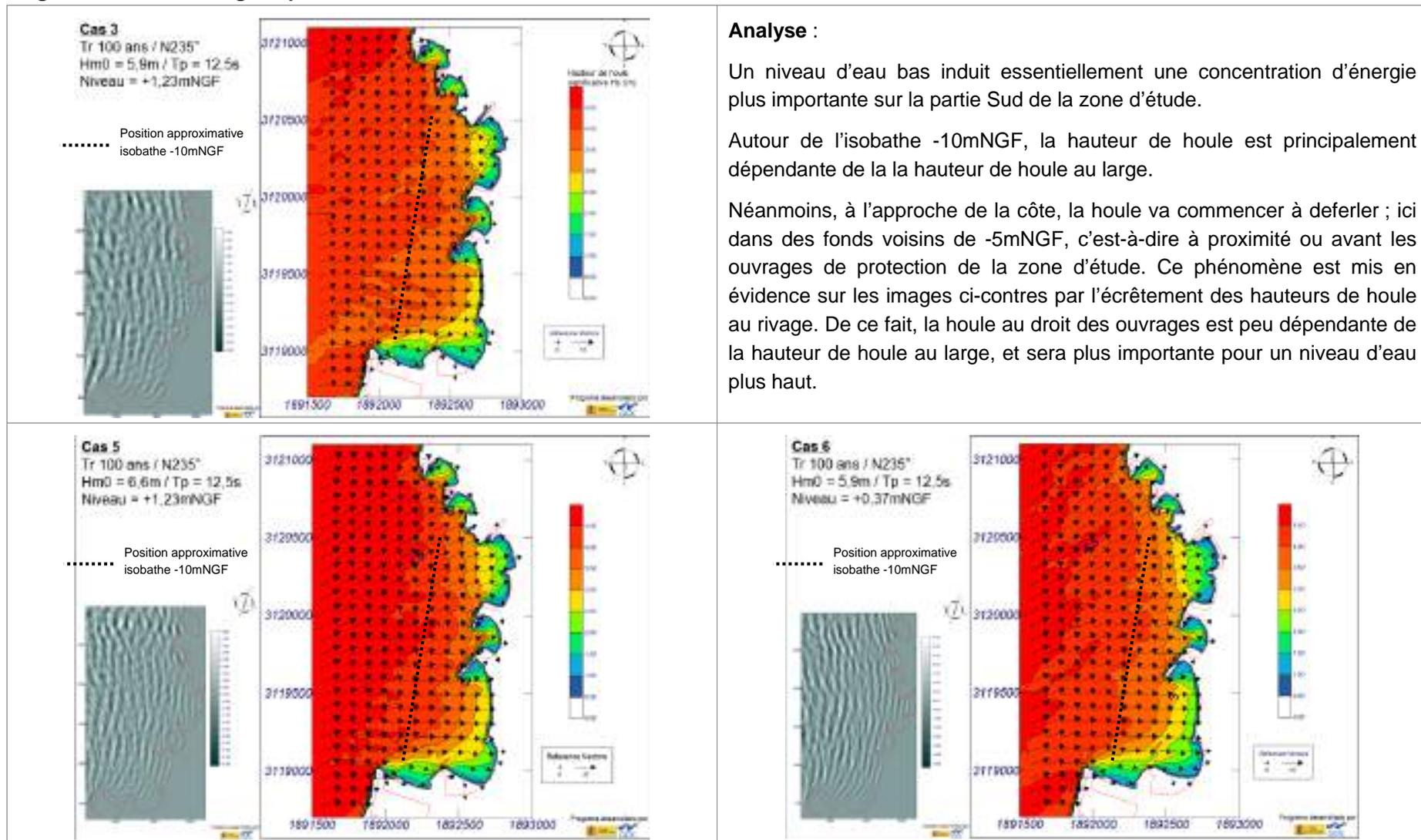
Les figures ci-après présentent la propagation sur l'emprise locale du modèle.

Figure 19: Plans de vagues pour une houle annuelle de secteur Sud-Ouest et Ouest



**Analyse** : les secteurs Nord sont plus exposés en cas de houle de secteur Sud-Ouest, tandis que les secteurs Sud sont plus exposés en cas de houle de secteur Ouest. La direction moyenne de la houle à la côte est néanmoins sensiblement la même dans les deux cas.

Figure 20: Plans de vagues pour une houle centennale de secteur Sud-Ouest

**Analyse :**

Un niveau d'eau bas induit essentiellement une concentration d'énergie plus importante sur la partie Sud de la zone d'étude.

Autour de l'isobathe -10mNGF, la hauteur de houle est principalement dépendante de la la hauteur de houle au large.

Néanmoins, à l'approche de la côte, la houle va commencer à deflerler ; ici dans des fonds voisins de -5mNGF, c'est-à-dire à proximité ou avant les ouvrages de protection de la zone d'étude. Ce phénomène est mis en évidence sur les images ci-contre par l'écrêtement des hauteurs de houle au rivage. De ce fait, la houle au droit des ouvrages est peu dépendante de la hauteur de houle au large, et sera plus importante pour un niveau d'eau plus haut.

## Houles extrêmes au droit des ouvrages

Le tableau suivant présente les hauteurs significatives obtenues en chacune des 3 zones d'analyse, au niveau de l'isobathe -10mNGF.

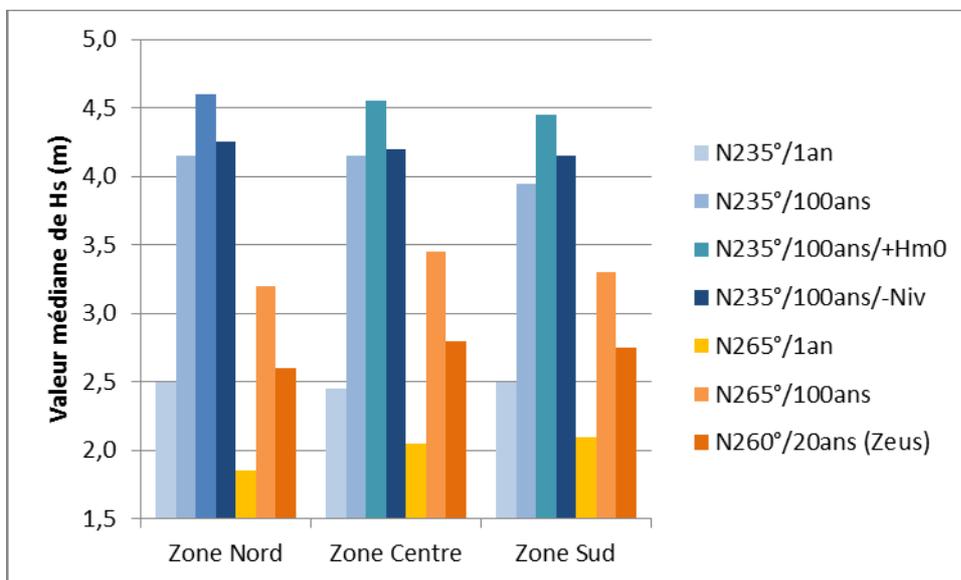
Ces résultats illustrent la variabilité spatiale des conditions d'exposition des ouvrages le long du linéaire étudié, ainsi que l'influence de la direction au large, et du niveau d'eau, sur la hauteur de houle au droit des ouvrages.

**Note :** les hauteurs de houle données ci-dessous ne correspondent pas aux valeurs de dimensionnement finales adoptées pour le ouvrages de protection. Certains se situent en effet en zone de déferlement, et sont de fait exposés à des houles de hauteurs plus faibles, limitées par les fonds (environ 0.8 fois la hauteur d'eau disponible).

**Tableau 10 : Résultats des houles au droit de la zone d'étude**

Etats de mer au large de la zone de projet						Hs (m) au droit des ouvrages (-10mNGF)								
N° cas	Période de retour	Dir.	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)	Valeur médiane			Min			Max		
						Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud	Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud	Zone Nord	Zone Centre	Zone Sud
1	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70	2,5	2,5	2,5	2,4	2,3	2,4	2,6	2,6	2,6
2		N265°	3,20	9,0		1,9	2,1	2,1	1,7	1,9	2,0	2,0	2,2	2,2	2,2
3	100 ans	N235°	5,90	12,5	1,23	4,2	4,2	4,0	4,0	3,8	3,7	4,3	4,5	4,2
4		N265°	5,10	11,0		3,2	3,5	3,3	3,0	3,2	3,1	3,4	3,7	3,5
5	100 ans	N235°	<b>6,60</b>	12,5	1,23	4,6	4,6	4,5	4,4	4,2	4,3	4,8	4,9	4,6
6		N235°	5,90	12,5	<b>0,37</b>	4,3	4,2	4,2	4,1	3,9	4,0	4,4	4,5	4,3
7	20 ans	N260°	4,40	9,1	0,35	2,6	2,8	2,8	2,4	2,6	2,6	2,8	3,0	2,9

Les valeurs médianes de Hs calculées sur chacune des zones sont reportées sur le graphe ci-dessous.



L'ensemble de la zone d'étude est plus fortement exposé aux conditions de secteur Sud-Ouest, plus fortes au large que celles de secteur Ouest (à période de retour identique).

Par ailleurs, bien que la variabilité d'exposition aux houles de secteurs Ouest et Sud-Ouest soit relativement faible d'un bout à l'autre de la zone d'étude, on peut dégager les tendances suivantes :

- en conditions de secteur Ouest, la zone centrale est légèrement plus exposée que les secteurs Nord et Sud ; la zone Nord étant la moins exposée ;
- en conditions de secteur Sud-Ouest, l'exposition est globalement décroissante du Nord au Sud.

L'influence du niveau d'eau sur l'exposition à la houle est plus particulièrement ressentie au niveau de la zone Sud (un niveau bas permet à la houle d'être plus réfractée et d'atteindre plus facilement cette zone, autrement protégée partiellement par la digue du port de Pointe Rouge). Cette influence reste néanmoins relativement faible.

Enfin, ces résultats montrent que les états de mer de secteur Sud-Ouest à Ouest sont dimensionnant par rapport aux mers du vent susceptibles d'être levées en baie du Prado, ces dernières étant essentiellement préjudiciables du point de vue du confort et de la sécurité des baigneurs.

## 2 Courants – Aspects généraux

### 2.1 Aspects généraux

Les courants le long d'une côte sont en général de quatre types :

- les courants généraux,
- les courants de marée,
- les courants de dérive dus au vent,
- les courants générés par la houle.

Les courants de marée sont faibles à inexistant sur la zone en raison du faible marnage, et les courants généraux, pouvant exister au large et en profondeur, n'affectent pas ces secteurs côtiers.

Les courants sur la zone d'étude résultent essentiellement de l'action du vent et de la houle.

Le vent va en effet induire une dérive en surface dont les vitesses peuvent être estimées à 1% à 3% de celle du vent lorsqu'il est établi. Ces courants portent environ à 45° à droite de la direction vers laquelle souffle le vent ; ils sont importants en surface et décroissent rapidement avec la profondeur.

La houle, en déferlant à l'approche de la côte, va quant à elle induire une dérive le long du littoral. L'arrivée oblique d'un train de vagues sur une côte génère ainsi par compensation un courant longitudinal (courant littoral). Les courants de retour (courant sagittaux), sensiblement perpendiculaires à la côte renvoient quant à eux les eaux vers le large et sont concentrés dans des zones étroites et régulièrement espacées. Par ailleurs, au cours de sa propagation, la houle génère des courants orbitaux sur le fonds, dépendant de la hauteur d'eau, de la hauteur de la houle et de sa période ; ces courants oscillant participant à la mobilisation des sédiments (et posidonies mortes) sur le fond qui sont ensuite transportés par le courant ambiant.

Bien que l'influence des houles reste limitée aux fonds inférieurs à environ 2.5 fois la hauteur significative de la houle du large, soit rarement dans des fonds supérieurs à -7m à -10m sur la zone, les courants de houle peuvent être significatifs et sont généralement le principal moteur du transport sédimentaire le long du littoral.

Les courants liés à la houle, particulièrement sensibles à la géométrie du littoral, sont étudiés et décrits de manière plus approfondie au paragraphe 2.2.

### 2.2 Description de la courantologie générale en Rade de Marseille

Dans la rade de Marseille, les très faibles marnages n'entraînent pas de courants de marée influençant la circulation générale des eaux. La situation du golfe de Marseille, en retrait de la ligne générale du littoral provençal, le place à l'écart de la circulation générale des masses d'eau de la Méditerranée occidentale. En particulier, il ne subit pas directement l'action du courant liguro-provençal dont la limite d'extension est située au large. Cependant, l'influence indirecte de ce courant dans le golfe de Marseille n'est pas nulle puisqu'il peut induire un contre-courant (dit de la Nerthe) contribuant, avec les vents dominants, à l'établissement de circulations locales.

Suivant la direction et l'intensité des vents, on distingue trois types de situation correspondant respectivement aux régimes de beau temps, de Nord Nord-Ouest (vent de Mistral) et d'Est Sud-Est.

### Régime de beau temps

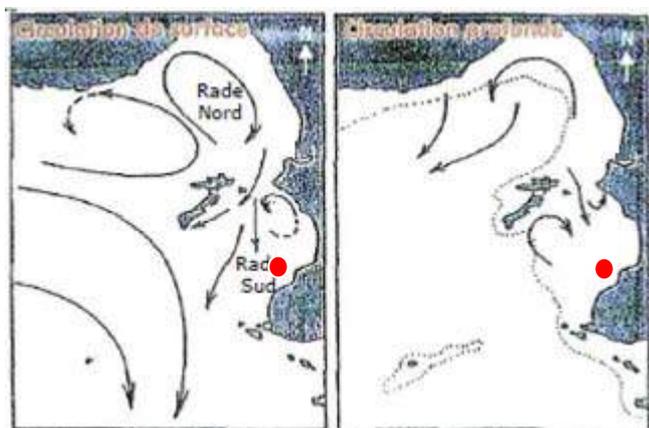
Le régime de beau temps est observé principalement en été et au début de l'automne. La circulation est alors influencée par le contre-courant de la Nerthe.

Dans la rade sud, les courants de surface s'écoulent en direction du Sud vers le large. Les eaux de fond créent un courant compensatoire.

Dans la rade Nord de Marseille, les eaux superficielles et intermédiaires, sur les trente premiers mètres, forment deux cellules tourbillonnaires de sens opposé. La cellule située la plus à l'Est tourne dans le sens horaire. La vitesse d'écoulement est de l'ordre de 0.1m/s.

Les eaux de fond circulent en sens inverse et forment un courant compensatoire de vitesse inférieure (0.05 à 0.07 m/s) se dirigeant vers le large suivant la pente des fonds.

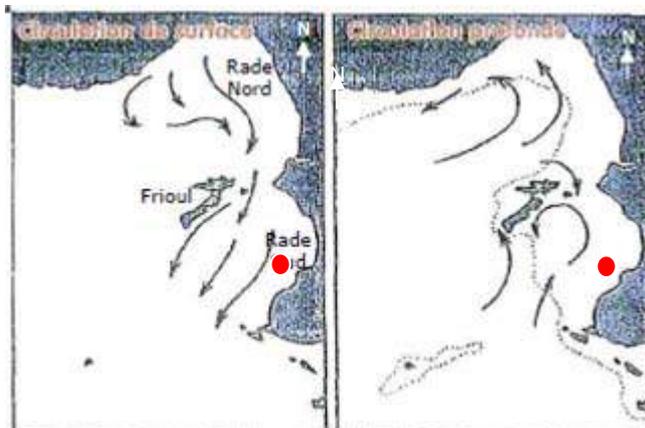
Une partie des eaux de surface et de fond située au droit de l'entrée du Vieux-Port se dirigent vers la rade sud de Marseille.



**Figure 21: Circulation des eaux du golfe de Marseille par temps calme (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creocan, 2003)**

### Régime de Nord Nord-Ouest

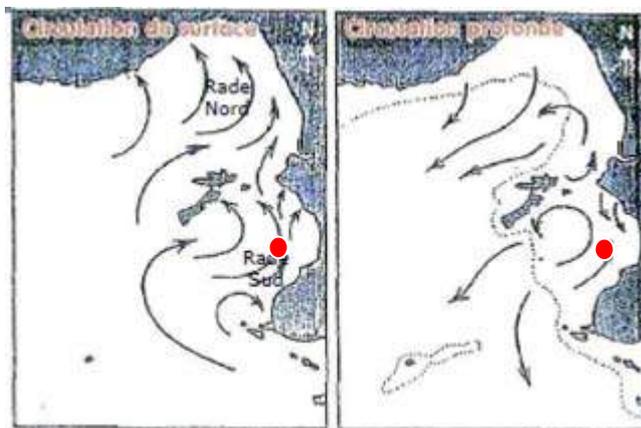
Le régime de Nord Nord-Ouest (vent de Mistral) induit une circulation des eaux de surface des deux rades vers le large en direction du Sud. Le passage des eaux entre la rade Nord et la rade Sud se fait entre l'archipel du Frioul et la côte. Le flux des eaux de surface provoque la création d'un contre-courant de fond avec remontée d'eaux profondes à la côte.



**Figure 22 : Circulation des eaux du golfe de Marseille par vent de Nord-Nord-Ouest (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creocan, 2003)**

### Régime d'Est-Sud-Est

Le régime d'Est-Sud-Est engendre une circulation inversée par rapport à celle observée par Mistral. Les eaux de surface se dirigent vers le Nord et un courant de retour se met en place en profondeur, vers le large. Les vitesses observées proches de la surface sont de l'ordre de 0.10 à 0.15 m/s dans le Nord du golfe.



**Figure 23 : Circulation des eaux du golfe de Marseille par vent d'Est - Sud Est (● : Zone du Projet) (Source : Beterem / Edf Sud ingénierie, 1992 in Creoccean., 2003)**

Les circulations décrites ci-dessus sont valables en régime établi : il existe en réalité de nombreuses situations transitoires.

## 2.3 Courants de dérive liés à la houle

A la côte, la houle est le principal moteur des mouvements sédimentaires (avec le vent en partie émergée dans le cas des plages de sable fin).

Les courants de dérive liés à la houle ont fait l'objet d'une modélisation numérique avec le logiciel SMC-MOPLA afin de préciser la dynamique sédimentaire induite par les vagues.

### 2.3.1 Préambule

L'ensemble des paramètres du modèle numérique est identique à celui utilisé pour propager les houles du large à la côte (cf. paragraphe 1.4.3 précédent : emprise, bathymétrie, maillage, etc.).

### 2.3.2 Scénarios modélisés

Quatre cas de houles ont été retenus pour les modélisations dans la configuration actuelle de la zone d'étude. Ces conditions sont représentatives d'états de mer d'occurrence environ mensuelle à annuelle au large du site. Elles sont issues des données statistiques présentées au paragraphe §1.4.2, et sont reportées dans le tableau suivant.

**Tableau 11: Caractéristiques des états de mer au large de la zone d'étude retenus pour les modélisations numériques hydrodynamiques**

Etats de mer au large de la zone de projet						
N° cas	Objectif	Période de retour	Dir.	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)
M1	Conditions usuelles modérées / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 mois	N235°	2,20	8,0	0,37
M2			N265°	2,20	7,0	
1	Conditions usuelles fortes / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70
2			N265°	3,20	9,0	

### 2.3.3 Résultats du modèle

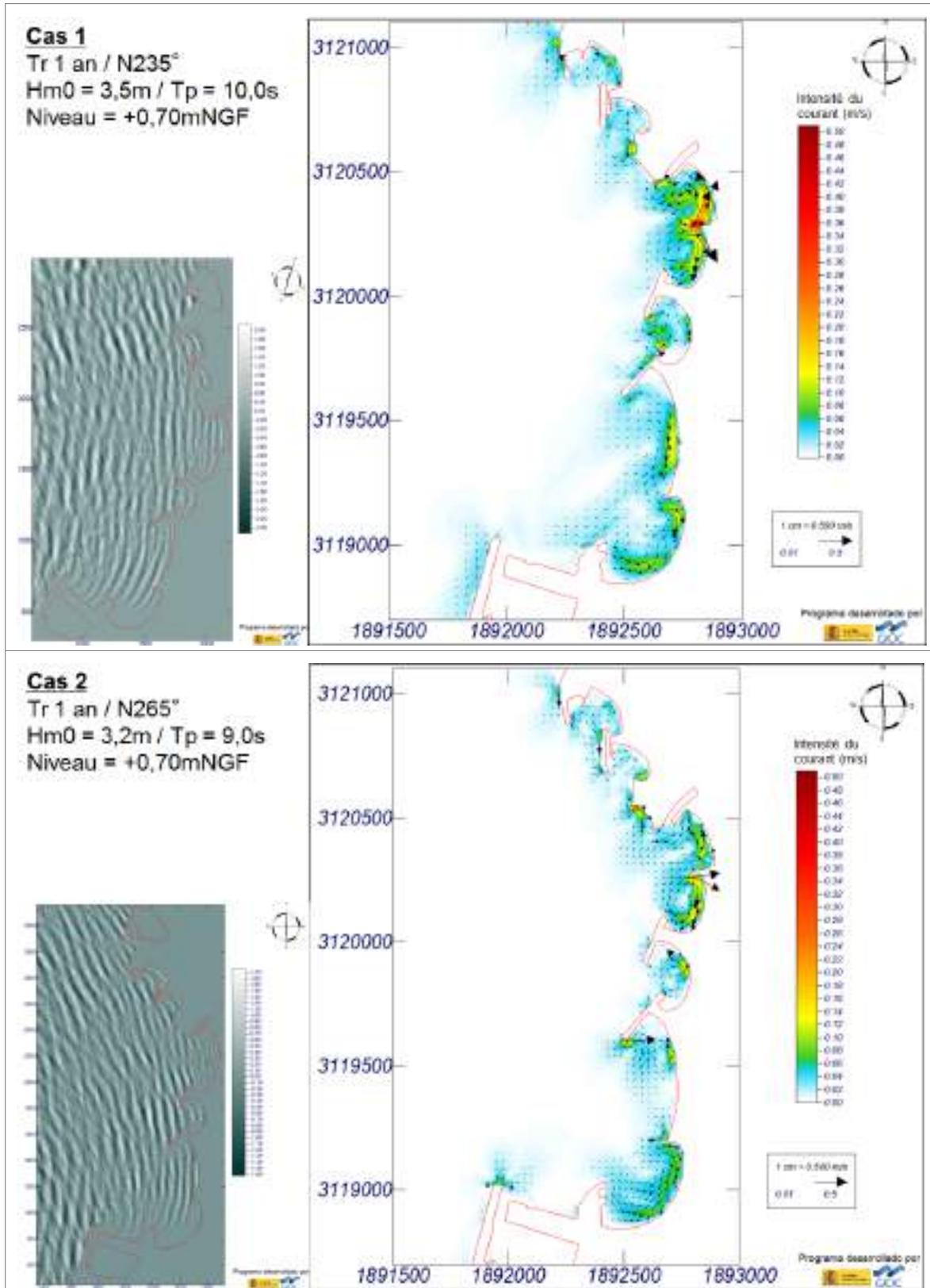
Les résultats sont présentés en Annexe 4 au travers de cartes des vitesses du courant lié au déferlement de la houle, avec la direction matérialisée par des vecteurs.

Les courants de dérive varient en intensité et direction selon le secteur d'origine des houles, leur hauteur, et leur période. Néanmoins, on constate sur les figures présentées ci-après et en Annexe 4 que :

- la circulation liée à la houle est complexe sur la zone, avec de nombreuses gyres, en particulier au niveau des plages de l'Huveaune, Borely et Pointe Rouge ;
- la dérive littorale atteint des vitesses maximum de l'ordre de 0.1 à 0.2m/s pour des événements mensuels de secteurs ouest et sud-ouest, et jusqu'à environ 0.5m/s localement pour des houles annuelles de secteur sud-ouest et ouest dans une moindre mesure. Les vitesses les plus fortes sont atteintes le long de l'épi séparant les plages de l'Huveaune et de Borely ;
- pour les cas de houle simulés, la dérive littorale est systématiquement orientée
  - vers le Nord le long de la plage de l'Huveaune<sup>1</sup>,
  - vers le Sud le long de la plage Borely ;
  - vers le Sud-Ouest le long de la plage de Pointe Rouge.
- Dans le cas de houles de secteur Sud-Ouest, une dérive orientée vers le Sud apparait le long du littoral de la Vieille Chapelle, se poursuivant pour partie vers la plage de Pointe Rouge, pour partie vers le port de Pointe Rouge ;
- La circulation à l'intérieur de l'anse de Bonneveine est moins évidente, avec néanmoins des vitesses plus importantes au centre de la plage et à l'entrée de l'anse entre les deux brise-lames ;
- Plus au nord, au niveau des plages du Roucas et de Davis, la circulation induite par les houles de secteurs Ouest et Sud-Ouest est relativement réduite.

<sup>1</sup> A noter qu'un courant perpendiculaire à la plage apparait dans sa moitié Nord sur les résultats de simulation. Ce courant de dérive est semble-t-il bien connu par les usagers de cette plage, ce qui conforte ces résultats.

**Figure 24 : Circulation littorale induite sur la zone de projet à l'état actuel par les houles de tempête annuelles de secteurs O et SO au large**

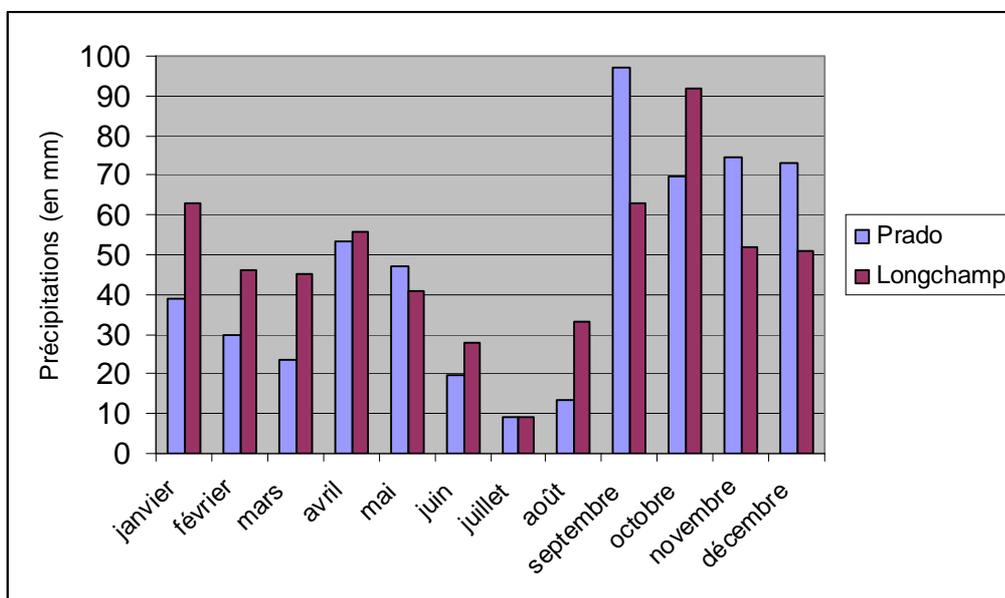


### 3 Contexte hydrologique – Apports en eau et sédiments des bassins versants

#### 3.1 Pluviométrie

En région méditerranéenne, la pluviométrie est caractérisée par des orages très violents qui peuvent provoquer de nombreux dégâts liés à un sous dimensionnement des réseaux d'assainissement pluvial et notamment au niveau du secteur d'étude où le réseau unitaire date du début du siècle.

Si à Marseille, la pluviométrie annuelle est l'une des plus faibles en France, les pluies sont souvent importantes en automne avec des maxima de précipitations en Septembre et Octobre (hauteur moyenne = 91,6 mm pour le mois d'octobre). Les minimums se situent au mois de juillet (8,8 mm en moyenne).



**Figure 25: Cumul mensuel moyen des précipitations**  
(Source : Météo France - station de Marseille - Hippodrome du Prado de 2000 à 2009 – Longchamp de 1961 à 1990)

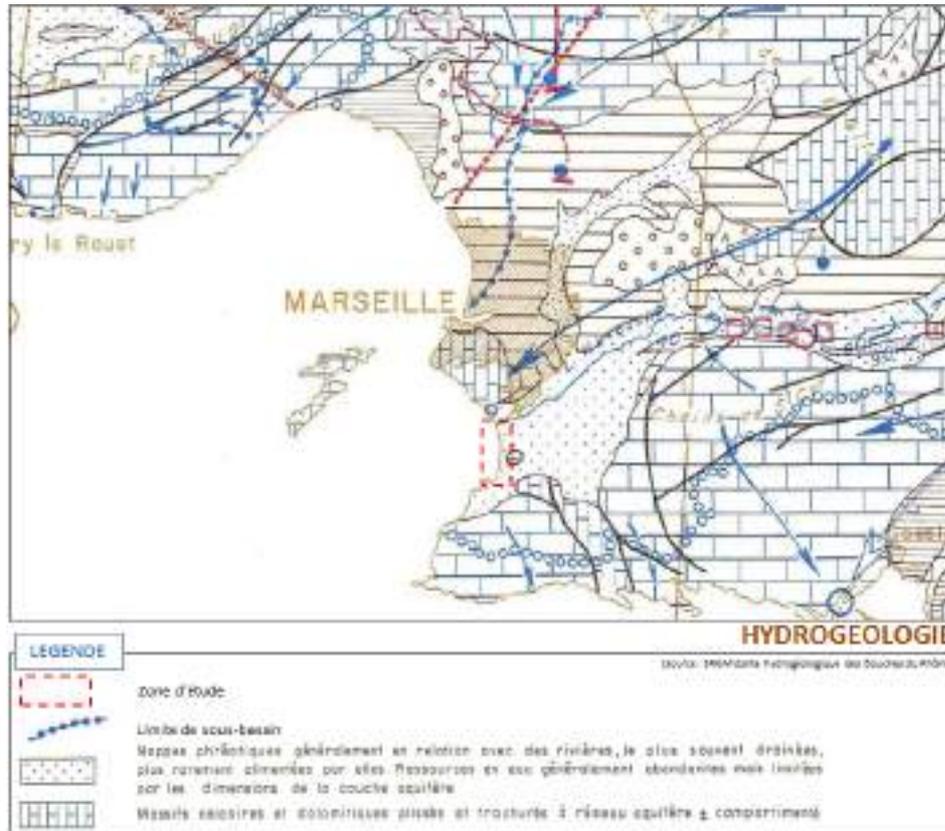
#### 3.2 Cadre hydrogéologique – Principaux apports du bassin versant

Les principales nappes présentes à proximité de Marseille sont des nappes alluviales liées à l'Huveaune qui coule schématiquement depuis le Nord d'Aubagne jusqu'au Prado à Marseille, et à l'Arc qui se jette dans l'étang de Berre, situé au Nord-Ouest de Marseille.

Au sein des formations stampiennes, substratum de la ville de Marseille, les horizons aquifères sont discontinus et peu productifs et s'expliquent par la présence d'horizons assez marneux et plus ou moins gréseux.

Par contre, dans le cas des formations sableuses ou des poudingues désagrégés, des venues d'eau localisées peuvent être importantes.

Le sens d'écoulement est généralement dirigé vers la mer, c'est-à-dire dans le sens Est-Ouest, soit perpendiculaire au secteur d'étude.



**Figure 26: Contexte hydrogéologique de la zone d'étude**

L'Huveaune, dont le débouché est situé au nord de la zone d'étude, constitue le seul cours d'eau de la zone d'étude. Etant actuellement en partie détourné, aucun apport fluvial n'alimente les plages de la commune par temps sec.

En temps de pluie le débit de l'Huveaune n'est plus redirigé vers la STEP et débouche au nord de la plage de l'Huveaune. Par ailleurs, plusieurs exutoires d'eaux pluviales sont situés sur la zone d'étude. La carte suivante permet de les localiser.



**Figure 27: Localisation des exutoires d'eaux pluviales**

### 3.3 Débits des apports du bassin versant

D'après les données présentées dans le rapport MASSILIA [D17], les débits de chaque apport du bassin versant à la zone d'étude peuvent atteindre les valeurs suivantes en temps de pluie (débits définis à partir des données de débits fournis par la Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole) :

- Près de 70m<sup>3</sup>/s pour l'Huveaune au Prado ;
- Plus de 8m<sup>3</sup>/s pour les déversoirs d'orage situés sur la zone d'étude.

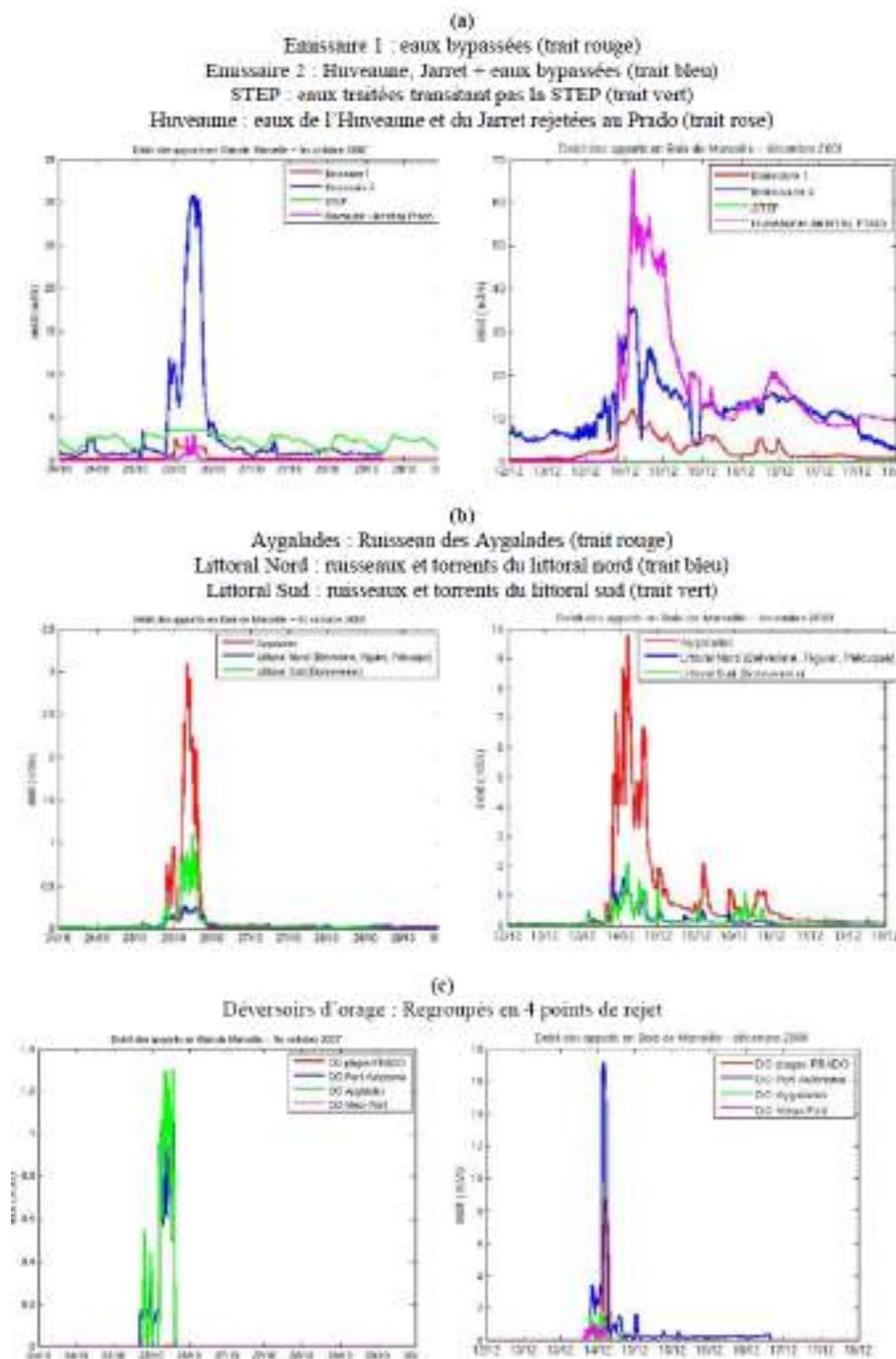


Figure 7 : Données de débit des rejets effectués dans la baie de Marseille pendant la période de les pluies d'octobre 2007 ( à gauche) et de décembre 2008 (à droite) : apports de la STEP à Cortiou et apports par l'Huveaune et le Jarret à Cortiou et au Prado (a) ; apports par les ruisseaux (b) ; apports par les déversoirs d'orage (c).

### 3.4 Apports sédimentaires aux exutoires des cours d'eau

L'absence d'accumulation sédimentaire à l'exutoire de l'Huveaune tend à montrer que les apports sédimentaires sont réduits. Il n'existe cependant pas d'historique de dragage du débouché et/ou de comparaison bathymétrique permettant de préciser ce point.

L'analyse des photographies aériennes historiques met néanmoins en évidence une bande de sable qui existait entre le débouché de l'Huveaune et la Pointe Rouge, vraisemblablement alimentée par l'Huveaune. La modification à la fois de l'occupation des sols en amont (urbanisation), de sa morphologie (recalibrée et endiguée) et de la morphologie littorale à l'aval (construction du parc balnéaire), a néanmoins largement réduit la capacité d'alimentation du littoral de la zone d'étude par les sédiments provenant de ce bassin versant.

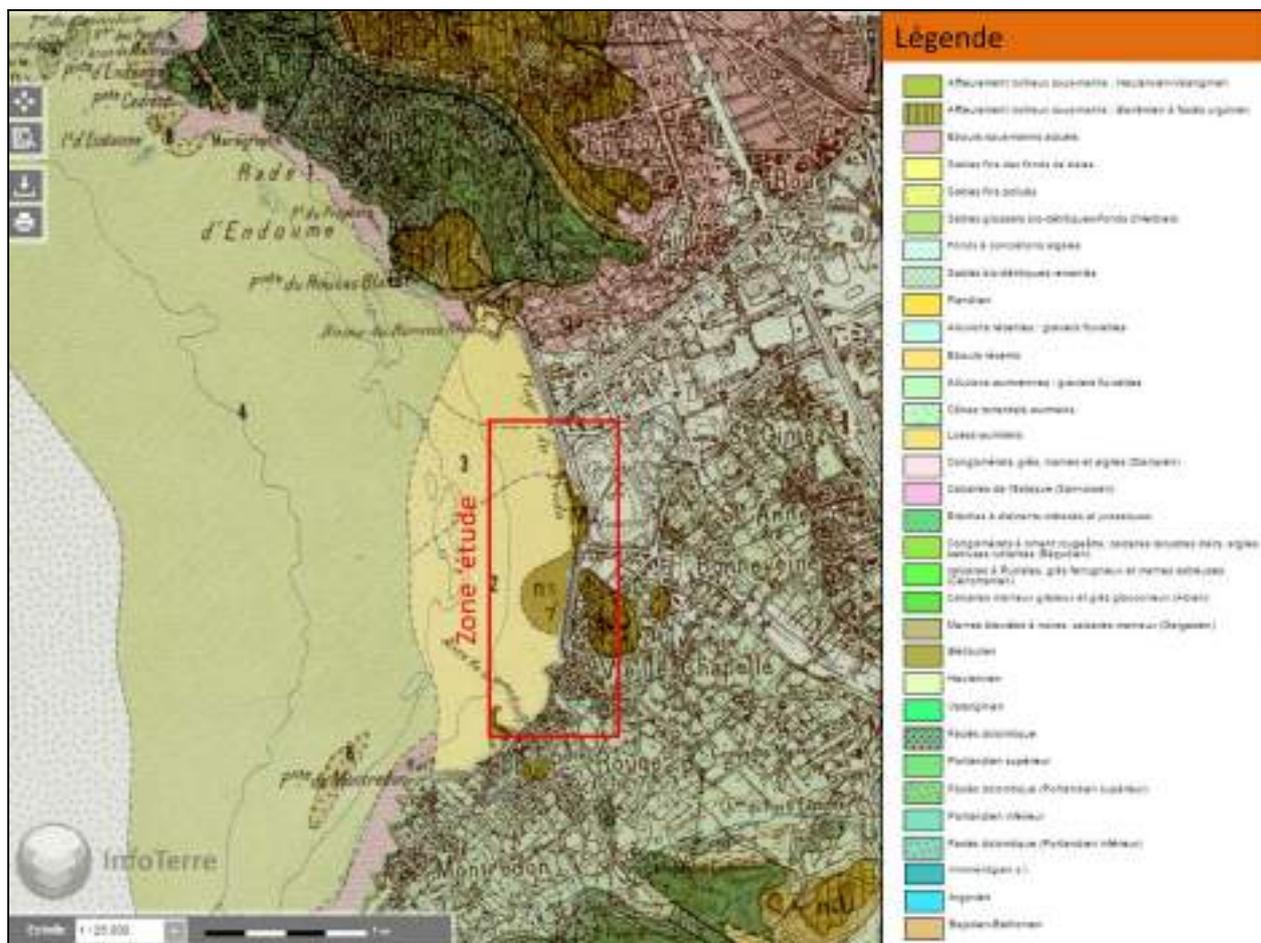
## 4 Cadre géomorphologique de la zone d'étude

### 4.1 Contexte géologique / Nature des sols

Nous ne disposons pas, en l'état actuel, de données géotechniques sur la nature des sols au niveau de la zone d'étude. Les données présentées ci-dessous sont principalement issues de l'analyse de la carte géologique du BRGM n°1044.

La zone d'étude appartient à l'estuaire de l'Huveaune. Dans sa partie aval, le fleuve sillonne dans son lit majeur formant une plaine littorale. Repérable en gris clair sur la carte ci-dessous, cette dernière est constituée d'alluvions arrachées aux massifs montagneux environnants et charriées par le fleuve pendant des millénaires. La partie marine est tapissée de sables fins de fonds de baie.

Figure 28 Extrait de la carte géologique du BRGM n° 1044



La zone d'étude ayant fait l'objet par le passé d'importants aménagements (construction du métro et de la station d'épuration), une forte épaisseur de terrains anthropiques est rencontrée en couverture des terrains naturels, en particulier au niveau des plages, constituée de plus de 15 m de remblais divers (alluvions de la plaine littorale de l'Huveaune), eux-mêmes recouverts de sables, graviers et galets.

Les plages du Parc Balnéaire du Prado sont d'une nature sédimentaire variée, détaillée au §4.5.2. Les plages naturelles (Huveaune et Pointe Rouge) sont constituées de sable marin et alluvial naturellement déposé. Les plages artificielles sont quant à elles constituées de matériaux de carrière plus grossiers (grains de riz), parfois complétées par des galets de la Durance pour les zones les plus exposées.

## 4.2 Contexte sédimentologique - Zonage morpho-sédimentaire

Il est important de situer la zone d'étude dans un contexte géographique/sédimentologique plus global. Cette contextualisation et/ou segmentation est nécessaire pour préciser l'étendue de la zone d'influence potentielle de projets d'aménagements.

Dans le cadre de l'étude de l'évolution du trait de côte des Bouches du Rhône réalisée en 2009 [D14], un découpage de la zone d'étude basé sur des entités définies dans le cadre du SDAGE bassin Rhône Méditerranée et bassin Corse (1996) a été proposé : d'une part, les zones homogènes et d'autre part, les cellules hydrosédimentaires.

Les zones homogènes sont « des unités cohérentes de gestion du littoral qui, à l'image des bassins versants des rivières, constituent une échelle géographique de travail optimal pour une approche intégrée de la gestion, de la restauration et de l'exploitation de la frange littorale » (SDAGE bassin Rhône Méditerranée et bassin Corse, 1996).

Les cellules hydrosédimentaires sont des compartiments « ayant un fonctionnement relativement autonome par rapport aux compartiments voisins. Entre deux cellules voisines, les échanges sont faibles voire nuls. Sous l'action des facteurs naturels (houles, vents,...), le sable reste à l'intérieur de la cellule ou sort définitivement du système littoral (perte au large, à terre...) » (SDAGE bassin Rhône Méditerranée et bassin Corse).

Ainsi, tout aménagement réalisé au sein d'une cellule n'aura d'impact sur les littoraux avoisinants situés dans cette même cellule. Les grands estuaires, les caps et ouvrages littoraux suffisamment avancés en mer constituent les limites classiques pour ce type de segmentation.

Dans le cas présent, la zone d'étude se situe dans la zone homogène<sup>19</sup> : « Rade de Marseille (du tunnel du Rove au cap Croisette) ».

Le littoral de cette zone est marqué par une alternance de :

- petites plages de poche en pied de côte rocheuse plus ou moins aménagées en haut de plage (cabanons ou restaurants, par exemple),
- plages formées, plus ou moins naturellement, à l'abri de digues ou brise-lames avec de nombreux aménagements en haut de plage.

La zone d'étude n'appartient pas en revanche à une cellule hydrosédimentaire définie à l'échelle de cette étude. On peut de ce fait considérer que les effets d'aménagements réalisés sur la zone d'étude restent localisés. On peut en effet considérer que le projet d'aménagement se situe dans une cellule pouvant être globalement limitée :

- au Nord par la base nautique du Roucas Blanc, qui marque une limite physique nette ainsi qu'un changement d'orientation du trait de côte ;
- Au sud par le port de Pointe Rouge.

Cette zone peut elle-même être découpée en sous-unités plus ou moins constituées par chaque plage alvéolaire, entre lesquelles les échanges sont vraisemblablement réduits par les digues et les brise-lames, mais non nuls.

D'après les résultats du modèle hydrosédimentaire mis en œuvre, on peut estimer que les échanges sédimentaires sont :

- relativement limités mais non nuls entre les plages du Roucas/Davis et celles de l'Huveaune et Borely, l'ensemble pouvant être considéré comme une sous-cellule hydrosédimentaire, alimentée potentiellement par les sédiments apportés par l'Huveaune ;
- quasiment nuls entre la plage de Bonneveine et les plages situées de part et d'autre, excepté par les transferts de sédiments par jet de rive en provenance de la plage de la Vieille Chapelle ;
- enfin les échanges entre l'anse de la vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge sont probablement faibles mais non nuls, l'ensemble géographique allant de la partie Nord de la plage de Bonneveine à l'extrémité sud-ouest de la plage de Pointe Rouge pouvant de ce fait être considéré comme une seconde sous-cellule hydrosédimentaire.

☞ Bien que les observations et la connaissance de la zone d'étude amènent à penser que les échanges sédimentaires sont probablement très limités entre chaque alvéole (ce point est par ailleurs conforté par les résultats de la modélisation hydrosédimentaire présentée au §5.1.5), **le contexte hydrosédimentaire de la zone sera donc étudié sur l'ensemble du linéaire allant du sud de la base nautique du Roucas Blanc jusqu'à la plage de Pointe Rouge, qui constitue ainsi l'étendue de la zone d'influence du projet.**

### 4.3 Description et évolution morphobathymétrique de la zone d'étude

#### 4.3.1 Données topo-bathymétriques disponibles

Dans le cadre de la présente étude, les jeux de données topo-bathymétriques suivants ont été exploités :

- Bathymétrie multifaisceaux réalisée par ANDROMEDE OCEANOLOGIE sur la baie du Prado en 2008, fourni par le MOA [D6] ;
- Levé topographique de la zone d'étude (date non identifiée), fourni par le MOA [D7] ;
- Produit altimétrique Litto3D® PACA 2015, disponible sur le site internet du SHOM [D3] ;
- Données de la carte marine SHOM 7391 au 1/25000 pour compléter les données bathymétriques au large de la zone couverte par le levé multifaisceaux de 2008 [D5].

☞ L'analyse et l'exploitation de ces données est présentée en Annexe 5.

Le MNT Litto3D®, plus récent et homogène (continuité terrestre et maritime), a été privilégié pour la réalisation d'un MNT global, utilisé pour la modélisation hydrodynamique et la conception des ouvrages de protection.

#### 4.3.2 Dimensions caractéristiques des plages de la zone d'étude

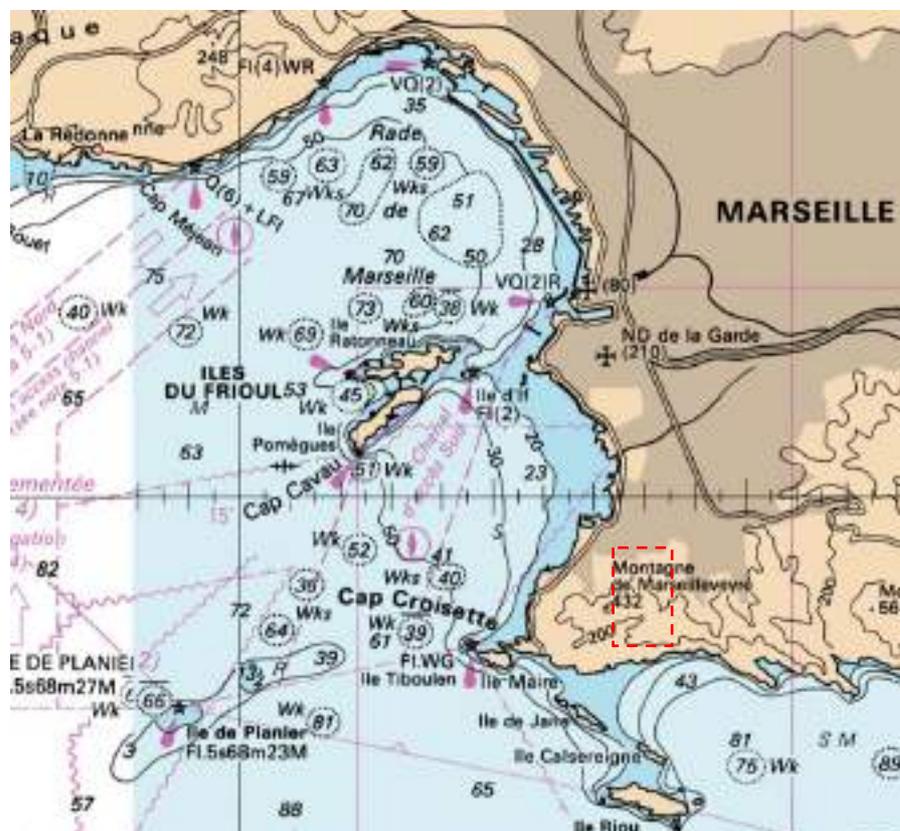
Le tableau suivant présente l'ouverture, la longueur et la largeur des plages de la zone d'étude, ainsi que celles situées immédiatement au Nord (en gris) :

Plage	Ouverture	Longueur (m)	Largeur (m)
Plage des Catalans	Ouest	104	28 à 38
Plage du Prophète	Nord-Ouest	73	110
Plage du Roucas Blanc	Sud-Ouest	354	54 à 82
Plage du David	Sud-Ouest	250	15 à 50
Plage de l'Huveaune	Ouest-Sud-Ouest	275	0 à 60
Plage Borély	Ouest	266	7 à 62
Plage Bonneveine	Ouest-Sud-Ouest	457	15 à 52
Plage de la Vieille Chapelle	Ouest	562	1 à 18
Plage de la Pointe Rouge	Nord-Ouest	321	9 à 46

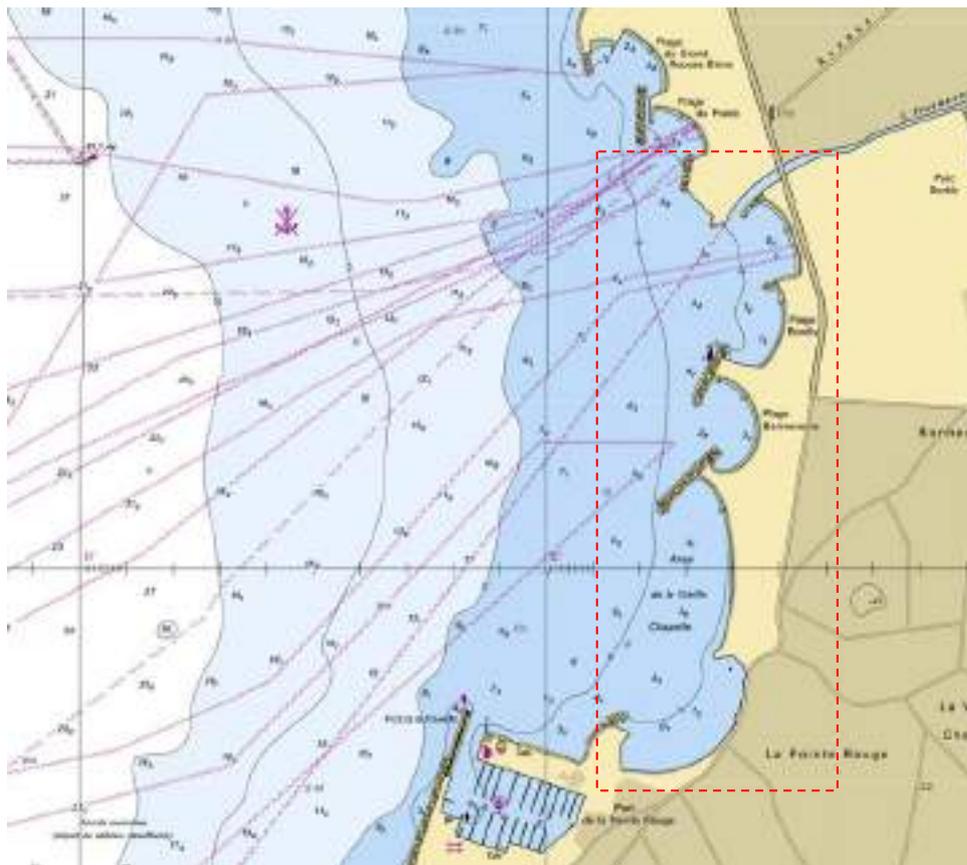
**Tableau 12 : Principales caractéristiques des plages de la zone d'étude (adapté de Sabatier, 2007 [D12], complété pour la plage de l'Huveaune)**

#### 4.3.3 Description de la topo-bathymétrie et morphologie de la zone d'étude

Les figures suivantes présentent la bathymétrie de la zone d'étude :



**Figure 29: Extrait de la carte bathymétrique du SHOM n°7392**



**Figure 30 : Extrait de la carte bathymétrique du SHOM n°7391**

Les cartes disponibles mettent en évidence les hauts-fonds autour de l'île du Planier au large de la zone (brusque remontée des fonds depuis environ -70m), de dimension environ 9km sur 1.5km, susceptibles de concentrer une partie de l'énergie de la houle. Autour, les fonds sous-marins sont globalement en pente douce (2 % environ) en direction du centre de la rade sud de Marseille ; seul le liseré côtier rocheux (au sud de la zone d'étude) est abrupt sur les dix premiers mètres de profondeur.

Entre -70m et -5m, les isobathes deviennent plus régulières et relativement parallèles à la côte, globalement orientée vers l'Ouest, selon une pente moyenne de 0.6% environ, qui augmente jusqu'à 1.2% environ entre -20m et -5m.

Entre -5m et la côte, la pente est plus variable, mais les fonds restent relativement réguliers. Elle augmente du nord au sud de l'Huveaune jusqu'au début de l'anse de la Vieille Chappelle, et diminue ensuite. Elle est d'environ 1.1% pour la plage de l'Huveaune, 1.4% pour la plage Borely, 1.9% à Bonneveine, entre 2.4% et 1.9% pour l'Anse de la vieille Chapelle, et d'environ 1.3% au niveau de la plage de Pointe Rouge.

La côte le long du projet et de ses alentours est soit rocheuse (au sud du port de Pointe Rouge et au nord du parc balnéaire) soit presque intégralement artificialisée et protégée longitudinalement et/ou latéralement (pour les plages artificielles) par des enrochements naturels.

Le TN à l'arrière immédiat du projet s'élève à environ + 1 à +2mNGF au niveau de la plage de l'Huveaune, et monte progressivement en direction du Sud, avec environ +2 à +3mNGF au niveau des plages Borely et Bonneveine, et +3 à +6mNGF plus au Sud.

La figure ci-après présente le MNT, issu de la compilation des éléments listés en introduction, et utilisé pour la réalisation de l'Etude Préliminaire (cf. Annexe 5) :

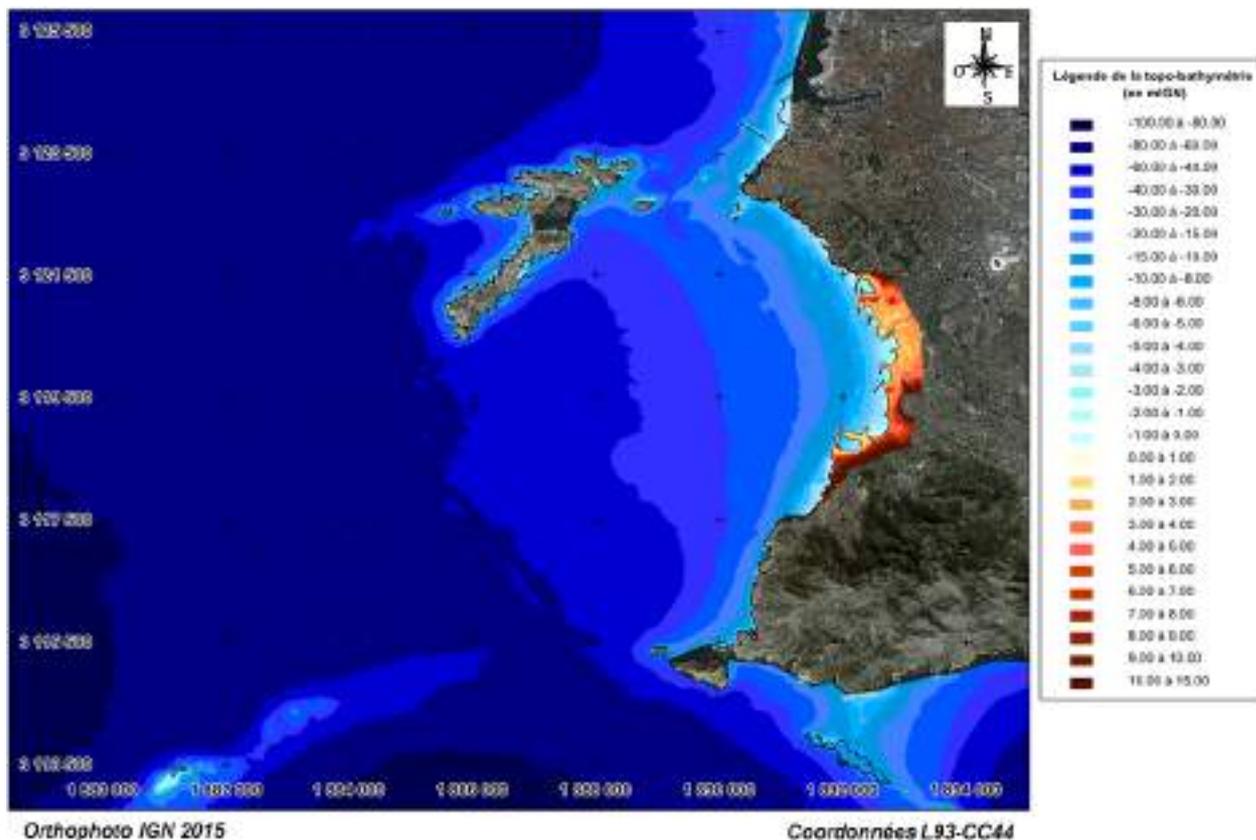


Figure 31 : MNT mis en œuvre à partir des données topo-bathymétriques disponibles

#### 4.3.4 Travaux d'entretien des plages

Les plages de la zone d'étude font l'objet d'un entretien régulier, consistant d'une part en un nettoyage et ramassage des débris (toute l'année), d'autre part en un reprofilage ou rechargement, selon la plage concernée, avant la saison estivale.

##### Nettoyage des plages

Concernant le système de nettoyage, M. Guglielmetti, de la Ville de Marseille, a signalé en 2009 [D14] qu'il n'est pas encore très au point mais est en voie d'amélioration avec notamment la volonté de rendre le tamisage constant sur les plages de sable et ce pour plusieurs raisons et notamment celle de la salubrité. Il remarque toutefois qu'une telle pratique s'accompagne de l'enlèvement inévitable de petites quantités de sable.

Le tamisage des plages est effectué :

- lorsque le week-end approche, en période hivernale ;
- de manière plus soutenue, presque quotidiennement, en période estivale (entre début juin et début septembre)

Les opérations de tamisage sont irrégulières et leur fréquence notamment varie d'une plage à l'autre. M. Guglielmetti estime que l'entretien régulier des plages permet de mieux les maintenir, contribuant au nivellement des plages. [D14]

### Reprofilage et rechargement des plages

Les opérations de nivellement des plages permettent [D14] :

- d'éviter de recharger certaines plages.
- un meilleur tamisage car le sable est moins tassé à l'issue de ces opérations.

Sur la zone d'étude, environ 4 000 tonnes (environ 2 000 m<sup>3</sup>) de matériel sont déplacées pour le reprofilage des plages de Vieille Chapelle et Pointe Rouge en vue de rétablir leur forme initiale.

Les interventions sur la plage de l'Huveaune consistent essentiellement en l'enlèvement des macrodéchets et de gros matériaux de type : briques, cailloux qui s'accumulent à proximité de l'embouchure de l'Huveaune. [D14]

Les zones nécessitant annuellement des rechargements sédimentaires sont :

- la partie centrale de la plage de l'Huveaune ;
- la partie Nord de la plage Borely et la partie Nord de la plage Bonneveine.

Environ 2400 t de sédiments (1 200m<sup>3</sup>) sont utilisés chaque année pour recharger ces plages, et ainsi rendre l'espace balnéaire pris par l'hiver. La part des galets et du sable est variable mais se situe environ à 30 % de galets.

Les sables et galets sont lavés avant d'être déposés sur les plages.

Il n'existe pas d'historique de ces rechargements. Néanmoins, les valeurs moyennes de sédiments mobilisés relatives aux travaux de reprofilage et rechargement des plages, fournies par le MOA, sont données ci-dessous :

Plage		Reprofilage	Rechargement	Nature sédimentaire
		En tonnes	En tonnes	
Prado	Roucas (petit et grand)	5770		Grains de riz
	David	9360		Grains de riz
	Huveaune		400	Sable
	Borely		600	Sable
	Bonneveine		1400	Sable et galets
	Vieille Chapelle	2000		Sable
Pointe Rouge		2000		Sable
Totaux		19130	2400	

**Tableau 13 : Travaux d'entretien annuels actuels moyens**

#### 4.3.5 Evolution bathymétrique des fonds entre 2008 et 2012

Les deux jeux de données issus du levé multifaisceaux de 2008 et du Litto3D® sont comparables en termes de densité de points et précision altimétrique (précision verticale de l'ordre de 0.5m pour un Lidar bathy et 0.4m pour un sondeur multifaisceaux).

Bien que les données bathymétriques du produit Litto3D® soient issues de la compilation de plusieurs jeux de données (Lidar bathy, Lidar mixte, multifaisceaux), l'essentiel des données provient a priori :

- au niveau des plages, de levés LIDAR Topo réalisés en Novembre 2012,
- dans les petits fonds, de levés LIDAR Bathy réalisés en Mai-Juin 2012.

Un différentiel bathymétrique a de ce fait été réalisé entre les données du produit Litto3D® et le levé multifaisceaux de 2008 pour estimer l'évolution des fonds, et donc les secteurs en érosion et les zones d'accumulation de sédiments dans le secteur d'étude, entre 2008 et 2012.

La figure suivante présente les évolutions bathymétriques observées entre ces 2 levés.

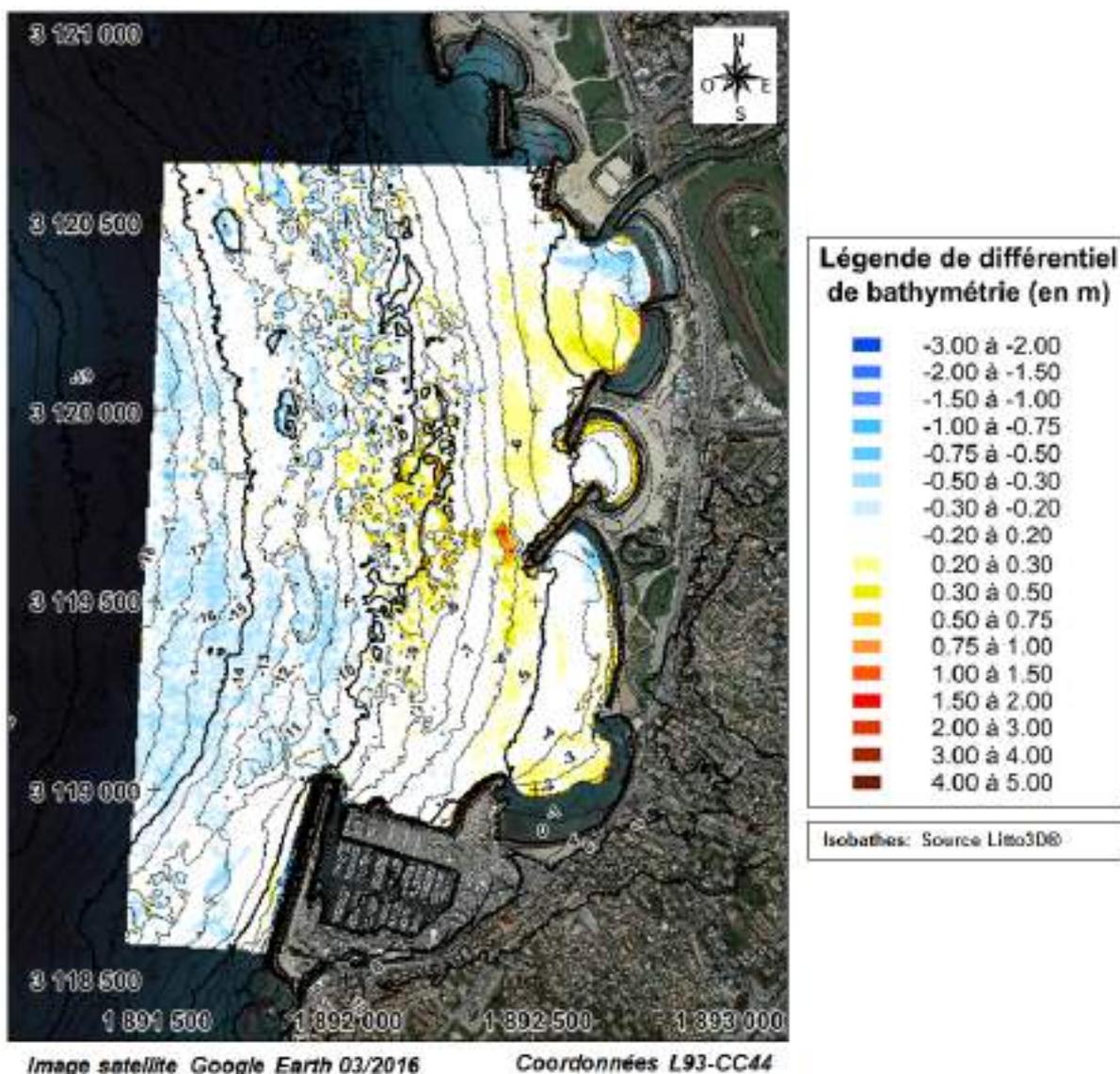


Figure 32 : Evolution bathymétrique entre 2008 et 2012

Les fonds ont peu évolué entre 2008 et 2012, avec des variations relativement faibles, inférieures à +/-0.5m, voire +/-0.3m sur l'essentiel de la zone (soit +/-0.1m par an). Ces variations se situent dans l'intervalle d'incertitude relative à la précision des données, et doivent de ce fait être considérées avec précaution.

On peut néanmoins a priori dégager les tendances suivantes :

- tendance à l'érosion dans les fonds inférieurs à -11m ;
- tendance stable ou à l'engraissement entre -11m et -2m (limite haute du levé 2008), excepté pour la plage de l'Huveaune, dont les petits fonds (-2m à -5m) sont en érosion, et pour la partie Nord de l'Anse de la Vieille Chapelle pour laquelle on remarque une zone restreinte en légère érosion. La surélévation des fonds la plus significative est observée au sud de la plage Borély.

A noter que l'élévation des fonds à proximité du môle voile légère au Nord du port de Pointe Rouge est corroborée par le constat de certains usagers de la cale de mise à l'eau.

La surélévation des fonds entre la côte et -5m est vraisemblablement liée :

- d'une part aux pertes de matériaux observées chaque hiver sur les plages du secteur, compensées par des rechargements réguliers ;
- d'autre part aux apports en matériaux du bassin versant.

L'analyse des cubatures donne en effet un volume différentiel supérieur à 15 000 m<sup>3</sup>/an, soit bien plus que les seuls apports liés au rechargement régulier des plages (environ 2 400 m<sup>3</sup>/an).

Par ailleurs, un point singulier apparaît au droit de l'extrémité Sud du brise-lames séparant la plage de Bonneveine et l'Anse de la vieille Chapelle. Une élévation ponctuelle importante des fonds y est observée (de l'ordre de +0.5m à +1.5m sur une distance d'environ 50m). Cette forte élévation pourrait cependant n'être qu'un artefact, qui sera à préciser/confirmer, de même que le reste de cette analyse comparative, à l'aide d'un nouveau levé bathymétrique qui sera réalisé au stade AVP.

#### 4.4 Description et évolution du trait de côte de 1927 à nos jours

Ce paragraphe est en grande partie extrait de l'étude de « l'évolution du trait de côte des Bouches du Rhône au regard de l'érosion marine » [D14].

##### 4.4.1 Données disponibles et caractérisation de la dynamique d'évolution

L'analyse de l'évolution du trait de côte présentée dans le document cité au-dessus [D14] s'appuie sur les documents suivants :

- Photographie aérienne 1927 ;
- Photographie aérienne 1950 ;
- Photographie aérienne 1977 ;
- Photographie aérienne 1992 ;
- Photographie aérienne 1998 ;
- Photographie aérienne 2003.

La marge d'erreur globale est de l'ordre de +/- 6 m, variable selon les secteurs et les clichés considérés.

La dynamique d'évolution du littoral mise en évidence (érosion ou engraissement) par comparaison de la position des traits de côte extraits de ces documents a été caractérisée dans cette étude en termes de variations de surface entre chaque campagne de photographie aérienne, et sur la période 1927-2003.

Des éléments complémentaires, basés sur des documents de l'ABF et/ou des images aériennes ou satellite complémentaires, sont présentés en **Annexe 6** de ce document.

#### 4.4.2 Morphologie et aménagements anthropiques du littoral étudié

La zone d'étude est composée du nord au sud de 4 plages urbaines artificielles (Huveaune, Borely, Bonneveine, et l'extrémité Nord de l'Anse de la Vieille Chapelle), de l'anse de la Vieille Chapelle protégée sur quasiment tout son linéaire par des enrochements naturels, et se termine par la plage de la Pointe Rouge, la seule à avoir conservé un caractère relativement naturel.

Les aménagements de la partie Sud du Parc balnéaire ont été mis en œuvre entre la fin des années 1970 et la fin des années 1980.

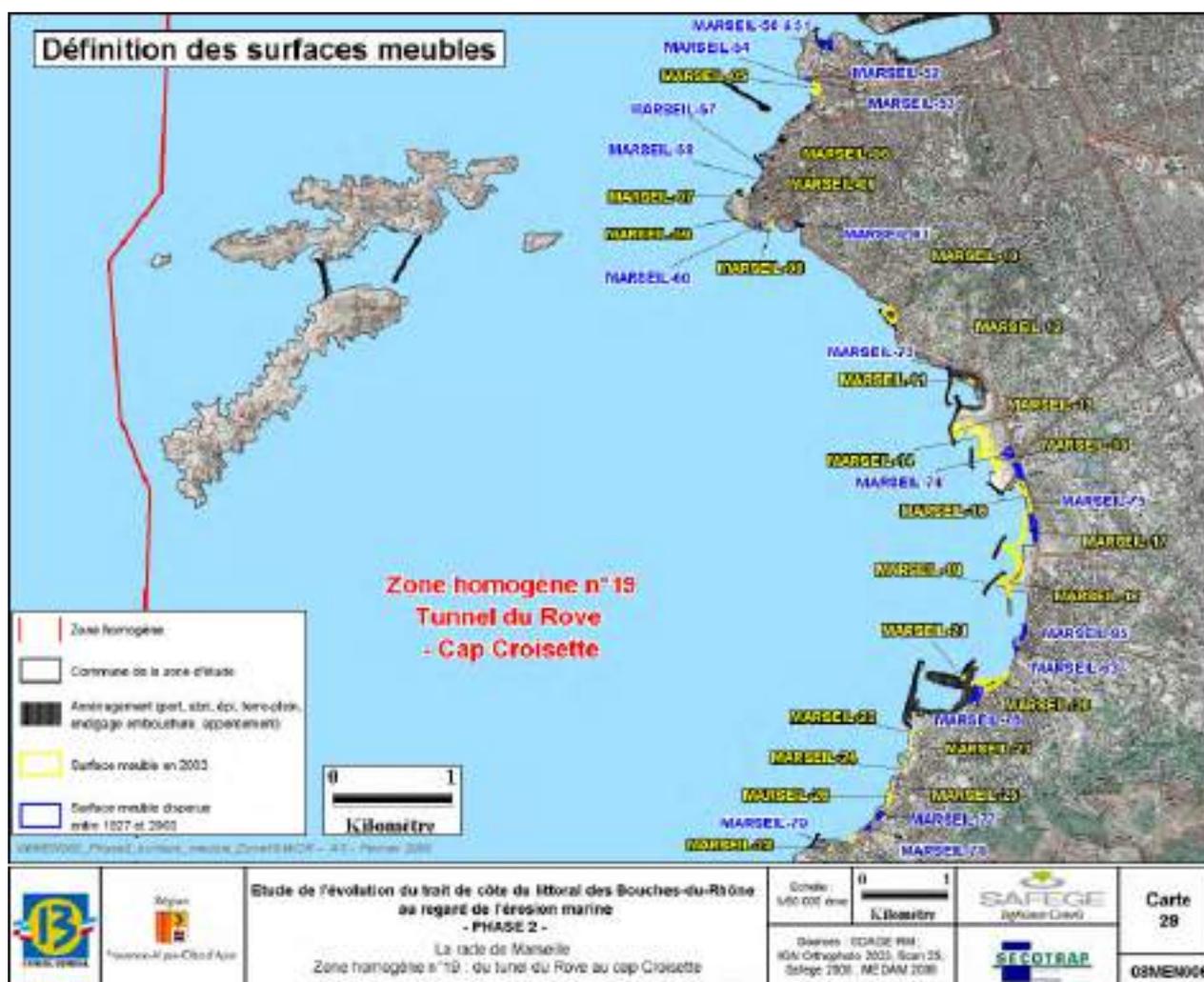


Figure 33 : Morphologie de la zone d'étude [D14]

#### 4.4.3 Evolution du trait de côte de la zone d'étude

De nombreuses plages ont disparu le long du littoral de la zone homogène n°19 (Rade de Marseille) suite à la construction d'aménagements portuaires. A proximité de la zone d'étude, on peut citer :

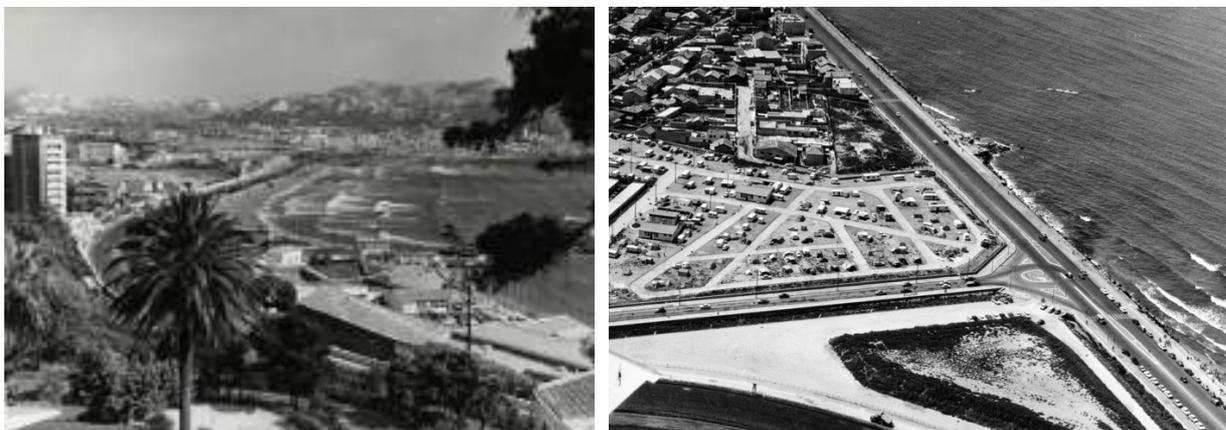
- MARSEIL-73 : agrandissement du port du Prado entre 1950 et 1977 ;
- MARSEIL-76 : création du port de la Pointe Rouge entre 1950 et 1977.

D'autres plages de poche ont également disparu sous l'action de l'érosion naturelle ; aucune cependant à proximité de la zone d'étude.

Les plages de la zone d'étude se composent de 8 secteurs indépendants, séparés par des digues, avec, du Nord au Sud :

- le Petit Roucas / MARSEIL-13,
- le Grand Roucas / MARSEIL-14,
- David / MARSEIL-15,
- Huveaune / MARSEIL-16,
- Borely / MARSEIL-17,
- Bonneveine / MARSEIL-18,
- Anse de la Vieille Chapelle / MARSEIL-19,
- et la plage de Pointe Rouge / MARSEIL-20.

A l'origine, la zone d'étude était constituée d'une plage peu développée qui longeait le littoral (MARSEIL-74 au Nord et MARSEIL-75 au Sud), s'étendant sur environ 1500m de part et d'autre du débouché de l'Huveaune qui l'avait formée.



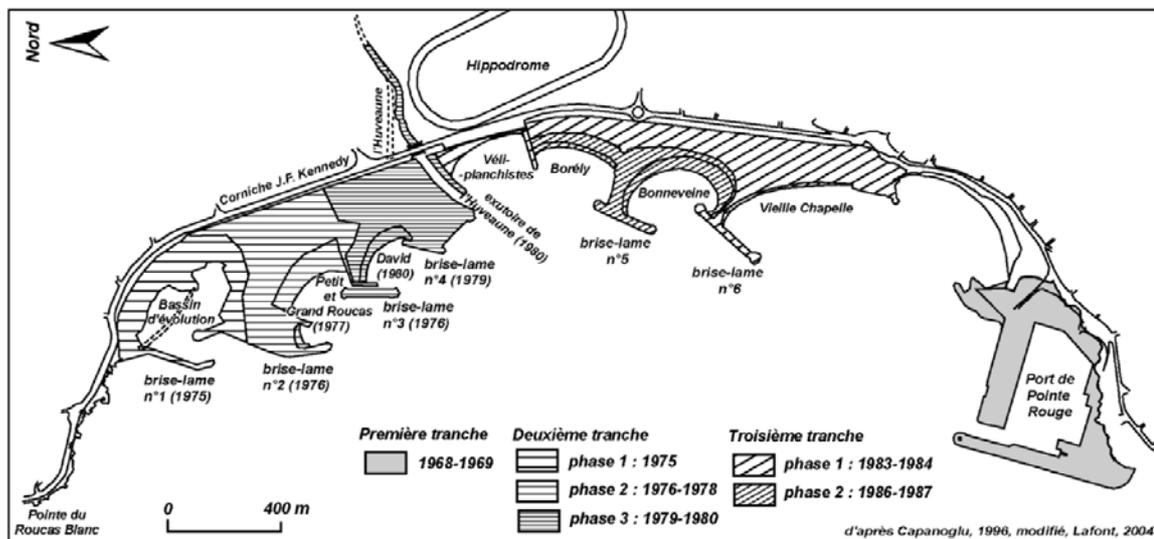
A l'exception de la plage de l'Huveaune (MARSEIL-16), toutes les plages actuelles ont été artificiellement formées en arrière de digue de protection en plusieurs étapes :

- les plages de graviers du Petit et Grand Roucas (MARSEIL-13, MARSEIL-14) et la plage de David (MARSEIL-15) au Nord de l'embouchure de l'Huveaune, mises en place entre 1950 et 1977 ;
- les plages de Borely et Bonneveine (MARSEIL-17 et MARSEIL-18), composées d'un mélange de sables fins ou grossiers, de graviers et de galets, modelées entre 1977 et 1992.

Seule la plage de sable fin de l'Huveaune (MARSEIL-16) correspond à la plage d'origine. Cette plage est toutefois comprise entre la digue à l'embouchure de l'Huveaune au Nord et une digue la séparant de la plage de Borely (zone MARSEIL-17) au Sud.

La figure ci-dessous rappelle les différentes étapes de la construction du parc balnéaire du Prado :

**Figure 34 : Les étapes de construction du PBP (in F. Gourmelon et M. Robin, 2005)**



Depuis leur création, les plages au Nord de l'embouchure de l'Huveaune (MARSEIL-13 à 15) sont relativement stables et ne montrent pas de signes d'érosion sur la période 1992-2003. Ces plages font toutefois l'objet de reprofilage (16 000 tonnes de matériel sont déplacées annuellement pour le reprofilage de la plage en vue d'obtenir sa forme initiale).

La **plage de l'Huveaune** (MARSEIL-16) est caractérisée par une largeur plus importante au Nord (jusqu'à 60 m environ en bordure de digue), laissant supposer une dynamique principale locale du Sud vers le Nord, et une portion de plage très étroite au centre (parfois inférieure à 5 m). Plus au Sud, cette zone n'est probablement pas protégée de l'action de la houle par les digues localisées de part et d'autre de la plage. Sur la partie Sud de cette plage, des enrochements ont notamment été mis en place en haut de plage afin de protéger l'esplanade. L'analyse des photographies aériennes confirme le phénomène d'érosion au Sud de la plage, plus important entre 1992 et 1998.

La **plage de Borely** (MARSEIL-17) est marquée par une largeur moins importante au centre de la zone qu'au pied des digues situées de part et d'autre. L'analyse des photographies aériennes met en évidence un recul de la limite basse sur la moitié Nord de la plage, phénomène qui tend à s'estomper entre 1998 et 2003 (accrétion). Les enrochements naturels placés ces dernières années en pied de plage à titre provisoire et expérimental ont contribué également à stabiliser la position du trait de côte.

La largeur de la **plage de Bonneveine** (MARSEIL-18), située plus au Sud, est plus grande qu'au Nord. Cette plage, mieux protégée que la précédente par deux brise-lames rattachés aux digues en extrémité de plage, se caractérise par une largeur plus importante. La partie centrale de cette plage est toutefois soumise à un rétrécissement, plus marqué entre 1992 et 1998 qu'entre 1998 et 2003.

La **plage de l'anse de la Vieille Chapelle** (MARSEIL-19) est une plage artificielle de graviers et de galets créée entre 1977 et 1992 en remplacement de la plage nommée MARSEIL-85, seulement observée en 1977. Cette plage est marquée par une faible largeur et a tendance à disparaître au Sud

d'après l'analyse des photographies aériennes sur la période 1992-2003. En 1992, la plage s'étendait jusqu'à la digue à l'extrémité Sud de l'esplanade sur une distance de l'ordre de 550 m alors qu'en 2003 celle-ci n'était observée que sur une longueur inférieure à 200 m. La plage n'est désormais présente que dans la zone protégée de l'action de la houle par le brise-lames sur une surface environ 4,5 fois plus petite qu'en 1992.

La zone meuble MARSEIL-63, observée en arrière de la digue à l'extrémité Sud de la plage précédente entre 1977 et 1998, n'existe plus désormais suite à des phénomènes d'érosion. Les pertes surfaciques entre 1992 et 1998 (de l'ordre de -900 m<sup>2</sup>) sont liées à la mise en place d'aménagements en haut de plage.

La **plage de la Pointe Rouge** (MARSEIL-20), protégée de l'action de la houle par la digue du port de la Pointe Rouge et prolongée lors de la création du port entre 1950 et 1977, a fortement augmenté en termes de surface entre 1950 et 1977, probablement suite à des rechargements (gain de l'ordre de 4 400 m<sup>2</sup>) et se trouve relativement stable depuis 1992. Les variations de surface sont liées aux aménagements réalisés en haut de plage (restauration). Le comportement de la plage varierait néanmoins en fonction des conditions météorologiques (entretien du 3 juin 2008 avec la Ville de Marseille).

L'analyse visuelle des photographies aériennes complémentaires rassemblées en Annexe 6 met par ailleurs en évidence les **tendances d'évolution** suivantes :

- la plage a longtemps conservé une même forme à l'équilibre, a priori définie par la position de l'extrémité de l'ancienne jetée de Pointe Rouge ;
- on observe un élargissement après-guerre de la plage, longtemps restée relativement étroite ; cette évolution est peut-être liée à des rechargements, comme le suggère l'étude du CG13 [D14] ;
- début de bascule de la plage vers le Sud-Ouest fin des années 60 suite à la construction du port, et principalement début des années 70 suite à la mise en œuvre du môle voile légère au Nord du port, qui a agrandi la jetée historique, déjà présente avant-guerre. Ce môle est venu modifier le point d'influence de l'ouvrage sur la forme à l'équilibre de la plage ;
- après une période stable d'une dizaine d'années, la plage semble s'être élargie à nouveau à la fin des années 80, probablement en lien avec la mise en œuvre de la plage de l'Anse de la Vieille Chapelle. En effet, à sa construction la plage non protégée (ni vraiment fermée côté Pointe Rouge) présentait un linéaire de près de 550m, susceptible d'alimenter la plage de Pointe Rouge par la dérive littorale induite par la houle. Ce sable a alors pu se répartir le long de la plage de Pointe Rouge selon la même forme en équilibre, contribuant ainsi à ensabler davantage la cale de mise à l'eau située à l'Ouest de la plage ;
- depuis les années 1990-2000, la plage émergée semble démaigrir lentement ; le sable migrant vraisemblablement en direction du large, d'après le résultat de la comparaison bathymétrique présenté plus haut (cf. Figure 32). L'évolution régressive de la plage pourrait être liée à l'arrêt de l'alimentation en matériaux fins depuis l'anse de la Vieille Chapelle, désormais protégée par des enrochements sur l'essentiel de son linéaire.

La plage de graviers et de galets MARSEIL-21, localisée à l'Est de la passe d'entrée du port de la Pointe Rouge, a été formée probablement par rechargement entre 1950 et 1977 (gain de 2 100 m<sup>2</sup>) suite à la création du port. Cette plage, encadrée par des enrochements, est relativement stable depuis 1992. La perte surfacique relevée entre 1977 et 1998 (d'environ 84 %) est probablement imputable aux aménagements terrestres connexes.

La figure suivante présente les tendances évolutives observées sur la période 1977-2003 ou 1992-2003

Des éléments photographiques complétant cette analyse sont rassemblés en Annexe 6 de ce document.

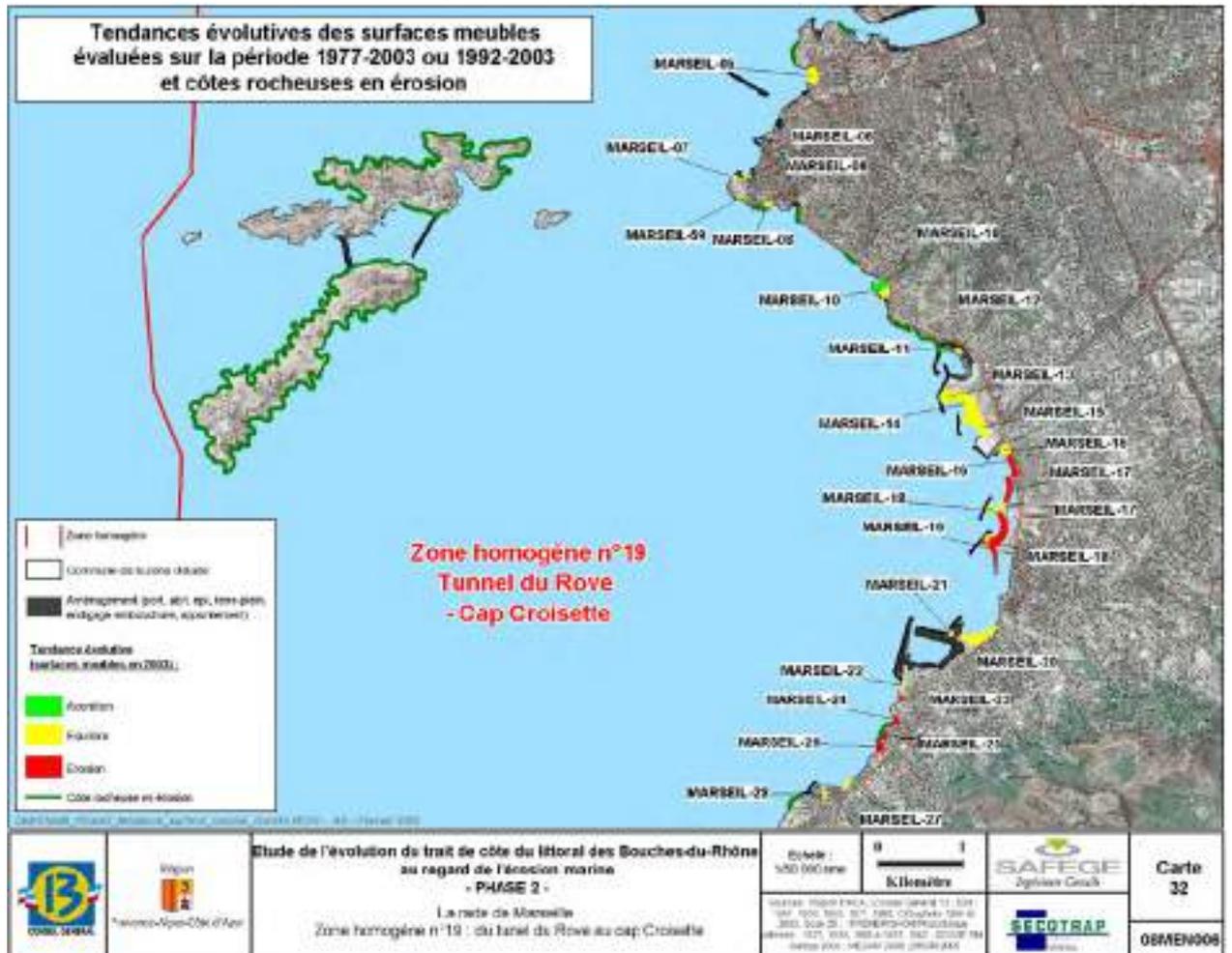


Figure 35: Tendance évolutive de la zone d'étude [D14]

#### 4.5 Nature des fonds marins et origine des sédiments superficiels

Nous ne disposons pas d'analyses granulométriques sur la zone. Les données disponibles permettant de caractériser les matériaux en place sont issues des cartographies accessibles via Internet sur le site du SHOM ([data.shom.fr](http://data.shom.fr)) et MEDTRIX.

##### 4.5.1 Nature des fonds et biocénoses marines

La carte ci-dessous est un extrait de la carte sédimentologique éditée par le SHOM. Elle met en évidence la présence dans les petits fonds de sables principalement, ainsi que de sédiments sablo-vaseux dans l'axe du débouché de l'Huveaune, probablement apportés par le cours d'eau. La carte indique également la présence importante d'un mélange de cailloutis et graviers plus au large, dans des fonds d'environ -10m à -20m. Plus au large, les sédiments fins prédominent.

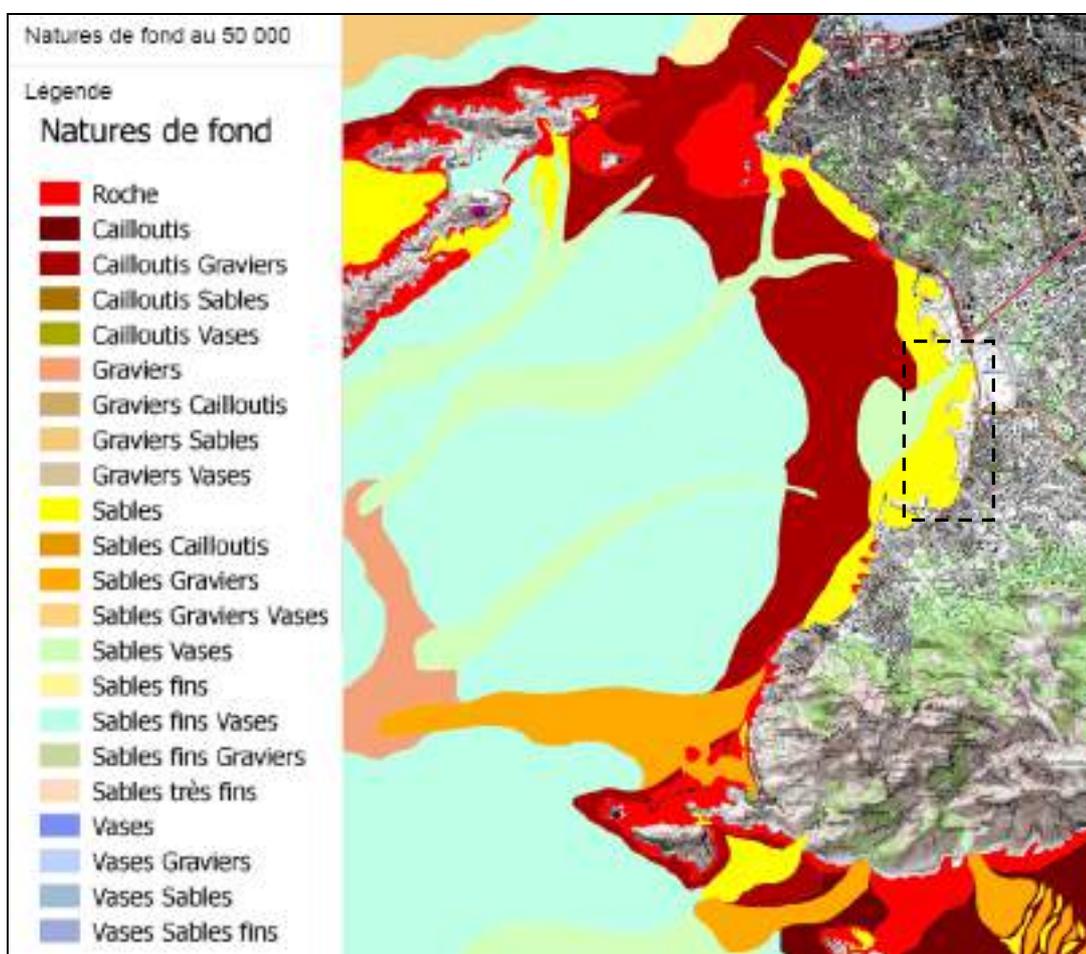


Figure 36 : Nature des fonds marins sur la zone d'étude (source: [data.shom.fr](http://data.shom.fr))

Les cartes marines DONIA® disponibles sur le site [www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr) mettent également en évidence des fonds essentiellement sableux entre -10mCM et la côte, et une prédominance d'éléments fins dans les fonds supérieurs à -10m (cf. figure suivante). Cette carte, basée a priori sur des données datant de 2014-2015, montre par ailleurs la répartition des biocénoses marines sur la zone, avec la présence de :

- biocénose des galets infralittoraux au niveau de la plage de l'Huveaune, ainsi que sur la partie Sud de l'anse de la vieille chapelle et la partie nord de la plage du Prado ;
- biocénose des algues infralittorales / photophiles au Nord de la plage de Borely ;
- mattes mortes et herbiers à posidonie entre -9 m et -25m environ.

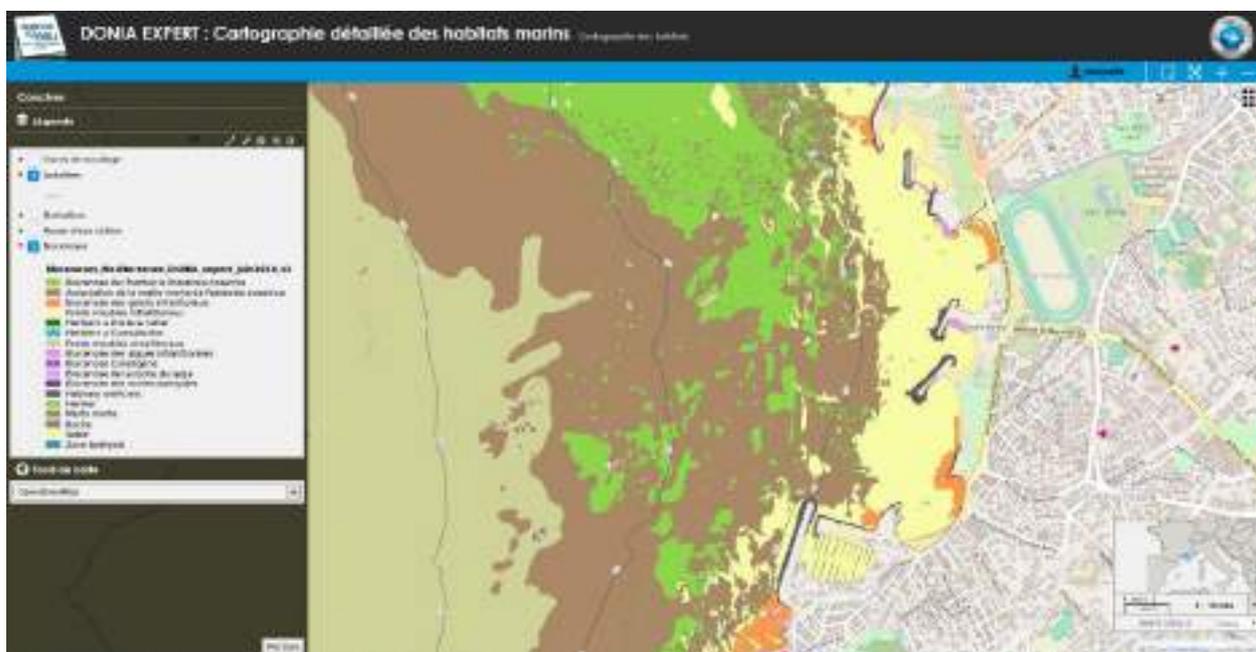


Figure 37: Carte DONIA® des biocénoses marines superposées aux isobathes ([www.medtrix.fr](http://www.medtrix.fr))

#### 4.5.2 Caractéristiques des sédiments superficiels

Le tableau ci-après présente la nature et la taille des sédiments en place sur les plages de la zone d'étude.

La ville joue sur les diamètres des matériaux en place, et a fait le choix d'un diamètre de sable plus grossier (type grain de riz), accompagné parfois de galets, sur la plupart des plages pour limiter les pertes sous l'action du vent et de la houle.



Figure 38: Surface et nature des plages de la zone d'étude (Ville de Marseille)

#### 4.6 Epaisseurs de sédiments meubles

Nous ne disposons pas d'informations relatives à l'épaisseur de sédiments meubles sur les plages du secteur d'étude. Celle-ci est néanmoins probablement réduite (de l'ordre de 1m en moyenne ?) étant donné la relativement faible résilience des plages aux coups de mer, et l'affleurement parfois visible des remblais sous-jacents tel que sur la partie Nord de la plage de Bonneveine.

## 5 Dynamique sédimentaire de la zone d'étude

D'après la commune de Marseille, les plages les plus touchées par les phénomènes d'érosion sont :

- la plage de Borely ;
- la plage de l'Huveaune ;
- la plage de Bonneveine (partiellement).

Les plages de Pointe-Rouge et de l'Huveaune ne se comportent pas de manière homogène sur toute leur longueur et présentent des secteurs en érosion et d'autres en accrétion. Leur comportement varie en fonction des conditions météorologiques.

Le linéaire de l'Anse de la Vieille Chapelle est également soumis à une érosion en pied de protection, ainsi qu'à des dépôts de matériaux à l'arrière de la protection.

### 5.1 Entraînement des sédiments non cohésifs sous l'action des houles et des courants

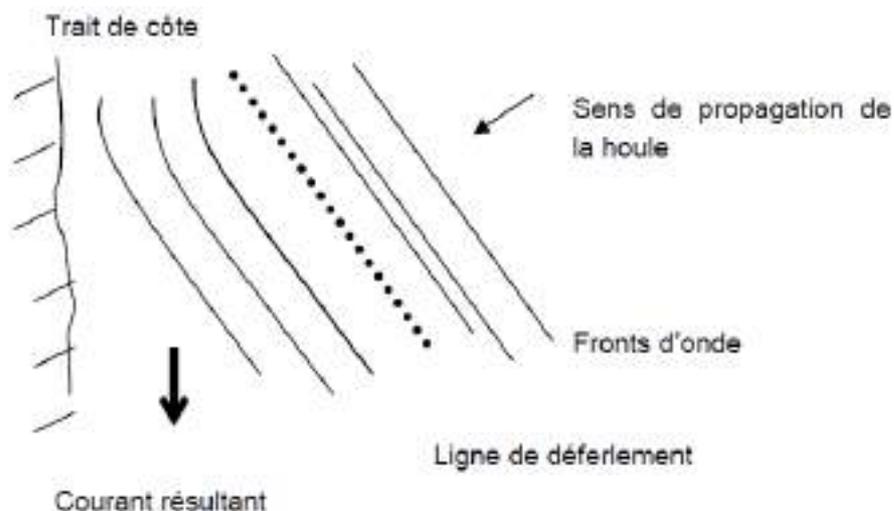
#### 5.1.1 Aspects généraux

Le transport sédimentaire littoral résulte des déplacements alternatifs des sédiments suivant les deux directions propres au littoral. La direction longitudinale localement parallèle au trait de côte, et la direction transversale localement perpendiculaire au trait de côte.

Les déplacements sédimentaires sont étroitement liés aux caractéristiques énergétiques des conditions environnementales (vent, houle, courant, etc.). Ils sont donc saisonniers, et peuvent s'effectuer avec des fluctuations importantes d'une année à l'autre.

La houle est ici l'agent fondamental des transports sédimentaires car :

- elle remet en suspension les sédiments (plus particulièrement dans la zone de déferlement),
- elle crée un courant littoral de compensation dans la zone de déferlement, ; longitudinal lorsqu'elle déferle avec une incidence oblique par rapport au trait de côte (cf. Figure suivante), perpendiculaire à la plage pour des houles d'incidence frontale (mouvement dans le profil),
- elle favorise le transport des sédiments grossiers et des galets sur l'estran (« en dent de scie » dans la zone de « jet de rive »),
- elle crée des courants d'expansion liés aux variations longitudinales de la hauteur de vague. Le sens du courant est contraire à celui du gradient de hauteur de vague (les masses d'eaux se déplacent des zones plus agitées vers les zones moins agitées). Ces variations sont liées aux transformations des ondes au cours de leur propagation au voisinage de la côte (notamment les phénomènes de diffraction).



**Figure 39: Principe des courants de dérive littorale**

Les éléments suivants apportent quelques précisions et justifications à la seule prise en compte de la houle dans l'étude des phénomènes hydrosédimentaires sur la zone d'étude.

Les différentes expériences effectuées par le LCHF sur le début d'entraînement des sédiments non cohésifs montrent que la contrainte critique d'entraînement «  $\tau_c$  » nécessaire pour remettre une particule en mouvement est proportionnelle au diamètre du grain et à son poids spécifique.

Les sédiments qui composent les fonds marins sur le site sont a priori relativement homogènes. Ils sont en effet principalement composés en surface d'un mélange de sables fins à grossier, avec une faible proportion de galets dès que l'on s'éloigne du haut de plage.

Les abaques de Bonnefille [S1] donnent, pour une hauteur d'eau donnée, les vitesses moyennes pour le début d'entraînement des sables (cf. tableau suivant).

Le tableau suivant montre ainsi que pour des sédiments de l'ordre de 0.4 à 4.0 mm de diamètre moyen, des vitesses de l'ordre de 0.4 à 1.0 m/s sont nécessaires pour déplacer les sédiments dans des fonds de 1 m à 5 m.

**Tableau 14: Vitesses moyennes d'entraînement des sables**

Diamètre (mm)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse moyenne de début d'entraînement (m/s)
0.4	1	0.36
	5	0.46
	10	0.64
4.0	1	0.76
	5	1.00
	10	1.13

Les vitesses d'entraînement des sédiments sont issues de la conjonction des courants de masse (liés à la marée, au déferlement de la houle, au vent, etc.) et des vitesses orbitales au passage des vagues.

La courantologie générale ne permet pas d'atteindre ces valeurs (de l'ordre de 0.1 m/s). En cas de tempête, on peut néanmoins estimer que la dérive due au vent puisse ponctuellement atteindre 0.5m/s en surface (cette vitesse décroissant rapidement avec la profondeur).

Néanmoins, l'agitation constitue le moteur essentiel des mouvements. Les houles seules, dès 0.25 m de hauteur par 1 m de hauteur d'eau sont susceptibles d'engendrer des vitesses orbitales sur le fond atteignant les valeurs critiques énoncées plus haut (cf. tableau suivant), les courants de dérive liés à la houle (les plus énergétiques en cas de coup de mer), et dans une moindre mesure liés au vent, étant ensuite susceptibles de transporter les sédiments mobilisés et/ou remis en suspension.

**Tableau 15: Vitesses orbitales maximales engendrées par la houle sur le fond**

Hs (m)	Tp (s)	Hauteur d'eau (m)	Vitesse orbitale maximale sur le fond (m/s)
0.25	6	1	0.38
0.25	6	5	0.14
1	8	5	0.63
1	8	10	0.39
2	9	5	1.28
2	9	10	0.82

D'un point de vue hydrosédimentaire, le régime de houles est ici prépondérant sur celui de la marée, du vent ou des courants généraux, faibles sur cette zone. L'étude du fonctionnement hydrosédimentaire de la zone d'étude ne prend de ce fait en compte que le seul forçage hydrodynamique de la houle.

### 5.1.2 Modélisation du transport sédimentaire induit par la houle

#### 5.1.3 Préambule

L'ensemble des paramètres du modèle numérique est identique à celui utilisé pour propager les houles du large à la côte (cf. paragraphe 1.4.3 : emprise, bathymétrie, maillage, etc.).

#### 5.1.4 Entrants du modèle sédimentaire - Hypothèses retenues

##### **Diamètre médian des sédiments**

Un sédiment de diamètre médian constant égal à 0.30mm a été considéré sur l'ensemble du modèle. Ce diamètre est représentatif de la moyenne des diamètres médians définis par le MOA sur les plages de l'Huveaune, Borely et Pointe Rouge.

##### **Fonds mobilisables**

Le modèle ne permet pas de différencier les fonds mobilisables des zones non érodables. Le transport solide calculé par le modèle doit être compris comme une capacité de transport solide et non pas comme un transit réel.

##### **Echelle de temps des simulations**

Les simulations réalisées avec le logiciel SMC-MOPLA permettent d'analyser les tendances d'évolution du littoral à court terme, typiquement de quelques heures à quelques jours. Les conditions

de houle variant rapidement au cours d'une tempête, les simulations sont réalisées sur des périodes de 12h. Cependant, la couverture sédimentaire des plages étant relativement hétérogène, et le logiciel ne tenant pas compte des zones non érodables, seuls les résultats de transit sédimentaire potentiel sont exploités ci-après.

#### 5.1.5 Résultats du modèle

Les résultats sont présentés en Annexe 7 sous forme de cartes en couleurs donnant pour chaque calcul l'intensité du transit sédimentaire potentiel, avec la direction matérialisée par des vecteurs ( $m^3/m/h$ ).

**Remarque importante** : Dans la mesure où le modèle ne tient pas compte de la présence de fonds non érodables, et ne considère qu'une taille de sédiment uniforme sur le domaine modélisé, les résultats du modèle sédimentaire présentés en annexe ne doivent être interprétés qu'en termes de capacités de transport de matériaux relativement fins (et non pas transit réel).

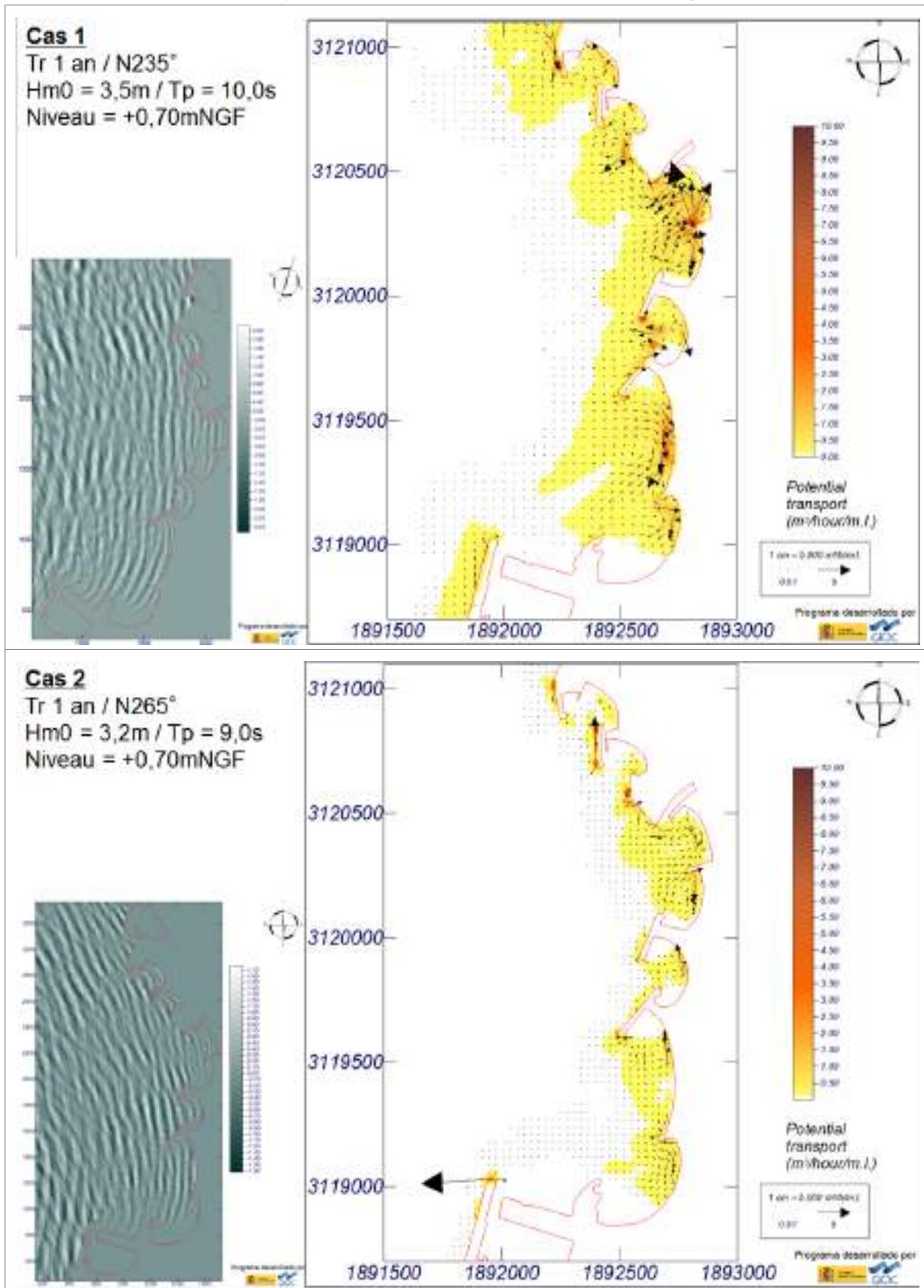
L'analyse des résultats montre que :

- les houles d'occurrence mensuelles sont tout juste suffisantes pour induire des mouvements sédimentaires au niveau des plages de l'Huveaune, Borely et Pointe Rouge (au niveau de l'Anse de la Vieille Chapelle également, mais cette zone ne présente plus de sable fin mobilisable dans ces conditions hydrodynamiques) ;
- les capacités de transport les plus importantes sont relevées au niveau de la plage de l'Huveaune, à l'entrée de l'alvéole de Bonneveine, sur la partie centrale de l'Anse de la Vieille Chapelle (dont les fonds sont constitués de graviers et galets), et en partie Nord de la plage de Pointe Rouge, aujourd'hui dépourvue de sable ;
- quoique limités, des échanges sédimentaires sont possibles entre la plage de Bonneveine et les plages situées de part et d'autre ;
- les échanges sont limités entre la plage de David et celles du Roucas d'une part, et entre la plage de Pointe Rouge et le port de Pointe Rouge d'autre part.

L'analyse des résultats conforte les observations du site et l'analyse menée dans les paragraphes précédents :

- seuls les états de mer de secteur Ouest à Sud-Ouest sont a priori susceptibles d'induire une réponse morphologique significative des plages du littoral étudié ; en dehors de ce type d'évènements, l'intensité du transit littoral est a priori négligeable, les mers du vent de secteur Nord-Ouest présentant en effet des hauteurs de houle et des périodes beaucoup moins énergétiques ;
- les zones soumises à de forts transits sédimentaires potentiels correspondent aux zones présentant des phénomènes d'érosion chronique : partie centrale et sud de la plage de l'Huveaune, partie nord de la plage Borely, partie centrale de la plage de Bonneveine, partie centrale de l'anse de la vieille chapelle, partie Nord de la plage de Pointe Rouge ;
- les mouvements potentiels de sédiments sont plus ou moins orientés de manière identique en conditions de houles de secteur Ouest ou Sud-Ouest.

**Figure 40 : Transit littoral potentiel induit sur la zone de projet à l'état actuel par les houles de tempête annuelles de secteurs O et SO au large**



## 5.2 Etude de la forme à l'équilibre des plages

La forme à l'équilibre du trait de côte d'une plage sableuse semi fermée, soumise à l'influence d'un ouvrage artificiel ou d'une protection naturelle (pointe, cap, par exemple ; forme incurvée entre 2 épis, ou tombolo à l'arrière d'un brise-lames, p.ex.) est gouvernée par les caractéristiques annuelles moyennes de la houle incidente, et de la position du ou des points de diffraction influençant la position du rivage.

A partir d'une situation connue (état initial), cette approche pragmatique permet de définir très rapidement l'impact de nouveaux aménagements sur le littoral.

L'objectif ici est, à partir des éléments rassemblés précédemment, de vérifier l'influence des ouvrages actuels sur le littoral et leur rôle de maintien du sable, et d'en déduire l'importance d'autres facteurs morfo-sédimentaires identifiés par ailleurs (transit littoral intercepté, transit transversal, transit éolien, etc.) ;

Ce modèle permettra par la suite de :

- dimensionner et étudier les rechargements nécessaires ;
- définir l'effet des aménagements projetés sur le trait de côte de la zone d'étude.

Ce module sera exploité pour tous les scénarios d'aménagement proposés susceptibles d'influencer la forme en équilibre des plages liée à la houle.

### 5.2.1 Plages au Nord de la zone d'étude

La figure suivante présente le résultat de l'application de cette méthodologie aux plages situées au Nord immédiat de la zone d'étude, à savoir les plages du Petit et Grand Roucas, et la plage de David.

Les traits de côte résultant sont mis en évidence avec un code couleur propre à chaque plage, permettant par ailleurs de repérer les points de diffraction de la houle contrôlant ces formes.

Le trait de côte Histolitt® est matérialisé en rouge sur ces figures.

La direction du flux moyen d'énergie considéré pour chaque point de diffraction est matérialisée par des flèches mauves.

Cette analyse met en évidence la prépondérance des conditions de houle de secteur ouest à sud-ouest sur l'équilibre de ces plages. La superposition des traits de côte reconstitués avec le trait de côte Histolitt® est en effet très satisfaisante en considérant un flux moyen de secteur Ouest, en particulier pour les plages du Petit Roucas et de David.

**Figure 41: Etude de la forme en plan à l'équilibre des plages situées au nord de la zone d'étude**

### 5.2.2 Plages de la zone d'étude

Les figures suivantes présentent l'application de la même méthodologie aux plages de la zone d'étude. Le même type de représentation est proposé.

De même que précédemment, la superposition des traits de côte reconstitués avec le trait de côte Histolitt® est très satisfaisante en considérant un flux moyen de secteur Ouest, et permet de conforter l'hypothèse d'un flux d'Ouest dominant du point de vue de l'équilibre de ces plages.

De légers écarts peuvent apparaître pour certaines portions de plage comme pour la plage de Bonneveine, en particulier en son centre. Ceci peut être dû soit à une mésestimation des paramètres définissant la forme de la plage, soit au fait qu'il s'agit d'un trait de côte légèrement variable, n'étant pas vraiment à l'équilibre actuellement puisque faisant l'objet de reprofilages et rechargements ponctuels réguliers.

Cette analyse met par ailleurs en évidence une orientation des ouvrages de protection qui ne semble pas en adéquation avec la direction moyenne des houles sur la zone. L'orientation actuelle des

ouvrages de type brise lames situés de part et d'autre de la plage de Bonneveine jouent en effet vraisemblablement plus un rôle de protection/confort des baigneurs vis-à-vis des mers du vent de secteur Nord-Ouest.

**Figure 42 : Etude de la forme en plan à l'équilibre des plages de l'Huveaune et Borely**

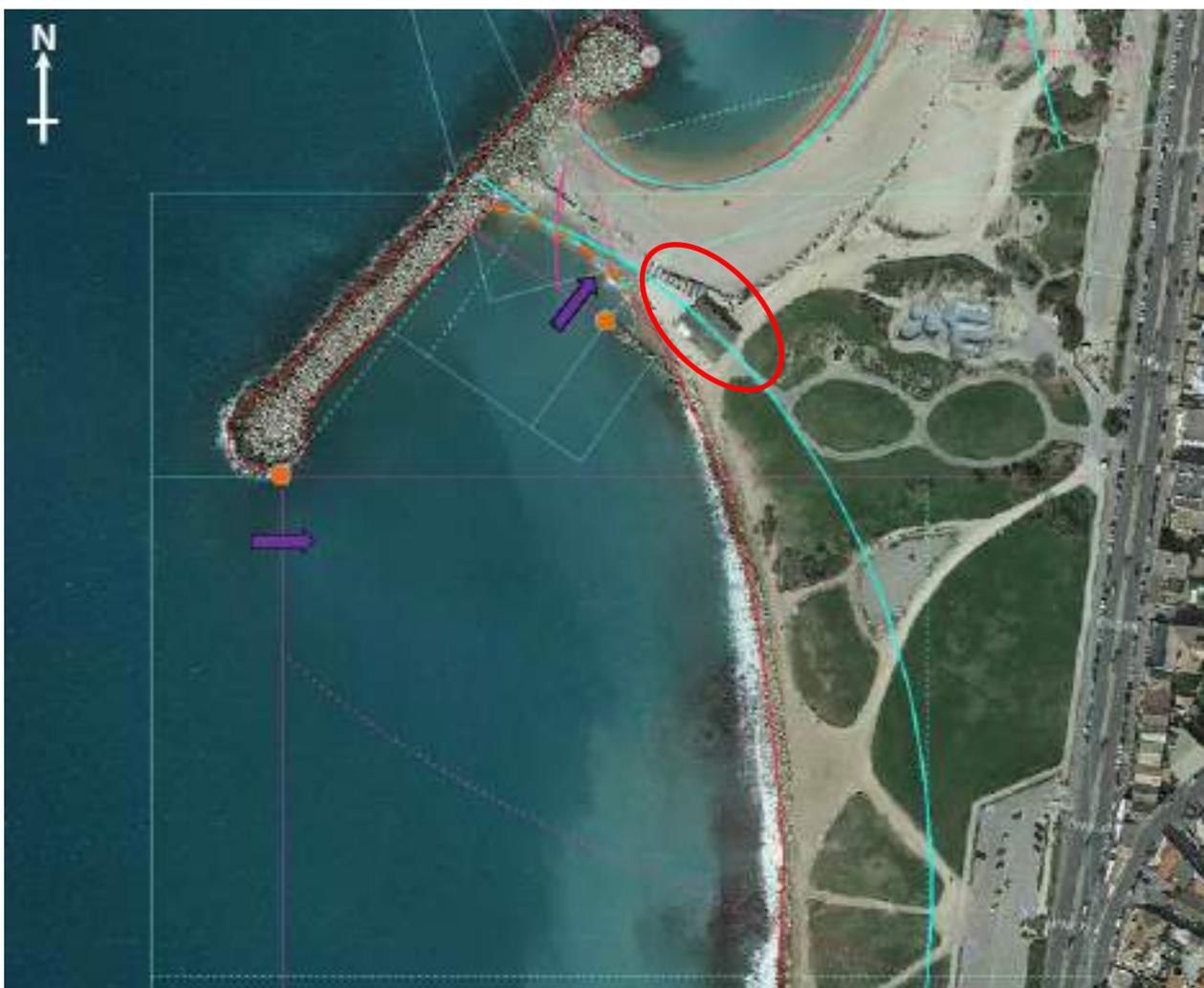


Figure 43: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de Bonneveine



L'analyse de la forme en équilibre de la plage de la Vieille Chapelle (cf. Figure suivante) permet de mettre en évidence la protection apportée par le court épi ajouté dernièrement devant le bâtiment public (cerclé de rouge sur la figure) en vue de le protéger. En effet, le trait de côte à l'équilibre, sous la seule influence du brise-lames séparant cette plage de celle de Bonneveine, visible en bleu sur la figure, traverse le bâtiment public.

**Figure 44: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de l'Anse de Vieille Chapelle**



Enfin, l'analyse du trait de côte de la plage de Pointe Rouge met en évidence l'influence de l'extrémité Nord du môle Voiles légères, construit au début des années 1970, sur la position actuelle de la plage (couleur bleue).

Une analyse sommaire de la possible position de la plage avant construction de ce môle, liée à la seule influence de l'ancienne jetée (couleur verte), conforte l'hypothèse que la construction du môle est à l'origine de l'effet de bascule observé depuis les années 1970.

L'analyse du trait de côte actuel montre néanmoins qu'il est vraisemblablement plus ou moins à l'équilibre aujourd'hui (hors pertes éoliennes et/ou dans le profil, et apports par rechargement).

**Figure 45: Etude de la forme en plan à l'équilibre de la plage de Pointe Rouge**



## 5.3 Transit éolien

### 5.3.1 Plage de l'Huveaune

Les vents dominants à la station de Marseille-Longchamp et aux points d'analyse des modèles Météo-France présentés au §1.1 sont les vents de secteur Nord à Nord-Ouest (Mistral).

L'application de la formule de White adaptée par Arens (1995), aux statistiques de vitesse du vent définies au niveau du Port à partir des données de modèle Météo-France, permet d'estimer le transit éolien potentiel sur la plage de l'Huveaune à environ 20 000 m<sup>3</sup>/an.

Cette estimation est très supérieure aux pertes annuelles relevées sur cette plage. Il est néanmoins important de noter qu'il s'agit d'une capacité de transport potentiel, ne prenant pas en compte la présence d'obstacles à proximité, où le taux d'humidité du sable en place.

Par ailleurs, le sable mobilisé se retrouvera vraisemblablement :

- par vent de Nord à Est essentiellement : dans les petits fonds, avant de revenir ensuite sur la plage sous l'action des courants et de l'agitation (cela pourrait concerner environ 50% du transit potentiel) ;
- par vent de Sud à Nord-Ouest (en passant par l'Ouest) : partiellement bloqué en haut de plage, partiellement sur l'Avenue Mendès-France et/ou dans le cours de l'Huveaune, les sédiments pouvant dans ce dernier cas revenir vers la plage avec les crues suivantes.

Les pertes définitives sur cette plage sont de ce fait essentiellement limitées au sable fin s'accumulant sur l'avenue, rarement réintroduit sur la plage. Le volume réel, a priori non négligeable vis-à-vis des pertes globales de la plage (centaine à quelques centaines de m<sup>3</sup>/an ?), est néanmoins difficile à estimer précisément en l'absence d'estimation des volumes récupérés dans le cadre des travaux d'entretien de la voirie.

### 5.3.2 Plage de Pointe Rouge

Sur la plage de Pointe Rouge, présentant une granulométrie moyenne de sédiments comparable à celle de l'Huveaune, le transit éolien potentiel est probablement du même ordre de grandeur, sinon double, mais les pertes éoliennes sont vraisemblablement plus réduites du fait de son confinement par les restaurants (observations d'accumulations contre les établissements) et le mur de haut de plage. Par ailleurs, il est important de noter que la situation de la plage en contrebas de la route induit probablement des conditions de vent locales différentes de celles pouvant être attendues au niveau de la plage de l'Huveaune ou du Vieux Port. Les estimations de transit potentiel sur ce site sont de ce fait plus qualitatives que quantitatives.

On peut néanmoins remarquer que les vents de secteur Est à Sud-Est sont susceptibles de participer au déplacement du sable de la plage en direction de l'école de voile, avec des dépôts de matériaux vers les petits fonds, qui seront difficilement ramenés par les courants et l'agitation (cela pourrait concerner environ 15% du transit potentiel). Ce phénomène est par ailleurs vraisemblablement exacerbé depuis la bascule de la plage en direction de l'Ouest, offrant plus de surface disponible pour les vents de secteur Est à Sud-Est.

### 5.3.3 Plages constituées de matériaux plus grossier

Pour une granulométrie moyenne comprise entre 3mm et 8mm, la capacité de transport potentiel est réduite de moitié, sinon nulle pour les sédiments les plus grossiers (par rapport à des sédiments de diamètre 0.2-0.4mm). Ces plages sont de fait beaucoup plus stables à l'action du vent (seuls les éléments les plus fins sont mobilisés) et ne nécessitent un reprofilage que suite à des coups de mer de secteur Ouest à Sud-Ouest pour l'essentiel.

Les établissements du Parc de Borely nettoient régulièrement leurs terrasses.



*Nettoyage des terrasses ensablées par mistral (mars 2017)*

Les pertes éoliennes en sédiments sur ces plages sont de ce fait réelles (des envols ont été observés lors du déplacement sur site en Mars 2017), mais vraisemblablement réduites vis-à-vis des autres facteurs érosifs (action de la mer principalement), ou équivalentes par exemple aux pertes liées au nettoyage des plages, difficile à quantifier cependant, et ne concernent que la partie la plus fine des volumes rechargés dans le cadre de l'entretien de ces plages.

## 5.4 Synthèse de la dynamique hydrosédimentaire actuelle du littoral

Exceptée l'évolution des fonds sur la zone d'étude qui reste à préciser/confirmer à l'aide du levé bathymétrique qui sera réalisé au démarrage de la phase AVP, l'analyse des données disponibles a confirmé la tendance érosive du littoral de la zone d'étude, hétérogène néanmoins en intensité et dans les facteurs qui en sont à l'origine.

Cette érosion est relativement réduite, mais nécessite un entretien régulier de la zone d'étude à l'aide de reprofilages (Roucas, David, Vieille Chapelle et pointe Rouge) et de rechargements ponctuels (Huveaune, Borely, Bonneveine) avant la saison estivale.

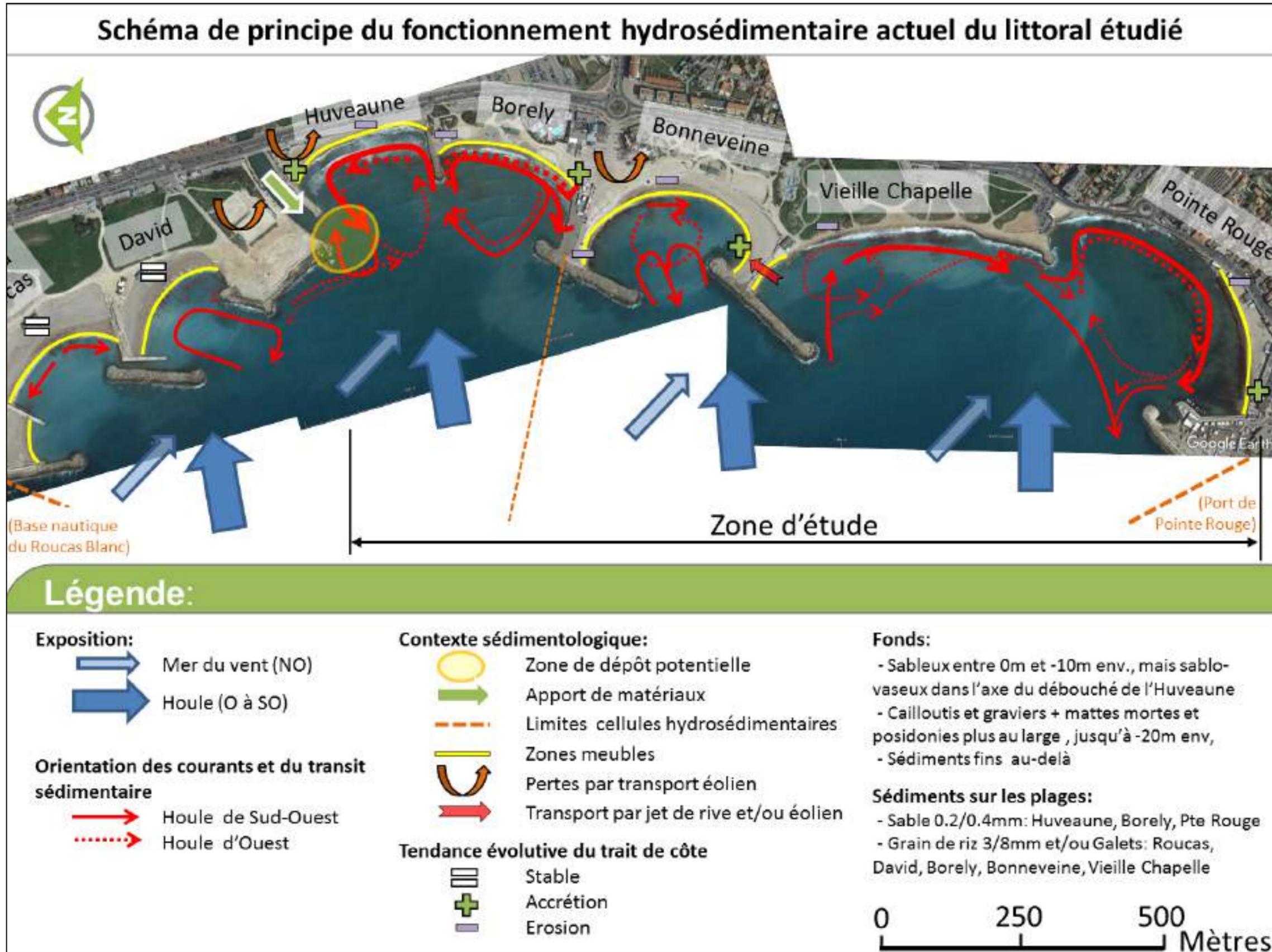
Le schéma ci-après présente une synthèse graphique de la dynamique hydrosédimentaire du littoral actuel.

Pour rappel, la zone peut être délimitée en deux sous-cellules sédimentaires relativement indépendantes (hors événements extrêmes) :

- Une première cellule s'étendant du sud de la base nautique du Roucas Blanc jusqu'au nord de la plage de Bonneveine, et qui inclut le débouché de l'Huveaune, représentant la principale source d'apport de matériaux de la zone d'étude ;
- Une seconde cellule s'étendant du nord de la plage de Bonneveine jusqu'à l'entrée du port de Pointe Rouge.

La zone d'étude n'est pas soumise à des courants de vent/marée significatifs. Elle est principalement soumise aux mers du vent de secteur Nord à Nord-Ouest, et aux houles de secteur Ouest à Sud-Ouest, ces dernières constituant la principale sollicitation hydrodynamique pour les plages concernées. L'absence d'ouvrages de protection, ou l'existence d'ouvrages inadaptés à ces conditions représente la principale cause d'érosion sur la zone d'étude.

Le vent agissant sur les plages de sable fin du secteur (Huveaune, borely, Pointe Rouge) est également à l'origine de départs de matériaux en mer ou sur les voiries (plage de l'Huveaune).



## 5.5 Facteurs responsables de l'érosion sur la zone d'étude

Il est rappelé que les plages les plus touchées par l'érosion sont les plages de l'Huveaune (partie centrale), Borely (partie Nord) et Bonneveine (moitié Nord). La plage résiduelle de l'anse de la Vieille Chapelle, ainsi que la plage de Pointe Rouge sont en effet relativement stables depuis quelques années.

Par ailleurs, il est important de garder à l'esprit que les plages de la zone d'étude sont des plages artificielles, ou ayant perdu leur caractère naturel (Huveaune et Pointe Rouge), a priori désormais sans alimentation en sédiments par les cours d'eau, ni stock sédimentaire au large susceptible de les « recharger » en conditions de beau temps, et dont la protection prévue initialement par des ouvrages en enrochements n'a pas été achevée. Ces plages, de par leurs caractéristiques, sont de ce fait vouées à démaigrir plus ou moins lentement.

Les principaux facteurs responsables de l'érosion chronique, identifiés par la Ville de Marseille, et/ou suite à l'analyse des données disponibles, sont synthétisés ci-après :

- **Plage de l'Huveaune :**
  - Absence de protection vis-à-vis de la houle de secteur Ouest à Sud-Ouest induisant un transit sédimentaire potentiellement important le long de la plage et des pertes de matériaux, vraisemblablement plus au large dans les petits fonds et au débouché de l'Huveaune ;
  - Présence de sédiments fins (0.2-0.4mm) et absence d'éléments verticaux permettant de limiter l'action du vent sur cette plage, favorisant la mobilisation des sédiments par le vent, susceptibles de se déposer soit en mer, soit sur l'avenue située à l'arrière.
- **Plage Borely :**
  - Absence de protection vis-à-vis de la houle de secteur Ouest à Sud-Ouest (excepté en partie Sud, mais insuffisante) induisant un transit sédimentaire potentiellement important le long de la plage et des pertes de matériaux, vraisemblablement plus au large dans les petits fonds ;
  - Présence locale de sédiments fins (0.2-0.4mm) et absence d'éléments verticaux permettant de limiter l'action du vent sur cette plage, favorisant la mobilisation des sédiments par le vent, susceptibles de se déposer soit en mer, soit sur les espaces situés à l'arrière (les pertes sont néanmoins certainement plus faibles que pour la plage de l'Huveaune, intégralement constituée de sable fin).
- **Plage de Bonneveine :**
  - Ouvrages de protection inadaptés vis-à-vis des états de mer de secteur Ouest à Sud-Ouest (ouvrages orientés en vue de réduire l'agitation en cas de mer du vent de secteur Nord-Ouest).
- **Plage de l'anse de la Vieille Chapelle :**
  - Ouvrages de protection inadaptés vis-à-vis des états de mer de secteur Ouest à Sud-Ouest :
    - Brise-lame au Nord orienté en vue de réduire l'agitation en cas de mer du vent de secteur Nord-Ouest, ayant nécessité la construction d'une protection locale complémentaire pour protéger le bâtiment public situé à l'arrière

- Absence de brise-lames pour le reste de cette portion de littoral directement exposée aux houles du large, et induisant un transit sédimentaire potentiellement important le long de l'anse et des pertes de matériaux (approfondissement des fonds en pied d'ouvrage) ;
- Protection linéaire en enrochements pour le reste de cette portion de littoral autorisant d'importants franchissements, à l'origine de départs de matériaux à l'arrière de la protection du fait de l'absence de couche filtre et/ou géotextile sous les enrochements (à l'exception de l'extrémité Sud de ce linéaire, ne présentant pas ces dysfonctionnements). Ces départs de matériaux fins du talus, associé aux possibles départs de matériaux en pied d'ouvrage par la dérive littorale, favorise la déstabilisation des enrochements de protection sous l'action de la houle.
  - Altitude peu élevée du haut de plage, autorisant un transfert de matériaux par jet de rive et/ou vent en direction de l'extrémité Sud de la plage de Bonneveine.
- **Plage de Pointe Rouge :**
  - Présence du môle voile légère qui a favorisé un processus érosif sur la partie nord-Est de la plage en induisant une bascule de la plage en direction de l'Ouest.
  - Présence de sédiments fins (0.2-0.4mm), favorisant la mobilisation des sédiments par les vents de secteur Est à Sud-Est, susceptibles de se déposer en mer.

La pluie (ruissellement) et les opérations de nettoyage des plages contribuent vraisemblablement de manière négligeable au processus érosif observé sur les plages de la zone d'étude. Ces facteurs érosifs ne seront de ce fait pas traités dans le cadre des solutions d'aménagement proposées.

Les dispositifs suivants, cependant peuvent être envisagés :

- Canalisation en amont des écoulements d'origine pluviale et/ou issus de l'arrosage des espaces verts adjacents ;
- Amélioration des pratiques relatives au nettoyage des plages (cf. mesures de gestion présentées au Chapitre 5 -3.3.3).

# Chapitre 5 - Proposition de solutions de protection du littoral contre l'érosion

## 1 Rappel des principaux enjeux identifiés sur la zone d'étude

Ci-après sont rappelés les enjeux prioritaires identifiés sur la zone, considérés pour l'élaboration des scénarios d'aménagement.

Les limites géographiques des plages ou zones identifiées dans ce tableau, puis dans les scénarios d'aménagement, sont identifiées sur la figure ci-dessous :



Plage / zone	Enjeux identifiés
<b>Huveaune</b>	<p>Cette plage de sable naturel est soumise à une érosion éolienne et marine significative (en particulier en partie centrale), du fait notamment d'ouvrages de protection très réduits (latéraux uniquement). Son sable fin « naturel », très apprécié n'est cependant pas voué à être substitué, et la mise en œuvre d'ouvrages de protection complémentaires est difficilement conciliable avec les usages actuels.</p> <p>La plage est en effet très appréciée des surfeurs et véliplanchistes (+ kayak et paddle récemment), et sa protection contre l'érosion n'avait déjà pas été finalisée lors de la construction du Parc balnéaire du Prado afin de préserver ces activités historiques. La préservation des usages de sports de glisse est de fait considérée plus importante que la protection contre l'érosion marine.</p> <p>Les problématiques de qualité d'eau et risque inondation liées à l'évacuation des crues de l'Huveaune vont par ailleurs aussi dans le sens de la minimisation des ouvrages de protection sur le secteur Huveaune-Borely.</p> <p>La protection du soubassement du parking d'arrière plage est néanmoins indispensable, et la réduction des pertes éoliennes de sédiments permettrait de réduire la quantité des rechargements nécessaires.</p>

<p><b>Borely</b></p>	<p>Cette plage constituée d'un mélange de sable naturel, de sédiments grossiers (grain de riz) et galets, est soumise à une érosion significative dans sa partie Nord. Elle est protégée depuis quelques années sur cette zone par un système expérimental constitué de quelques enrochements 2-4t au niveau de la laisse de mer. Cette érosion est liée notamment à la présence d'ouvrages de protection très réduits (latéral uniquement au Nord, et brise lames très réduit au Sud).</p> <p>L'usage balnéaire, principalement concentrée en zone Sud (recouverte par des matériaux fins), y est réduit et n'est pas considéré comme prioritaire. La préservation et même le développement des sports de glisse (usages actuellement plus prononcés sur la plage de l'Huveaune) est de fait considérée plus importante que la baignade et la protection contre l'érosion marine. Ce développement implique néanmoins l'aménagement d'un accès à la mer en partie Nord de la plage, actuellement gêné par la forte pente des fonds et la présence des enrochements posés à titre expérimental au niveau de la laisse de mer.</p> <p>La problématique de qualité d'eau liée aux crues de l'Huveaune va par ailleurs aussi dans le sens de la minimisation des ouvrages de protection sur le secteur Huveaune-Borely.</p> <p>La protection contre l'érosion est néanmoins indispensable pour éviter la mise à nu et désorganisation des remblais du Parc Balnéaire, et la réduction des pertes éoliennes de sédiments permettrait de réduire la fréquence des rechargements nécessaires et irait dans le sens de minimiser le sable qui arrive sur les terrasses des établissements du parc Borely.</p> <p>Enfin, des espaces balnéaires pourraient néanmoins être développés dans sa partie Sud afin de mieux sectoriser les usages.</p>
<p><b>Bonneveine</b></p>	<p>Cette plage constituée de sable grossier (grain de riz), est soumise à une érosion significative, principalement dans sa moitié Nord, du fait notamment d'ouvrages de protection inadaptés (orientés face aux mers du vent de secteur NO, afin de réduire l'agitation la plus fréquente pour les usagers).</p> <p>Bien qu'une activité de Kite-Surf se soit développée récemment à l'intérieur de l'alvéole hors période estivale, cette plage est principalement dédiée à la baignade et vouée à le rester. La protection contre l'érosion est de ce fait jugée prioritaire sur ce secteur.</p> <p>Enfin, une accumulation d'eau se forme dans sa moitié Sud par temps de pluie, nécessitant a minima un reprofilage régulier pour faciliter son évacuation.</p>
<p><b>Vieille Chapelle</b></p>	<p>La plage résiduelle, située au Nord de l'anse, constituée de matériaux relativement grossiers, est principalement dédiée à la baignade (usagers récurrents tout au long de l'année), et au kite-surf hors période estivale (extension du chenal de navigation, zone de mise à l'eau). Cette plage est soumise à une légère érosion du fait d'une perte de matériaux par jet de rive en direction de la plage adjacente de Bonneveine.</p> <p>Plus au Sud, au centre de l'Anse, un accès à l'eau a été aménagé pour le Kite-Surf, qui est cependant peu praticable à l'année car : exposée aux houles de secteur Ouest à Sud-Ouest, contre le vent thermique l'été, et constituée de béton, débouchant sur des galets entre des enrochements de protection (risque d'accidents). La pratique de ce sport présente quelques conflits d'usages avec les usagers de l'école de voile de Pointe Rouge qui peuvent être amenés à utiliser les</p>

	<p>mêmes axes de navigation.</p> <p>La promenade le long de l'anse, et en particulier entre la plage et la cale est par ailleurs régulièrement attaquée par les franchissements liés à la houle. L'absence de noyau et/ou de géotextile facilite le départ des matériaux fins situés à l'arrière, et par suite la désorganisation / déstabilisation de la protection actuelle en enrochements (2-4t). Les galets autrefois bien présents en pied de cet ouvrage, sont aujourd'hui de plus en plus rares.</p> <p>La préservation des usages baignade et kite-surf y est prioritaire, de même que la protection de la promenade. Le développement d'espaces balnéaires sur cette zone inexploitée est également attendu, mais considéré comme moins prioritaire, bien qu'un gain en surfaces exploitables permettrait de réduire les conflits d'usages.</p>
<b>Pointe Rouge</b>	<p>La plage, constituée de sable naturel, s'est déplacé lentement vers le Sud-Ouest depuis la construction du môle voile légère et du parc balnéaire du Prado, mais semble relativement stable sur les dernières années.</p> <p>Ce secteur concentre un nombre d'activités / usages particulièrement important, tels que baignade, funboard, kite-surf à proximité (Anse Vieille Chapelle), voile légère (jusqu'à 700 embarquements organisés par jour), qu'il est particulièrement important de préserver.</p> <p>L'érosion en partie centrale est néanmoins préjudiciable pour les commerçants et les usagers, obligés dernièrement de se rapprocher des zones de navigation (conflits possibles). Par ailleurs, il n'existe pas de liaison piétonne entre l'Anse de la Vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge (passage le long de la route par un trottoir étroit).</p> <p>L'aménagement d'une liaison continue entre les deux sites, conjuguée à un maintien de sable en partie Nord de la plage, est de ce fait jugée prioritaire.</p>

## 2 Principales techniques de protection existantes

Ce paragraphe vise à présenter les principales solutions existantes permettant de limiter les pertes de sable sur les littoraux sableux aménagés. Parmi celles-ci, la ou les solutions les plus adaptées au secteur d'étude seront identifiées par expertise.

Ces solutions sont analysées en fonction de leur mode de fonctionnement théorique (modélisations numériques – cf. plus haut) et des retours d'expériences connus, en particulier sur le littoral Méditerranéen.

### 2.1 Protection contre les pertes éoliennes de sédiments

Deux principes de base peuvent prévaloir dans la recherche des solutions possibles :

- maintenir le sable sur la plage en réduisant les effets du vent plutôt que de le piéger une fois qu'il a été mis en mouvement. L'objectif est d'empêcher le transport éolien du sable depuis la plage en limitant les vitesses de vent ;
- bloquer le sable et assurer son stockage, avant qu'il ne rejoigne la route. L'objectif est de conserver le sable dans une zone conçue à cet effet sans avoir à procéder à son évacuation (par exemple création d'une dune).

La solution visant à créer un cordon dunaire n'étant pas envisageable pour ces plages urbaines artificielles, celle-ci n'est pas détaillée ci-après.

Les principales solutions pouvant être envisagées sont les suivantes :

- **Augmentation de la granulométrie** moyenne des matériaux en place sur les plages afin de réduire leur mise en mouvement par le vent et la houle (à l'image des plages du Roucas et David par exemple) ;
- Mise en place de **dispositifs de type brise-vent** (ganivelles, filets, ou végétalisation spécifique) permettant de contenir les sédiments mobilisés sur la plage, au niveau de ces dispositifs.

#### ■ Augmentation de la granulométrie des sédiments

<i>Principe / objectif</i>	Rechargement/substitution des matériaux fins de la plage par des sédiments plus grossiers, type grain de riz par exemple, moins sensibles à l'action du vent.
<i>Efficacité attendue</i>	Le retour d'expérience sur le secteur d'étude montre que les pertes éoliennes de sédiments sont très réduites sur les plages présentant une granulométrie moyenne de l'ordre de 3-8mm.
<i>Avantages / intérêts</i>	Sédiments moins mobilisables par le vent ; réduction des mouvements et pertes liés au vent.
<i>Inconvénients / contraintes</i>	Solution assez coûteuse à la mise en œuvre. Perte d'intérêt de la plage pour les usagers. Contraintes réglementaires liées au rechargement de sable.

**Les scénarios de rechargement sur des zones actuellement sans sédiments prévoiront des sédiments de type grain de riz ou galets**

### ■ Dispositif de type brise-vent / Mise en place de ganivelles

<i>Principe / objectif</i>	<p>Le principe de ce dispositif de type brise-vent est de bloquer le sable déjà mis en mouvement et d'assurer son stockage avant qu'il ne sorte des limites de la plage. Il s'agit d'un obstacle semi-perméable qui permet de réduire la vitesse du vent sans induire de forte déflation, susceptible d'aggraver la situation à proximité du dispositif.</p> <p>Les ganivelles sont des clôtures constituées de lattes en bois tenues par du fil de fer. L'ensemble est supporté par des poteaux en bois foncés dans le sol. Les poteaux sont mis en œuvre tous les 2.0m et fichés d'environ 0.6m dans le sol. Des jambes de forces peuvent être mise en œuvre ponctuellement pour améliorer la tenue de l'ensemble, notamment au niveau des intersections.</p> <p>La fonction des ganivelles est double : d'une part, elles jouent le rôle de clôtures et empêchent la circulation du public dans les zones végétalisées (dans le cas d'un objectif de restauration dunaire) et d'autre part, elles ont un effet « brise vent » en présentant une perméabilité de l'ordre de 50% à 60% sur une hauteur usuellement comprise entre 1.0m et 1.2m.</p>
<i>Efficacité attendue</i>	<p>Les ganivelles font l'objet d'un large retour d'expérience et d'une efficacité avérée dans le cadre de projets de restauration dunaire essentiellement. Sous réserve d'emprise au sol suffisante, un tel dispositif permettrait de capter efficacement une bonne partie du sable éolisé.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Intérêt écologique et paysager ;</p> <p>Solution relativement peu coûteuse à mettre en œuvre.</p> <p>Conserve les sédiments mobilisés par le vent dans l'emprise de la plage (cette solution est généralement utilisée pour la création ou réhabilitation de cordons dunaires).</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Les ouvrages en ganivelles nécessitent un entretien périodique, potentiellement important du fait de la possible dégradation / vandalisme par le public (enjambement, récupération de bois pour faire du feu, etc.).</p> <p>Faute d'information, la canalisation de la fréquentation peut être interprétée comme une atteinte à la liberté de mouvement ; la mise en œuvre de cette solution nécessite de ce fait l'aménagement de plusieurs passages et de panneaux d'information pour accéder facilement à la plage.</p> <p>Par ailleurs, si l'apport de sable est important, la rangée de ganivelles sera rapidement saturée en hauteur ; le casier devra alors être vidé ou une rangée supplémentaire installée côté mer.</p> <p>Nécessite un rechargement préalable de la plage, ou la récupération d'une partie du parking, afin d'offrir un minimum d'emprise au sol pour implanter une double rangée de ganivelles ainsi qu'une bande de stockage à l'arrière, tout en soustrayant le dispositif à l'action de la mer.</p> <p>Contraintes réglementaires liées au rechargement de sable.</p>

**Cette solution n'est pas retenue à ce stade**

Le type du maillage (en général de 5x5 mm à 10x10 mm) permet d'obtenir une perméabilité précise (les plus utilisés étant compris entre 40 et 60%).



Reconstitution d'un cordon dunaire sur le lido de Sète à Marseillan (Hérault). Les sables sont bloqués par une série de ganivelles. La dune n'est pas encore végétalisée.



Face côté terre de la dune reconstituée sur le lido de Sète à Marseillan (Hérault). Le maillage en ganivelles est très visible.

#### ■ Dispositif de type brise-vent / Mise en place de ganivelles ou de filets

##### *Principe / objectif*

Les filets sont similaires aux ganivelles dans leur fonctionnement et caractéristiques générales, mais permettent une répartition plus fine de la sédimentation lors de son piégeage, qui pourra ainsi être plus importante côté plage qu'avec les ganivelles.

Les filets sont donc particulièrement adaptés au remodelage de certains secteurs dégradés. De même, ils sont intéressants pour le traitement des zones très dynamiques (à ensablement rapide) et les linéaires importants (grands siffle-vent, cordons littoraux). Leur hauteur est généralement de 2 m. Avec une faible perméabilité, ils peuvent servir aussi à la protection des plantations (hauteur de 1 m à 1,20 m).

##### *Efficacité attendue*

De nombreux fabricants proposent des filets et grillages synthétiques afin de répondre aux besoins de brise-vent ou de clôture coupe-vent. Les systèmes soudés ou perforés sont a priori trop rigides et deviennent rapidement cassants. En milieu dunaire, seuls les filets tissés ou tricotés à base de polyéthylène ou de nylon semblent donner satisfaction. Certains modèles sont renforcés sur les

		bordures (parfois même sur l'axe central) et sont donc plus résistants.
<i>Avantages / intérêts</i>	/	<p>Solution peu coûteuse à mettre en œuvre et à entretenir.</p> <p>Une certaine précision dans le fonctionnement.</p> <p>Le piégeage de sable pouvant être attendu plutôt devant les filets que derrière, ceux-ci peuvent être installés directement en haut de plage actuel. Leur mise en œuvre ne nécessite pas a priori de rechargement préalable en sable, ou de gain d'emprise sur le parking situé à l'arrière.</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>		<p>Esthétique discutable sur le plan paysager,</p> <p>Durabilité limitée, nécessite un entretien périodique potentiellement important du fait de la possible dégradation / vandalisme par le public (enjambement p.ex.), sensibilité aux vents violents et de faible résistance aux rayons ultraviolets (résidus pas forcément dégradables) ;</p> <p>Faute d'information, la canalisation de la fréquentation peut être interprétée comme une atteinte à la liberté de mouvement ; la mise en œuvre de cette solution nécessite de ce fait l'aménagement de plusieurs passages et de panneaux d'information pour accéder facilement à la plage.</p> <p>Par ailleurs, si l'apport de sable est important, la rangée de filets sera rapidement saturée en hauteur ; si un état stationnaire n'est pas atteint, le sable devra alors être repositionné sur la plage.</p>

**Cette solution, plus souple et moins exigeante que les ganivelles, est intégrée aux scénarios d'aménagement proposés**



Accumulation de sable au niveau des filets brise vents installés à Dunkerque pour limiter l'envol du sable rechargé dernièrement (rechargement de la digue des Alliés ; source : Geodunes)

■ **Dispositif de type brise-vent / Végétalisation du haut de plage**

<i>Principe / objectif</i>	<p>Le principe du dispositif est de bloquer le sable déjà mis en mouvement et d'assurer son stockage avant qu'il ne sorte des limites de la plage. Il s'agit d'un obstacle semi-perméable qui permet de réduire la vitesse du vent sans induire de forte déflation, susceptible d'aggraver la situation à proximité du dispositif.</p> <p>Cette barrière perméable pourrait être constituée d'une rangée d'arbustes ou buissons résistants aux embruns et adaptés au climat méditerranéen, type Tamaris par exemple.</p>
<i>Efficacité attendue</i>	<p>La végétalisation dunaire arbustive est généralement plutôt dédiée aux arrières dunes, moins soumises au transport éolien. L'efficacité du dispositif devrait de fait être moindre que celle apportée par des ganivelles. La présence d'arbustes autour de la plage limiterait néanmoins la vitesse du vent aux abords de la plage et l'envol de sédiments. Sous réserve d'emprise au sol suffisante, un tel dispositif devrait permettre de réduire significativement la quantité de sable éolisé.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Solution peu coûteuse à mettre en œuvre, et nécessitant peu d'entretien.</p> <p>Réduit la mobilisation des sédiments par le vent.</p> <p>Séparation visuelle et sonore avec l'avenue et le parking.</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Nécessite un rechargement préalable de la plage, ou la récupération d'une partie du parking, afin d'offrir un minimum d'emprise au sol pour implanter au moins une rangée d'arbustes/buissons, tout en les soustrayant de l'action de la mer.</p> <p>Nécessite l'aménagement de passages régulièrement espacés pour les usagers.</p> <p>Contraintes réglementaires liées au rechargement de sable.</p>

**Cette solution pourrait être envisagée en remplacement ou complément des filets brise-vent mais n'est pas intégrée à ce stade aux scénarios d'aménagement proposés**

## 2.2 Protection contre les pertes de sédiments liées à l'action de la mer

La diversité des phénomènes à l'origine de l'érosion littorale conduit à une diversité de moyens de restauration et de protection qui ne s'opposent pas forcément les uns aux autres, mais qui sont souvent complémentaires.

On distingue ainsi les réponses techniques basées sur :

- les méthodes « passives » (aménagements statiques) basées sur la construction d'ouvrages lourds en mer ou sur le rivage, généralement réalisés en enrochements naturels, et qui incluent également les matériaux nouveaux (les ouvrages sont réalisés par exemple en géotextile ; marques stabiplate®, géotube®) ;
- les méthodes « actives » (aménagements dynamiques) utilisant et agissant sur les matériaux naturels. Ces méthodes sont plus généralement dénommées méthodes « douces », et incluent les procédés « nouveaux » comme le drainage de la plage ; procédé « Ecoplage® ».

Les procédés « nouveaux » peuvent être répartis en cinq rubriques en fonction de leur mode d'action :

- action sur le milieu liquide (la propagation des houles, déferlements, obstacles divers, drainages) ;
- action sur les fonds (algues artificielles ou naturelles) ;
- action sur l'estran et l'arrière-plage (rechargements, remodelages, by-passing, protections des dunes) ;
- recouvrement des plages par des protections en matériaux variés ;
- autres procédés (sacs en géotextile, roches électrolytiques, filets piégés, etc.).

**Les procédés et matériaux nouveaux manquent encore d'expérimentations et de recul sur leur efficacité, ce qui oblige à la plus grande prudence. Ils sont de ce fait mentionnés mais ne sont pas détaillés dans ce rapport.**

En ce qui concerne les ouvrages en tubes géotextiles remplis de sable, leur utilisation nécessite de les positionner de manière à ce qu'ils ne soient jamais hors d'eau, car le géotextile est sensible aux UV. Les tubes en géotextile sont par ailleurs relativement fragiles au frottement, aux chocs de bateaux (hélices) ou aux chocs des corps flottant (par exemple bois flotté). Le vandalisme est aussi un des soucis des gestionnaires de ces ouvrages. La réparation nécessite de fait des moyens importants (barges), et des reconnaissances régulières sont nécessaires. Ce type d'ouvrage est de ce fait difficilement envisageable pour une protection contre l'érosion, mais pourrait en revanche se prêter à la mise en œuvre d'un récif artificiel pour la création d'un « stade de glisse » par exemple.

Par ailleurs, il faut également tenir compte du fait que certains aménagements ou ouvrages artificiels existants peuvent avoir un effet négatif sur le littoral. En conséquence, il est nécessaire d'examiner leurs suppressions ou leurs modifications.

### 2.2.1 Les méthodes « actives » ou méthodes « douces »

Ces méthodes « actives » tendent davantage à composer avec la mer plutôt qu'à s'y opposer. Ces techniques « douces » sont généralement à envisager en priorité par rapport à la construction d'ouvrages massifs car leurs impacts sur l'environnement et les paysages littoraux sont moindres.

Cependant, bien qu'elles soient en général plus économiques à l'investissement, elles nécessitent des entretiens pouvant s'avérer onéreux sur le long terme.

☞ C'est le cas pour la zone d'étude, qui fait actuellement l'objet de remodelages et rechargements réguliers, avec des coûts récurrents significatifs. Ces méthodes ne seront donc considérées qu'en complément de solutions techniques dites « passives », de manière à réduire l'érosion et l'entretien correspondant de manière satisfaisante.

Ces méthodes prennent la forme de différents procédés qui schématiquement sont regroupés en quatre grands types de solutions (hors procédés nouveaux) :

#### ■ Le remodelage de l'estran et des plages (reprofilage)

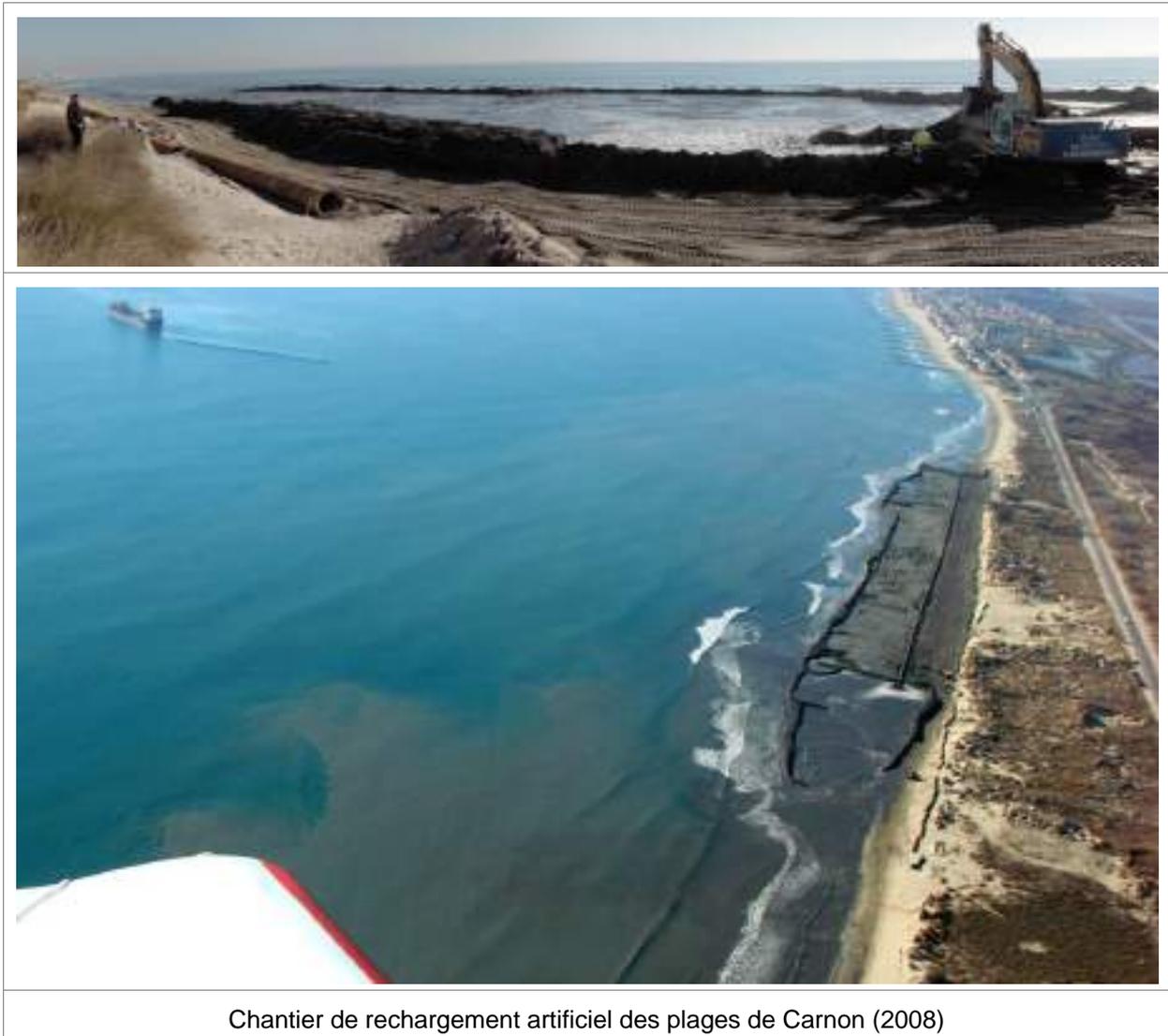
<i>Principe / objectif</i>	Ce procédé dont l'objectif est de rétablir un profil régulier de la plage, consiste à effectuer des emprunts de matériaux (sable, galets) sur le haut ou le bas de plage et à répartir ces matériaux sur le profil.
<i>Efficacité attendue</i>	Cette méthode est particulièrement intéressante pour rehausser un profil de plage surbaissé. Cependant, elle n'est valable que si le déplacement de sédiments s'effectue dans le sens du profil.
<i>Avantages / intérêts</i>	Meilleure répartition des sédiments dans le profil et amortissement de l'agitation ; Méthode peu traumatisante pour le milieu ; Coût peu élevé.
<i>Inconvénients / contraintes</i>	Risque de dégradation de la végétation (le cas échéant) par les engins de travaux ; Efficacité du procédé temporaire et dépendante des conditions hydrodynamiques locales et des caractéristiques des matériaux.

**Cette solution, déjà utilisée actuellement en entretien des plages, n'est pas retenue à ce stade pour être intégrée aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre**

### ■ Le rechargement par un apport artificiel de matériaux

<i>Principe / objectif</i>	L'apport artificiel de matériaux va permettre d'augmenter le volume et d'élargir la plage, ce qui assure une diminution des dégradations imputables aux fortes agitations hivernales puisque la largeur de plage va permettre un meilleur amortissement de l'agitation et une dissipation de l'énergie des houles.
<i>Efficacité attendue</i>	<p><u>Un rechargement avec des matériaux trop fins se traduit invariablement par des pertes rapides. L'efficacité du rechargement dépend des caractéristiques des matériaux utilisés.</u> Il faut respecter une granulométrie identique, voire supérieure à celle des matériaux en place.</p> <p>Cette solution ne modifie toutefois pas le régime hydrosédimentaire général du littoral, elle contribue à une amélioration de la stabilité des plages qui est locale et temporaire si des mesures complémentaires ne sont pas mises en œuvre pour maintenir le sable.</p> <p>De fait, <u>le rechargement est principalement utilisé en complément d'autres actions de protection mais il peut se concevoir également massivement.</u></p>
<i>Coût</i>	<p>Le coût d'un rechargement varie en fonction de la nature des sédiments (galets, sable de carrière, sable prélevé en mer, produit de dragage d'avant-port...), en fonction de l'éloignement entre le gisement et la zone à recharger et en fonction de la méthode de dragage.</p> <p>Les stocks sédimentaires disponibles à proximité de la zone d'étude ne sont pas très importants voire faibles à nuls pour certains types de matériaux, ce qui nécessite actuellement un approvisionnement depuis la carrière du Beausset par exemple, avec un coût relativement élevé.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Engraisse rapidement la plage, rétablissement du profil d'équilibre de la plage</p> <p>Meilleur amortissement de l'agitation</p> <p>Excellente intégration paysagère</p> <p>Impact sédimentaire à l'aval transit favorable (réalimentation du reste de la cellule hydrosédimentaire)</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Les déversements par petits fonds risquent de perturber la faune benthique par recouvrement et/ou turbidité;</p> <p>Efficacité du procédé limitée dans le temps et l'espace nécessitant des rechargements d'entretien périodiques dont le coût est comparable à celui des apports initiaux ; la ressource en sable doit être pérenne pour permettre ces rechargements massifs</p> <p>Difficulté de trouver des ressources en sable compatible, à proximité du site pour de grands volumes, et pour des coûts acceptables.</p> <p>Impact sédimentaire à l'aval transit pouvant être défavorable (ensablement de la zone de l'école de voile de Pointe Rouge p.ex.)</p>

**Cette solution est retenue à ce stade en complément de différentes techniques pour être intégrée aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre.**



Chantier de rechargement artificiel des plages de Carnon (2008)

### ■ La création et/ou la réhabilitation de cordons dunaires ou de cordons artificiels

<i>Principe / objectif</i>	<p>Les dunes sont des accumulations sableuses meubles qui forment une protection naturelle des côtes par le barrage qu'elles opposent aux houles et marées de tempête. Elles se caractérisent naturellement par une forte mobilité. Cependant, une plage qui se dégraisse ne nourrit plus la dune bordière. Pour limiter ces pertes, il est possible de fixer, ou du moins d'entraver la mobilité des dunes en maintenant et/ou reconstituant son stock de sable.</p> <p>Les techniques de réhabilitation des dunes à l'aide de barrières sont nombreuses, elles peuvent faire appel à des pieux, des fagots, lattes de bois (ganivelles), des tissus plastiques... Des principes de base doivent cependant être respectés comme par exemple une porosité de l'ordre de 50%.</p> <p>Ces techniques peuvent également être utilisées pour des cordons artificiels végétalisés dont le fonctionnement ne s'apparente pas à des espaces dunaires.</p>
<i>Efficacité attendue</i>	<p>La construction d'ouvrages en ganivelles, technique la plus utilisée, impose un dimensionnement et un positionnement précis de l'ouvrage sur la plage pour d'une part optimiser son efficacité et d'autre part éviter les destructions de ces ouvrages fragiles par les houles de tempêtes.</p> <p>Ce type d'ouvrage doit toutefois faire l'objet d'un suivi régulier pour surveiller sa topographie et réparer les inévitables dégradations naturelles et anthropiques, mais aussi pour adapter sa structure aux conditions dynamiques.</p> <p>D'un point de vue paysager, ces ouvrages en bois présentent une bonne intégration dans les milieux dunaires, certains auteurs vont jusqu'à souligner le risque d'uniformiser les milieux dunaires en utilisant cette technique de manière trop exclusive.</p> <p>Pour maintenir l'accès pédestre aux plages, ces ouvrages peuvent être équipés de cheminements piétonniers ou de passerelles paysagères permettant de canaliser la fréquentation, ce qui limite les dégradations anthropiques.</p> <p>Parallèlement ou en complément de ces ouvrages, des séries de pieux en bois peuvent être mises en place pour, soit briser l'énergie des vagues, soit créer un gisement de sable accessible mécaniquement.</p> <p>Pour augmenter la capacité de rétention des sédiments et retrouver un fonctionnement naturel ces ouvrages peuvent être végétalisés.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Barrière de protection contre l'invasion marine ;</p> <p>Réserve de sable pour l'alimentation des plages en cas de tempêtes ;</p> <p>Intérêt écologique et paysager ;</p> <p>Intérêt touristique.</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>La fixation des dunes limite les échanges plage-dunes et donc soustrait une part des sédiments à la dynamique littorale ;</p> <p>Les ouvrages en ganivelles nécessitent un entretien périodique ;</p> <p>Faute d'information, la canalisation de la fréquentation peut être interprétée comme une atteinte à la liberté de mouvement ;</p> <p>Ne fonctionne que si le stock sédimentaire sur la plage est suffisant pour</p>

permettre cette dynamique entre plage et dunes.

**Le contexte urbain des plages de la zone d'étude et l'emprise au sol relativement réduite pour les plages potentiellement concernées (principalement Huveaune et Borely qui conservent une granulométrie assez fine) ne permettent pas de retenir cette solution à ce stade pour être intégrée aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre**

### ■ Le repli stratégique

<i>Principe / objectif</i>	<p>Lorsque le maintien de la ligne de rivage sur sa position n'est pas essentiel pour la sauvegarde des biens et des personnes, un certain recul peut être admis. Ce type de stratégie est évoqué sur des sites naturels.</p> <p>En tout état de cause, le secteur « neutralisé » doit alors faire l'objet de mesures particulières de gestion et éventuellement réglementaires pour éviter une occupation ultérieure.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Autorise une respiration naturelle du système littoral (reconstitution d'un cordon dunaire fonctionnel p.ex.) ;</p> <p>Redonne de l'espace pour un fonctionnement normal du rivage.</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Sans anticipation, cette technique n'apporte pas une solution efficace à la gestion des plages ;</p> <p>Acceptation difficile.</p>

**Cette solution ne répond pas à la problématique de la zone d'étude et n'est donc pas retenue à ce stade pour être intégrée aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre.**



Exemple de projet de recul stratégique : Lido de Sète à Marseillan

## ■ Gestion des biomasses de plage

### Principe / objectif

Les banquettes de *Posidonia oceanica* qui s'accumulent sur les littoraux après les évènements de tempête jouent un rôle important à différents points de vue [S2] :

- Aspect du paysage: structures pouvant atteindre 2 à 3 m de hauteur, et conférant à la plage un aspect caractéristique. Formation généralement observée sur les plages de petite dimension et les côtes rocheuses ou encore en présence de structure de protection côtière ;
- Aspect écologique: les restes de *Posidonia oceanica* constituent une fraction importante de la production primaire des prairies de cette phanérogame: les restes représentent une ressource importante pour le réseau trophique côtier (Ott et Maurer, 1977) et contribuent de manière non négligeable à la productivité côtière globale (Giorgi et Thélin, 1983; Mazzella et Ott, 1984) ;
- Protection du littoral: les biomasses végétales accumulées sur la plage protègent directement le littoral de l'érosion. Elles contribuent également à l'atténuation de l'énergie de la houle (réduction de l'hydrodynamisme de 10% à 75% en dessous de la feuille; Jeudy de Grissac et Gambi et al, 1999; Gacia et al, 1999) et à la protection physique des plages au cours des tempêtes. En outre, les biomasses contribuent à la conservation des écosystèmes et des habitats côtiers. Une partie de ces restes est en effet transportée vers le haut de la plage jusqu'à atteindre le pied de la dune (le cas échéant). Ici, la croissance des espèces végétales pionnières, utiles pour la consolidation des dépôts éoliens, est favorisée par la décomposition de la biomasse, qui fertilise le terrain tout en protégeant la végétation (Marevivo, 2002).

Les lignes guides dédiées à la gestion de la biomasse végétale de plage, qui respectent les dynamiques naturelles, peuvent être ainsi résumées :

- Protéger et valoriser la présence de banquettes (dépôts structurés) en retirant périodiquement les déchets sans utiliser de moyens mécaniques;
- Retirer le matériel seulement s'il n'est pas structuré, en limitant les mouvements à une accumulation contrôlée le long de la partie supérieure de la plage;
- Seulement si le déplacement est nécessaire, le matériel doit être réémis en mer (anticipant le processus naturel) ou doit être utilisé pour la protection et la défense du littoral;
- D'autres biomasses végétales de plage, telles que les troncs, les rameaux, les roseaux, etc., sont considérées comme une ressource naturelle très utile. L'utilisation de ces matériaux pour les interventions de restauration et de protection des dunes et pour la gestion écologique des littoraux peut être considérée comme une action qui augmente et optimise l'efficacité des processus naturels.

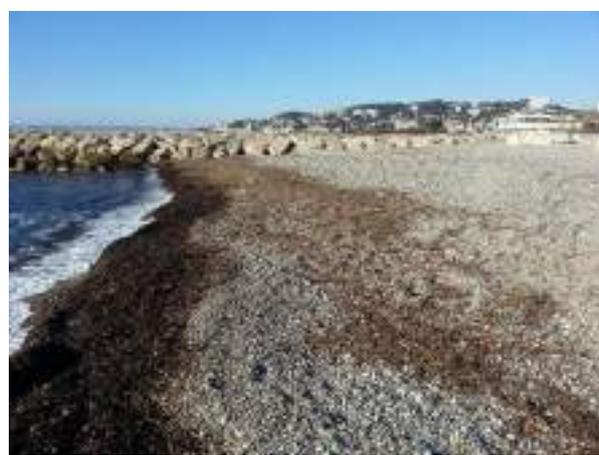
*Avantages /  
intérêts*

Respect de la dynamique naturelle de protection et construction du littoral.  
Protection efficace contre l'érosion ;  
Laisser les banquettes en place évite le prélèvement inévitable de sable survenant en cas « nettoyage ».

*Inconvénients /  
contraintes*

Acceptation difficile par les usagers ;  
Perte de surface balnéaire / action à mettre en œuvre prioritairement sur des espaces non dédiés à un usage balnéaire.

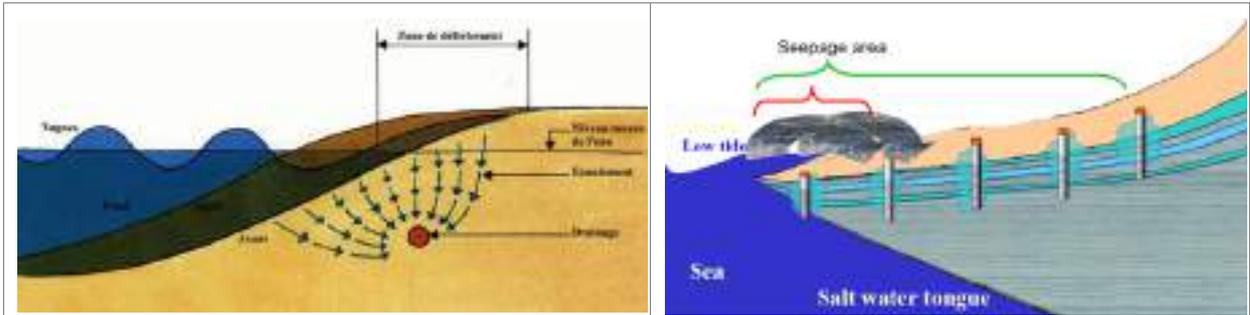
**Cette solution est retenue à ce stade pour être intégrée aux mesures de gestion préconisées en complément des scénarios présentés à la suite de ce chapitre (cf. §3.3.3).**



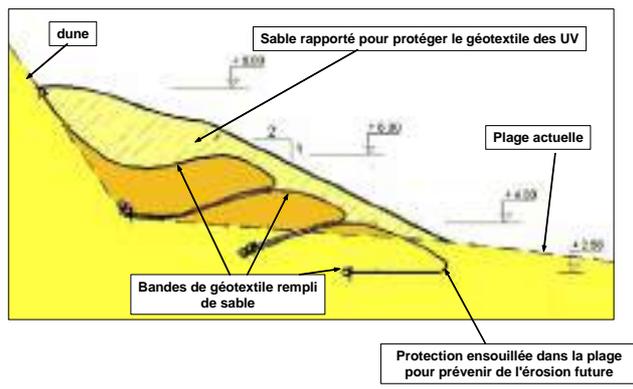
Accumulations de mattes mortes de posidonies sur les plages de Bonneveine ( à gauche) et Borely (à droite)

## ■ Autres méthodes / procédés

- **By-pass de sédiments** : ce procédé visant à limiter l'impact d'ouvrages interrompant le transit littoral n'est pas abordé, car non pertinent pour la zone étudiée.
- **Réhabilitation / création de massifs dunaires** : ce procédé visant à limiter l'impact d'ouvrages interrompant le transit littoral n'est pas abordé, car non pertinent pour la zone étudiée ;
- **Drainage de plage** : ce procédé vise à réduire la mobilité des sédiments liée à un niveau de nappe élevé. On trouve dans cette catégorie les procédés Ecoplage® (ou Stabeach), et PEM®. Ces techniques présentent cependant un coût d'investissement et/ou d'entretien lourd, avec une efficacité technique non pleinement démontrée sur les littoraux présentant un faible marnage et peu d'apports sédimentaires (test en cours sur le lido de Sète, test réalisé sur la plage d'Agay). L'épaisseur de sable nécessaire, d'au moins 2m environ, n'est par ailleurs pas disponible en tous points des plages du secteur étudié. Ces techniques ne sont pour ces raisons pas envisagées à ce stade du projet ;
- **Protections à l'aide de tubes géotextiles remplis de sable** : ce procédé visant à mettre en œuvre des ouvrages de type épis drainant, protection de haut de plage, brise-lames à l'aide des matériaux sédimentaires disponibles in situ injectés dans un tube géotextile (p.ex Stabiplage®, Stabilenka®, Geotube®), n'apporte pas d'avantage significatif en termes d'efficacité vis-à-vis d'ouvrages classiques en enrochements, et est soumis à un risque de dégradation (et donc coûts d'entretien) plus important. Ces techniques ne sont pour cette raison pas envisagées ici, y compris pour la mise en œuvre d'ouvrages sous-marins (cf. butée de pied de plage) ;
- **Algues artificielles ou naturelles** : ce procédé visant à modifier la nature des fonds de manière à augmenter l'amortissement de la houle n'a pas fait l'objet d'expérimentation in situ démontrant leur efficacité, et n'est donc pas envisagé à ce stade ;
- **Filets anti-érosion sous-marins** : ce procédé, type S-Able®, vise, à l'instar des filets brise-vents, capter une partie des sédiments transitant dans les petits fonds, pour favoriser le piégeage des sédiments l'engraissement de la plage. Ce procédé est actuellement en phase d'expérimentation sur la façade Manche-Atlantique et ne dispose pas d'un retour suffisant sur son efficacité. Son application à des zones de baignade pose par ailleurs la question de la sécurité des usagers. Il n'est de ce fait pas retenu à ce stade du projet ;
- **Modification de la cohésion des matériaux en place** : ces procédés, type Geocorail®, visent à rendre cohérents des sédiments en place, en créant par exemple une sorte de ciment à l'aide de l'imposition d'un courant électrique. Le matériau ainsi consolidé sera moins érodable, sans impact sur sa texture apparente. Son utilisation est de fait plutôt dédiée à la consolidation de pieds de falaises, et n'est pas envisagée dans le cadre de ce projet.
- **Récifs artificiels multifonctions** : il s'agit d'ouvrages immergés ayant des fonctions écosystémiques et/ou d'amortissement de la houle (voir de création de vague de surf). La mise en œuvre d'un récif artificiel au niveau des plages de l'Huveaune et Borely visant à la création d'un stade de glisse est envisagée dans le cadre d'un des scénarios d'aménagement proposés. S'agissant d'ouvrages expérimentaux devant faire l'objet d'études particulières dédiées, leur étude détaillée n'est pas prévue dans le cadre de cette étude, et le coût de leur mise en œuvre n'est pas intégré au programme de travaux.



Schémas de principe des procédés Ecoplage® (à gauche) et PEM® (à droite)



Schémas de principe d'une stabilisation de haut de plage à l'aide de boudins géotextiles (à gauche), et illustration d'un ouvrage de type green belt combinant objectif écologique et d'atténuation de la houle (à droite)

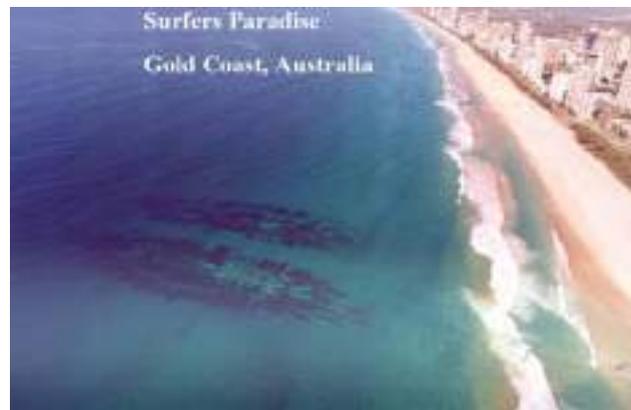


Illustration d'un ouvrage de type récif artificiel réalisé en boudins géotextiles, visant à créer une vague de surf, et combinant un rôle d'atténuation de la houle / protection du littoral.

### 2.2.2 Les méthodes « passives » : la construction d'ouvrages maritimes

Les ouvrages maritimes et littoraux lourds demandent un investissement plus élevé que les solutions qui composent avec le milieu, mais ils présentent un coût d'entretien plus faible. Ce type d'ouvrage est difficilement réversible et implique une modification importante des paysages littoraux.

On distingue plusieurs types d'ouvrages maritimes que nous regroupons en quatre catégories.

#### ■ Les ouvrages longitudinaux de haut de plage (perrés, digues, murs et talus en maçonnerie / enrochements, confortement de falaises)

<i>Principe / objectif</i>	Construits entre la plage et les aménagements privés ou publics situés immédiatement en arrière (maisons, promenade de front de mer, routes littorales), ils sont souvent le dernier rempart à l'invasion de la mer.
<i>Efficacité attendue</i>	<p>Ces défenses sont efficaces localement, mais n'assurent pas la protection des zones avoisinantes amont et aval. Par ailleurs, elles favorisent une érosion accrue de la plage à leur pied entraînant à terme sa disparition.</p> <p>Aussi, des mesures de type rechargement doivent être prises en complément pour diminuer les effets pervers de ce type d'ouvrage. Ces ouvrages ont donc une nette influence négative sur l'équilibre des plages.</p> <p>Dans la mesure du possible, une fixation du trait de côte doit se faire en minimisant la pente de l'ouvrage pour réduire la réflexion de l'ouvrage, et donc l'affouillement en pied de talus, et doit être correctement dimensionnée (perméabilité, poussée, cote d'arase, dispositif anti-affouillement).</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Protège l'arrière plage si l'ouvrage est bien dimensionné (fixation du trait de côte, protection des enjeux situés à l'arrière de la plage /falaise)</p> <p>Entretien peu coûteux (si l'ouvrage est bien dimensionné)</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Entraîne un abaissement du profil des plages ;</p> <p>Aggrave les tendances érosives en particulier sous l'action des houles de tempêtes ; en pied d'ouvrage, et de part et d'autre de la structure</p> <p>Contribue à l'artificialisation du haut de plage.</p>

**Cette solution est retenue à ce stade pour être intégrée à certains scénarios présentés à la suite de ce chapitre**

	
<p>Protection longitudinale à l'extrémité Sud de l'Anse de Vieille Chapelle à Marseille</p>	<p>Artificialisation complète du littoral de la falaise des basques pour protéger les enjeux situés à l'arrière</p>
	
<p>Disparition de la plage en pied d'ouvrage (Guadeloupe)</p>	<p>Intégration « douce » de protection de haut de plage permettant de limiter l'impact sédimentaire et paysager</p>

### ■ Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et de petits fonds (brise-lames)

#### *Principe / objectif*

Ces ouvrages de type brise-lames, classiques, faiblement émergents ou immergés, créent une zone abritée favorisant l'engraissement de la plage et empêchant les sables de se déplacer vers le large mais ils favorisent un recul du rivage entre deux ouvrages voisins et à l'aval dans le sens du transit littoral.

L'impact de ce type d'ouvrage sur le paysage littoral est très fort mais il peut être limité en abaissant la côte d'arase (cf. coupe ci-après).

D'un point de vue spatial, les brise-lames peuvent être implantés de diverses manières : suivant un même alignement ou en quinconce selon la configuration des lieux et les résultats escomptés.

	<p>Basés sur le principe des brise-lames classiques, les brise-lames faiblement émergents (cote d'arase à +0,5 m NGF) ou immergés ont un impact paysager beaucoup plus faible.</p> <p>Mais, pour compenser cet abaissement, et afin de continuer à assurer une certaine efficacité vis à vis des houles, ces ouvrages doivent être élargis. Cette contrainte se répercute sur le coût de la mise en œuvre de cette technique car s'ils sont trop bas sur l'eau, il est alors nécessaire de les réaliser soit par voie maritime (souvent plus difficile et coûteux), soit de réaliser une piste provisoire plus haute et de la démonter lors de la mise en place de la carapace sur la berme haute.</p> <p>De plus, ce coût peut varier en fonction des matériaux composant l'ouvrage, de la profondeur d'implantation et de la longueur désirée.</p>
<i>Efficacité attendue</i>	<p>Les effets d'un brise-lame vont dépendre de sa longueur, sa distance à la côte et de sa cote d'arasement. Les conditions de marée et la dérive littorale jouent de plus sur l'efficacité des ouvrages.</p> <p>La mise en place de brise-lames s'accompagne généralement d'un rechargement de sable pour compenser leurs effets induits. Il faut généralement compter environ 10 000 m<sup>3</sup> à 30 000 m<sup>3</sup> minimum par ouvrage.</p> <p>Plusieurs brise-lames immergés composés de boudins géotextiles remplis de sable ont été mis en œuvre en Méditerranée. On peut citer notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur le littoral de Valras : dans le prolongement des derniers brise-lames ont été installés 300ml en enrochements (2008) et 240ml en géotubes (printemps 2009), situés dans 4 à 5m de profondeur, avec une cote d'arase à -1.80mNGF (note : la protection en géotubes s'est affaissée et présente donc une cote d'arase plus basse) ; le suivi 1 an après indiquait une relative stabilité du trait de côte, et les récentes images satellite semblent indiquer que le littoral reste stable, au moins au droit de la partie en enrochements ; cependant nous ne disposons pas d'information sur les entretiens qui auraient pu être réalisés sur cette période.</li> <li>• Sur le lido de Sète à Marseillan, au droit d'une partie ayant fait l'objet d'un rechargement en sable ; l'ouvrage mis en place a fait l'objet de plusieurs entretiens et ne semble pas offrir l'efficacité attendue (entretien lourd).</li> <li>• Sur la plage de la Capte à Hyères.</li> </ul>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p><u>Communs à tous les types de brise-lames :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protection contre les houles frontales,</li> <li>• Stabilisation rapide du trait de côte et augmentation de la largeur des plages (tombolos/saliants),</li> <li>• Blocage des apports naturels ou artificiels des sédiments de la plage et de l'avant-côte.</li> </ul>

*Inconvénients / contraintes*

Spécifique aux brise-lames immergés ou faiblement émergés :

- Amélioration de l'intégration paysagère de l'ouvrage par rapport à un brise-lames classique,
- Efficace contre l'érosion par la houle pour les évènements « courants »

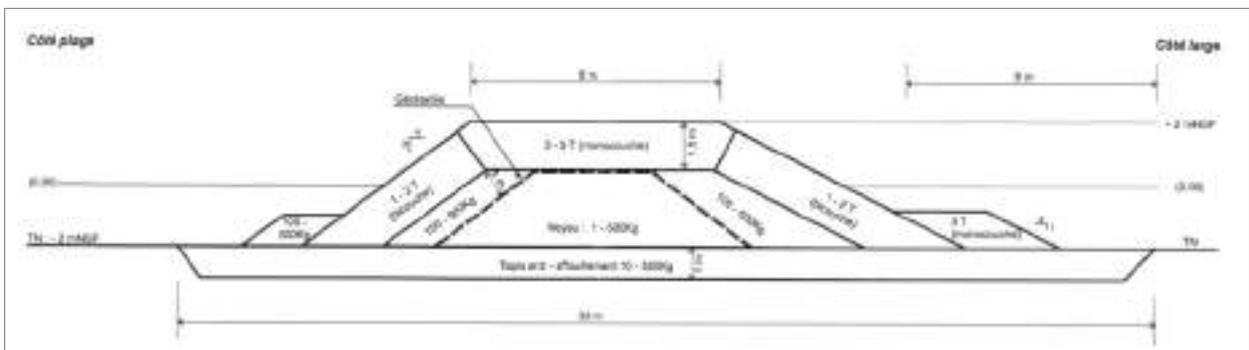
Communs à tous les types de brise-lames :

- Induit une érosion en aval de l'ouvrage s'il n'y a pas de mesures complémentaires associées ;
- Impact paysager fort sauf en cas d'ouvrages immergés ou faiblement émergés ;
- La diminution des échanges courantologiques en arrière des ouvrages risque d'entraîner une légère dégradation de la qualité des eaux de baignades.

Spécifique aux brise-lames immergés ou faiblement émergés :

- Efficacité limitée lors des surcotes marines si l'ouvrage est alors totalement submergé (par exemple pour une surcote de 1,5 m, un ouvrage arasé à +0,5 m perd 80% de son efficacité par rapport à un brise-lames classique),
- Coût de construction plus élevé

**Des brise-lames en enrochements émergents ou faiblement émergents, similaires à ceux existant sur la zone d'étude, sont retenus à ce stade pour être intégrés aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre**



Coupe type d'un brise-lames émergent implanté en Méditerranée



Brise-lames émergents (calé à +2,30 m ZH) devant le littoral de l'hôtel Safari à Saly (EGIS, 2015)



Exemple de coupe type d'un brise-lames faiblement émergent implanté en Méditerranée



Brise-lames faiblement émergent des Battuts au Grau d'Agde en Méditerranée française (photo EGIS)



Brise-lames immergés en géotextiles – Plage de la Capte, Hyères (photo Google)

Brise-lames immergés en géotextiles – Zone Est du Lido de Sète à Marseillan (photo Google)

## ■ Les ouvrages transversaux (épis)

<i>Principe / objectif</i>	Ouvrages perpendiculaires au trait de côte, les épis fonctionnent en interceptant une partie ou la totalité de la charge sédimentaire de la dérive littorale. Ils piègent et réduisent les volumes de sable transportés parallèlement à la côte.
<i>Efficacité attendue</i>	<p>La part du transit intercepté dépend de la profondeur atteinte par l'ouvrage.</p> <p>Enracinés en limite de ligne de rivage, ils n'interrompent pas, ou peu les transports perpendiculaires à la côte.</p> <p>L'impact paysager de ces ouvrages peut être réduit, au détriment cependant de leur efficacité. Le caractère innovant de ce type d'épi consiste principalement en leur faible impact paysager, leur côte d'arase étant de l'ordre du demi-mètre coté plage, les musoirs restant équivalents à des épis classiques. Ce type d'épi peut être mis en place partout où les apports de la dérive littorale sont significatifs.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p><u>Communs à tous les types d'épis :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Blocage d'une partie du débit solide de la dérive littorale (transit longitudinal ; favorise l'élargissement de la plage à l'amont de l'épi) ;</li> <li>• Participent au maintien de la ligne de rivage (réalignement du trait de côte) ;</li> <li>• Facile à mettre en œuvre et coûts d'entretien modérés.</li> </ul> <p><u>Spécifique aux ouvrages perméables, immergés ou franchissables :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Offre une meilleure intégration paysagère ;</li> <li>• Laisse transiter une partie de la charge sédimentaire.</li> </ul>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p><u>Communs à tous les types d'épis :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les épis sont inefficaces pour amortir les houles frontales (pertes de sédiments dans le profil) ;</li> <li>• Les plages en aval ont une tendance à l'érosion du fait de la sous-alimentation de la dérive littorale (solution locale) ;</li> <li>• Les épis émergés s'insèrent difficilement dans le paysage. Des prolongations sous-marines de ces ouvrages permettent néanmoins de limiter l'impact visuel des aménagements.</li> </ul> <p><u>Spécifique aux ouvrages perméables, immergés ou franchissables :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efficacité limitée ; ils ne bloquent que partiellement le transit sédimentaire,</li> <li>• Moindre rétention de matériaux par l'ouvrage.</li> </ul>

**Une solution d'épi plongeant en enrochements est retenue à ce stade pour être intégrée à un des scénarios présentés à la suite de ce chapitre**



Batterie d'épis visant à protéger et réaligner le trait de côte (en haut ; Camargue ; photo Google)



Accrétion/stabilisation en amont, érosion en aval transit d'un épi en enrochements (Frontignan)

### ■ Les butées de pied de plage

<i>Principe / objectif</i>	<p>Les butées de pied permettent de maintenir une plage avec une pente plus faible en « suspendant » la plage et évitant ainsi les départs de sable vers le large.</p> <p>Elles sont le plus souvent associées à un rechargement et/ou à un reprofilage de la plage qui visent à limiter l'extension de la partie vive de la plage vers le large et accessoirement à écrêter les vagues les plus fortes par déferlement.</p> <p>Les matériaux utilisés pour réaliser ces ouvrages sont très variables mais les plus utilisés sont les enrochements et les tubes en géotextiles.</p>
<i>Efficacité attendue</i>	<p>En variante, les pertes latérales, peuvent être limitées par la mise en place d'épis de cloisonnement rejoignant les extrémités de la butée de pied. Les épis peuvent être en enrochements ou en géotextile. Cette technique a été mise en place sur la plage de la Tamarissière de la commune d'Agde (Hérault, France) où elle semble contribuer efficacement au maintien de la plage et dernièrement sur la plage de Sainte Marie de la Mer (Pyrénées-Orientales, France).</p> <p>Une butée de pied composée de boudins géotextiles remplis de sable a également été mise en œuvre avec succès sur les plages de la croisette à Cannes.</p> <p>Une butée de pied en enrochements a par ailleurs été mise en œuvre à l'entrée des alvéoles des plages du Mourillon à Toulon, et semble donner satisfaction.</p> <p>Note : les retours d'expérience en zones de mer à marée sont encore insuffisants ou non probants pour valider cette technique sur ces zones.</p>
<i>Avantages / intérêts</i>	<p>Bonne intégration paysagère,</p> <p>Limite la perte de sable dans le profil ;</p> <p>Participe à l'amortissement des houles frontales ;</p> <p>Bon retour d'expérience en méditerranée.</p>
<i>Inconvénients / contraintes</i>	<p>Coût élevé, équivalent à celui d'un brise-lames classique ;</p> <p>Relative fragilité / sensibilité des ouvrages en géotextiles remplis de sable</p> <p>Identification de gisement de sable nécessaire pour la mise en œuvre de boudins en géotextiles</p>

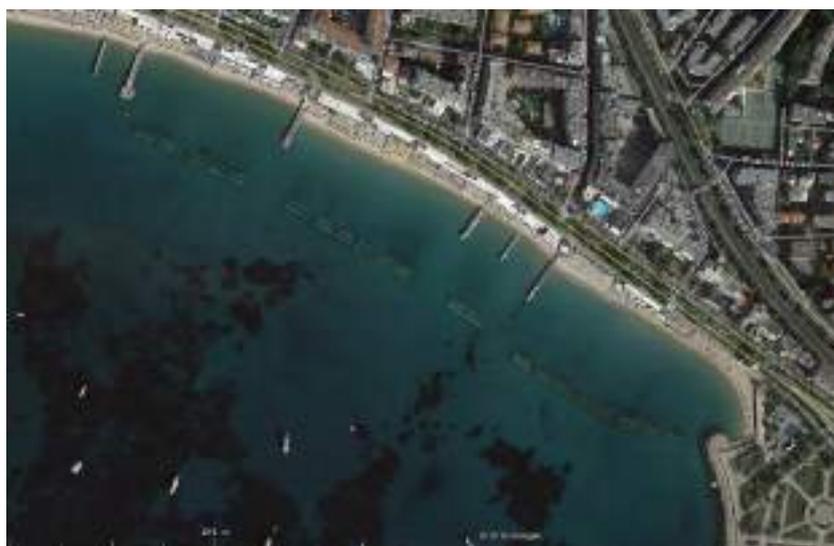
**Du fait des problématiques d'entretien et de mise en œuvre des boudins en géotextile identifiées, une solution de butée de pied en enrochements est retenue à ce stade pour être intégrée aux scénarios présentés à la suite de ce chapitre**



Épis et butée de pied le long du littoral de Pellestrina (Italie) en mer Adriatique (photo Google)



Butées de pied en enrochements à l'entrée des alvéoles du Mourillon à Toulon (photo Google)



Ouvrages en boudins géotextiles discontinus implantés en pied des plages de la Croisette à Cannes (Google)

### 3 Principe des scénarios proposés

A l'issue de l'analyse du contexte et des solutions de protection existantes, ont été retenus les 6 scénarios suivants, répondant de manière plus ou moins complète aux enjeux prioritaires de la zone d'étude (cf. Chapitre 5 - 1).

Ces scénarios offrent une protection plus ou moins efficace contre l'érosion, et permettent la pérennisation de plus ou moins d'usages sur la zone d'étude.

Ces scénarios sont eux-mêmes la combinaison de plusieurs sous-scénarios identifiés pour chaque plage ou groupe de plages de la zone d'étude, faisant l'objet d'un descriptif détaillé.

Des variantes aux sous-scénarios intégrés aux 6 scénarios d'aménagement présentés ci-dessous sont également proposées et détaillées dans les tableaux suivants.

Un plan d'implantation est finalement proposé pour chaque scénario global d'aménagement.

Des plans d'implantation illustrant les sous-scénarios non intégrés à ces scénarios globaux (variantes) sont présentés en Annexe 9.

Les scénarios d'aménagement proposés sont les suivants :

- **Scénario 1** : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.
- **Scénario 2** : Protection minimum de l'Huveaune à Bonneveine, reprise complète de la protection longitudinale de l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.
- **Scénario 3** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec mise en œuvre d'ouvrages en préparation à un futur rechargement, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires.
- **Scénario 4** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, aucun aménagement dans l'anse de Pointe Rouge.
- **Scénario 5** : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle (et sans rechargement aucun à Bonneveine), mais création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge.
- **Scénario 6** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires, création de nouveaux espaces balnéaires et relocalisation d'usages dans l'anse de Vieille Chapelle, et création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge.

Le tableau suivant présente la composition des scénarios d'aménagements avec les sous-scénarios par plage / groupes de plages :

Scénario global	Sous-scénarios par plages			
	Huveaune - Borely	Bonneveine	Vieille Chapelle	Pointe Rouge
1	HB1	BV1	VC1	PR4
2	HB1	BV1	VC2	PR4
3	HB4	BV1	VC1	PR4
4	HB3	BV1	VC1	PR1
5	HB1	BV3	VC1	PR2
6	HB3	BV2	VC5	PR2

**Note** : il est rappelé qu'il n'est pas possible de concilier la préservation d'usages nautiques / de glisse avec une protection complète contre l'érosion. De ce fait, il n'est pas proposé par exemple de scénario visant à réensabler massivement la plage de l'Huveaune. Les ouvrages de protection qui seraient rendus nécessaires ne permettraient plus en effet la pratique des sports de glisse actuels. Des dispositifs « nouveaux » de type EcoPlage® par exemple pourraient dans ce cas être envisagés, mais leur efficacité sur ce type de plage reste à démontrer.

### 3.1 Description des aménagements proposés

#### 3.1.1 Plages Huveaune / Borely

##### Scénario HB1 (Intégré aux scénarios 1, 2, 5)

SCENARIO HB1 (Scénario global 1, 2, 5) : Protection minimale contre l'érosion				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Huveaune</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Reprise de la protection en enrochements de haut de plage sur la partie de la plage la plus exposée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O).</li> <li>enfin, la protection en enrochements aura pour objectif de réduire l'impact de la houle sur le soubassement du parking en cas de tempête.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion éolienne ;</li> <li>Protection du parking ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière (parking) ;</li> <li>Préservation des usages historiques liés aux sports de glisse (surf / funboard) ;</li> <li>Pas de perturbation de l'écoulement de l'Huveaune à son débouché (pas d'impact sur la qualité d'eau et/ou risque inondation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargements réduits mais encore nécessaires ;</li> <li>Impact visuel / paysager lié aux enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul>
<b>Borely</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargements réduits mais</li> </ul>

SCENARIO HB1 (Scénario global 1, 2, 5) : Protection minimale contre l'érosion				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
	<p>de filets brise vent autour de la plage ;</p> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements naturels positionnés au Nord et au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer est laissé en place ;</li> <li>Mise en œuvre possible d'un espace « bain de soleil », type platelage en bois en teck par exemple, au-dessus des enrochements de protection situés au Sud de la plage (aménagement terrestre, hors programme).</li> </ul>	<p>limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O).</p> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le dispositif expérimental de protection actuellement en place continuera à jouer son rôle en l'absence de protection plus efficace ;</li> <li>l'aménagement de l'espace au-dessus des enrochements en partie Sud permettrait de gagner des espaces balnéaires sans élargissement de la plage.</li> </ul>	<p>éolienne ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière ;</li> <li>Préservation des usages historiques liés aux sports de glisse (surf / funboard).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gain d'espaces balnéaires avec diversification des types de surfaces (bois) en cas d'aménagement terrestre de ce type.</li> </ul>	<p>encore nécessaires</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements actuels du dispositif expérimental maintenu en place.</li> </ul>

**Scénario HB3 (Intégré aux scénarios 4, 6)**

<b>SCENARIO HB3 (Scénario global 4 et 6) : Développement des sports de glisse au niveau des plages de l'Huveaune et Borely</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Huveaune</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Reprise de la protection en enrochements de haut de plage sur la partie de la plage la plus exposée ;</li> <li>Mise en œuvre d'une structure immergée de type récif artificiel au droit de l'épi séparant actuellement les plages de l'Huveaune et Borely, dans des fonds de -2 à -3m environ (ouvrage réalisé p.ex. par empilement de boudins en géotextiles remplis de sable ; <u>récif artificiel hors programme d'aménagement ; conception nécessitant une étude spécifique</u>) ;</li> <li><u>Variante HB3b</u> : une structure réalisée en enrochements disposés autour du musoir de l'épi actuel constitue une alternative intéressante à la mise en œuvre d'une structure immergée de type récif artificiel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O).</li> <li>La protection en enrochements aura pour objectif de réduire l'impact de la houle sur le soubassement du parking en cas de tempête ;</li> <li>La structure immergée ou l'extension du musoir séparant les deux plages a pour objectif de créer et/ou favoriser la formation d'une nouvelle vague de surf ; celle-ci est placée au plus près du musoir de l'épi actuel afin de limiter le risque pour les autres usages sur la zone (<u>récif artificiel hors programme</u></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion éolienne ;</li> <li>Protection du parking ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière (parking) ;</li> <li>Développement des sports de glisse ;</li> <li>Pas de perturbation de l'écoulement de l'Huveaune à son débouché (pas d'impact sur la qualité d'eau et/ou risque inondation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargements réduits mais encore nécessaires ;</li> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> <li>Effet de l'ouvrage type récif artificiel ou extension du musoir sur l'évolution de la plage difficilement prévisible à ce stade ;</li> <li>Dangerosité potentielle du récif pour les autres sports nautiques ;</li> <li>Justification réglementaire non évidente (rôle plus récréatif que de protection du littoral) sauf à justifier qu'il s'agit d'un ouvrage expérimental, hors</li> </ul>

SCENARIO HB3 (Scénario global 4 et 6) : Développement des sports de glisse au niveau des plages de l'Huveaune et Borely				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
		<u>d'aménagement ; conception nécessitant une étude spécifique).</u>		programme de protection du littoral.
<b>Borely</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Mise en œuvre d'une structure immergée de type récif artificiel au droit de l'épi séparant actuellement les plages de l'Huveaune et Borely, dans des fonds de -2 à -3m environ (ouvrage réalisé p.ex. par empilement de boudins en géotextiles remplis de sable ; <u>récif artificiel hors programme d'aménagement ; conception nécessitant une étude spécifique</u>) ;</li> <li><u>Variante HB3b</u> : une structure réalisée en enrochements disposés autour du musoir de l'épi actuel constitue une alternative intéressante à la mise en œuvre d'une structure immergée de type récif artificiel ;</li> <li>Prolongation en partie Sud de la plage du brise-lames séparant la plage Borely de celle de Bonneveine ;</li> <li>Dépose des enrochements de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ;</li> <li>La structure immergée ou l'extension du musoir de l'épi séparant les deux plages a pour objectif de créer et/ou favoriser la formation d'une nouvelle vague de surf ; celle-ci est placée au plus près du musoir de l'épi actuel afin de limiter le risque pour les autres usages sur la zone (<u>récif artificiel hors programme d'aménagement ; conception nécessitant une étude spécifique</u>) ;</li> <li>Le rechargement en</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Stabilisation de la plage au Nord et restauration d'une plage au Sud à l'arrière du brise-lames étendu ;</li> <li>Développement des sports de glisse (vagues préservées / développées et accès à la mer facilité en zone Sud) ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière ;</li> <li>Réutilisation possible des enrochements déposés ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux nouveaux ouvrages en enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements actuels du dispositif expérimental maintenu en place.</li> </ul>

SCENARIO HB3 (Scénario global 4 et 6) : Développement des sports de glisse au niveau des plages de l'Huveaune et Borely				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
	<p>protection situés au Sud de la plage ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargement avec des galets au Nord et centre de la plage, avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place au Sud de la plage, de manière à atteindre une avancée moyenne d'environ 20m sur la plage ;</li> <li>Relocalisation des usages balnéaires (ZRUB) sur la moitié Sud de la plage, avec un accès pour la mise à l'eau des surfeurs ;</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'énrochements naturels positionnés au Nord et au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer sont laissés en place ;</li> <li>Mise en œuvre possible d'un espace « bain de soleil » sur l'espace actuellement libre à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage (platelage bois par exemple ; aménagement terrestre, hors programme).</li> </ul>	<p>sédiments a pour objectif d'aboutir rapidement au profil d'équilibre lié aux nouveaux ouvrages en enrochements, sans induire d'érosion supplémentaire liée au déplacement des sédiments du Centre vers le Nord et le Sud.</p> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le dispositif expérimental de protection actuellement en place continuera à jouer son rôle en l'absence de protection plus efficace ;</li> <li>l'aménagement de l'espace actuellement inoccupé (ou rarement occupé) à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage permettrait de gagner des espaces balnéaires sans élargissement de la plage</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas de perturbation de l'écoulement de l'Huveaune à son débouché (pas d'impact sur la qualité d'eau et/ou risque inondation).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <p>Gain d'espaces balnéaires avec diversification des types de surfaces (platelage bois par exemple) en cas d'aménagement terrestre de ce type.</p>	

**Scénario HB4 (Intégré au scénario 3)**

<b>SCENARIO HB4 (Scénario global 3) : Développement des sports de glisse au niveau des plages de l'Huveaune et Borely, mais sans rechargement</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Huveaune (idem HB1)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Reprise de la protection en enrochements de haut de plage sur la partie de la plage la plus exposée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O).</li> <li>enfin, la protection en enrochements aura pour objectif de réduire l'impact de la houle sur le soubassement du parking en cas de tempête.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion éolienne ;</li> <li>Protection du parking ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière (parking) ;</li> <li>Préservation des usages historiques liés aux sports de glisse (surf / funboard) ;</li> <li>Pas de perturbation de l'écoulement de l'Huveaune à son débouché (pas d'impact sur la qualité d'eau et/ou risque inondation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargements réduits mais encore nécessaires;</li> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul>
<b>Borely</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Mise en œuvre d'une structure immergée réalisée en enrochements disposés autour du musoir de l'épi actuel constituant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de retenir sur la plage les sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ;</li> <li>L'extension du musoir de l'épi</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Développement des sports de glisse (vagues préservées / développées et accès</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux nouveaux ouvrages en enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre</li> </ul>

SCENARIO HB4 (Scénario global 3) : Développement des sports de glisse au niveau des plages de l'Huveaune et Borely, mais sans rechargement				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
	<p>une alternative intéressante à la mise en œuvre d'une structure immergée de type récif artificiel ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prolongation en partie Sud de la plage du brise-lames séparant la plage Borely de celle de Bonneveine ;</li> <li>• Relocalisation des usages balnéaires (ZRUB) sur la moitié Sud de la plage, avec un accès pour la mise à l'eau des surfeurs ;</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• le dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements naturels positionnés au Nord et au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer sont laissés en place ;</li> <li>• Mise en œuvre possible d'un espace « bain de soleil » sur l'espace actuellement libre à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage (platelage bois par exemple ; aménagement terrestre, hors programme).</li> </ul>	<p>séparant les deux plages a pour objectif de créer et/ou favoriser la formation d'une nouvelle vague de surf ; celle-ci est placée au plus près du musoir de l'épi actuel afin de limiter le risque pour les autres usages sur la zone (<u>récif artificiel hors programme d'aménagement ; conception nécessitant une étude spécifique</u>) ;</p> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• le dispositif expérimental de protection actuellement en place continuera à jouer son rôle en l'absence de protection plus efficace ;</li> <li>• l'aménagement de l'espace actuellement inoccupé (ou rarement occupé) à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage permettrait de gagner des espaces balnéaires sans élargissement de la plage.</li> </ul>	<p>à la mer facilité en zone Sud) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière ;</li> <li>• Pas de perturbation de l'écoulement de l'Huveaune à son débouché (pas d'impact sur la qualité d'eau et/ou risque inondation).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gain d'espaces balnéaires avec diversification des types de surfaces (bois) en cas d'aménagement terrestre de ce type.</li> </ul>	<p>tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Risque d'aggravation locale de l'érosion en l'absence de rechargement sédimentaire complémentaire</b>, liée à la mise en œuvre de nouveaux ouvrages modifiant l'agitation et les courants le long de la plage ; migration des sédiments du nord vers le sud, avec un recul potentiel au nord de l'ordre de 30m et la création du plage le long de la digue Sud (un réaménagement terrestre sera nécessaire sur la moitié Nord en l'absence de rechargement sédimentaire à court/moyen terme).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements actuels du dispositif expérimental maintenu en place.</li> </ul>

**Variante HB2 (non intégrée aux scénarios globaux)**

<b>VARIANTE HB2 (Variante non intégrée aux scénarios globaux) : Développement d'espaces balnéaires en partie Nord</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Huveaune</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames faiblement émergeant en enrochements entre cette plage et celle de Borely, dans des fonds de -3m environ ;</li> <li>Rechargement avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place ;</li> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés sur ces plages ;</li> <li>Le rechargement en sable a pour objectif d'aboutir rapidement au profil d'équilibre lié au brise-lames envisagé, sans induire d'érosion supplémentaire liée au déplacement des sédiments du Nord vers le Sud ;</li> <li>Enfin, les filets brise vent permettront de retenir sur la plage les sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Elargissement de la plage au Sud ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière (parking) ;</li> <li>Gain d'espaces balnéaires ;</li> <li>Développement possible d'autres usages tels que Kayak et Paddle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amaigrissement probable de la plage au Nord ;</li> <li>Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames ;</li> <li>Réduction voir suppression des usages historiques liés aux sports de glisse, càd surf et funboard (modification / suppression de la vague existante, réduction des espaces disponibles, dangerosité liée aux ouvrages en enrochements) ;</li> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important, malgré la circulation libre entre le nouveau brise-lames et l'épi actuel.</li> </ul>

<b>VARIANTE HB2 (Variante non intégrée aux scénarios globaux) : Développement d'espaces balnéaires en partie Nord</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
				<ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul>
<b>Borely</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames faiblement émergeant en enrochements entre cette plage et celle de l'Huveaune, dans des fonds de -3m environ ;</li> <li>Prolongation en partie Sud de la plage du brise-lames séparant la plage Borely de celle de Bonneveine ;</li> <li>Dépose des enrochements de protection situés au Sud de la plage ;</li> <li>Dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements positionnés au Nord et au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les ouvrages en enrochements (nouveau brise-lames au Nord, et extension au Sud) ont pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés sur cette plage ;</li> <li>La dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion permettra de récupérer de l'espace balnéaire ;</li> <li>Le rechargement en sable a pour objectif d'aboutir rapidement au profil d'équilibre lié aux nouveaux ouvrages en enrochements, sans induire d'érosion supplémentaire liée au</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Elargissement de la plage au Nord (avec accès à l'eau moins pentu) et restauration d'une plage au Sud à l'arrière du brise-lames étendu ;</li> <li>Restauration d'un espace de baignade sans enrochements ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière ;</li> <li>Réutilisation possible des enrochements déposés ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux nouveaux ouvrages en enrochements ;</li> <li>Réduction voir suppression des usages historiques liés aux sports de glisse, càd surf et funboard (modification / suppression de la vague existante, réduction des espaces disponibles, dangerosité liée aux ouvrages en enrochements) ;</li> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important (malgré la</li> </ul>

<b>VARIANTE HB2 (Variante non intégrée aux scénarios globaux) : Développement d'espaces balnéaires en partie Nord</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rechargement avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place ;</li> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre possible d'un espace « bain de soleil », sur l'espace actuellement libre à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage (platelage bois par exemple ; aménagement terrestre, hors programme).</li> </ul>	<p>déplacement des sédiments du Centre vers le Nord et le Sud ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Enfin, les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ;</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>l'aménagement de l'espace actuellement inoccupé (ou rarement occupé) à l'arrière des enrochements de protection situés au Sud de la plage permettrait de gagner des espaces balnéaires sans élargissement de la plage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Développement possible d'autres usages tels que Kayak et Paddle.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gain d'espaces balnéaires avec diversification des types de surfaces (bois) en cas d'aménagement terrestre de ce type.</li> </ul>	<p>circulation libre entre le nouveau brise-lames et l'épi actuel).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul>

## 3.1.2 Plage de Bonneveine

## Scénario BV1 (Intégré aux scénarios 1, 2, 3, 4)

SCENARIO BV1 (Scénario global 1, 2, 3, 4) : Protection minimale contre l'érosion				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
Bonneveine	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Mise en œuvre d'une butée de pied de plage (ouvrage immergé en enrochements ou boudins en géotextiles remplis de sable) entre les deux extrémités des brise-lames fermant l'alvéole ;</li> <li>Rechargement léger, principalement en parties Nord et Centre, avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place ;</li> <li>Dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements positionnés au Centre de la plage au</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ; les pertes éoliennes sont a priori faibles sur cette plage, mais non nulles) ;</li> <li>La butée de pied de plage permettra de réduire légèrement l'agitation et de retenir une partie du sable actuellement transporté vers l'extérieur de l'alvéole par les courants induits par les coups de mer de secteur O à SO ;</li> <li>La dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion permettra de récupérer de l'espace balnéaire et réduit le risque pour les baigneurs ;</li> <li>Le rechargement en sable a pour objectif de revenir à une largeur et</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Pas d'impact visuel / paysager pour l'ouvrage de butée de pied (ouvrage immergé) ;</li> <li>Elargissement / restauration de la plage au Nord et au centre principalement ;</li> <li>Restauration d'un espace de baignade sans enrochements au niveau de la laisse de mer ;</li> <li>Gain d'espaces balnéaires ;</li> <li>Meilleure sectorisation des usages avec la suppression des usages liés aux sports de glisse tels que funboard et Kite-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important ;</li> <li>Ouvrage immergé potentiellement dangereux (obstacle) pour les usagers, en particulier s'il est en enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> </ul>

<b>SCENARIO BV1 (Scénario global 1, 2, 3, 4) : Protection minimale contre l'érosion</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
	niveau de la laisse de mer.	épaisseur de plage légèrement plus importante, permettant de restituer un espace de respiration saisonnier, ainsi qu'un profil d'équilibre plus adapté aux ouvrages de protection existant.	<p>Surf à l'intérieur de l'alvéole (dangerosité liée à l'ouvrage immergé) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière.</li> </ul>	

**Scénario BV2 (Scénario global 6)**

<b>SCENARIO BV2 (Intégré au scénario 6) : Protection optimale contre l'érosion</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Bonneveine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>• Mise en œuvre d'une butée de pied de plage (ouvrage immergé en enrochements ou boudins en géotextiles remplis de sable) entre les deux extrémités des brise-lames fermant l'alvéole ;</li> <li>• Décapage et rechargement massif avec du sable de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ; les pertes éoliennes sont a priori faibles sur cette plage, mais non nulles) ;</li> <li>• La butée de pied de plage permettra de réduire légèrement l'agitation et de retenir une partie du sable actuellement transporté vers l'extérieur de l'alvéole par les courants induits</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>• Pas d'impact visuel / paysager pour l'ouvrage de butée de pied (ouvrage immergé) ;</li> <li>• Elargissement / restauration de la plage au Nord et au centre principalement ;</li> <li>• Restauration d'un</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important ;</li> <li>• Ouvrage immergé potentiellement dangereux (obstacle) pour les usagers, en particulier s'il est en enrochements ;</li> <li>• Nécessité de canaliser la fréquentation par des</li> </ul>

<b>SCENARIO BV2 (Intégré au scénario 6) : Protection optimale contre l'érosion</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
	<p>granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements positionnés au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer ;</li> </ul>	<p>par les coups de mer de secteur O à SO ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La dépose du dispositif expérimental de protection contre l'érosion permettra de récupérer de l'espace balnéaire et réduit le risque pour les baigneurs ;</li> <li>• Le décapage / rechargement en sable a pour objectif de revenir à une largeur et épaisseur de plage plus importante, permettant de restituer un espace de respiration saisonnier, ainsi qu'un profil d'équilibre plus adapté aux ouvrages de protection existant ; cette opération a aussi pour objectif de faciliter l'évacuation de la lentille d'eau se formant en zone Sud par temps de pluie.</li> </ul>	<p>espace de baignade sans enrochements au niveau de la laisse de mer ;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleure sectorisation des usages avec la suppression des usages liés aux sports de glisse tels que funboard et Kite-Surf à l'intérieur de l'alvéole (dangerosité liée à l'ouvrage immergé) ;</li> <li>• Gain d'espaces balnéaires ;</li> <li>• Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière.</li> </ul>	<p>passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</p>

**Scénario BV3 (Scénario global 5)****SCENARIO BV3 (Intégré au scénario 5) : Ouvrages de protection optimale contre l'érosion, mais sans rechargement sédimentaire**

Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Bonneveine</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une rangée de filets brise vent autour de la plage ;</li> <li>Mise en œuvre d'une butée de pied de plage (ouvrage immergé en enrochements ou boudins en géotextiles remplis de sable) entre les deux extrémités des brise-lames fermant l'alvéole ;</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Maintien du dispositif expérimental de protection contre l'érosion constitué d'enrochements positionnés au Centre de la plage au niveau de la laisse de mer ;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>les filets brise vent permettront de limiter l'envol des sédiments éolisés par les vents de secteur NO à S (en passant par l'O) ; les pertes éoliennes sont a priori faibles sur cette plage, mais non nulles) ;</li> <li>La butée de pied de plage permettra de réduire légèrement l'agitation et de retenir une partie du sable actuellement transporté vers l'extérieur de l'alvéole par les courants induits par les coups de mer de secteur O à SO.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>le dispositif expérimental de protection actuellement en place continuera à jouer son rôle en l'absence de protection plus efficace.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine et éolienne ;</li> <li>Pas d'impact visuel / paysager pour l'ouvrage de butée de pied (ouvrage immergé) ;</li> <li>Meilleure sectorisation des usages avec la suppression des usages liés aux sports de glisse tels que funboard et Kite-Surf à l'intérieur de l'alvéole (dangerosité liée à l'ouvrage immergé) ;</li> <li>Séparation visuelle entre la plage et les espaces situés à l'arrière.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important ;</li> <li>Ouvrage immergé potentiellement dangereux (obstacle) pour les usagers, en particulier s'il est en enrochements ;</li> <li>Nécessité de canaliser la fréquentation par des passages aménagés entre tronçons de filets brise vents (panneaux d'information / orientation nécessaires).</li> <li>Stabilisation du trait de côte incomplète sans rechargement sédimentaire complémentaire.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié aux enrochements actuels du dispositif expérimental maintenu en place.</li> </ul>

## 3.1.3 Anse de la Vieille Chapelle

**Scénario VC1 (Intégré aux scénarios 1, 3, 4 ,5)**

<b>SCENARIO VC1 (Scénario global 1, 3, 4, 5) : Protection minimale contre l'érosion</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rehausse du TN au niveau de la séparation entre la plage de la Vieille Chapelle et celle de Bonneveine ;</li> <li>Reprise partielle du haut de talus de la protection longitudinale le long de l'Anse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le traitement de la séparation des plages de Vieille Chapelle et Bonneveine a pour objectif de limiter les transferts de matériaux par jet de rive, et ainsi de réduire l'érosion sur la plage résiduelle située au Nord, sans mise en œuvre d'enrochements, dangereux pour la pratique du Kite-Surf ;</li> <li>La reprise partielle du haut de talus de la protection en enrochements le long du cheminement piétonnier aura pour objectif de limiter les départs de matériaux fins (à l'aide de la pose de géotextile), de manière à limiter les tassements et les désordres induits au niveau du talus de protection.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien des activités de baignade (sur la plage résiduelle au Nord) et pratique du kite-surf (zone de mise à l'eau actuelle + plage résiduelle hors saison estivale).</li> <li>Limitation de l'entretien du cheminement piétonnier en arrière du talus en enrochements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'évolution de l'exploitation de ce linéaire côtier.</li> </ul>

**Scénario VC2 (Intégré au scénario 2)****SCENARIO VC2 (Scénario global 2) : Identique au scénario VC1 avec reprise complète du talus en enrochement le long de l'anse**

Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Rehausse du TN au niveau de la séparation entre la plage de la Vieille Chapelle et celle de Bonneveine ;</li> <li>Reprise complète de la protection longitudinale le long de l'Anse.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le traitement de la séparation des plages de Vieille Chapelle et Bonneveine a pour objectif de limiter les transferts de matériaux par jet de rive, et ainsi de réduire l'érosion sur la plage résiduelle située au Nord, sans mise en œuvre d'enrochements, dangereux pour la pratique du Kite-Surf ;</li> <li>La reprise de la protection en enrochements le long du cheminement piétonnier aura pour objectif de limiter les franchissements et les départs de matériaux fins, de manière à pérenniser les aménagements situés à l'arrière.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien des activités de baignade (sur la plage résiduelle au Nord) et pratique du kite-surf (zone de mise à l'eau actuelle + plage résiduelle hors saison estivale).</li> <li>Limitation de l'entretien du cheminement piétonnier en arrière du talus d'enrochements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pas d'évolution de l'exploitation de ce linéaire côtier.</li> </ul>

**Scénario VC5 (Intégré au scénario 6)**

<b>SCENARIO VC5 (Scénario global 6): Développement important de l'usage balnéaire et amélioration des conditions pour les usages actuels</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames en enrochements au large de la zone ;</li> <li>Remblai et rechargement massif en matériaux relativement grossiers à l'arrière de cet ouvrage de manière à créer un tombolo ;</li> <li>Rechargement massif de l'alvéole créée en partie Nord avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux actuellement en place sur la plage résiduelle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur, afin de permettre la création et le maintien de 2 nouvelles zones balnéaires en limitant l'impact sur les espaces d'évolution pour les usages nautiques de la zone, et en sécurisant la mise à l'eau des kite-surfs ;</li> <li>Le rechargement de la nouvelle alvéole en partie Nord permet d'aboutir rapidement au profil d'équilibre de la plage induit par les nouveaux ouvrages encadrant la plage, tout en permettant une certaine mobilité vis-à-vis des conditions d'agitation variables tout au long de l'année.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien et sectorisation possible (donc sécurisation) des activités de baignade et pratique du kite-surf (nouvelle zone de mise à l'eau au sud du tombolo p.ex.) ;</li> <li>Création de zones d'évolution protégées de la houle pour la pratique du kite-surf ;</li> <li>Gain d'espace balnéaire au Nord et au Sud de l'anse, avec la création d'espaces balnéaires orientés Sud ;</li> <li>Ce scénario induirait moins d'augmentation de l'agitation sur la plage de Pointe Rouge que la variante VC3, non intégrée aux scénarios globaux.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames ;</li> <li>Légère réduction des chenaux de navigation pour le kite-surf (pour évoluer au-delà du brise-lames).</li> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important ;</li> <li>Protection potentiellement insuffisante du fait de l'impossibilité, du fait de la pratique du Kite-Surf, de mettre en œuvre une butée de pied de plage sur l'alvéole Nord de l'anse qui permettrait de réduire davantage l'agitation et de retenir une partie du sable potentiellement transporté vers l'extérieur par les courants.</li> </ul>

**Variante VC3 (non intégrée aux scénarios globaux)**

<b>VARIANTE VC3 (non intégrée aux scénarios globaux): Protection contre l'érosion et amélioration des conditions pour les usages actuels</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames émergé en enrochements au large de la zone ;</li> <li>Rechargement en matériaux grossiers / galets sur la zone de départ des kite-surf (cale de mise à l'eau) ;</li> <li>Reprise de la protection longitudinale le long de l'Anse, sur la partie encore exposée à la houle du large ;</li> <li>Rechargement de la plage Nord avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur, afin de réduire l'érosion sur la plage résiduelle située au Nord, et de sécuriser la mise à l'eau des kite-surfs tout en maintenant des couloirs de navigation suffisants pour cette pratique ;</li> <li>Le rechargement en matériaux sur la zone de mise à l'eau des kite-surfs participe à la sécurisation de cette pratique.</li> <li>La reprise de la protection en enrochements le long du cheminement piétonnier aura pour objectif de limiter les franchissements et les départs de matériaux fins, de manière à pérenniser les aménagements situés à l'arrière ;</li> <li>Le rechargement de la plage Nord permet de rétablir un profil d'équilibre plus naturel et de limiter les échanges avec la plage de Bonneveine.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien et sectorisation (donc sécurisation) des activités de baignade (sur la plage résiduelle au Nord) et pratique du kite-surf (zone de mise à l'eau actuelle) ;</li> <li>Création d'une zone d'évolution protégée de la houle pour la pratique du kite-surf ;</li> <li>Gain d'espace balnéaire au Nord ;</li> <li>Limitation de l'entretien du cheminement piétonnier en arrière du talus d'enrochements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames ;</li> <li>Légère réduction des chenaux de navigation pour le kite-surf (pour évoluer au-delà du brise-lames).</li> </ul>

**Variante VC4 (non intégrée aux scénarios globaux)****VARIANTE VC4 (non intégrée aux scénarios globaux) : Alternative visant à développer l'usage balnéaire le long de l'Anse de la Vieille Chapelle**

Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'une digue en enrochements au sud de l'anse pour former une nouvelle alvéole sédimentaire ;</li> <li>Remblai et rechargement massif en matériaux relativement grossiers de la nouvelle alvéole ainsi créée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames associé au remblai et rechargement massif en sédiments a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur, afin de permettre la création et le maintien d'une nouvelle zone balnéaire en limitant l'impact sur les espaces d'évolution pour les usages nautiques de la zone, et en sécurisant la mise à l'eau des kite-surfs.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>la quantité de matériaux nécessaires tant pour la digue que pour les remblais et rechargement pourra être légèrement réduite en remontant la digue vers le Nord.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Valorisation de ce linéaire peu sinon pas exploité jusque-là, avec la création d'une surface balnéaire importante ;</li> <li>Maintien et sectorisation (donc sécurisation) des activités de baignade et de pratique du kite-surf ; développement possible d'autres activités tel que le Paddle ;</li> <li>Création d'une zone de mise à l'eau protégée de la houle pour la pratique du kite-surf (sécurisation).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié à la digue ;</li> <li>Légère réduction des chenaux de navigation pour le kite-surf (pour évoluer au-delà de l'alvéole) ;</li> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important ;</li> <li>Protection potentiellement insuffisante du fait de l'impossibilité, du fait de la pratique du Kite-Surf, de mettre en œuvre une butée de pied de plage qui permettrait de réduire davantage l'agitation et de retenir une partie du sable potentiellement transporté vers l'extérieur par les courants ;</li> <li>Augmentation potentielle de l'agitation sur la plage du Prado et la cale de mise à l'eau des embarcations légères liée à la présence de la nouvelle digue (conditions de houle d'Ouest à Sud).</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cet impact pourrait néanmoins être réduit en remontant l'enracinement de la digue plus au nord.</li> </ul>

**Variante VC6-PR3 (non intégrée aux scénarios globaux ; en association avec le scénario PR3)**

<b>VARIANTE VC6-PR3 (non intégrée aux scénarios globaux) : Alternative visant à développer les sports nautiques sur la zone V. Chapelle – Pte Rouge</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames émergé en enrochements au large de cette zone et de la plage de Pointe Rouge, dans des fonds de -7m environ ;</li> <li>Rechargement en matériaux grossiers sur la zone de départ des kite-surf (cale de mise à l'eau).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames au large a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur, afin de réduire l'érosion sur la plage résiduelle située au Nord (y compris limitation des départs de matériaux vers la plage de Bonneveine), et de sécuriser la mise à l'eau des kite-surfs tout en maintenant les couloirs de navigation existant pour cette pratique ; il est placé suffisamment au large pour ne pas gêner les usages nautiques actuels et offrir un grand espace d'évolution abrité de la houle ;</li> <li>Le rechargement en matériaux sur la zone de mise à l'eau des kite-surfs participe à la sécurisation de cette pratique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien et sectorisation (donc sécurisation) des activités de baignade (sur la plage résiduelle au Nord) et pratique du kite-surf (zone de mise à l'eau actuelle) ;</li> <li>Création d'une zone d'évolution mieux protégée de la houle pour la pratique du kite-surf et des autres activités nautiques ;</li> <li>Limitation de l'entretien du cheminement piétonnier en arrière du talus d'enrochements.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames ;</li> <li>Effet de l'ouvrage sur l'évolution du littoral difficilement prévisible à ce stade.</li> </ul>

**Variante VC7 (variante non intégrée à un scénario global)****VARIANTE VC7 (non intégrée aux scénarios globaux): Ouvrages de protection contre l'érosion, en vue du développement de l'usage balnéaire et amélioration des conditions pour les usages actuels, mais sans rechargement sédimentaire**

Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Vieille Chapelle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un brise-lames faiblement émergeant en enrochements au large de la zone, construit depuis la terre à l'aide d'une digue provisoire, qui ne serait pas déconstruite ;</li> <li>Reprise de la protection longitudinale le long de l'Anse, sur la partie Nord encore exposée à la houle du large.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le brise-lames a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur, afin de permettre la création et le maintien futur de 2 nouvelles zones balnéaires en limitant l'impact sur les espaces d'évolution pour les usages nautiques de la zone, et en sécurisant la mise à l'eau des kite-surfs;</li> <li>La reprise de la protection en enrochements le long du cheminement piétonnier aura pour objectif de limiter les franchissements et les départs de matériaux fins, de manière à pérenniser les aménagements situés à l'arrière.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réduction de l'érosion marine sur le secteur ;</li> <li>Maintien et sectorisation (donc sécurisation) des activités de baignade (sur la plage résiduelle au Nord) et pratique du kite-surf (maintien provisoire de la zone de mise à l'eau actuelle) ;</li> <li>Création de larges zones d'évolution protégées de la houle pour la pratique du kite-surf ;</li> <li>Limitation de l'entretien du cheminement piétonnier en arrière du talus d'enrochements.</li> </ul> <p><b>Note :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Gain potentiel d'espace balnéaire au Nord et au Sud de l'anse, avec la création d'une plage orientée Sud (en cas de rechargement) ;</li> <li>Ce scénario, une fois complété par un rechargement sédimentaire, induirait moins d'augmentation de l'agitation sur la plage de Pointe Rouge que le scénario VC3.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Protection incomplète contre l'érosion sans rechargement sédimentaire complémentaire ;</li> <li>Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames, en particulier sans rechargement complémentaire ;</li> <li>Légère réduction des chenaux de navigation pour le kite-surf (pour évoluer au-delà du brise-lames).</li> <li>Qualité de l'eau potentiellement légèrement dégradée du fait d'un confinement hydrodynamique plus important.</li> </ul>

## 3.1.4 Plage de Pointe Rouge

## Scénario PR1 (Intégré au scénario 4)

SCENARIO PR1 (Intégré au scénario global 4) : Liaison terrestre au niveau de la route entre le Parc balnéaire et la plage de Pointe Rouge				
Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
Pointe Rouge	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en œuvre d'un ouvrage type ouvrage poids, ou passerelle en porte à faux, au niveau de la route, entre le sud de l'anse de la vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge.</li> </ul> <p><b>Note importante : Cet aménagement de type terrestre est hors programme.</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cet ouvrage a pour objectif d'assurer une liaison terrestre pour piétons / vélos / PMR entre le parc balnéaire et la plage de Pointe Rouge.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Création d'une continuité piétonne au niveau voirie avec le Parc Balnéaire ;</li> <li>Pas de dévoiement nécessaire des réseaux d'eaux pluviales débouchant sur le littoral (en l'absence de nouvelle plage créée).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Liaison au niveau de la route uniquement, pas de gain d'espaces balnéaires.</li> </ul>

**Scénario PR2 (Intégré aux scénarios 5, 6)**

<b>SCENARIO PR2 (Scénario global 5 et 6) : Développement d'espaces balnéaires au nord de la plage actuelle de Pointe Rouge</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Pointe Rouge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre de deux brise-lames en enrochements dans la moitié Nord de la plage, dans des fonds de -2m à -3m ;</li> <li>• Rechargement de la moitié Nord de la plage avec du sable de granulométrie au moins équivalente sinon plus importante que les matériaux en place plus au Sud ;</li> <li>• <u>Hors programme d'investissement</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mise en œuvre d'un ouvrage type ouvrage poids ou passerelle en porte à faux au niveau de la route, entre le sud de l'anse de la vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge.</li> <li>○ dévoiement des réseaux d'eaux pluviales, déplacement des exutoires débouchant actuellement sur la plage. L'ouvrage poids pourrait permettre de servir d'ouvrage de dévoiement des réseaux qui se jetteraient plus au nord.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L'ouvrage poids ou passerelle en porte à faux (hors programme) et le rechargement en sable et ont pour objectif de rétablir une continuité piétonne à deux niveaux entre l'espace balnéaire et la plage de Pointe Rouge ;</li> <li>• Les brise-lames ont pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés sur cette plage, pour maintenir le sable mis en place avec le rechargement ;</li> <li>• Le déplacement des exutoires d'eaux pluviales (hors programme) a pour objectif d'éviter le rejet sur la plage, ainsi que leur obstruction par le sable de la plage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de l'érosion marine en partie Nord de la plage ;</li> <li>• Création d'une continuité piétonne à deux niveaux avec le Parc Balnéaire ;</li> <li>• Gain d'espaces balnéaires ;</li> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau (dévoisement des exutoires EP).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact visuel / paysager négatif lié aux deux brise-lames ;</li> <li>• Légère réduction de l'espace navigable à l'intérieur de l'anse liée à la présence des brise-lames.</li> </ul>

**Scénario PR4 (Intégré aux scénarios 1, 2, 3)****SCENARIO PR2 (Scénarios globaux 1, 2, 3) : Mise en œuvre d'ouvrage de protection en vue du développement futur d'espaces balnéaires au nord de la plage actuelle de Pointe Rouge**

Plage	Description / principe des aménagements proposés	Objectifs / efficacité attendus	Avantages	Inconvénients
<b>Pointe Rouge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre de deux brise-lames en enrochements dans la moitié Nord de la plage, dans des fonds de -2m à -3m ;</li> <li>• <u>Hors programme d'investissement</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mise en œuvre d'un ouvrage type ouvrage poids ou passerelle en porte à faux au niveau de la route, entre le sud de l'anse de la vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge.</li> <li>○ dévoiement des réseaux d'eaux pluviales, déplacement des exutoires débouchant actuellement dans la partie nord de l'anse. L'ouvrage poids pourrait permettre de servir d'ouvrage de dévoiement.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les brise-lames ont pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés sur cette plage, pour limiter l'action de la houle sur la route longeant l'anse, et à terme pour maintenir le sable qui pourrait être mis en place avec un rechargement ;</li> <li>• L'ouvrage poids ou passerelle en porte à faux (hors programme) a pour objectif d'assurer une liaison terrestre pour piétons / vélos / PMR entre le parc balnéaire et la plage de Pointe Rouge.</li> <li>• Le déplacement des exutoires d'eaux pluviales (hors programme) a pour objectif d'éviter le rejet sur la plage, ainsi que leur obstruction par le sable de la plage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction des franchissements sur la voirie et de l'érosion marine en partie Nord de l'anse ;</li> <li>• Création d'une continuité piétonne au niveau voirie avec le Parc Balnéaire ;</li> <li>• Gain d'espaces balnéaires ;</li> <li>• Amélioration de la qualité de l'eau (dévoiement des exutoires EP).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact visuel / paysager négatif lié aux deux brise-lames ;</li> <li>• Légère réduction de l'espace navigable à l'intérieur de l'anse liée à la présence des brise-lames,</li> <li>• Pas de création de nouveaux espaces balnéaires et/ou de liaison piétonne par la plage avec le Parc balnéaire ;</li> <li>• L'absence de rechargement en sable à l'arrière des brise-lames risque d'induire une légère migration de sédiments de la plage plus au sud vers le nord de l'anse, nécessitant la mise en œuvre d'un épi en enrochements au nord immédiat de la plage actuelle.</li> </ul>

**Variante PR3-VC6 (variante non intégrée à un scénario global ; en association avec le scénario VC6)**

<b>VARIANTE PR3-VC6 (non intégrée aux scénarios globaux) : Alternative visant à développer les sports nautiques sur la zone V. Chapelle – Pte Rouge</b>				
<b>Plage</b>	<b>Description / principe des aménagements proposés</b>	<b>Objectifs / efficacité attendus</b>	<b>Avantages</b>	<b>Inconvénients</b>
<b>Pointe Rouge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en œuvre d'un brise-lames émergé en enrochements <b>au large</b> de cette zone et de l'Anse de Vieille Chapelle, dans des fonds de -7m environ ;</li> <li>• Rechargement de l'extrémité Nord de la plage de pointe Rouge avec des galets ;</li> <li>• Mise en œuvre d'un épi en enrochements à environ 100m depuis le Nord de la plage, marquant la limite Sud du rechargement ;</li> <li>• <u>Hors programme d'investissement</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Mise en œuvre d'un ouvrage type ouvrage poids ou passerelle en porte à faux au niveau de la route, entre le sud de l'anse de la vieille Chapelle et la plage de Pointe Rouge.</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le rechargement en galets a pour objectif de créer une plage exposée Sud à la jonction du Parc Balnéaire et de la plage de Pointe Rouge, la continuité entre ces deux entités étant par ailleurs renforcée par le cheminement piéton proposé ;</li> <li>• L'épi en enrochements a pour objectif de maintenir les matériaux rechargés au nord de la zone ;</li> <li>• Le brise-lames au large a pour objectif de réduire l'énergie de la houle et les courants associés le long de ce secteur ; sa présence réduira les mouvements sédimentaires le long de la plage, et donc participera au maintien des matériaux mis en place avec le rechargement ; il est placé suffisamment au large pour ne pas gêner les usages nautiques actuels et offrir un grand espace d'évolution abrité de la houle.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Réduction de l'érosion marine en partie Nord de la plage de Pointe Rouge ;</li> <li>• Création d'une continuité piétonne avec le Parc Balnéaire ;</li> <li>• Gain d'espaces balnéaires orientés Sud ;</li> <li>• Confortement des usages nautiques existant, avec la création d'un vaste espace d'évolution abrité des vagues;</li> <li>• Pas de dévoiement nécessaire des réseaux d'eaux pluviales débouchant sur ce secteur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impact visuel / paysager négatif lié au brise-lames ;</li> <li>• Effet du brise-lames situé au large sur l'évolution de la plage difficilement prévisible à ce stade.</li> <li>• Cet ouvrage enlève en partie la pratique de la navigation sur les vagues (planche et Kite)</li> </ul>

### 3.2 Schémas de principe des aménagements

La position du trait de côte à l'état aménagé à court/moyen terme est donnée à titre indicatif. Dans le cas de rechargements, elle est basée sur l'application de la méthodologie de définition des formes de plages en équilibre, en considérant une avancée minimum du trait de côte permettant de ne pas induire d'érosion qui serait liée à une migration des matériaux le long des plages liée à la présence des nouveaux ouvrages (cas du sous scénario HB4 induisant une bascule de la plage de Borely).

Figure 46: Schéma de principe - Scénario 1 : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires

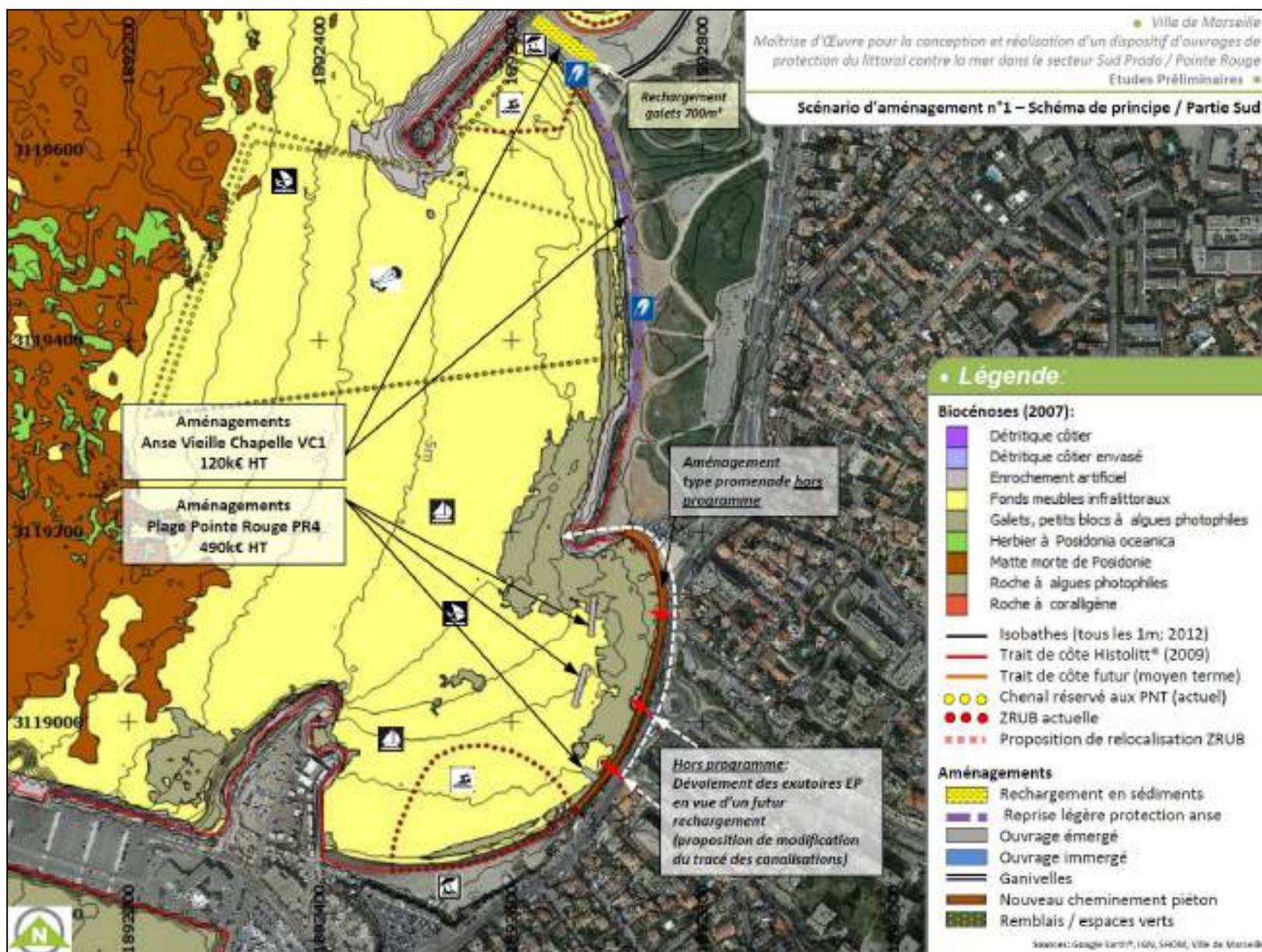
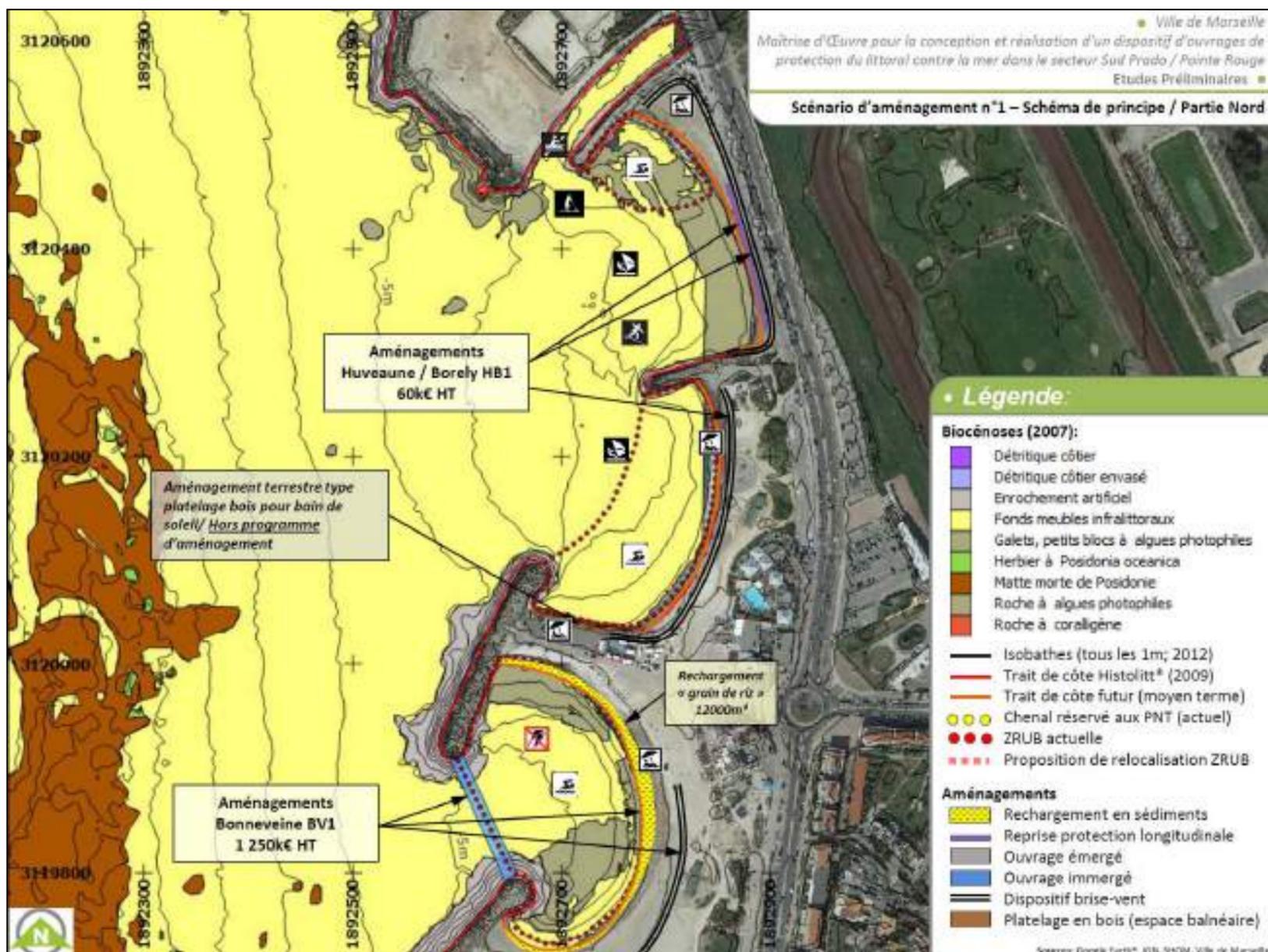


Figure 47: Schéma de principe - Scénario 2 : Protection minimum de l'Huveaune à Bonneveine, reprise complète de la protection longitudinale de l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires

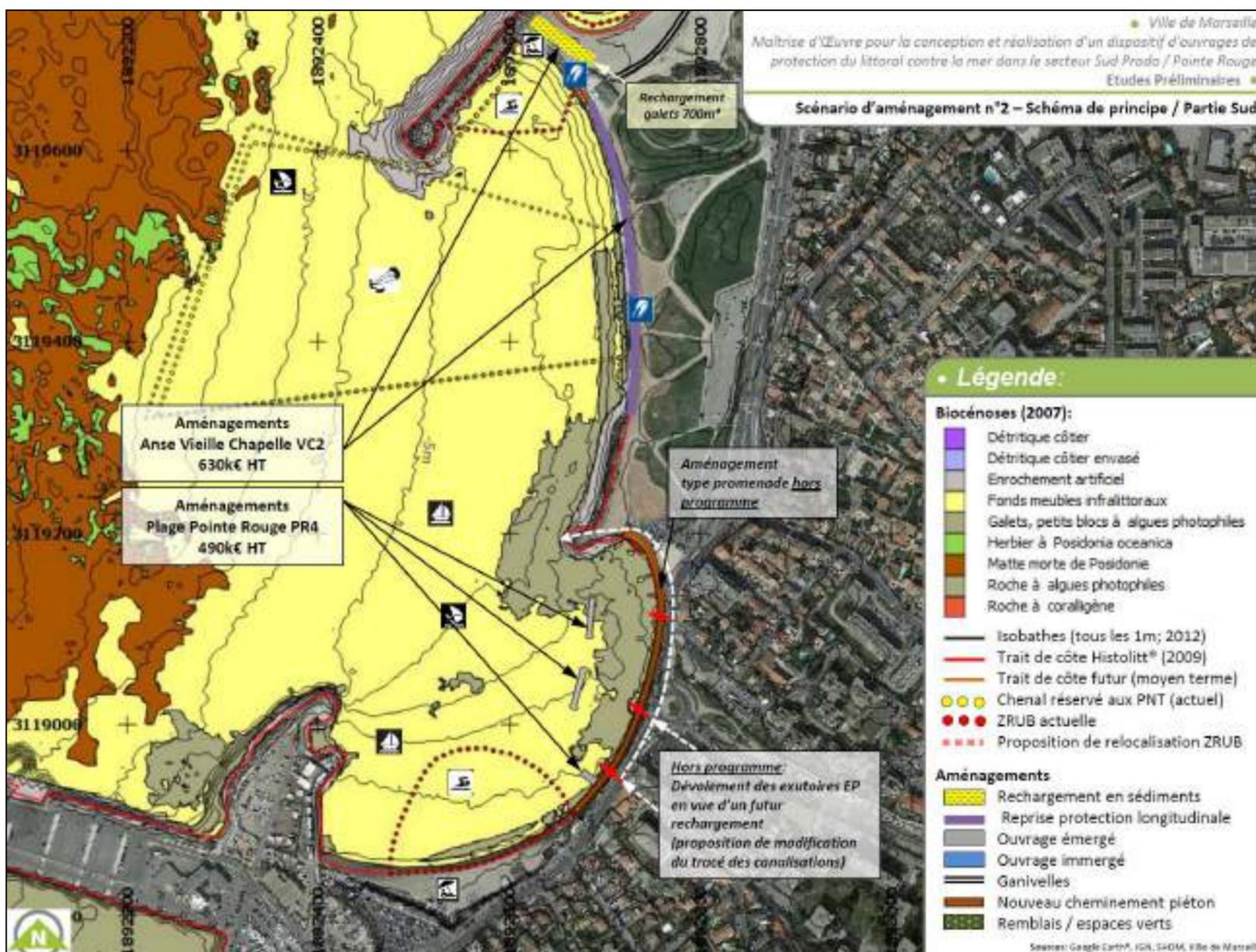
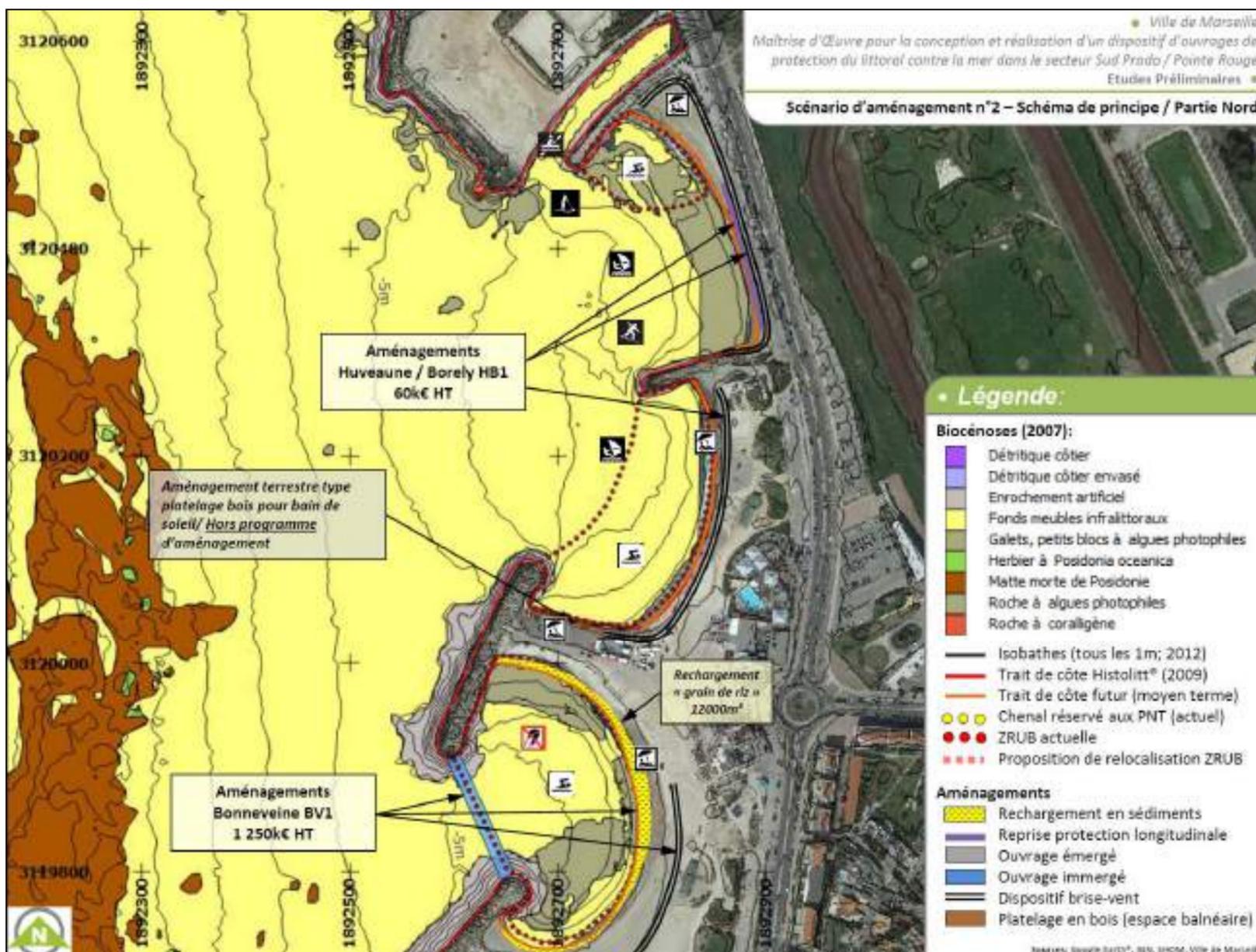


Figure 48: Schéma de principe - Scénario 3 : Relocalisation des usages sur les plages d'Huveaune et Borely, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires

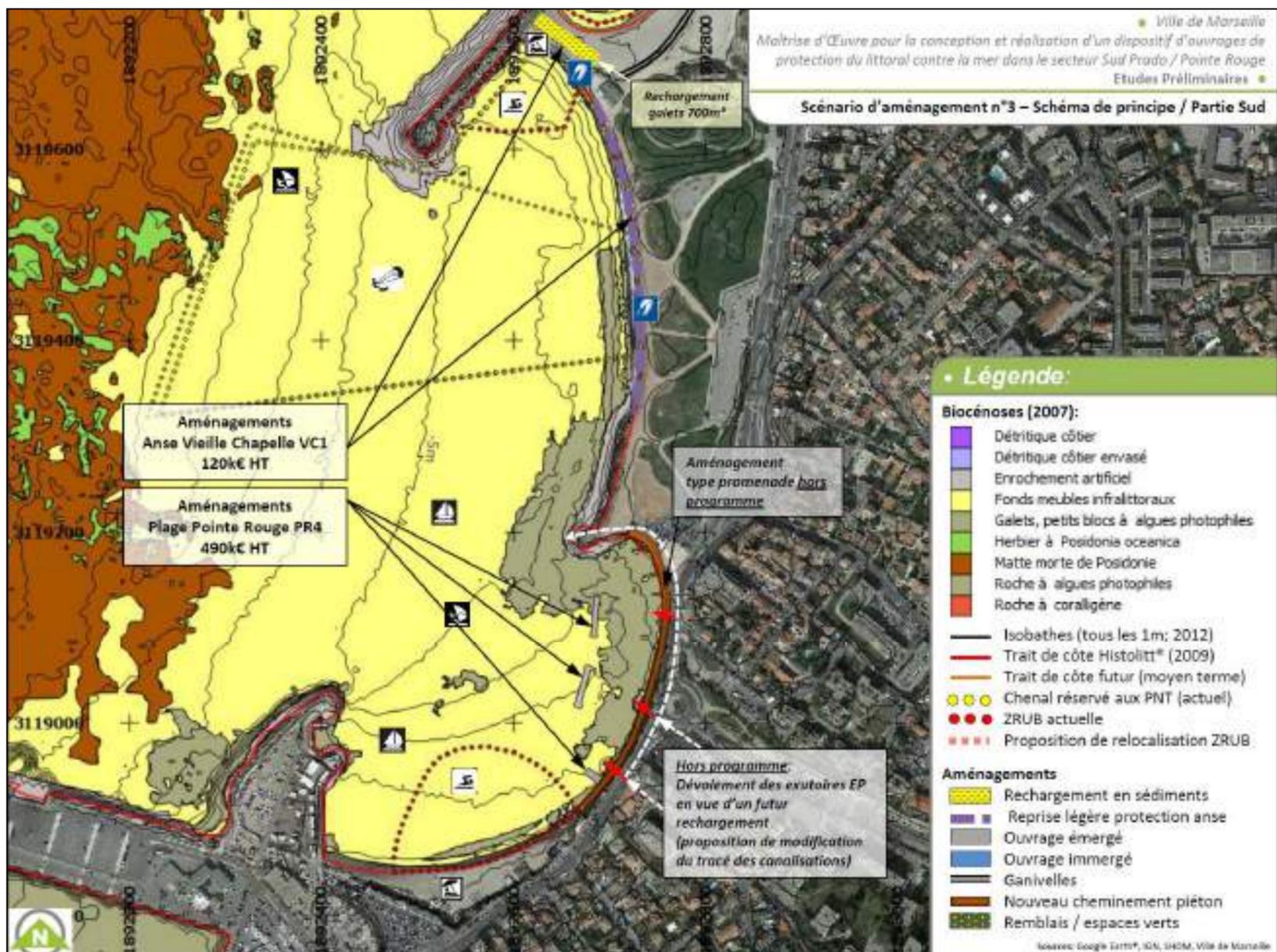
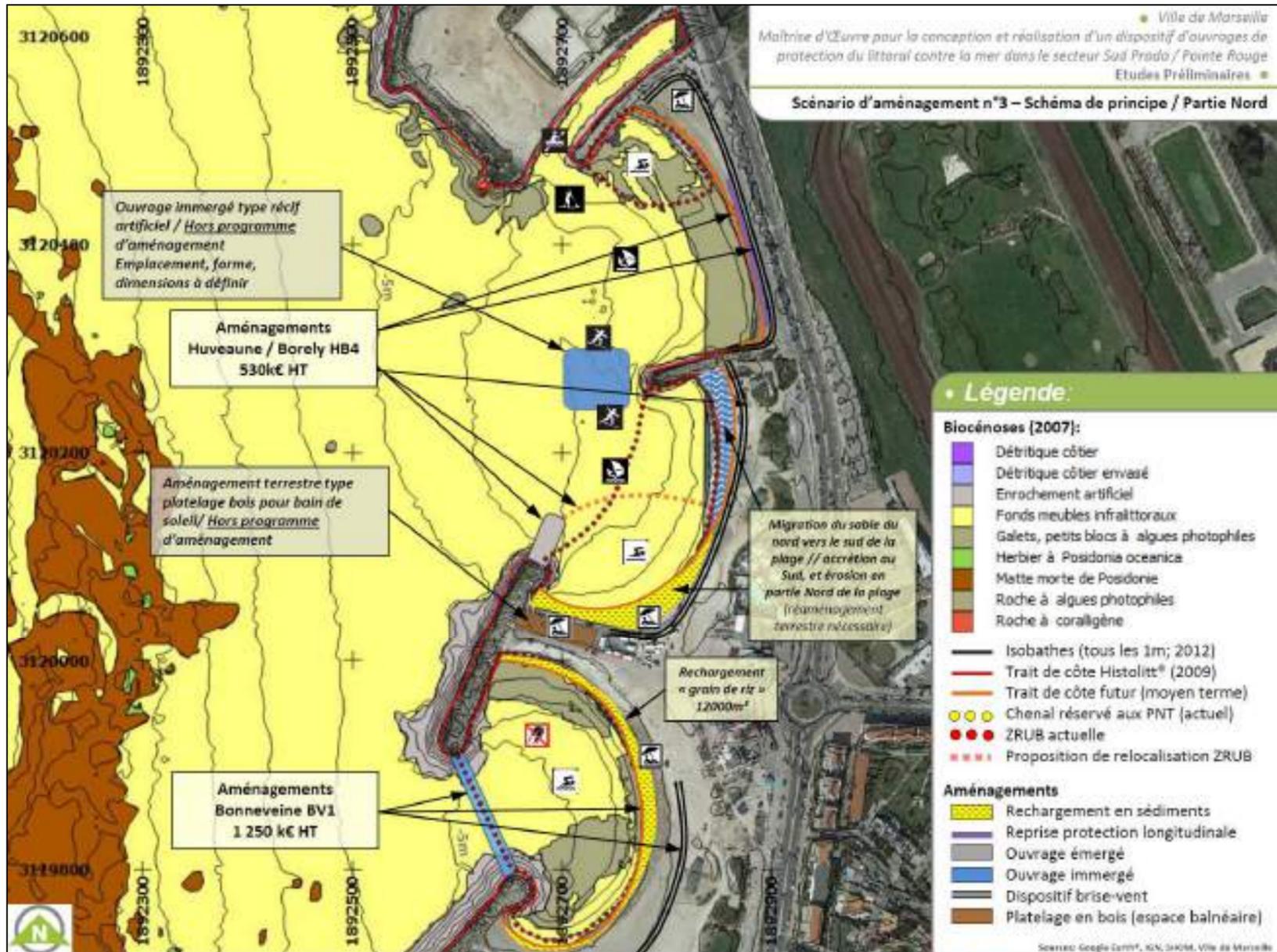


Figure 49: Schéma de principe - Scénario 4 : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires, protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle, aucun aménagement dans l'anse de Pointe Rouge

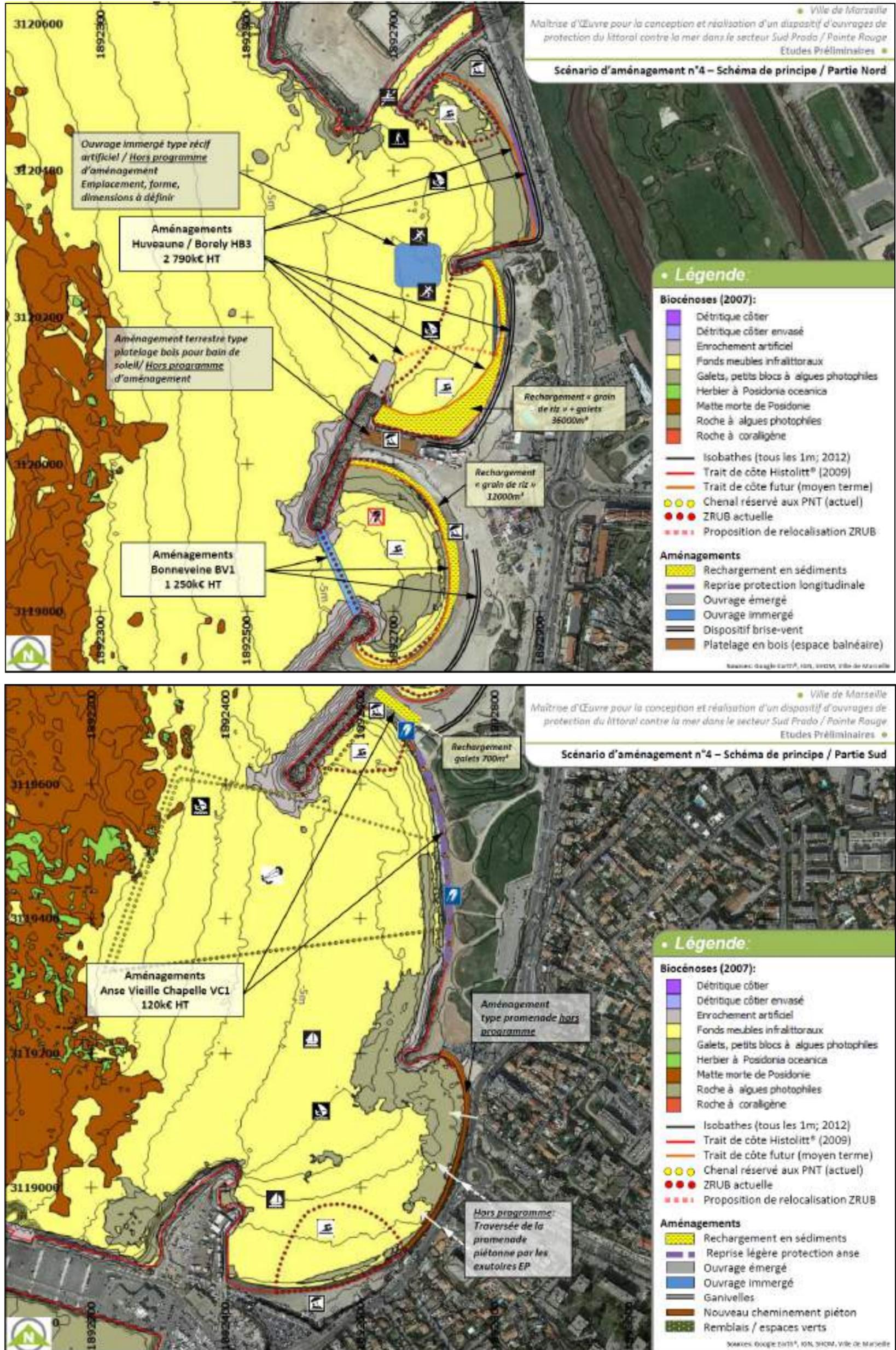
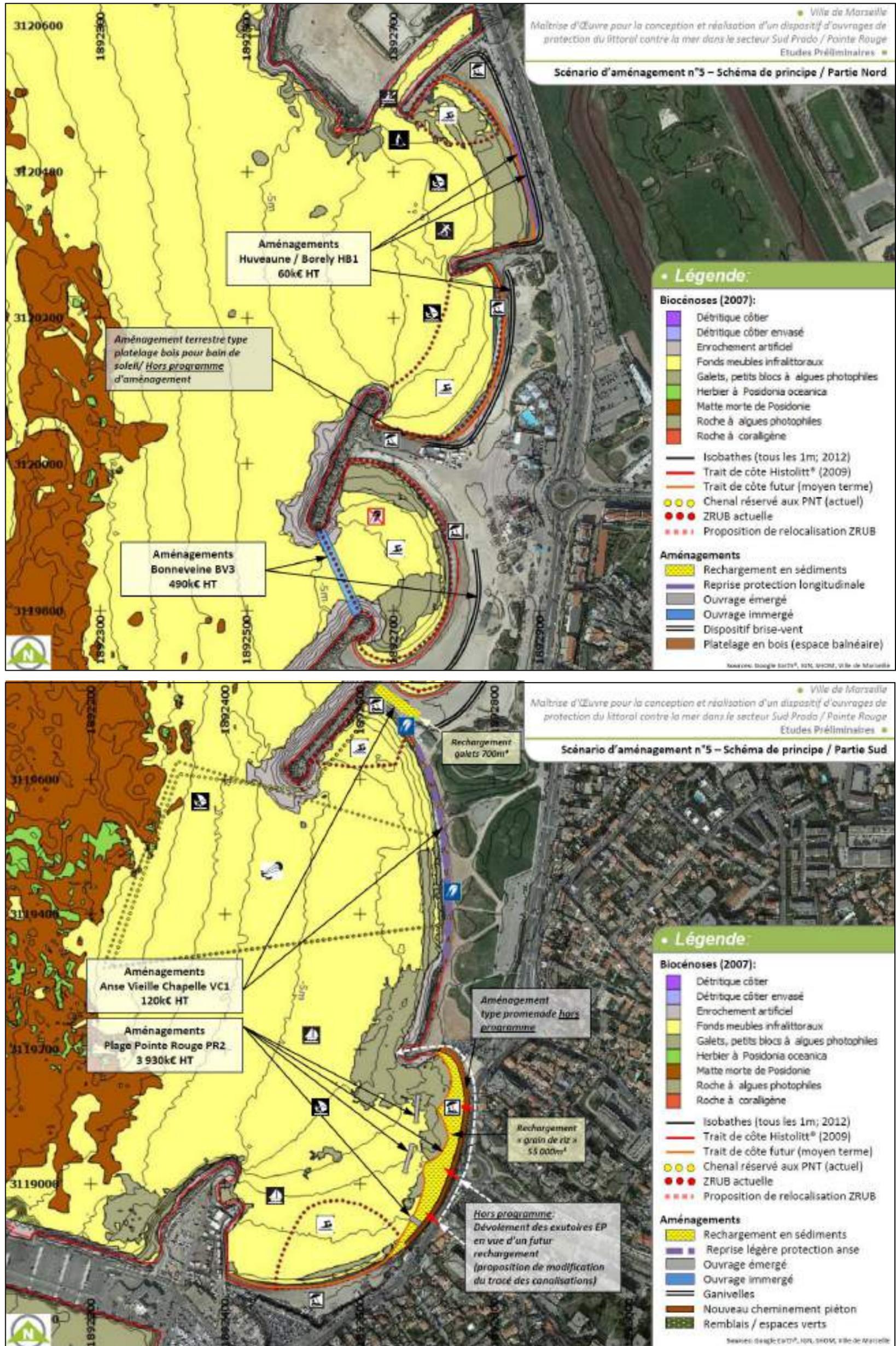


Figure 50: Schéma de principe - Scénario 5 : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle (et sans rechargement aucun à Bonneveine), mais création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge





### 3.3 Spécifications techniques, mise en œuvre et mesures de gestion associées

#### 3.3.1 Ouvrages en enrochements

A ce stade, seuls des enrochements naturels sont envisagés pour les ouvrages proposés. La blocométrie envisagée est similaire à celle des ouvrages existant (cf. Chapitre 2 -1.2), cohérente avec les données de houle présentées dans ce document. Leur dimensionnement sera précisé au stade AVP.

Excepté pour le cas du brise-lames forain proposé dans le sous-scénario VC6-PR3 (création d'un stade nautique sur la zone Vieille Chapelle – Pointe Rouge), les enrochements seront mis en œuvre par voie terrestre avec la création de pistes d'accès provisoires.

Pour les ouvrages émergents, la cote d'arase sera au maximum celle des ouvrages adjacents, sinon inférieure lorsque cela sera possible, dans le but de limiter au maximum l'impact paysager. Elle sera définie précisément au stade AVP, de même que les autres dimensions caractéristiques qui y sont liées (pour rappel, à efficacité égale, un brise-lames faiblement émergent nécessite une largeur de berme plus importante).

Les principales caractéristiques géométriques des ouvrages / aménagements proposés sont rappelées ci-dessous, et seront amenées à être précisées / développées au stade AVP pour le scénario retenu.

#### **Brise-lames émergents**

Les caractéristiques considérées pour les brise-lames émergents sont similaires à celles des ouvrages existant, dont les coupe-types disponibles sont présentées au début de ce document, au Chapitre 2 -1.2 (cf. Figure 3).

La cote d'arase considérée à ce stade est de +2.0m, avec une pente de 3 en horizontal pour 2 en vertical (excepté pour le brise-lames forain ancré à -7m, pour lequel une pente de 2H:1V a été considérée).

#### **Butée de pied de plage**

La cote d'arase de cet ouvrage est prise égale à -1.0m à ce stade, afin de limiter le risque vis-à-vis des usagers.

Une largeur de crête de 5m a été retenue, considérée suffisante à ce stade pour atteindre l'objectif principal de rétention des sédiments à l'intérieur de l'alvéole.

#### **Protection longitudinale le long de l'Anse de Vieille Chapelle**

Dans le cas de la reprise complète de ce talus en enrochements, la cote d'arase est prise égale à +3.0m, avec une largeur de berme de 5m, et une pente de talus à 3 (horizontalement) pour 1 (verticalement).

Dans le cas d'une reprise partielle du haut de talus uniquement, il n'est pas envisagé de modification des caractéristiques géométriques de l'ouvrage.

### 3.3.2 Filets brise-vent

Les filets seront tissés ou tricotés à partir de polyéthylène, nylon, ou fibre coco, le choix du matériau pouvant être défini ultérieurement.

A noter que l'utilisation de matériaux de type filets coco pour le piégeage de sédiments est relativement récente ; ce produit plus écologique a été adapté aux besoins dunaires et présente de bons retours d'expérience sur la façade Atlantique).

Les filets présenteront une hauteur de 1.5 m minimum pour éviter l'enjambement par les promeneurs. Des piquets seront installés tous les 1.60 m pour le maintien des filets.

La perméabilité des filets, de l'ordre de 40% à 60%, sera adaptée de manière à optimiser le piégeage des sédiments éolisés.

Les filets seront renforcés sur les bordures notamment pour gagner en résistance, et leur forme sera adaptée à leurs extrémités pour ne pas induire d'effet aérodynamique indésirable.

Enfin, afin de canaliser et sensibiliser les usagers et éviter sinon limiter le vandalisme, des panneaux d'information / orientation sont proposés en accompagnement de l'installation des filets brise-vents (cf. paragraphe suivant).

### 3.3.1 Panneaux d'information / orientation

Des panneaux seront installés en plusieurs points (environ 2 grands panneaux et 2 petits panneaux par plage) afin d'informer les usagers sur le rôle joué par les filets brise-vent et repérer si besoin les accès à la plage aménagés dans le dispositif.

Les panneaux les plus grands présenteront un plan masse de la zone, avec un indice de repère et la distance au chemin le plus proche.

### 3.3.2 Rechargements

#### Volumes de rechargement

Pour les rechargements en sédiments, la hauteur de berme envisagée est définie :

- à +1.5m pour les plages existantes (similaire au haut de plage actuel) ;
- à +2.0m pour les plages créées au sein de nouvelles alvéoles dans l'anse de Vieille Chapelle.

Le volume de rechargement dépend alors de cette hauteur de berme, de l'avancée moyenne envisagée pour la ligne de rivage, et de la profondeur de fermeture, estimée entre -2m et -5m selon l'exposition et la nature des plages. Ces caractéristiques sont amenées à être précisées / développées au stade AVP pour le scénario retenu.

#### Mise en œuvre et mesures de gestion associées

Les rechargements, le cas échéant, seront réalisés de manière à faciliter l'atteinte d'un profil d'équilibre et limiter les pertes de matériaux consécutives à l'opération. Un rechargement avec des matériaux trop fins se traduit invariablement par des pertes rapides ; des matériaux plus grossiers que ceux en place seront systématiquement recherchés.

Le rechargement de sable pourra être réalisé par placement direct des sédiments sur la plage dans le cas de volumes relativement faibles (< 20 000m<sup>3</sup>), ou se faire par exemple sur l'avant-plage au niveau des petits fonds par pompage depuis une barge par exemple, ce qui est peut-être plus économique. Un relèvement net des petits fonds s'opère alors, propice à un écrêtement des houles et les matériaux sont remontés à la côte. Le mode de rechargement dépendra néanmoins fortement de la source d'approvisionnement disponible.

Une des principales problématiques de ce type de travaux réside en effet dans la recherche de gisements de sable pour alimenter les rechargements.

Actuellement, la Ville de Marseille s'approvisionne au niveau de la carrière du Beausset, à environ 50km de la zone d'étude. Cette option reste acceptable dans le cas des scénarios n'impliquant pas de rechargements massifs en sable, mais devient rapidement très onéreuse pour des volumes significatifs. Ceci explique le fait que les scénarios proposés répondant à l'enveloppe budgétaire de 2.4M€ HT n'intègrent quasiment pas de rechargement (du moins pas à ce stade, en l'absence de sites d'emprunts alternatifs, en mer, identifiés). Si le sable de carrière ou de rivière devait être lavé pour limiter la création d'un nuage turbide lors des travaux, les coûts seraient supérieurs. Ceci dépend des contraintes environnementales (impact sur les herbiers), et donc des exigences de l'Autorité Environnementale (DREAL ou DDTM)

### 3.3.3 Nettoyage des plages – Gestion des posidonies

Comme introduit au §2.2.1, les banquettes de Posidonies qui s'accumulent sur les littoraux après les événements de tempête (sur la zone d'étude, principalement Borely et Bonneveine), malgré les nuisances qu'elles peuvent représenter (visuelles, sanitaires et olfactives), et donc l'impact potentiel en termes de fréquentation, jouent un rôle important à différents points de vue, et en particulier pour la protection des plages contre l'érosion.

Il est de ce fait fondamental de laisser au maximum ces accumulations présentes tout au long de l'année, et en particulier l'hiver, période plus sujette aux tempêtes.

Les principales lignes guides dédiées à la gestion de la biomasse végétale de plage, qui respectent les dynamiques naturelles, sont rappelées ci-dessous :

- Protéger et valoriser la présence de banquettes (dépôts structurés) en retirant périodiquement les déchets sans utiliser de moyens mécaniques (collecte manuelle ; cette pratique évite par ailleurs le prélèvement inévitable de sable survenant en cas « nettoyage » mécanisé des plages, même avec tamisage);
- Retirer le matériel seulement s'il n'est pas structuré, en limitant les mouvements à une accumulation contrôlée le long de la partie supérieure de la plage;
- Seulement si le déplacement est nécessaire, le matériel doit être réémis en mer (anticipant le processus naturel) ou doit être utilisé pour la protection et la défense du littoral (déplacement par exemple sur un autre secteur du littoral également soumis à l'érosion, mais moins fréquenté, ou sur une zone de stockage, avant d'être remises en place avant les tempêtes d'automne et d'hiver ; un inconvénient peut être le coût important du déplacement des posidonies, moindre cependant a priori qu'une mise en décharge avec un bénéfice social et environnemental préservé).

La DREAL PACA, l'ADEME et la Région PACA ont publié, dans le cadre du Bilan de la gestion des « banquettes » de Posidonies en région PACA, une analyse multicritères des solutions de traitements ou modes de gestion des feuilles de posidonies échouées sur les plages, reproduit ci-dessous

(Créocéan, 2012). Ce tableau fait nettement apparaître l'intérêt d'une gestion de type « Millefeuilles », « Stockage temporaire (estival) », ou « Laissées sur place ». Mais toutes possèdent également des contraintes : d'ordres technique et foncier pour le millefeuilles et le stockage, d'ordre touristique lorsqu'elles sont laissées en place :

Solutions	Millefeuilles	Remises à la mer	Décharge	Stockage temporaire	Valorisations alternatives	Laissées sur place
Impact environnemental	😊	😊	😞	😊	😞	😊
Impact économique	😊	😊	😞	😊	😊	😊
Impact social	😊	😊	😊	😊	😊	😞
Contraintes	Implication communale forte, gestion géographique des plages	Actions plus fréquentes et dépendantes des conditions climatiques, coûts élevés, déplacement du problème, érosion (sable remis à la mer).	Coûts importants, utilisation de moyens techniques importants, érosion du littoral.	Moyens fonciers et techniques disponibles, coûts.	Espèce protégée, érosion, moyens techniques de valorisation, transport, méthodes qui permet valorisation de faibles volumes.	Pression touristique, obligation de communication, problèmes liés à la sécurité de plages et à la possible présence de macrodéchets
Avantages	Lutte contre érosion, image de la commune, pas de contraintes touristiques.	Facilité et rapidité d'action, pas de contraintes touristiques.	Pas de contraintes touristiques.	Lutte contre l'érosion en hiver et plages sans banquettes en été.	Valorisation, création d'activités.	Lutte contre l'érosion, aspect environnemental préservé et absence de coût de traitement qui peuvent être investis dans de la sensibilisation.
BILAN	😊	😊	😞	😊	😊	😊

Ces 3 principaux modes de gestion sont précisés ci-dessous<sup>2</sup> :

- **La méthode de l'ensevelissement ou « millefeuilles » :**

Les feuilles de Posidonies sont étalées sur la plage et recouvertes de sable. Cette technique présente plusieurs avantages.

Elle est économiquement très intéressante, facile à mettre en place, elle permet de laisser les feuilles de Posidonies sur la plage et ainsi de lutter contre l'érosion en automne et hiver due aux tempêtes et est in fine très bien acceptée par les usagers des plages puisque les feuilles ne sont pas visibles. Pour finir, les feuilles, en se dégradent lentement, continuent d'apporter les éléments nutritifs minéraux et organiques aux écosystèmes proches de la surface de la mer.

- **Le stockage temporaire :**

Si la largeur de la plage le permet, les banquettes de feuilles sont déplacées en arrière plage au début de la saison touristique et remises en place avant les tempêtes d'automne et d'hiver. Un inconvénient peut être le coût important du déplacement, cependant moindre qu'une mise en décharge avec un bénéfice social et environnemental préservé.

- **La plage écologique ou "laisser les banquettes en place"**

<sup>2</sup> Source : <http://laposidonie.e-monsite.com/pages/protection-des-plages/les-techniques-souples-1/>

C'est a priori la meilleure solution pour les aspects économiques et environnementaux. L'acceptabilité par les usagers reste néanmoins le problème majeur de cette option car ils peuvent faire pression sur les élus, et ce parfois jusqu'au dépôt d'une plainte. Une communication ciblée (p.ex. sur les panneaux d'information dédiés principalement aux filets brise-vent), répétée et multimédia pour une bonne sensibilisation permet de jouer sur l'impact négatif ressenti par 10% à 20% des usagers de la plage et des socioprofessionnels. Dans le parc national de Port Cros où cette solution a été choisie, aucune baisse de la fréquentation touristique n'a été enregistrée.

## 4 Mesures d'éco-conception susceptibles d'être intégrées au projet

### 4.1 Principes généraux de l'éco-conception

L'éco-conception d'ouvrages maritimes est une démarche d'ingénierie écologique (ou éco-ingénierie) qui peut se définir comme : « *le fait d'associer à la fonctionnalité technique d'un ouvrage immergé, une ou plusieurs fonctionnalités écologiques, sans pour autant altérer les propriétés et les objectifs initiaux de l'ouvrage* ».

Les objectifs généraux de l'éco-conception d'ouvrages maritimes sont ainsi de :

- développer une ou plusieurs fonctionnalités écologiques (ex : habitat, nurserie, abri, support de fixation) pour un ou plusieurs taxons donnés (poissons, poulpes, corail, etc.) à différents stades de leur cycle de vie (ex : juvénile, adulte),
- développer un ou plusieurs services écosystémiques (ex : production halieutique, protection contre l'érosion, etc.).

L'intégration d'une démarche d'ingénierie écologique à la conception d'un ouvrage maritime se matérialise le plus souvent par :

- l'intégration directement dans la masse de l'ouvrage de caractéristiques structurelles à vocation d'habitat pour la faune et la flore marine (cavités par exemple),
- la fixation d'habitats artificiels distincts ou d'espèces naturelles sur l'ouvrage,
- l'utilisation de matériaux de construction favorisant la capacité de colonisation de l'ouvrage, ou encore
- la recherche de transparence vis-à-vis de la continuité.

À noter que ces différentes stratégies d'éco-conception peuvent être combinées de sorte à favoriser le développement d'un panel de fonctionnalités complémentaires et de peuplements d'espèces et de stades de vie diversifiés.



**Figure 52 : Exemples d'ouvrages maritimes éco-conçus intégrant différents aménagements écologiques (à gauche : blocs constitutifs de digues intégrant des dalles de béton biogène visant à stimuler la colonisation ; à droite : lest de conduite sous-marine intégrant des ragues traversantes adaptées à la colonisation par différentes espèces benthodémersales) (Crédits photos : Seaboost)**



**Figure 53: Exemple d'éco-conception d'ouvrages maritimes par ajout de solutions d'habillage (habitats artificiels, cavités, micro-habitats) (Source : Seaboost)**

Ces aménagements écologiques peuvent concerner différents types d'ouvrages maritimes : aussi bien les ouvrages légers (ex : quais flottants, systèmes de mouillages, défenses d'accostage) que les ouvrages lourds (ex : digues de protection, pipelines sous-marins, structures offshore).

Les solutions mises en œuvre varient nécessairement entre ces différents types d'ouvrages du fait des contraintes techniques qui les caractérisent (flux d'accueil de bateaux à quai, propriétés de stabilisation de l'ouvrage à maintenir etc.), des conditions environnementales locales

(hydrodynamisme, niveau trophique de la colonne d'eau, risque de contamination), des objectifs écologiques propres à chaque démarche (espèces, stades de vie, fonctionnalités, cibles).

Design, matériaux, localisation et techniques d'implantation, résistance, fonctionnalités et espèces ciblées, sont tout autant de critères à contextualiser à la zone de projet et à l'ouvrage à équiper dans le cadre d'une démarche d'éco-conception.

#### 4.2 Opportunité d'application pour le projet

Les aménagements prévus dans le cadre du projet concernent quasi-exclusivement des ouvrages en enrochements réalisés dans des petits fonds inférieurs à 5 m de profondeur, de nature sableuse et plus ou moins proches de biocénoses d'herbier de posidonie en mauvais état situé plus au large à des profondeurs d'environ 10 m.

Par leur nature chaotique, les ouvrages projetés ainsi que les ouvrages existants, génèrent de multiples cavités et constituent ainsi des habitats de substrat dur plus ou moins complexes. Ces caractéristiques structurelles, qui peuvent être apparentées à celles d'éboulis rocheux naturels, en font un abri de choix pour de nombreuses espèces faunistiques. La nature rocheuse du substrat est également propice à la colonisation par différentes espèces faunistiques et floristiques fixées.

En outre, par leur position dans de très faibles profondeurs d'eau, à la côte de surcroît, ces ouvrages sont des sites privilégiés pour l'installation de larves en provenance du large, puis leur métamorphose vers des stades juvéniles. Ces ouvrages sont donc susceptibles de constituer des habitats clés pour l'accomplissement du cycle de vie de certaines espèces clés des écosystèmes côtiers de la rade de Marseille (tels que les Sparidae par exemple). Leur présence constitue ainsi un potentiel d'amélioration de la fonction de nurserie des petits fonds côtiers de la rade Sud de Marseille, et ce dans un contexte où les habitats naturels qui exerçaient historiquement cette fonction essentielle tels que l'herbier de posidonie, ont connu une régression sévère du fait de l'anthropisation du littoral Marseillais.

Dans ce contexte, les objectifs d'éco-conception qu'il paraît pertinent d'associer à ces ouvrages sont les suivants :

- améliorer le potentiel d'habitat des aménagements pour la faune vagile cryptique (c'est à dire pour les espèces inféodées aux cavités générées par les enrochements) ;
- améliorer le potentiel d'habitat (et donc de nurserie) pour les stades précoces de développement de différentes espèces de faune vagile.

En outre, le projet peut constituer une opportunité pour agir non seulement sur les ouvrages eux-mêmes mais également à leur proximité de sorte à favoriser la connectivité entre les ouvrages et les habitats de nurserie situés plus au large.

### Clé de compréhension des fonctionnalités cibles du projet

En période de reproduction, les individus matures se rassemblent et la reproduction a lieu selon des modalités diverses en fonction des taxons (poissons, crustacés, céphalopodes) : en pleine eau ou près du fond, par accouplement ou par dispersion des gamètes en pleine eau. Après fécondation et éclosion des œufs, les larves se dispersent au gré des courants. Suite à leur vie planctonique, les post-larves des espèces côtières recherchent activement des micro-habitats peu profonds adaptés à leur installation et à leur développement lors des premières semaines voire des premiers mois de leur vie benthique.

Si les habitats de nurserie peuvent varier fortement d'une espèce à une autre (ex : petits fonds rocheux pour les sars, herbier de posidonie pour le corb, les Labridae etc.), elles possèdent généralement une caractéristique commune : une micro-complexité structurale élevée générant des abris adaptés à la taille des individus. De ce fait, les ouvrages maritimes de protection constituent des habitats d'intérêt pour cette phase d'installation larvaire du fait de la complexité architecturale générée par ces aménagements, et ce malgré le caractère anthropisé du trait de côte concerné.

Les individus juvéniles immatures migrent ensuite progressivement en profondeur (phase de recrutement) pour atteindre les habitats essentiels habités par les stades adultes. Les habitats recherchés varient à nouveau en fonction des espèces considérées. Pour autant, les faciès en enrochements ainsi que les faciès à herbiers constituent des habitats essentiels au sein de l'écosystème méditerranéen dans cette phase de transition.

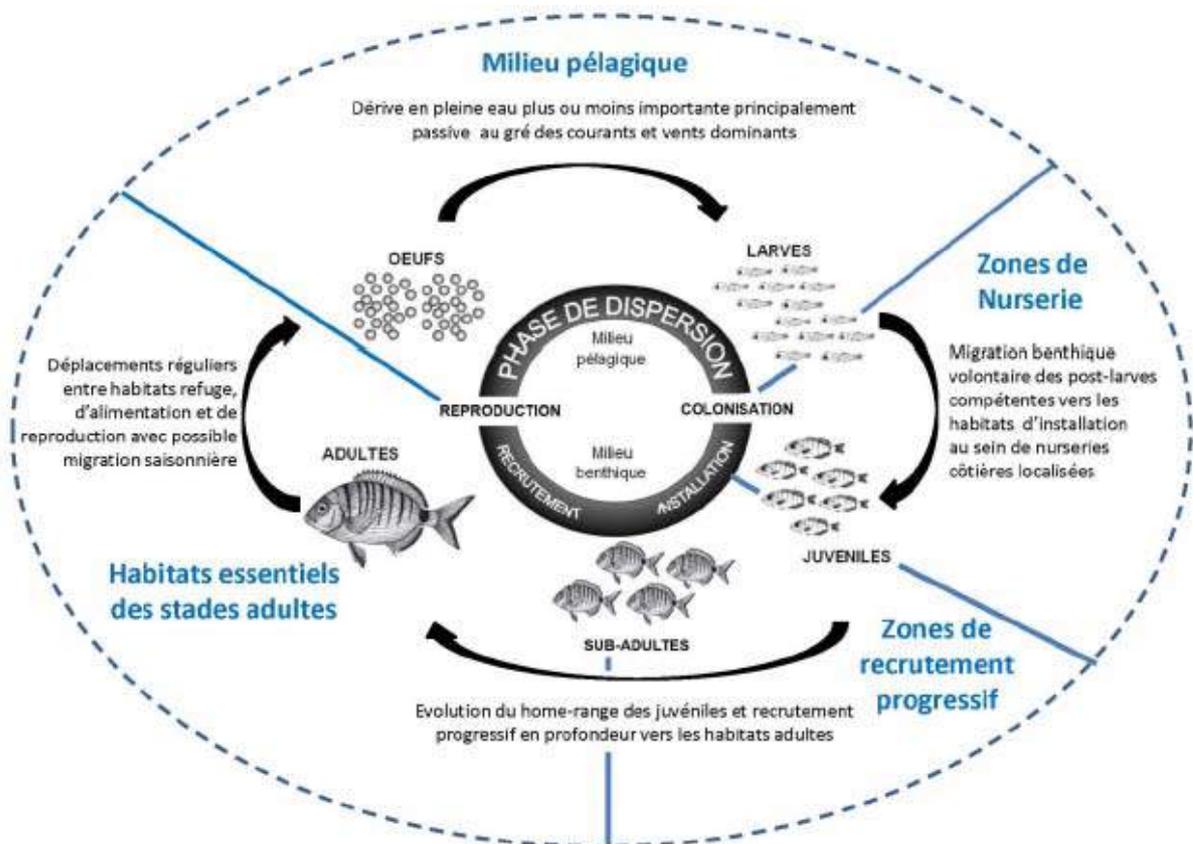


Figure 54 : Illustration du cycle de vie des espèces et de leur relation à l'habitat

### 4.3 Descriptions des actions susceptibles de pouvoir être intégrées au projet

#### 4.3.1 Modification de la granulométrie des enrochements

Tout comme les zones naturelles d'éboulis, les enrochements naturels utilisés pour créer des ouvrages de protection forment des amas chaotiques relativement complexes capables d'accueillir en Méditerranée un ensemble d'espèces de substrat dur varié et ce à différents stades de leur cycle de vie (Ruitton, 1999 ; Pastor et al., 2013 ; Lapinski et al., 2015, Bouchoucha, 2016).

Du fait de son potentiel écologique, ce type d'aménagement a notamment été utilisé avec succès dans le cadre d'opérations de récifs artificiels et est aujourd'hui recommandé en génie écologique par de nombreux spécialistes (Charbonnel, Ruitton com. pers.) dès lors qu'une hétérogénéité dans la granulométrie des matériaux utilisés est recherchée.

En effet, lorsque ces aménagements emploient des enrochements provenant quasi-exclusivement d'une même classe granulométrique, ils donnent lieu à des habitats relativement homogènes du point de vue de leur complexité architecturale. Ils présentent par ailleurs peu de micro-habitats d'échelle centimétrique à décimétrique adaptés à l'accueil de juvéniles ou de petites espèces cryptiques.

**Afin de maximiser le nombre de niches écologiques créées et de permettre l'installation d'un réseau trophique complexe, une solution consiste à diversifier les classes granulométriques des enrochements constitutifs des ouvrages.**

Cette solution est intégrée a minima par la prise en compte de blocs naturels plutôt qu'artificiels pour la réalisation pour des ouvrages en enrochements. Ce type d'aménagement est néanmoins rarement mis en œuvre sur le côté exposé à la houle des ouvrages du fait d'un risque de dégradation de leur stabilité et de leur fonction de protection.



**Figure 55: Illustration d'enrochements naturels constitutifs d'ouvrages maritimes formant des amas chaotiques**

➡ **Localisation conseillée du déploiement** : tous les ouvrages lorsque c'est possible et que cela ne remet pas en cause la stabilité générale de l'ouvrage

➡ **Volume conseillé** : idem

➡ **Coût estimatif** : non estimé à ce stade

#### 4.3.2 Modification du profil de l'ouvrage

Le prolongement de l'ouvrage sous l'eau en lui affectant ponctuellement une faible pente peut constituer un levier efficace de création de biodiversité sur site. Cela revient en quelque sorte à doter le site d'un éboulis rocheux à composante horizontale, configuration bien identifiée en milieu naturel pour son potentiel spécifique d'accueil de la vie.

Ce type d'aménagement est néanmoins rarement mis en œuvre sur le côté exposé à la houle des ouvrages du fait d'un risque de dégradation de leur stabilité et de leur fonction de protection.

➔ **Localisation conseillée du déploiement** : extrémités des ouvrages et zones de coudes (prolongement en mer des points saillants de l'ouvrage), tant que cela ne remet pas en cause la stabilité générale de l'ouvrage ni les risques de franchissement.

➔ **Volume conseillé** : idem

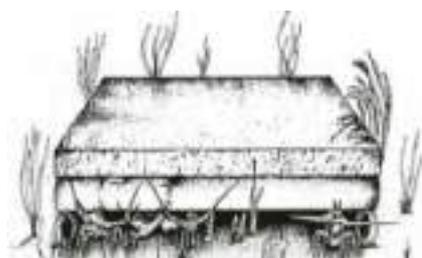
➔ **Coût estimatif** : non estimé à ce stade

#### 4.3.3 Intégration d'habitats additionnels de substrat dur à fonction d'habitat et de nurserie

Lorsque la diversification des classes de taille des enrochements n'est pas possible ou trop limitée (pour des raisons de stabilité hydrodynamique notamment), une hétérogénéité d'habitat peut être introduite par l'adjonction de modules artificiels de deux types. Sont distinguées les solutions lourdes type récifs artificiels ou blocs de carapaces de digues éco-conçus des solutions légères type microhabitats pour les stades juvéniles et petites espèces cryptiques.

L'intégration de modules lourds doit permettre d'obtenir des configurations rares et/ou particulièrement propices à l'accueil de certaines espèces patrimoniales cibles aux préférences écologiques spécifiques. Peuvent être distingués les blocs de digues manufacturés à potentiel écologique amélioré, des récifs artificiels « spécialisés » ciblant certaines espèces ou certains stades de vie, ces deux solutions n'étant pas exclusives l'une de l'autre.

- **Récifs artificiels - ragues horizontales et verticales** : d'ordre métrique (1 à 2 m), ces dernières devront permettre par une disposition aléatoire de recréer des failles verticales et horizontales ciblant des espèces cryptiques comme les corbs, les sars, le mérrou, etc. Ces configurations sont en effet extrêmement rares dans un amas chaotique en enrochements naturels.



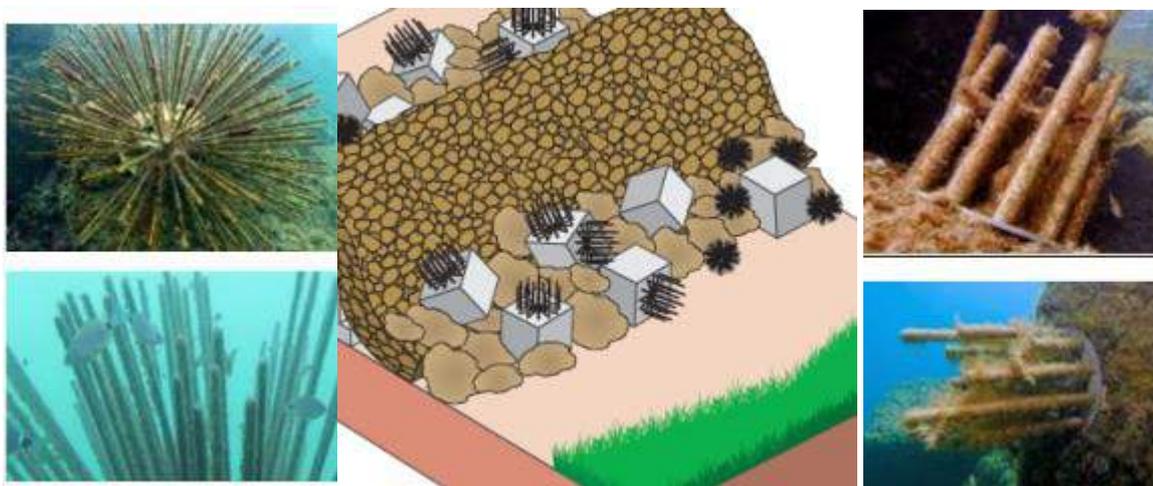
**Figure 56: Illustrations de récifs spécialisés à ragues horizontales (gauche – récifs à lagoustes, Mintz et al., 1994 ; ragues horizontales à corb et à Sparidae, Seaboost ; Manta reef, Seaboost)**

- **Blocs manufacturés à potentiel écologique amélioré** : d'ordre métrique à plurimétrique (2 à 3 m de hauteur), ces blocs doivent permettre de créer localement des déclivités singulières dans l'ouvrage (tombants, plateformes). Outre la création d'hétérogénéité, les matériaux utilisés peuvent favoriser l'installation de faciès d'intérêt (cystoseira par exemple) à l'origine de fonctionnalités complexes.



**Figure 57: Illustrations de modules artificiels pouvant être associés à la création de tombants artificiels**

L'intégration de modules légers, ou micro-habitats, doit avoir pour objectif à ces profondeurs de cibler les stades post-larvaires et juvéniles d'espèces benthiques et necto-benthiques (crustacés, céphalopodes, poissons) caractéristiques des biocénoses historiques et/ou à enjeu sur le territoire. Afin de répondre aux exigences de l'ensemble des espèces constitutives de la communauté benthique et necto-benthique côtière de ces différentes biocénoses, la solution reposera idéalement sur la mise en œuvre d'un panel de micro-habitats complémentaires (association de nurseries artificielles de substrat dur et d'herbier disposées sur différentes sections des ouvrages).



**Figure 58: Schéma d'aménagement écologique de talus en enrochements éco-conçu sur la zone d'accroche du Larvotto à Monaco, associé à une solution de développement de l'hétérogénéité architecturale de l'assise en enrochements (gauche : Oursins Seabost ; droite Biohut digue, Ecocéan)**

- ➔ **Localisation conseillée du déploiement** : sections non fréquentées / sans usages
- ➔ **Volume conseillé** : 1 module pour 5 m<sup>2</sup> de surface d'ouvrage
- ➔ **Coût estimatif** : 500 à 1000 euros par module

#### 4.3.4 Création de connectivité avec les zones d'herbiers fragmentés au large

La connectivité entre les enrochements présents dans les petits fonds et les biocénoses complexes présentes plus en profondeur constitue un facteur d'influence important de la fonctionnalité écologique des aménagements projetés. Parmi les fonctionnalités considérées, il semble opportun de se focaliser sur la fonctionnalité de nurserie et le potentiel de déplacement des individus juvéniles entre les petits fonds dans lesquels ils s'établiront au début de leur cycle de vie, et les fonds plus profonds qu'ils chercheront à gagner au cours de leur croissance.

En première approche, cette connectivité peut être assurée par deux grands types de solutions, représentant les deux grands types de faciès retenus dans le contexte de l'opération :

- l'immersion d'amas d'enrochements ou d'habitats artificiels (faciès de substrat dur) ;
- l'immersion d'herbiers artificiels.

Les amas d'enrochements imaginés ici sont des structures simples, de dimension d'ordre plurimétrique, mettant en œuvre des enrochements similaires à ceux utilisés pour la constitution des ouvrages. La recherche d'hétérogénéité décrite ci-avant est maintenue pour ces structures également.

Les herbiers artificiels sont des micro-habitats mimant les caractéristiques de forêts de macroalgues profondes (ex : *Cystoseira zosteroides*) sur des surfaces d'ordre plurimétrique. Les modules visent principalement à améliorer les déplacements d'espèces (horizontaux et verticaux) des stades de vie juvénile et sub- et adultes de taxons vagiles (poissons, crustacés, céphalopodes) qui naturellement ciblent ce type de biocénose. **L'intérêt écologique de ces solutions a récemment été mis en évidence au travers d'expérimentations menées sur les récifs du Prado ou encore dans le Grand Port Maritime de Marseille dans le cadre du programme GIREL.**



**Figure 59: Illustrations d'herbiers artificiels type Roselières (Seaboost)**

En termes de disposition, ces habitats sont déployés de manière ponctuelle entre les ouvrages et les habitats du large à « connecter ». Les solutions forment un cheminement dit en « pas japonais » et proposent des habitats relais et un schéma préférentiel de déplacement des espèces.

➡ **Localisation conseillée du déploiement** : création de corridors entre les ouvrages et les herbiers du large (cf. figure suivante).

➡ **Volume conseillé** : implantation d'un patch d'herbier ou d'un amas d'enrochement de 20 m<sup>2</sup> environ tous les 50 mètres linéaires de corridor.

➡ **Coût estimatif** : 5000 euros / 100 m de corridor constitué de pas de 20 m<sup>2</sup>



**Figure 60: Matérialisation des zones d'intérêt pour un travail sur la connectivité**

## 5 Analyse réglementaire des solutions d'aménagement

Une note de cadrage réglementaire préalable a été émise au démarrage du projet, qui précise les principales contraintes et procédures réglementaires applicables pour la réalisation des travaux d'aménagement de lutte contre l'érosion. Celles-ci ont été rappelées au Chapitre 2 -2.3 (Etude d'impact / examen au cas par cas, Autorisation Environnementale, Concession du Domaine Public maritime, Enquête publique) et sont valables pour chacun des scénarios proposés, ces derniers n'impliquant pas a priori de particularité relative à la réalisation de ces procédures réglementaires.

Ces procédures restent à faire valider par les Services de l'état (DREAL, DDTM etc.) dès la solution d'aménagement retenue (demande de certificat de projet, cas par cas, cadrage préalable).

Il est rappelé à ce titre que le contexte réglementaire actuellement en évolution, est susceptible d'impacter le contenu des dossiers à produire et/ou le déroulement des procédures d'instruction. Cet aspect sera précisé ultérieurement, une fois les informations disponibles.

## 6 Etudes complémentaires

Ce paragraphe présente les études complémentaires à mettre en place pour la continuité du projet que ce soit pour sa partie technique ou réglementaire.

Le planning général de l'opération, en date du 17/02/2017 montre que certaines de ces études sont à lancer rapidement (dès validation de ce rapport) pour être intégrées dès la phase AVP.

### 6.1 Levé bathymétrique

Les données bathymétriques les plus récentes datent de 2012 (levé Lidar dans le cadre de l'élaboration du produit Litto3D®). Il est nécessaire de mettre à jour ces données pour préciser la dynamique sédimentaire et établir un référentiel altimétrique à jour pour la conception des ouvrages de protection.

Ces relevés sont prévus en tant que Mission Complémentaire et sont programmés dans le planning général de l'opération pour être réalisés en Juin-Juillet 2017, sous réserve d'être lancés une fois les EP validées.

### 6.2 Levé des biocénoses

La carte de localisation des biocénoses disponible date de 2007. Cette campagne avait été réalisée par ANDROMEDE OCEANOLOGIE pour le compte de la Ville de Marseille.

Il est nécessaire pour préciser les enjeux environnementaux de réaliser une nouvelle campagne de relevé des biocénoses pour mettre à jour la carte de localisation des herbiers notamment.

Ces relevés sont prévus en tant que Mission Complémentaire et sont programmés dans le planning général de l'opération pour être réalisés en Juin-Juillet 2017, sous réserve d'être lancés une fois les EP validées.

### 6.3 Qualité des sédiments

Il n'est pas prévu à ce stade de prélèvement de sédiments en mer pour la réalisation des travaux d'aménagement proposés.

Il était néanmoins prévu de réaliser des prélèvements pour analyse de la qualité des sédiments sur la zone d'étude. Ces analyses pourront soit être réalisées pour compléter la description de l'état initial de la zone d'étude, et disposer de premiers éléments en cas de besoin de dragage futur, sinon être remplacées par exemple par des analyses du benthos, en fonction des enjeux identifiés suite à la sélection du scénario d'aménagement. Ces investigations sont prévues d'être réalisées en même temps que le levé des biocénoses.

### 6.4 Reconnaissances complémentaires des émissaires eaux pluviales et autres réseaux

Le dévoiement des réseaux d'eaux usées / pluviales débouchant dans l'anse de Pointe Rouge n'est pas intégré au programme d'aménagement. Une étude et des investigations dédiées seront néanmoins nécessaires pour préciser la faisabilité et le coût de ces travaux de dévoiement, et doivent donc être lancés rapidement.

Par ailleurs, comme indiqué plus haut, au Chapitre 2 -1.3, une DICT devra être lancée dès que le scénario d'aménagement sera choisi, afin de préciser la localisation, les caractéristiques et la nature des réseaux de toute nature situés sur la zone de travaux.

### 6.5 Reconnaissances géotechniques

En fonction des aménagements retenus, des reconnaissances géotechniques pourront être rendues nécessaires.

Ces besoins seront définis au démarrage de la phase AVP, mais concernent vraisemblablement principalement les travaux d'aménagement terrestre de l'anse de Pointe Rouge (cheminement piéton avec ou sans dévoiement de réseau EP) et seraient de ce fait hors du présent programme d'aménagement.

### 6.6 Suivis faune / flore

En fonction de la nature des travaux finalement retenus, des suivis faune / flore de la zone d'étude pourront être préconisés pour vérifier les impacts des travaux envisagés.

## 7 Chiffrage estimatif

### 7.1 Aménagements pris en compte dans le chiffrage du projet

Le chiffrage prend en compte les travaux nécessaires pour la réalisation des aménagements décrits plus haut, y compris le coût des installations de chantier, et l'aménagement /repli des engins de chantier. Le coût des aménagements urbains, ainsi que celui des éventuelles mesures d'écoconception décrites au §4, et des études complémentaires listées au paragraphe précédent ne sont pas intégrés aux montants présentés.

### 7.2 Hypothèses pour définir les prix unitaires et forfaitaires

Les prix unitaires et forfaitaires sont issus :

- des prix unitaires du marché à bon de commande passé par le MOA pour la réalisation de « travaux de grosses réparations du littoral de la Commune de Marseille – Lot 1 : travaux d'entretien et de grosses réparations maritimes » ;
- de la base de prix Egis pour des travaux similaires (en intégrant l'adaptation aux contraintes du projet).

### 7.3 Métrés

Les métrés ont été établis sur la base des données topo-bathymétriques (état actuel) définies plus haut, en appliquant les spécifications techniques de chaque ouvrage décrites précédemment.

### 7.4 Aléas, imprévus et non chiffrés

Ils sont estimés à 25% à ce stade du projet.

### 7.5 Chiffrage estimatif des aménagements

Le tableau ci-après présente le montant sommaire estimé au niveau EP pour chacun des scénarios proposés.

Le détail de ces montants est donné dans en Annexe 10.

Tableau 16 : Montant estimé des aménagements proposés au stade EP

SCENARIO GLOBAL	SOUS-TOTAL ARRONDI SOUS-SCENARIOS PLAGES / GROUPES DE PLAGES				TOTAL ARRONDI HT
	HB1	BV1	VC1	PR4	
SCENARIO 1	60 000	1 250 000	120 000	490 000	1 920 000
SCENARIO 2	60 000	1 250 000	630 000	490 000	2 430 000
SCENARIO 3	530 000	1 250 000	120 000	490 000	2 400 000
SCENARIO 4	2 790 000	1 250 000	120 000	0	4 170 000
SCENARIO 5	60 000	490 000	120 000	3 930 000	4 600 000
SCENARIO 6	2 790 000	2 010 000	16 860 000	3 930 000	25 600 000

## 7.6 Analyse

Le montant des travaux pour les scénarios 1, 2 et 3 est en-deçà ou égal au coût objectif tel que défini par les maîtres d'ouvrages : 2.4 M€ HT y compris 25% de marge sur le chiffrage (aléas, imprévus, non chiffrés). Ces scénarios ne répondent pas cependant de manière pleinement satisfaisante aux attentes en matière de protection contre l'érosion et de sécurisation ou résolution des conflits d'usages sur la zone d'étude.

Les scénarios 4 et 5, et en particulier 6 présentent de leur côté des montants estimés supérieurs à ce coût objectif de 2.4M€ HT. Bien qu'ils répondent de manière plus satisfaisante aux attentes en matière de protection contre l'érosion et de sécurisation ou résolution des conflits d'usages sur la zone d'étude, ils ne répondent pas a priori aux objectifs économiques du projet.

En fonction de l'intérêt porté à ces scénarios, des optimisations pourraient être envisagées, notamment celles déjà identifiées au paragraphe suivant, et les travaux pourraient être phasés dans le temps, avec une 1<sup>ère</sup> tranche de travaux de 2.4M€ HT qui pourrait être traitée dans le cadre du présent marché.

☞ **L'analyse multicritères présentée au Chapitre suivant permet de préciser les points forts de chaque solution et d'aider le MOA dans son choix.**

## 7.7 Pistes d'économies ou d'optimisation des aménagements

Les pistes d'économies ou d'optimisation des aménagements identifiées à ce stade sont listées ci-dessous et pourront être développées aux stades suivants, en fonction du scénario retenu :

- Plage de Bonneveine : mise en œuvre d'un épi en partie Nord de la plage, pour limiter le rechargement sédimentaire à une portion limitée de cette cellule, à l'instar de ce qui a été réalisé pour créer la plage du Petit Roucas ;
- Anse de Vieille Chapelle :
  - de même, en l'absence d'autres aménagements de protection, la mise en œuvre d'un épi permettrait d'élargir la plage actuelle de manière plus conséquente que ce qui a été proposé dans les scénarios d'aménagement de cette plage ;
  - dans le cas de la création de la variante d'aménagement VC4 créant une unique grande alvéole le long de cette anse, le déplacement plus au nord de l'enracinement de la digue de protection, permettrait d'une part de réduire le coût des travaux, d'autre part de limiter l'impact de l'ouvrage sur l'agitation au niveau de la plage de Pointe Rouge.
- Anse de Pointe Rouge :
  - les aménagements de liaison niveau voirie et/ou plage pourraient être raccourcis légèrement en considérant une liaison avec le parc balnéaire au niveau du terrain de pétanque plutôt qu'à l'extrémité Nord de l'anse ;
  - en fonction de l'analyse plus poussée au stade suivant du fonctionnement des brise-lames forains avec un rechargement en sable dans la partie Nord de l'anse, des butées de pied ou un réagencement des ouvrages pourra être envisagé pour limiter au maximum les pertes de matériaux dans le profil.

# Chapitre 6 - Analyse multicritères des solutions proposées

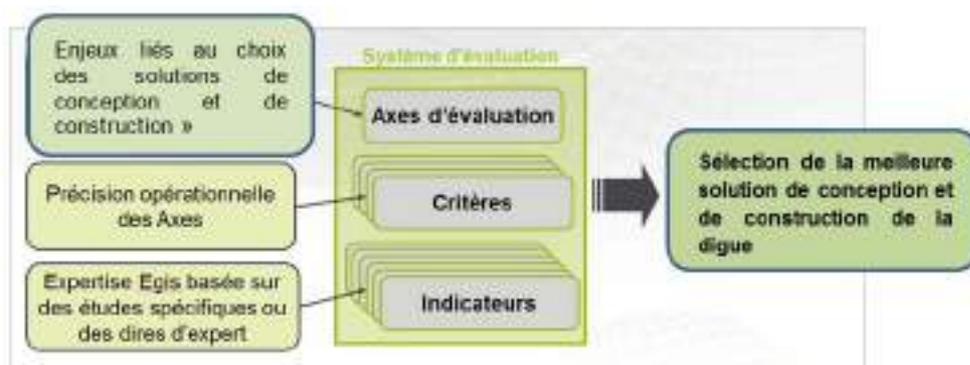
## 1 Présentation de la méthodologie

Egis a développé son propre outil d'analyse multicritères pour l'aide à la décision au regard d'un grand

nombre de variables :  **TENDEM EMPREINTE**

Le système Tendem-Empreinte® créé et utilisé par le groupe Egis pour évaluer la performance environnementale des projets et activités, est une méthode d'évaluation reposant sur un outil informatique permettant d'en faciliter la bonne mise en œuvre.

Dans cette méthode, les grands axes d'évaluation sont détaillés par un certain nombre de critères d'évaluation et chaque critère dispose d'un indicateur.



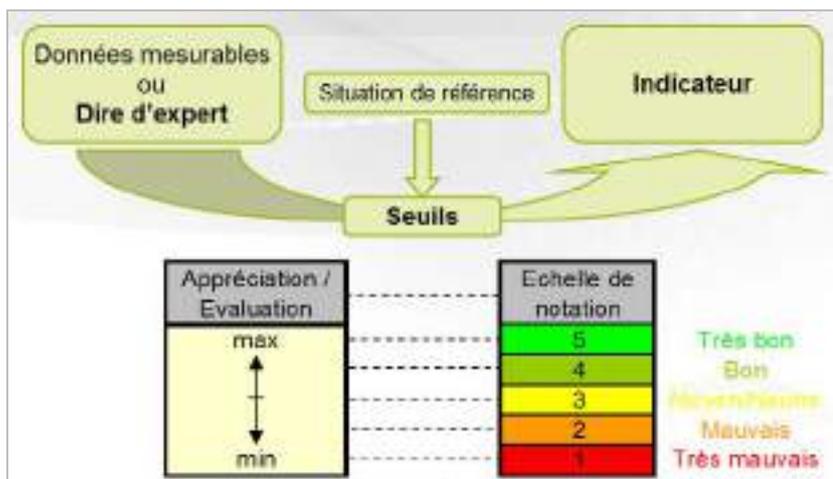
**Figure 61 : Structure du système d'analyse multicritères**

Parce que tous les critères n'ont pas la même importance dans la comparaison des mesures, il est proposé de hiérarchiser les critères d'évaluation par l'application d'une pondération. La pondération des critères d'évaluation vise à faire ressortir le poids des communautés locales concernées par les critères évalués.

Il est proposé que le coefficient 3 soit attribué aux paramètres majeurs, 2 aux paramètres importants, 1 aux paramètres secondaires et 0 aux critères d'évaluation qui ne sont pas pertinents dans l'évaluation comparative de certains types de solution.

La pondération proposée est le fruit d'une vision partagée des enjeux techniques, environnementaux, paysagers et économiques par les membres du comité de pilotage.

L'évaluation pour chaque critère est matérialisée par la notation d'un indicateur. Ce dernier vise à synthétiser la performance de la solution par signal simple. Il s'agit d'une notation à 5 niveaux (5-très bon, 4-bon, 3-moyen, 2-mauvais, 1-très mauvais ; à noter que dans le cas de comparaisons de solutions en termes d'impacts, la note 3 peut être considérée comme neutre).



**Figure 62 : Construction des indicateurs sur la base des expertises**

L'évaluation de la performance de la solution étudiée au regard de chaque critère d'évaluation est ensuite réalisée via le calcul de la moyenne pondérée des critères décomposant chaque axe d'évaluation. Ce système offre une vision synthétique du profil des impacts de la mesure facilitant ainsi une première comparaison et hiérarchisation. Ce calcul est automatisé car toutes les grilles d'analyse multicritères sont programmées dans un fichier Excel dédié.

En plus de pouvoir apprécier l'impact d'une mesure sur chaque descripteur, l'analyse multicritères offre la possibilité d'apprécier la « performance » de la mesure dans son ensemble. En effet, le calcul des moyennes permet une représentation graphique qui offre une représentation synthétique et didactique de l'évaluation.

Cette méthode ne prétend absolument pas ôter son aspect subjectif à l'évaluation des scénarios. Simplement, cette subjectivité est d'une part entièrement reportée à la phase préliminaire de construction du système d'évaluation et, d'autre part, rendue totalement apparente grâce à un morcellement et une formalisation de ce système d'indicateur.

Le caractère objectif et transparent de la méthode se situe à différents niveaux :

- d'abord lors de la construction du modèle, sous la forme d'une arborescence. Cette arborescence présente tous les paramètres jugés pertinents pour l'aide à la décision et servant à qualifier la performance de chaque solution au regard d'un triptyque environnemental, économique et social.
- ensuite, lors de la phase de « pondération » des paramètres, destinée à déterminer l'importance relative à accorder à chaque objectif ;
- enfin, lors de la notation des indicateurs selon une méthodologie commune à chacun et clairement définie dans la description des indicateurs présentée plus bas.

La souplesse de l'outil, jointe à l'automatisation du calcul, permet de répéter les évaluations en modifiant les postulats de base (recalibrage des indicateurs) pour se placer successivement à différents points de vue, dans différents domaines de comparaison.

## 2 Synthèse et présentation des critères

### 2.1 Thèmes et critères de décision pour chacun des thèmes

Ce chapitre présente les critères retenus par les MOAs pour l'analyse multicritères technico-économique des 6 scénarios proposés :

Les scénarios d'aménagement proposés sont rappelés ci-dessous :

- **Scénario 1** : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle (HB1 / BV1 / VC1), et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires (PR4).
- **Scénario 2** : Protection minimum de l'Huveaune à Bonneveine (HB1 / BV1), reprise complète de la protection longitudinale de l'anse de Vieille Chapelle (VC2), et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires (PR4).
- **Scénario 3** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec mise en œuvre d'ouvrages en préparation à un futur rechargement (HB4 / BV1), protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle (VC1), et aménagements à Pointe Rouge protégeant la route et privilégiant la possible future création d'espaces balnéaires (PR4).
- **Scénario 4** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires (HB3 / BV1), protection minimum à l'anse de Vieille Chapelle (VC1), aucun aménagement dans l'anse de Pointe Rouge (PR1).
- **Scénario 5** : Protection minimale contre l'érosion de l'Huveaune à l'anse de Vieille Chapelle (et sans rechargement aucun à Bonneveine ; HB1 / BV3 / VC1), mais création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge (PR2).
- **Scénario 6** : Relocalisation des usages baignade et sports de glisse sur les plages d'Huveaune et Borely, avec création de nouveaux espaces balnéaires (HB3 / BV2), création de nouveaux espaces balnéaires et relocalisation d'usages dans l'anse de Vieille Chapelle (VC5), et création de nouveaux espaces balnéaires à Pointe Rouge (PR2).

Les critères sont regroupés dans 6 grands thèmes (P1 à P5) avec pour chaque thème des critères de décision (C1, C2, ...) :

Un barème est mis en place avec un système de coefficients de 1 à 6 pour chaque thème et chaque critère. Les critères sont évalués entre 1 et 5. Pour une meilleure communication, cette analyse est présentée sous forme graphique en évaluant chaque critère selon une échelle de couleur permettant de visualiser rapidement les avantages et inconvénients de chaque solution.

L'échelle de couleur utilisée dans le cadre de l'analyse multicritères des solutions d'aménagements est la suivante :



**Les critères retenus en concertation avec le MOA sont les suivants :**

- P1 : Assurer la protection du littoral contre la mer et le vent (coefficient 6 / Note max 150)
  - P1C1 – Coeff. 5 : Efficacité hydrosédimentaire des ouvrages (lutte contre l'érosion),
- P2 : Faisabilité technique et coût d'entretien des ouvrages (coefficient 3 / Note max 90)
  - P2C1 – Coeff. 3 : Faisabilité de réalisation technique des ouvrages.
  - P2C2 – Coeff. 2 : Facilité de l'entretien technique des ouvrages.
  - P2C3 – Coeff. 1 : Coût d'entretien des ouvrages : Coût d'entretien des ouvrages suite à des dommages (reprise d'enrochements, rechargement etc...).
- P3 : Impact sur le paysage et les usages du site en phase exploitation (coefficient 3 / Note max 120)
  - P3C1 – Coeff. 2 : Impact des ouvrages dans le paysage et le patrimoine.
  - P3C2 – Coeff. 2 : Impact sur les usages nautiques du site : activités portuaires et nautiques (côtiers, yachting, pêche, travaux maritimes, surf, planche à voile etc.).
  - P3C3 – Coeff. 2 : Impact sur les usages balnéaires du site : activités balnéaires (gains de surface de plage, etc...).
  - P3C4 – Coeff. 1 : Impact sur les accès à la plage.
  - P3C5 – Coeff. 1 : Impact sur le risque submersion marine et inondation.
- P4 : Respect de l'environnement naturel (coefficient 2 / Note max 80)
  - P4C1 – Coeff. 3 : Emprise sur les fonds marins / Perte d'habitat.
  - P4C2 – Coeff. 2 : Gain potentiel de biodiversité (apport de substrat dur).
  - P4C3 – Coeff. 3 : Respect de la qualité des eaux marines pour la baignade.
- P5 : Impact sur l'environnement et les usages du site en phase travaux (coefficient 2 / Note max 40)
  - P5C1 – Coeff. 1 : Minimiser la durée des travaux : une note maximale signifie que le scénario est plus rapide à mettre en œuvre que les autres : volumes de travaux à réaliser, moyens matériels à mettre en œuvre et cadence associée.
  - P5C2 – Coeff. 1 : Limitation des nuisances pour l'environnement marin (turbidité liée au rechargement notamment).
  - P5C3 – Coeff. 1 : Limitation du bruit pendant les travaux.
  - P5C4 – Coeff. 1 : Réutilisation possible des matériaux.

#### Notes :

- De même que les mesures réductrices en phase travaux, et/ou mesures compensatoires ne sont pas prises en compte ici (impacts bruts uniquement), le potentiel d'intégration d'éléments éco-conçus, habitats artificiels, etc., dans le cadre des scénarios proposés n'est pas pris en compte à ce stade, excepté à travers le critère P4C2 relatif au apports de substrats durs, rapidement valorisables en termes de biodiversité ;
- Il était par ailleurs envisagé initialement d'introduire un 6<sup>ème</sup> critère noté sur 15 points relatif aux contraintes réglementaires et dossiers à réaliser en fonction des aménagements proposés. Ce critère s'avère cependant peu applicable par zone, et doit plus être envisagé dans la globalité de l'aménagement. Par ailleurs, tous les scénarios proposés intègrent plus

ou moins des types d'aménagements similaires, et devraient de ce fait induire peu d'écart dans la nature des dossiers à produire pour obtenir les autorisations de réalisation des travaux.

## 2.2 Résultats de l'analyse multicritères

**La synthèse de l'analyse multicritères est présentée ci-après sous format de tableaux et de graphiques.**

**Elle est réalisée en deux étapes :**

- **Etape n°1** : L'analyse multicritères est réalisée de manière séparée sur chacune des plages ou groupe de plages afin d'évaluer au mieux les avantages et inconvénients des différents aménagements possibles au sein de ces zones (y compris les variantes non intégrées aux 6 scénarios proposés) :
  - HB1 à HB4 : Plages Huveaune et Borély,
  - BV1 à BV3 : Plage de Bonneveine,
  - VC1 à VC7 : Anse de Vieille Chapelle,
  - PR1 à PR4 : Plage de Pointe Rouge.
- **Etape n°2** : Chaque scénario global d'aménagement proposé est composé à partir de la combinaison de sous-scénarios définis pour chaque plage ou groupe de plages ; par exemple : Scénario 1 = {HB1 / BV1 / VC1 / PR4}.

Par ailleurs, les plages présentant des enjeux variables pour le Maître d'Ouvrage, il a été intégré en accord avec le MOA un coefficient de pondération pour chaque plage ou groupe de plages en fonction de leur importance, ces coefficients reflétant des enjeux plus importants sur le secteur 3 de la zone d'étude, c'est-à-dire de l'Anse de la Vieille Chapelle à la plage de Pointe Rouge :

- HB : coeff. 1
- BV : coeff. 2,
- VC : coeff. 3,
- PR : coeff. 3.

Ce calcul aboutit finalement à une note pondérée pour chacun des scénarios d'aménagement proposés, permettant d'analyser les scénarios les plus pertinents selon les critères définis en accord avec le Maître d'Ouvrage.

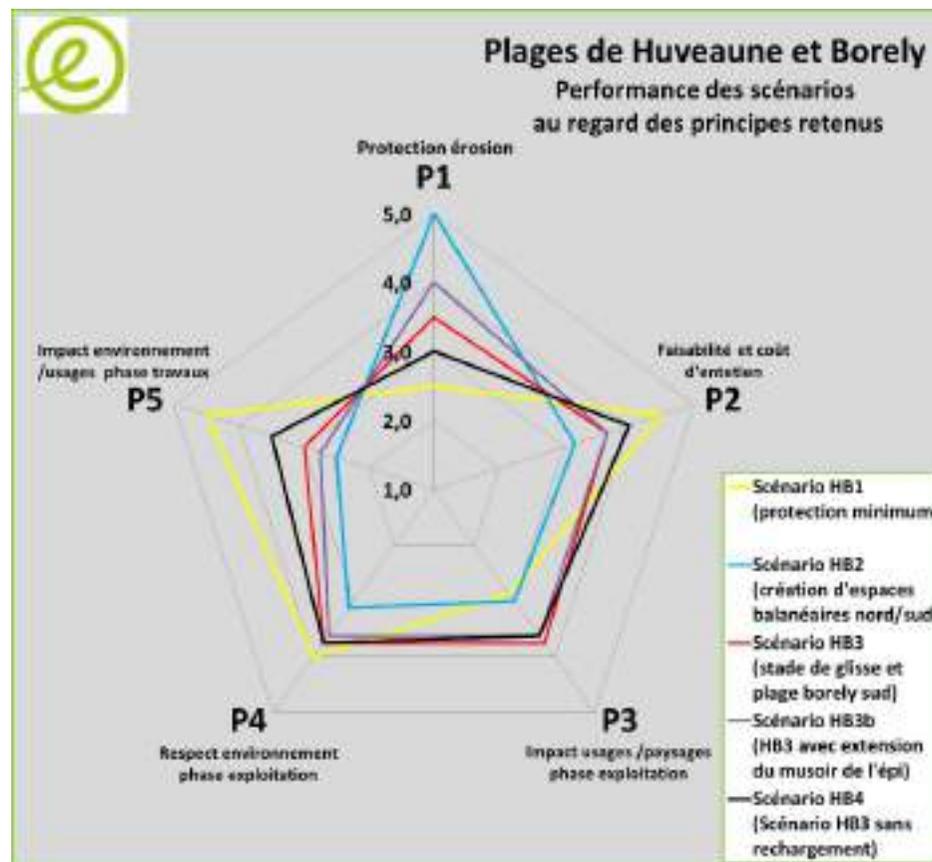
Tableau 17 : Synthèse de l'analyse multicritères – Etape n°1 – Comparaison des sous-scénarios par plage ou groupe de plages

Plages de l'Huveaune et Borély (Coefficient 1)																	
Critères		Coeft	Scénario HB1 (protection minimum)			Scénario HB2 (création d'espaces balnéaires nord/sud)			Scénario HB3 (stade de glisse et plage borely sud)			Scénario HB3b (HB3 avec extension du musoir de l'épi)			Scénario HB4 (Scénario HB3 sans rechargement)		
P1: sur 150 pts	Assurer la protection du littoral contre la mer et le vent	6	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5
			P1C1	Efficacité hydrosédimentaire des ouvrages (lutte contre l'érosion)	5	2,5	75	2,5	5	150	5,0	3,5	105	3,5	4	120	4,0	3	90	3,0
P2: sur 90 pts	Faisabilité technique et coût d'entretien des ouvrages	3	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5
P2C1	Faisabilité de réalisation technique des ouvrages	3	5	81	4,5	3,5	57	3,2	4	66	3,7	4	66	3,7	4,5	72	4,0
P2C2	Facilité de l'entretien technique des ouvrages	2	4		8	3		6	3,5		7	3,5		7	3,5		7
P2C3	Coût d'entretien des ouvrages	1	4		4	2,5		2,5	3		3	3		3	3,5		3,5
P3: sur 120 pts	Impact sur le paysage et les usages du site en phase exploitation	3	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5
P3C1	Impact des ouvrages dans le paysage et le patrimoine	2	3	69	2,9	4	72	3,0	3,5	90	3,8	3	87	3,6	3	87	3,6
P3C2	Impact sur les usages nautiques du site	2	3		6	1		2	5		10	5		10	5		10
P3C3	Impact sur les usages balnéaires du site	2	3		6	5		10	4		8	4		8	4		8
P3C4	Impact sur les accès à la plage	1	2		2	2		2	2		2	2		2	2		2
P3C5	Impact sur le risque submersion marine et inondation	1	3		3	2		2	3		3	3		3	3		3
P4: sur 80 pts	Respect de l'environnement naturel en phase exploitation	2	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5
P4C1	Emprise sur les fonds marins / perte d'habitat	3	5	64	4,0	2	50	3,1	4	60	3,8	3	58	3,6	4	60	3,8
P4C2	Gain potentiel de biodiversité (apport de substrat dur)	2	1		2	5		10	3		6	4		8	3		6
P4C3	Respect de la qualité des eaux marines pour la baignade	3	5		15	3		9	4		12	4		12	4		12
P5: sur 40 pts	Impact sur l'environnement et les usages du site en phase travaux	2	Note /5	Note /40	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5
P5C1	Minimiser la durée des travaux	1	5	36	4,5	2	20	2,5	3,5	24	3,0	3	22	2,8	4	28	3,5
P5C2	Limitation des nuisances pour l'environnement marin	1	5		5	1		1	2,5		2,5	2		2	3		3
P5C3	Limitation du bruit pendant les travaux	1	5		5	2		2	2		2	2		2	3		3
P5C4	Réutilisation possible des matériaux	1	3		3	5		5	4		4	4		4	4		4
SOUS-TOTAL P1-P2-P3			HB1	225	3,1	HB2	279	3,9	HB3	261	3,6	HB3b	273	3,8	HB4	249	3,5
SOUS-TOTAL P4-P5			HB1	100	4,2	HB2	70	2,9	HB3	84	3,5	HB3b	80	3,3	HB4	88	3,7
TOTAL SOUS-SCENARIO			HB1	325	3,39	HB2	349	3,64	HB3	345	3,59	HB3b	353	3,68	HB4	337	3,51
MONTANT ESTIME HT (yc divers & aléas 25%)			60 000			6 460 000			2 790 000			3 080 000			530 000		

- L'analyse multicritères donne le classement suivant :

Classement	Sous-critères P1-P2-P3	Tous critères confondus
1	HB2	HB3b
2	HB3b	HB2
3	HB3	HB3
4	HB4	HB4
5	HB1	HB1

Les scénarios HB2, HB3 et HB3b arrivant en tête, présentent des notes globales relativement équivalentes. La note basée sur les critères P1 à P3 est la plus élevée pour le scénario HB2 consistant à créer de nouveaux espaces balnéaires sur les 2 plages. Sa note globale est cependant dégradée notamment du fait de l'impact fort induit sur la pratique historique du surf et funboard sur la zone, et les impacts plus importants potentiellement induits sur l'environnement (recouvrement des fonds, qualité de l'eau, turbidité en phase travaux).

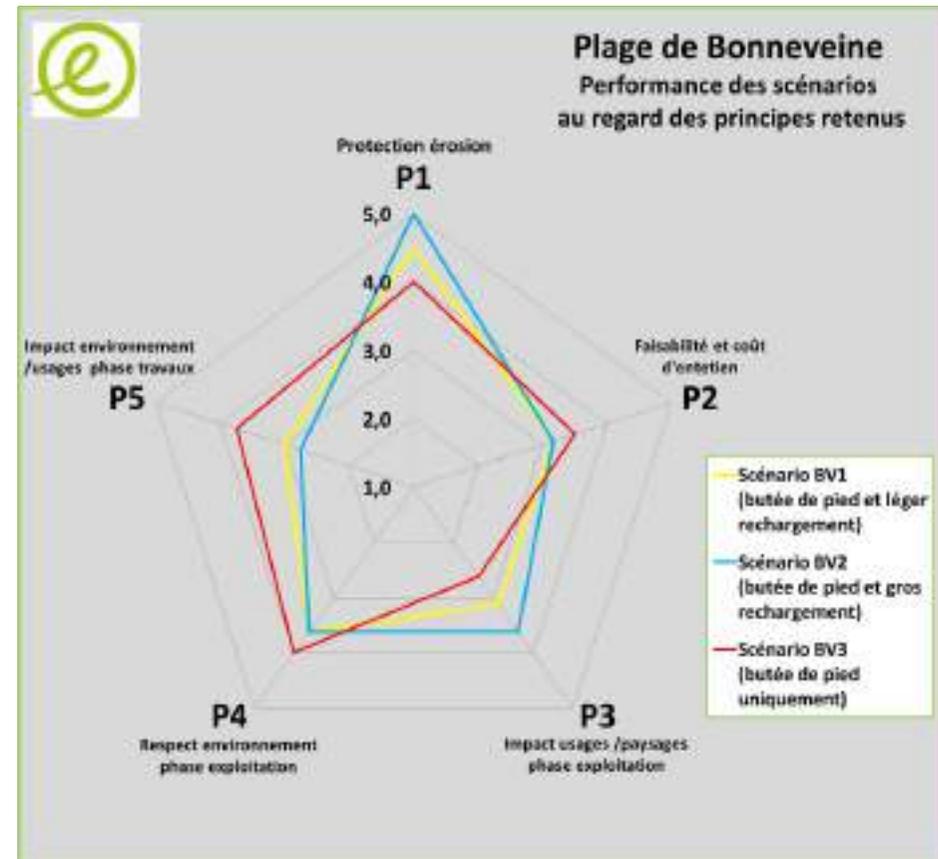


Plage de Bonneveine (Coefficient 2)											
Critères		Coeff	Scénario BV1 (butée de pied et léger rechargement)			Scénario BV2 (butée de pied et gros rechargement)			Scénario BV3 (butée de pied uniquement)		
P1: sur 150 pts	Assurer la protection du littoral contre la mer et le vent		Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5
		P1C1	Efficacité hydrosédimentaire des ouvrages (lutte contre l'érosion)	5	4,5	22,5	5	25	4	20	
P2: sur 90 pts	Faisabilité technique et coût d'entretien des ouvrages	3	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5
			57	3,2	57	3,2	63	3,5			
P2C1	Faisabilité de réalisation technique des ouvrages	3	3	9	3	9	4	12			
P2C2	Facilité de l'entretien technique des ouvrages	2	3	6	3	6	3	6			
P2C3	Coût d'entretien des ouvrages	1	4	4	4	4	3	3			
P3: sur 120 pts	Impact sur le paysage et les usages du site en phase exploitation	3	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5
			75	3,1	87	3,6	63	2,6			
P3C1	Impact des ouvrages dans le paysage et le patrimoine	2	3	6	4	8	2	4			
P3C2	Impact sur les usages nautiques du site	2	3	6	3	6	3	6			
P3C3	Impact sur les usages balnéaires du site	2	4	8	5	10	3	6			
P3C4	Impact sur les accès à la plage	1	2	2	2	2	2	2			
P3C5	Impact sur le risque submersion marine et inondation	1	3	3	3	3	3	3			
P4: sur 80 pts	Respect de l'environnement naturel en phase exploitation	2	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5
			58	3,6	58	3,6	64	4,0			
P4C1	Emprise sur les fonds marins / perte d'habitat	3	3	9	3	9	4	12			
P4C2	Gain potentiel de biodiversité (apport de substrat dur)	2	4	8	4	8	4	8			
P4C3	Respect de la qualité des eaux marines pour la baignade	3	4	12	4	12	4	12			
P5: sur 40 pts	Impact sur l'environnement et les usages du site en phase travaux	2	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5
			24	3,0	22	2,8	30	3,8			
P5C1	Minimiser la durée des travaux	1	3	3	2	2	4	4			
P5C2	Limitation des nuisances pour l'environnement marin	1	3	3	3	3	4	4			
P5C3	Limitation du bruit pendant les travaux	1	3	3	3	3	4	4			
P5C4	Réutilisation possible des matériaux	1	3	3	3	3	3	3			
SOUS-TOTAL P1-P2-P3			BV1	267	3,7	BV2	294	4,1	BV3	246	3,4
SOUS-TOTAL P4-P5			BV1	82	3,4	BV2	80	3,3	BV3	94	3,9
TOTAL SOUS-SCENARIO			BV1	349	3,64	BV2	374	3,90	BV3	340	3,54
MONTANT ESTIME HT (yc divers & aléas 25%)				1 250 000		2 010 000		490 000			

- L'analyse multicritères donne le classement suivant :

Classement	Sous-critères P1-P2-P3	Tous critères confondus
1	BV2	BV2
2	BV1	BV1
3	BV3	BV3

La différence d'un scénario à l'autre étant directement liée à la quantité de sédiments rechargés sur la plage, et donc à la protection contre l'érosion et au confort apporté aux usagers, le classement des scénarios place logiquement le scénario le plus complet, mais plus onéreux (BV2) en tête, et le moins complet et moins cher (BV3) en 3<sup>ème</sup> position.



## Anse de Vieille Chapelle (Coefficient 3)

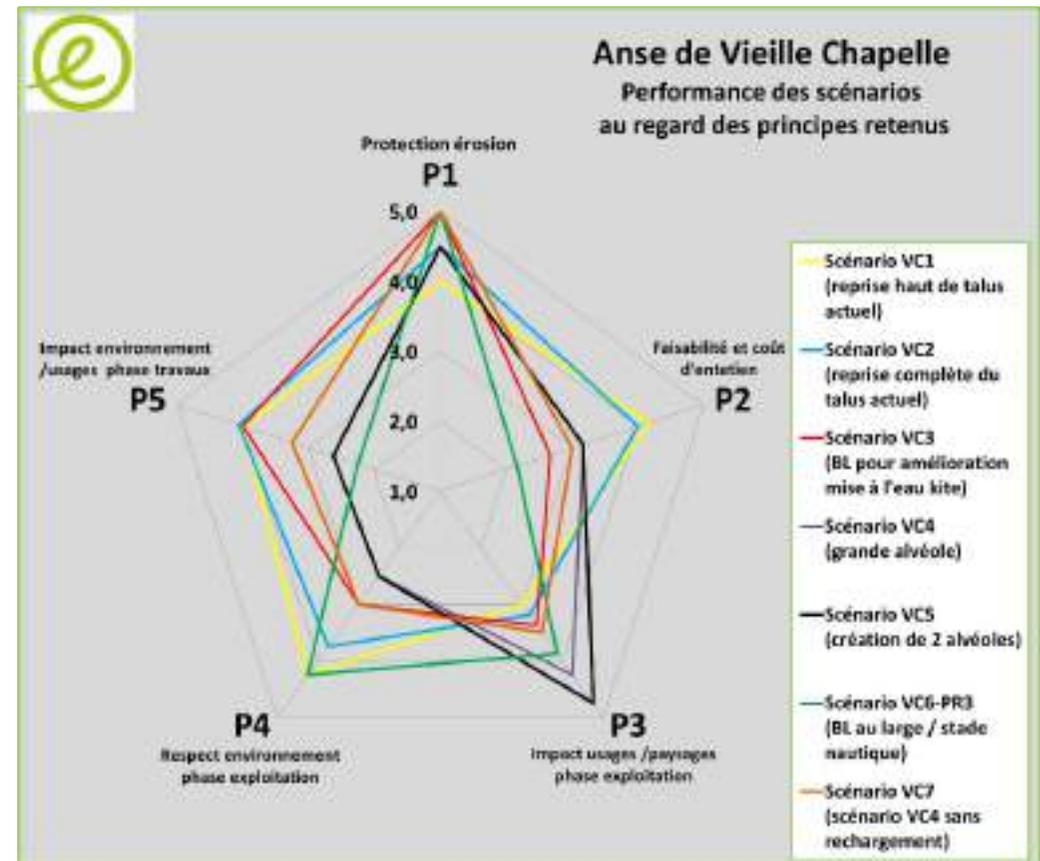
Critères		Coef	Scénario VC1 (reprise haut de talus actuel)			Scénario VC2 (reprise complète du talus actuel)			Scénario VC3 (BL pour amélioration mise à l'eau kite)			Scénario VC4 (grande alvéole)			Scénario VC5 (création de 2 alvéoles)			Scénario VC6-PR3 (BL au large / stade nautique)			Scénario VC7 (scénario VC4 sans rechargement)		
P1: sur 150 pts	Assurer la protection du littoral contre la mer et le vent	6	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5
P1C1			Efficacité hydrosédimentaire des ouvrages (lutte contre l'érosion)	5	4	20	4,0	4,5	22,5	4,5	5	150	5,0	4,5	135	4,5	4,5	135	4,5	5	150	5,0	5	150	5,0
P2: sur 90 pts	Faisabilité technique et coût d'entretien des ouvrages	3	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5
P2C1			Faisabilité de réalisation technique des ouvrages	3	5	15	4	12	4	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	2	6	2	3	9	3
P2C2	Facilité de l'entretien technique des ouvrages	2	4	8	4	8	4	2	4	3	6	3	6	3	6	3	6	2	4	2	3	6	3
P2C3	Coût d'entretien des ouvrages	1	2	2	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
P3: sur 120 pts	Impact sur le paysage et les usages du site en phase exploitation	3	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5
P3C1			Impact des ouvrages dans le paysage et le patrimoine	2	3	6	3,5	7	3,5	2	4	4	8	4	8	4	8	4	8	3,5	7	3,5	2	4	4
P3C2	Impact sur les usages nautiques du site	2	3	6	3	6	3	4	8	4	8	4	8	4	8	4	8	5	10	5	5	10	5
P3C3	Impact sur les usages balnéaires du site	2	3	6	3	6	3	4	8	4	8	4,5	9	4,5	10	3,5	7	3,5	7	3,5	3,5	7	3,5
P3C4	Impact sur les accès à la plage	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3
P3C5	Impact sur le risque submersion marine et inondation	1	3	3	3,5	3,5	4	4	4	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P4: sur 80 pts	Respect de l'environnement naturel en phase exploitation	2	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5
P4C1			Emprise sur les fonds marins / perte d'habitat	3	5	15	4,5	13,5	4,5	4	12	2	6	2	6	2	6	3	9	3	9	3	9	3	9
P4C2	Gain potentiel de biodiversité (apport de substrat dur)	2	1	2	2	4	4	4	8	3	6	3	6	3	6	5	10	4	8	4	8	4	8
P4C3	Respect de la qualité des eaux marines pour la baignade	3	5	15	5	15	5	4	12	3	9	3	9	3	9	5	15	3	9	3	9	3	9
P5: sur 40 pts	Impact sur l'environnement et les usages du site en phase travaux	2	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5
P5C1			Minimiser la durée des travaux	1	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3
P5C2	Limitation des nuisances pour l'environnement marin	1	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	3	3	3	3	3	3
P5C3	Limitation du bruit pendant les travaux	1	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	4	4	3	3	3	3	3	3
P5C4	Réutilisation possible des matériaux	1	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3
SOUS-TOTAL P1-P2-P3			VC1	267	3,7	VC2	283,5	3,9	VC3	279	3,9	VC4	294	4,1	VC5	306	4,3	VC6-PR3	282	3,9	VC7	288	4,0
SOUS-TOTAL P4-P5			VC1	98	4,1	VC2	95	4,0	VC3	88	3,7	VC4	62	2,6	VC5	62	2,6	VC6-PR3	86	3,6	VC7	76	3,2
TOTAL SOUS-SCENARIO			VC1	365	3,80	VC2	379	3,94	VC3	367	3,82	VC4	356	3,71	VC5	368	3,83	VC6-PR3	368	3,83	VC7	364	3,79
MONTANT ESTIME HT (yc divers & aléas 25%)			120 000			630 000			4 930 000			14 730 000			16 860 000			12 610 000			3 840 000		

- L'analyse multicritères donne le classement suivant :

Classement	Sous-critères P1-P2-P3	Tous critères confondus
1	VC5	VC2
2	VC4	VC5 & VC6-PR3
3	VC7	
4	VC2	VC3
5	VC6-PR3	VC1
6	VC3	VC7
7	VC1	VC4

On notera que les aménagements dans l'Anse de Vieille Chapelle sont rapidement très onéreux lorsqu'il s'agit de créer des espaces balnéaires (scénarios VC4 et VC5 principalement, VC3 et VC7 dans une moindre mesure), sans que l'intérêt soit net du point de vue de la note globale attribuée à ces scénarios.

Ceci est dû au fait que la note sur les critères P4 et P5 est fortement dégradée pour ces scénarios ayant une forte empreinte sur le milieu marin. Les notes sur les critères P1 à P3 sont en revanche les plus hautes pour les scénarios VC4 et VC5, tel que cela apparaît dans le tableau de classement ci-dessus.

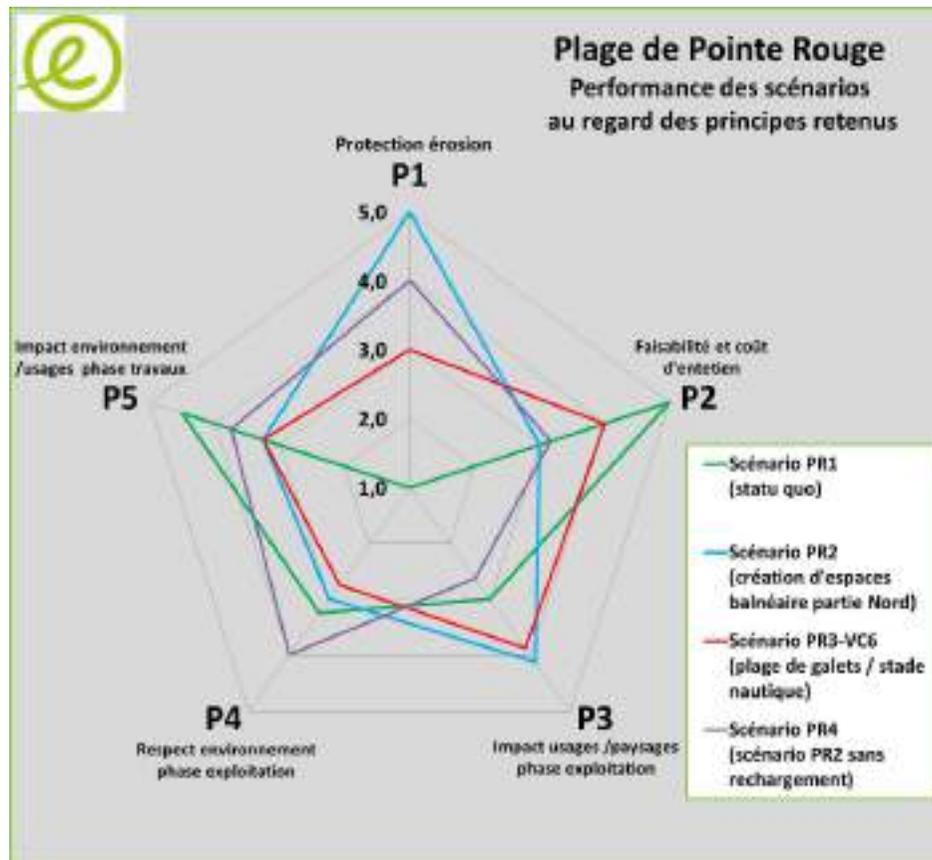


Plage de Pointe Rouge (Coefficient 3)														
Critères		Coef	Scénario PR1 (statu quo)			Scénario PR2 (création d'espaces balnéaire partie Nord)			Scénario PR3-VC6 (plage de galets / stade nautique)			Scénario PR4 (scénario PR2 sans rechargement)		
P1: sur 150 pts	Assurer la protection du littoral contre la mer et le vent	6	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5	Note /5	Note /150	Moyenne /5
						30	1,0		150	5,0		90	3,0		120	4,0
P1C1	Efficacité hydrosédimentaire des ouvrages (lutte contre l'érosion)	5	1	5		5	25		3	15		4	20	
P2: sur 90 pts	Faisabilité technique et coût d'entretien des ouvrages	3	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5	Note /5	Note /90	Moyenne /5
				90	5,0		54	3,0		72	4,0		57	3,2
P2C1	Faisabilité de réalisation technique des ouvrages	3	5	15		3	9		4	12		3	9	
P2C2	Facilité de l'entretien technique des ouvrages	2	5	10		3	6		4	8		3	6	
P2C3	Coût d'entretien des ouvrages	1	5	5		3	3		4	4		4	4	
P3: sur 120 pts	Impact sur le paysage et les usages du site en phase exploitation	3	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5	Note /5	Note /120	Moyenne /5
				72	3,0		99	4,1		93	3,9		63	2,6
P3C1	Impact des ouvrages dans le paysage et le patrimoine	2	3	6		5	10		4	8		2	4	
P3C2	Impact sur les usages nautiques du site	2	3	6		2	4		4	8		2	4	
P3C3	Impact sur les usages balnéaires du site	2	3	6		5	10		4	8		3	6	
P3C4	Impact sur les accès à la plage	1	3	3		5	5		3	3		3	3	
P3C5	Impact sur le risque submersion marine et inondation	1	3	3		4	4		4	4		4	4	
P4: sur 80 pts	Respect de l'environnement naturel en phase exploitation	2	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5	Note /5	Note /80	Moyenne /5
				52	3,3		48	3,0		44	2,8		64	4,0
P4C1	Emprise sur les fonds marins / perte d'habitat	3	5	15		2	6		3	9		3	9	
P4C2	Gain potentiel de biodiversité (apport de substrat dur)	2	1	2		3	6		2	4		4	8	
P4C3	Respect de la qualité des eaux marines pour la baignade	3	3	9		4	12		3	9		5	15	
P5: sur 40 pts	Impact sur l'environnement et les usages du site en phase travaux	2	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5	Note /5	Note /30	Moyenne /5
				36	4,5		26	3,3		26	3,3		30	3,8
P5C1	Minimiser la durée des travaux	1	5	5		3	3		4	4		4	4	
P5C2	Limitation des nuisances pour l'environnement marin	1	5	5		3	3		3	3		4	4	
P5C3	Limitation du bruit pendant les travaux	1	5	5		3	3		3	3		4	4	
P5C4	Réutilisation possible des matériaux	1	3	3		4	4		3	3		3	3	
SOUS-TOTAL P1-P2-P3			PR1	192	2,7	PR2	303	4,2	PR3	255	3,5	PR4	240	3,3
SOUS-TOTAL P4-P5			PR1	88	3,7	PR2	74	3,1	PR3	70	2,9	PR4	94	3,9
TOTAL SOUS-SCENARIO			PR1	280	2,92	PR2	377	3,93	PR3	325	3,39	PR4	334	3,48
MONTANT ESTIME HT (yc divers & aléas 25%)				0		3 930 000		500 000		490 000				

- L'analyse multicritères donne le classement suivant :

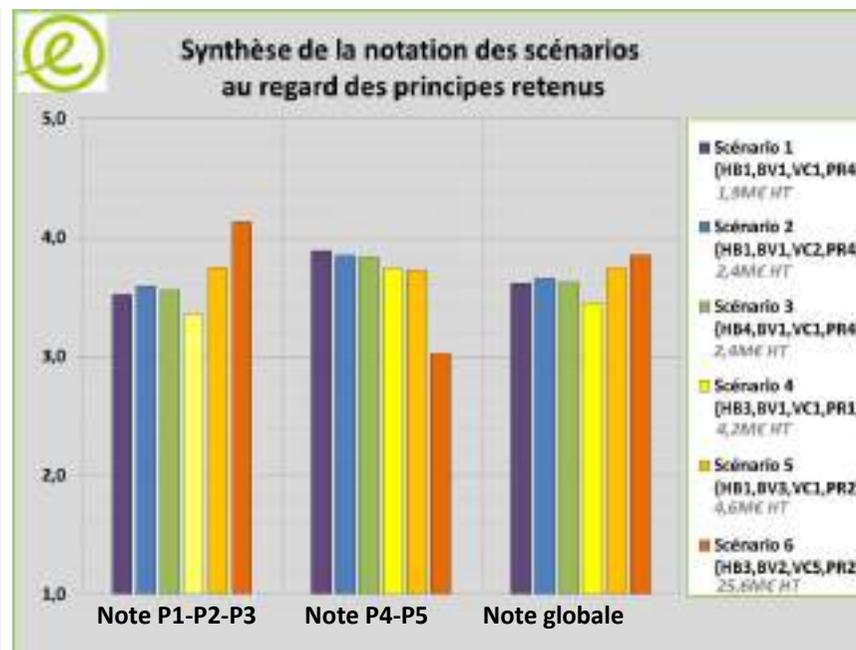
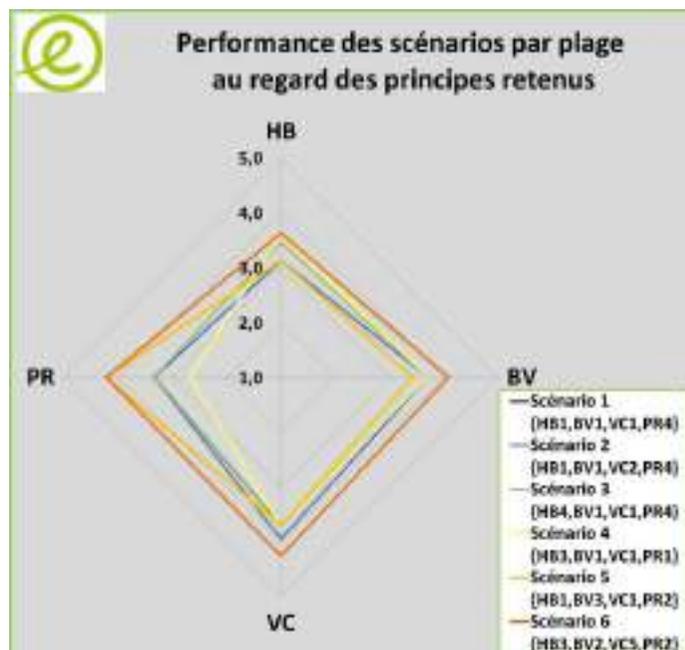
Classement	Sous-critères P1-P2-P3	Tous critères confondus
1	PR2	PR2
2	PR3-VC6	PR4
3	PR4	PR3-VC6
4	PR1	PR1

Hors considération budgétaire, le scénario PR2 se dégage nettement des autres scénarios proposés.



**Tableau 18 : Synthèse de l'analyse multicritères – Etape n°2 – Comparaison des scénarios d'aménagement globaux**

Synthèse de la notation par scénarios globaux																										
Zone		Poids	Scénario 1 {HB1,BV1,VC1,PR4}				Scénario 2 {HB1,BV1,VC2,PR4}				Scénario 3 {HB4,BV1,VC1,PR4}				Scénario 4 {HB3,BV1,VC1,PR1}				Scénario 5 {HB1,BV3,VC1,PR2}				Scénario 6 {HB3,BV2,VC5,PR2}			
			Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale	Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale	Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale	Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale	Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale	Sous-scénario retenu	Note P1-P2-P3	Note P4-P5	Note globale
HB	Plages de l'Huveaune et Borély	1	HB1	3,1	4,2	3,4	HB1	3,1	4,2	3,4	HB4	3,5	3,7	3,5	HB3	3,6	3,5	3,6	HB1	3,1	4,2	3,4	HB3	3,6	3,5	3,6
BV	Plage de Bonneveine	2	BV1	3,7	3,4	3,6	BV1	3,7	3,4	3,6	BV1	3,7	3,4	3,6	BV1	3,7	3,4	3,6	BV3	3,4	3,9	3,5	BV2	4,1	3,3	3,9
VC	Anse de Vieille Chapelle	3	VC1	3,7	4,1	3,8	VC2	3,9	4,0	3,9	VC1	3,7	4,1	3,8	VC1	3,7	4,1	3,8	VC1	3,7	4,1	3,8	VC5	4,3	2,6	3,8
PR	Plage de Pointe Rouge	3	PR4	3,3	3,9	3,5	PR4	3,3	3,9	3,5	PR4	3,3	3,9	3,5	PR1	2,7	3,7	2,9	PR2	4,2	3,1	3,9	PR2	4,2	3,1	3,9
<b>TOTAL SCENARIO (note pondérée sur 5)</b>				<b>3,52</b>	<b>3,89</b>	<b>3,61</b>		<b>3,59</b>	<b>3,85</b>	<b>3,66</b>		<b>3,56</b>	<b>3,83</b>	<b>3,63</b>		<b>3,35</b>	<b>3,73</b>	<b>3,45</b>		<b>3,75</b>	<b>3,72</b>	<b>3,74</b>		<b>4,13</b>	<b>3,02</b>	<b>3,85</b>
<b>MONTANT ESTIME HT (yc divers &amp; aléas 25%)</b>			1 920 000				2 430 000				2 400 000				4 170 000				4 600 000				25 600 000			



- L'analyse multicritères donne le classement suivant :

Classement	Sous-critères P1-P2-P3	Tous critères confondus	Rappel du montant estimé correspondant HT
1	Scénario 6	Scénario 6	25.6 M€
2	Scénario 5	Scénario 5	4.6 M€
3	Scénario 2	Scénario 2	2.4 M€
4	Scénario 3	Scénario 3	2.4 M€
5	Scénario 1	Scénario 1	1.9 M€
6	Scénario 4	Scénario 4	4.2 M€

#### On retiendra que :

- Les 3 scénarios compris dans l'enveloppe budgétaire de 2.4M€ HT présentent des notes très proches les unes des autres ; ils sont de ce fait relativement équivalents, le classement étant alors assez sensible aux poids et notes attribués aux différents critères de notation ;
- Le scénario 4, d'un montant plus important, privilégiant le développement d'aménagements en partie Nord de la zone d'étude, voit sa note globale particulièrement dégradée du fait de la priorité donnée aux aménagements sur les secteurs Vieille Chapelle et Pointe Rouge ;
- Le scénario 5, dont le budget estimé est en dehors de l'enveloppe budgétaire de 2.4M€ HT, se démarque assez nettement au-dessus des 3 premiers scénarios et représente de ce fait un scénario intéressant dans le cas où les travaux pourraient être phasés en plusieurs tranches ;
- Le scénario 6, représentant en quelque sorte l'aménagement optimal de la zone d'étude, présente logiquement la meilleure note globale. Son budget est néanmoins très supérieur à l'enveloppe budgétaire définie initialement.

Pour affiner cette analyse, deux scénarios complémentaires ont été combinés pour illustrer les associations possibles à partir des sous-scénarios définis sur chacune des plages ou groupes de plages :

- Un **7<sup>ème</sup> scénario** pourrait ainsi combiner les sous-scénarios {HB4, BV3, VC2, PR4}, et serait de ce fait une légère variante des scénarios 2 et 3. Ce scénario présenterait une **note globale de 3.65**, intermédiaire entre celles de ces 2 scénarios 2 et 3, pour un **montant global inférieur, estimé à 2.1M€ HT** ;
- Un **8<sup>ème</sup> scénario** enfin, pourrait combiner les sous-scénarios {HB3, BV3, VC2, PR2}, privilégiant à la fois la création d'espaces balnéaires au nord (Borely) et au sud (Pointe Rouge), et permettant le développement ou le maintien des sports nautiques et de glisse en particulier. Ce scénario présenterait une **note globale de 3.81**, se plaçant ainsi en 2<sup>nde</sup> position derrière le scénario 6 (25.6M€), pour un **montant global estimé de 7.8M€ HT**, qui pourrait être phasé en plusieurs tranches de travaux.

## 2.1 Conclusion

**Il est important de noter qu'aucune des solutions proposées et analysées ne satisfait pleinement aux contraintes locales et aux objectifs recherchés.**

**Au vu de l'ensemble des critères étudiés, les scénarios 1, 2 et 3 (7 également) sont relativement équivalents en termes de performance et respectent l'enveloppe budgétaire initiale de 2.4M€ HT.**

**Ils sont cependant peu satisfaisants en termes de fonctionnalité et développement/maintien des usages sur la zone d'étude. De ce point de vue, le scénario 5, ainsi que le 8<sup>ème</sup> scénario cité au-dessus, semblent bien plus satisfaisants au vu des attentes du MOA, bien qu'en dehors de l'enveloppe budgétaire initiale.**

**Le choix final de la solution qui sera développée au stade AVP doit de ce fait s'appuyer sur une analyse approfondie des critères de comparaison, en particulier de leur pondération, et des opportunités de financement envisageables pour augmenter le montant des investissements pour cet aménagement.**

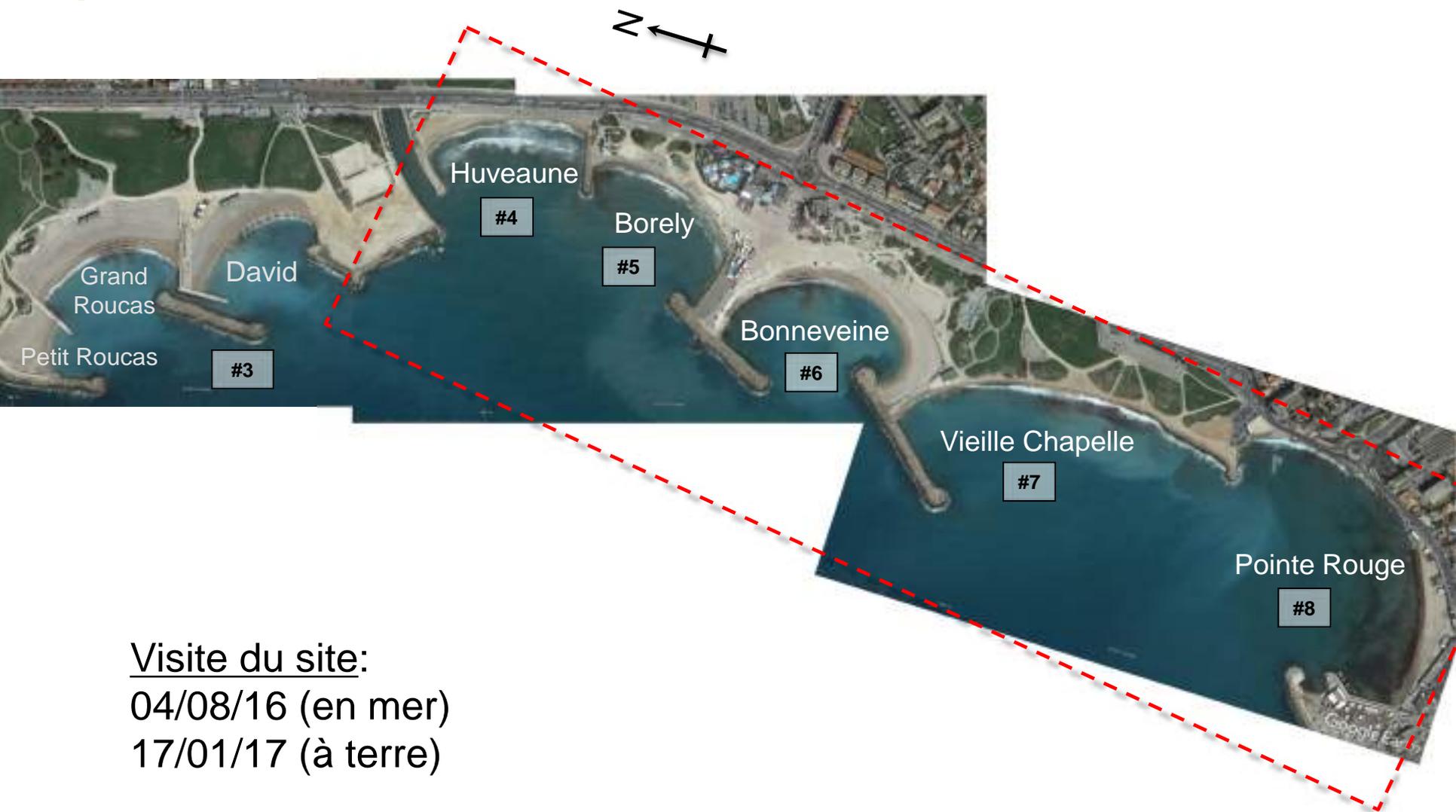
**Enfin, des propositions de mesures d'écoconception ont été présentées. Elles n'ont pas été intégrées aux montants présentés pour les scénarios, dans la mesure où leur mise en œuvre dépendra notamment des attentes des services de l'Etat suite à l'élaboration des dossiers réglementaires, et des opportunités de financement relatives à ce type d'aménagement.**

# ANNEXES



Annexe 01 – Reportage  
photographique

# Zone d'étude



## Visite du site:

04/08/16 (en mer)

17/01/17 (à terre)

# Secteur Roucas / David (hors zone d'étude)



Exutoire de l'Huveaune



Matériaux type grain de riz



Google Earth



Accumulation sableuse à l'arrière de la protection



# Plage de l'Huveaune



Matériaux fins facilement mobilisés  
par le vent et se retrouvant  
régulièrement sur la route



Sable fin naturel



Erosion particulièrement  
marquée au centre de la plage

# Plage Borely



Pente plus forte, matériaux grossiers et feuille de posidonies au Nord



Système de protection expérimental / provisoire



Accumulation de sable fin au Sud, présence de quelques galets, pente plus douce



Ouvrage de protection du rejet d'eaux pluviales



# Plage Bonneveine



Soubassement affleurant à l'extrémité Nord



Accumulation de sable fin au Sud, pente s'adoucissant



Présence de galets et feuilles de posidonies au centre



# Anse Vieille Chapelle



Accumulation de sable/graviers/galets à l'abri de l'épi en enrochements



Dépôts de matériaux fins induits par la houle

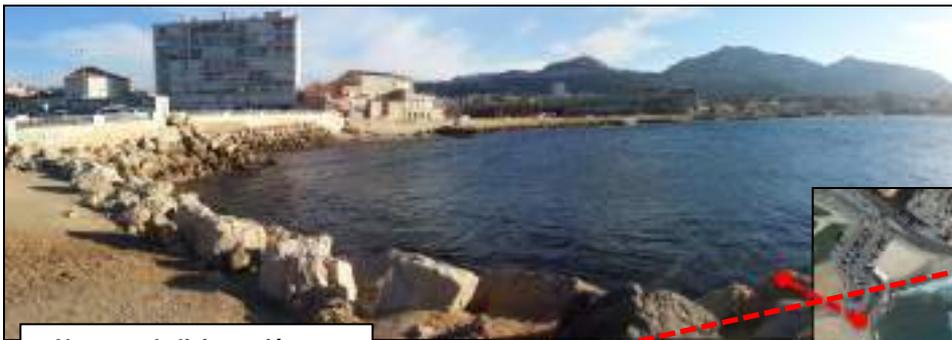


Protection provisoire



Mise à l'eau pour les kite surfs

# Plage de Pointe Rouge



Absence de liaison piétonne



Exutoires d'eaux pluviales



Terrasse du restaurant Le Pédalo



Sable fin naturel localement accumulé par le vent contre les restaurants



Annexe 02 – Description  
des tempêtes survenues  
les 4 et 6 mars 2017

# Tempête Yannik du 04/03/2017

Marseille



# Mesures in situ et prévisions disponibles

Etats de mer au large et niveau marin

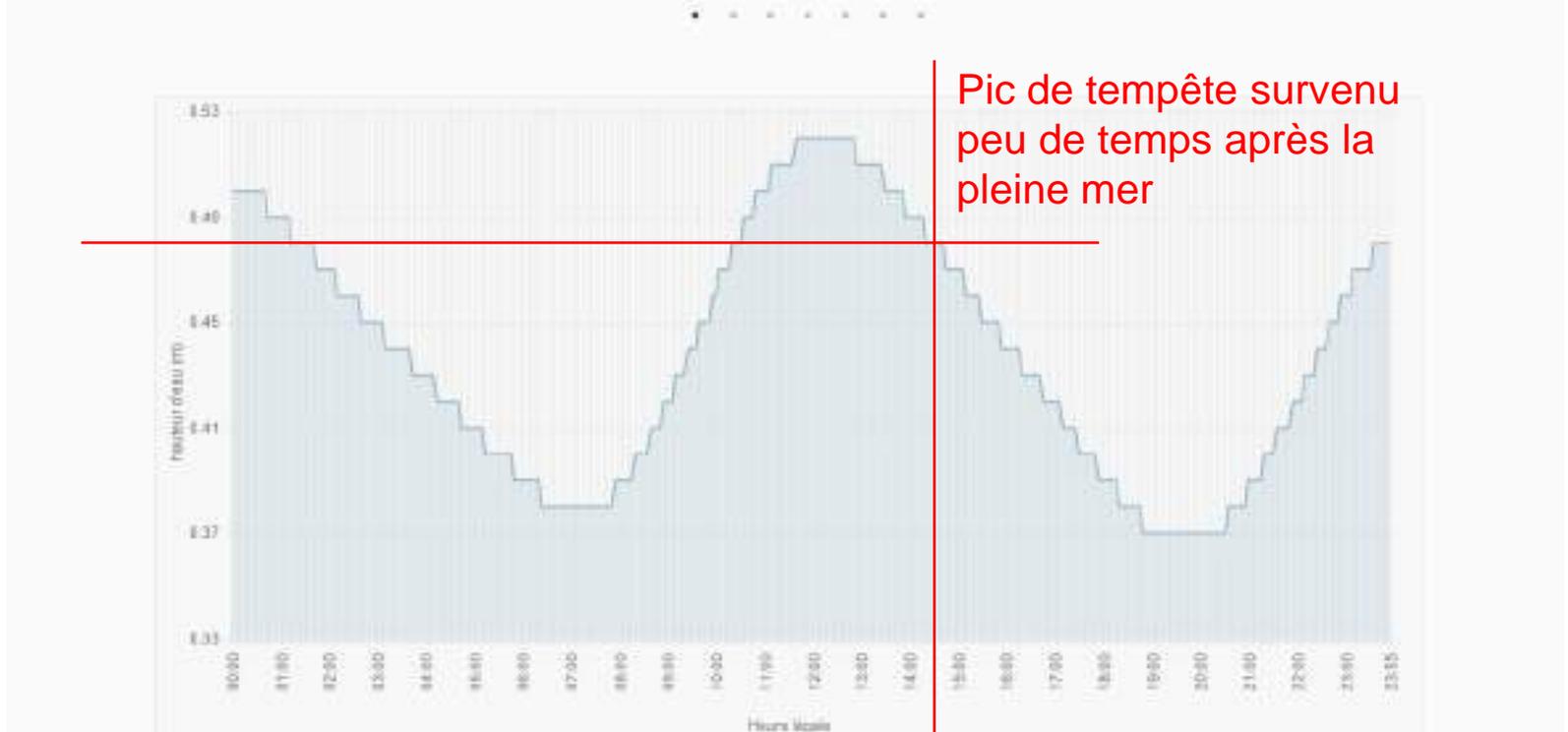
# Mesures à la bouée houlographe du Planier (CANDHIS)

Liste des dernières mesures Temps Réel de la campagne 01305 - Le Planier

Date et heure (T.U.)	H1/3 (mètres)	Hmax (mètres)	Th1/3 (secondes)	Dir au pic (degrés)	Etalement au pic (degrés)	Température mer (degrés C)
04/03/2017 22:30	2.7	4.5	8.8	194	38	13.5
04/03/2017 22:00	2.7	3.9	9.1	208	43	13.5
04/03/2017 21:30	2.8	4.8	9.4	214	46	13.5
04/03/2017 21:00	2.9	4.4	9.2	201	37	13.5
04/03/2017 20:30	3.2	5.2	9.6	205	35	13.5
04/03/2017 20:00	2.9	4.8	9.0	224	42	13.5
04/03/2017 19:30	2.9	5.3	9.2	210	48	13.5
04/03/2017 19:00	3.1	5.0	9.3	205	44	13.5
04/03/2017 18:30	3.1	4.5	8.6	203	50	13.5
04/03/2017 18:00	3.1	4.7	9.3	193	59	13.5
04/03/2017 17:30	3.6	5.6	9.3	219	47	13.5
04/03/2017 17:00	3.5	5.6	9.5	226	38	13.5
04/03/2017 16:30	3.7	5.9	8.9	221	55	13.5
04/03/2017 16:00	3.7	6.0	8.7	217	34	13.5
04/03/2017 15:30	4.3	5.9	9.3	229	46	13.5
04/03/2017 15:00	4.4	7.5	8.9	214	47	13.5
04/03/2017 14:30	4.3	6.0	8.8	228	48	13.6
04/03/2017 14:00	4.3	6.5	9.0	218	47	13.6
04/03/2017 13:30	4.6	7.7	9.1	218	31	13.5
04/03/2017 13:00	3.8	5.7	8.6	211	47	13.5
04/03/2017 12:30	3.9	5.8	8.6	197	46	13.6
04/03/2017 12:00	3.5	5.5	8.1	205	40	13.6
04/03/2017 11:30	3.5	6.0	8.1	183	43	13.5
04/03/2017 11:00	3.2	4.9	7.7	204	49	13.5
04/03/2017 10:30	3.0	5.7	7.6	181	51	13.6
04/03/2017 10:00	2.7	4.0	6.9	187	50	13.6
04/03/2017 09:30	2.7	5.0	6.8	173	43	13.5

# Prévision de marée à Marseille (SHOM)

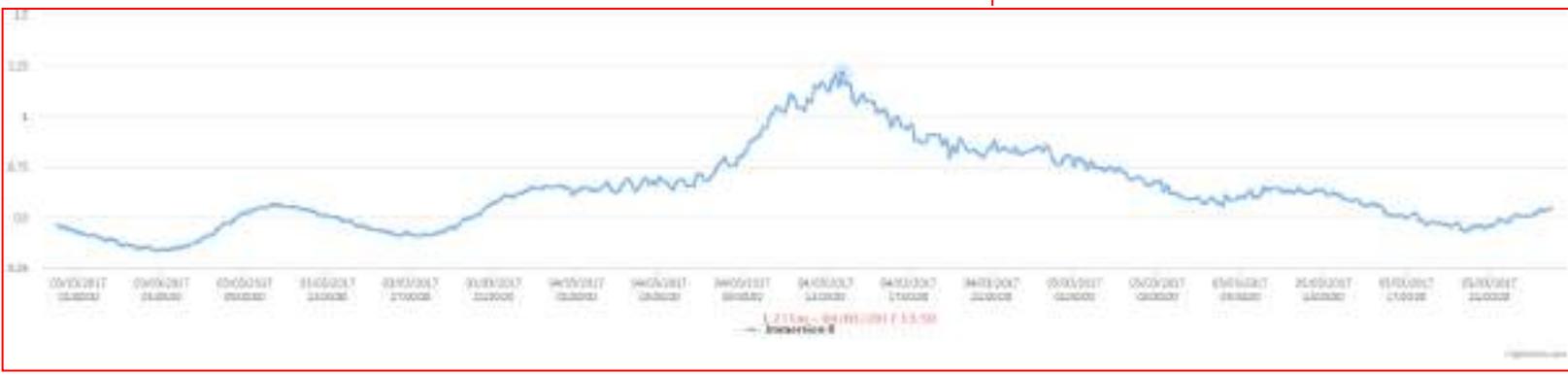
Samedi 4 mars 2017				Dimanche 5 mars 2017				Lundi 6 mars 2017				Mardi 7 mars 2017			
	Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient
BM	07:00	0.30	-	PM	00:45	0.49	-	PM	02:51	0.49	-	PM	05:01	0.00	-
PM	12:14	0.52	-	BM	08:10	0.40	-	BM	03:04	0.41	-	BM	11:07	0.40	-
BM	18:42	0.37	-	PM	13:06	0.49	-	PM	14:26	0.47	-	PM	12:17	0.46	-
-	-	-	-	BM	20:40	0.27	-	BM	21:45	0.35	-	BM	22:58	0.25	-



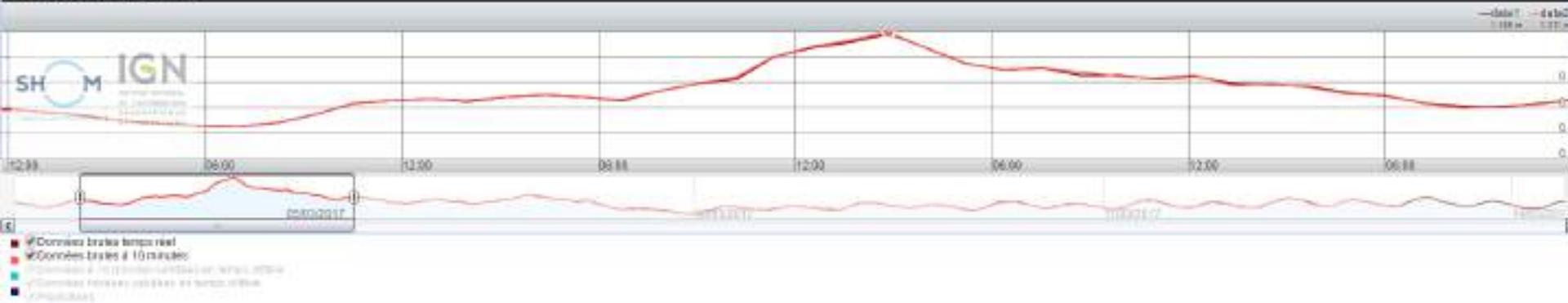
Plateforme  
**Marseille**  
 Fournisseur  
 Plateforme  
**IF000364**  
 Date de mise à jour  
**01/01/2016**  
 Date de disponibilité  
**13/03/2017**  
 Identifiant  
**IF000364**  
 Description  
**SHOM, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine**



Surcote de +0,7m au pic de la tempête



Visualisation des hauteurs d'eau



Plateforme web  
**Le Planier**  
 Niveau  
  
  
 Identifiant code  
**61289**  
 Prochaine analyse  
**13/06/2016**  
 Dernière available  
**06/03/2017**  
 Bathy Code  
**61289**  
 Evolution  
**CEREMA, Centre Etudes et**



Station :  
 Le Planier  
 Paramètres :  
  
  
 Paramètre code :  
 61289  
 Dernière mesure :  
 13/06/2015  
 Date de validité :  
 06/03/2017  
 BRD Code :  
 61289  
 Exécution :  
 CEREMA, Centre Etudes et

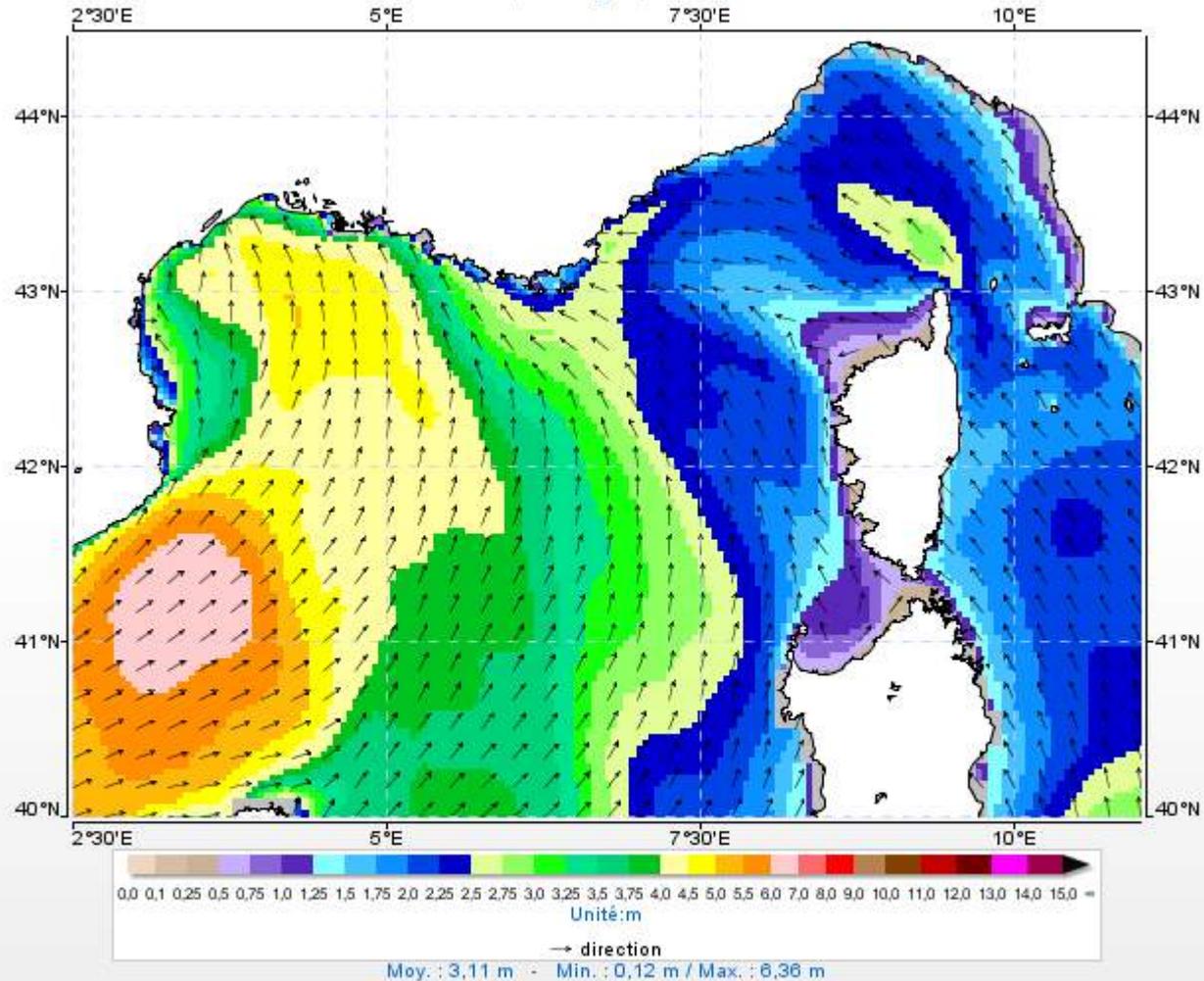


**=> Période de retour environ 20 ans pour la houle de secteur dir. N220°-N250°  
 (et supérieure à 20 ans pour le secteur N180°-N220°)  
 (Note: au pic de Hm0, Tp = 9s, plus faible que l'encadrement 10-12s théorique)**

Extrait des prévisions d'états de mer disponibles  
sur <https://marc.ifremer.fr/>

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 07:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 02h07



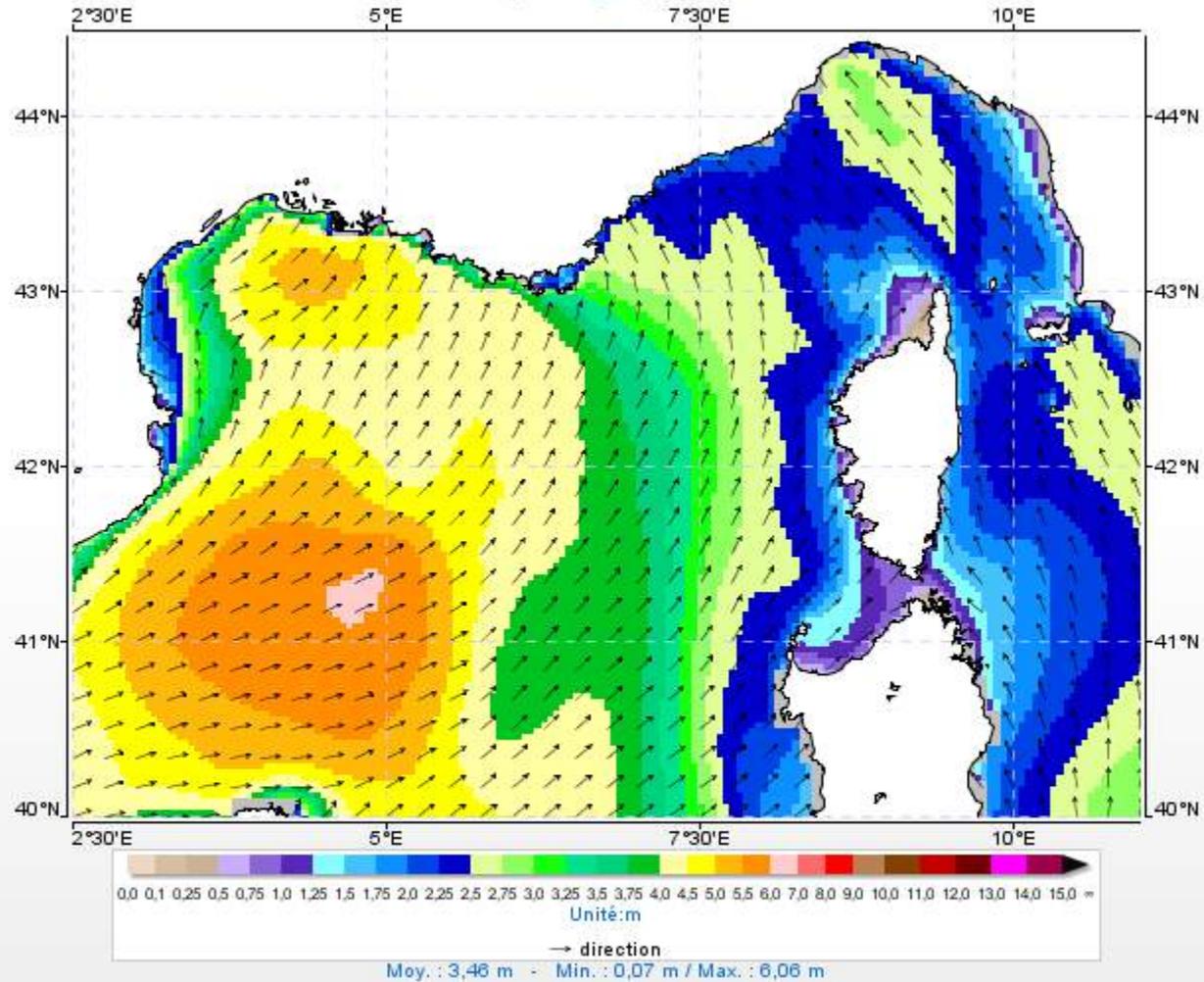
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

[Informations](#) [Classification de l'état de...](#) [Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir [conditions d'utilisation](#)).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 10:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 02h07



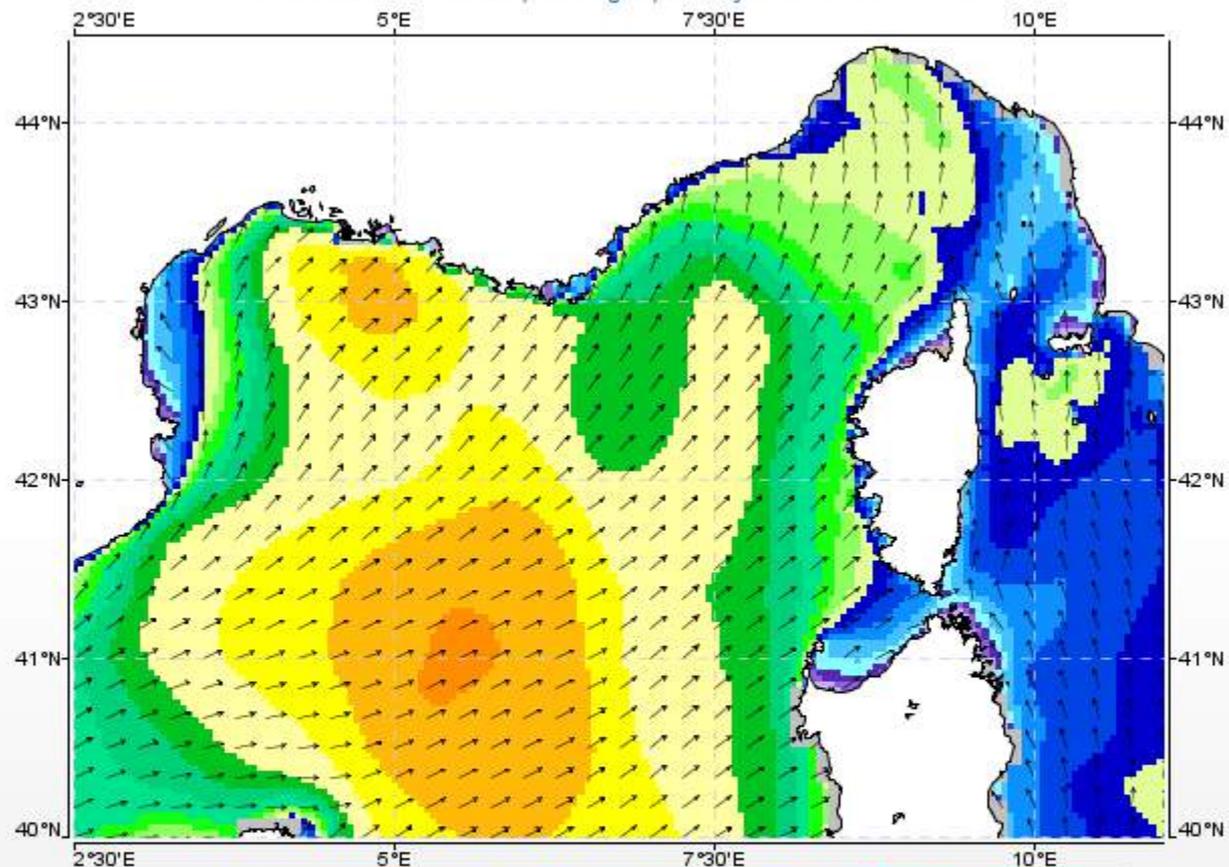
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- Information
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 13:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 12h40



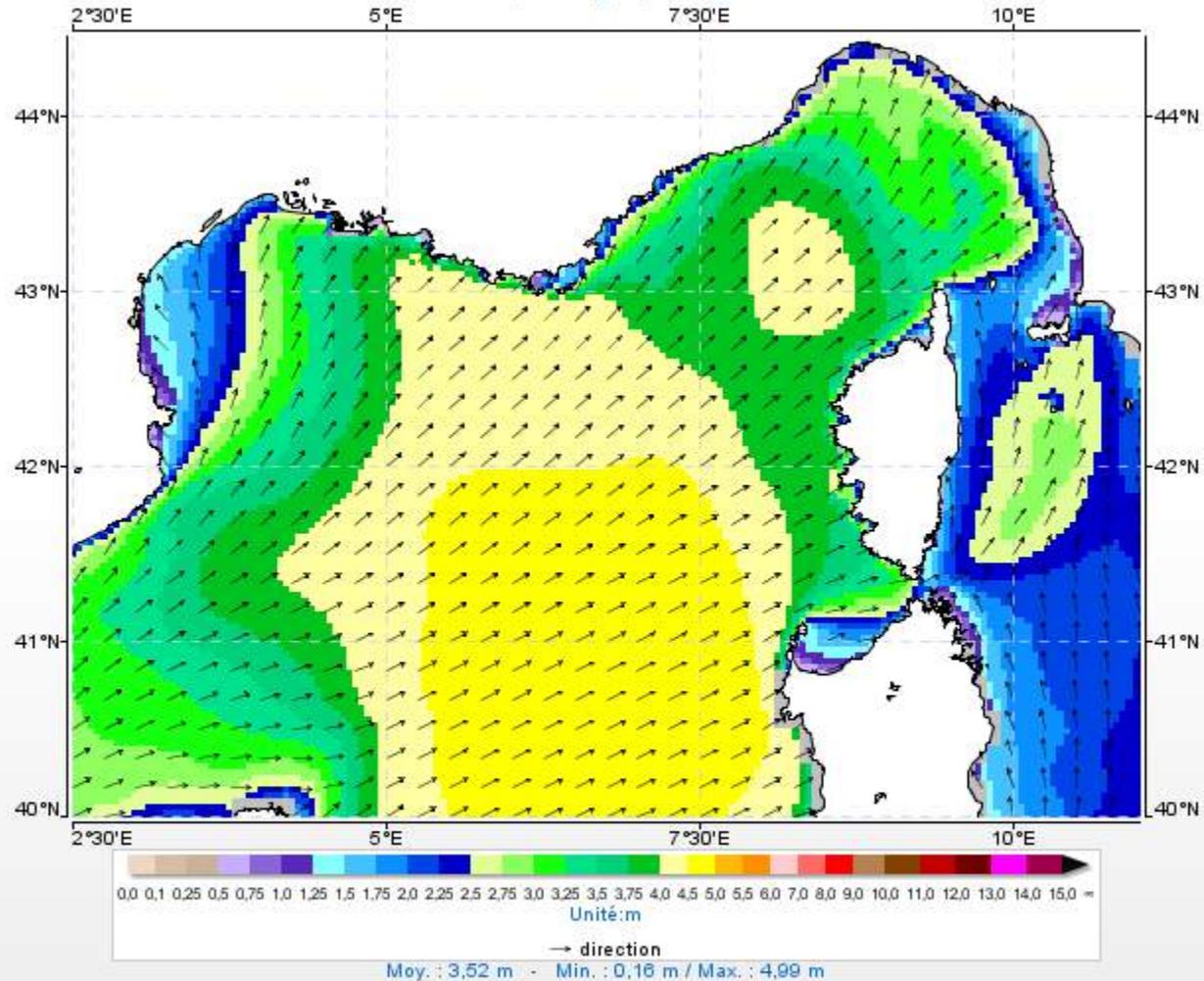
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 16:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 12h40



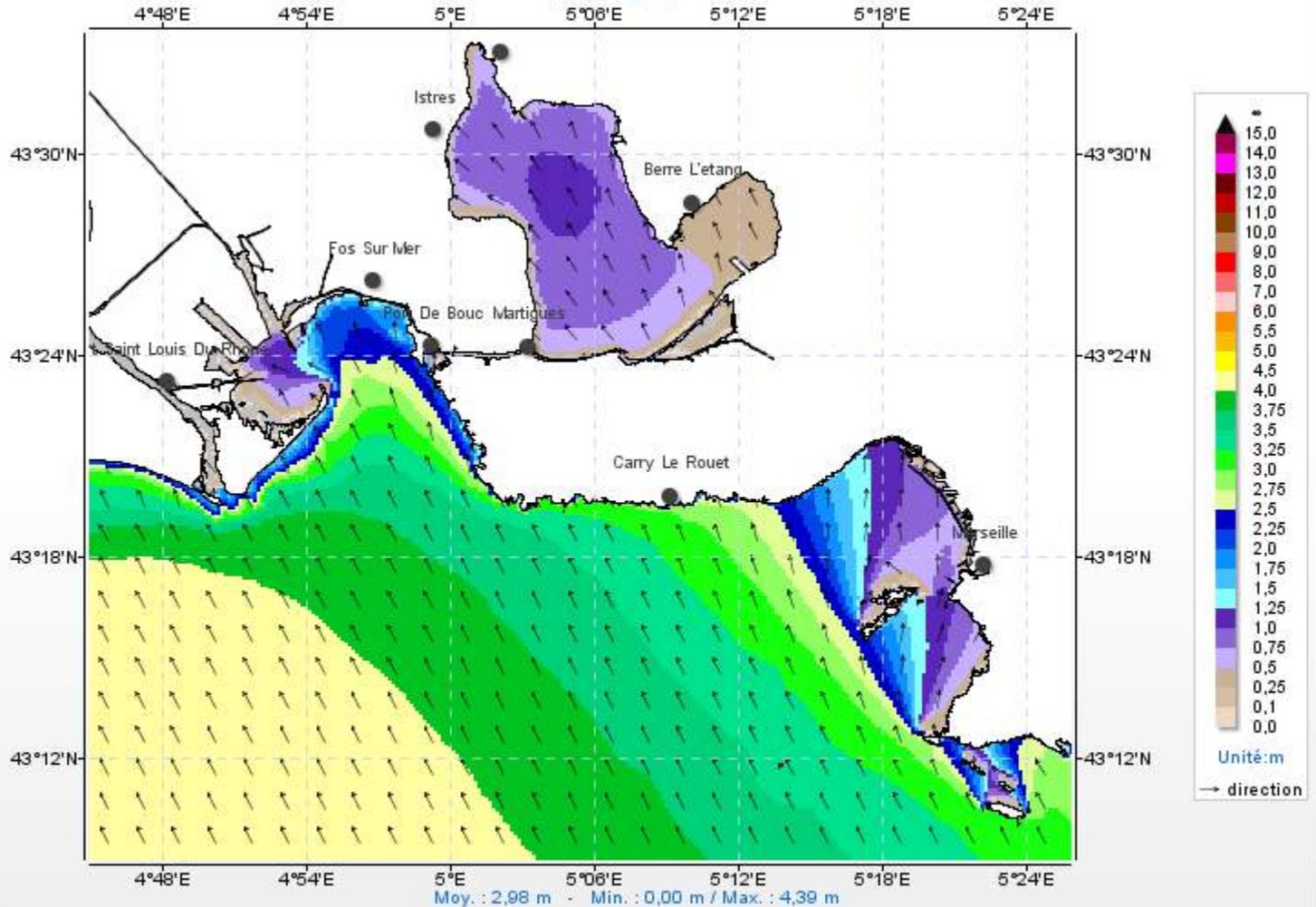
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

Informations Classification de l'état de... Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 07:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 04h58

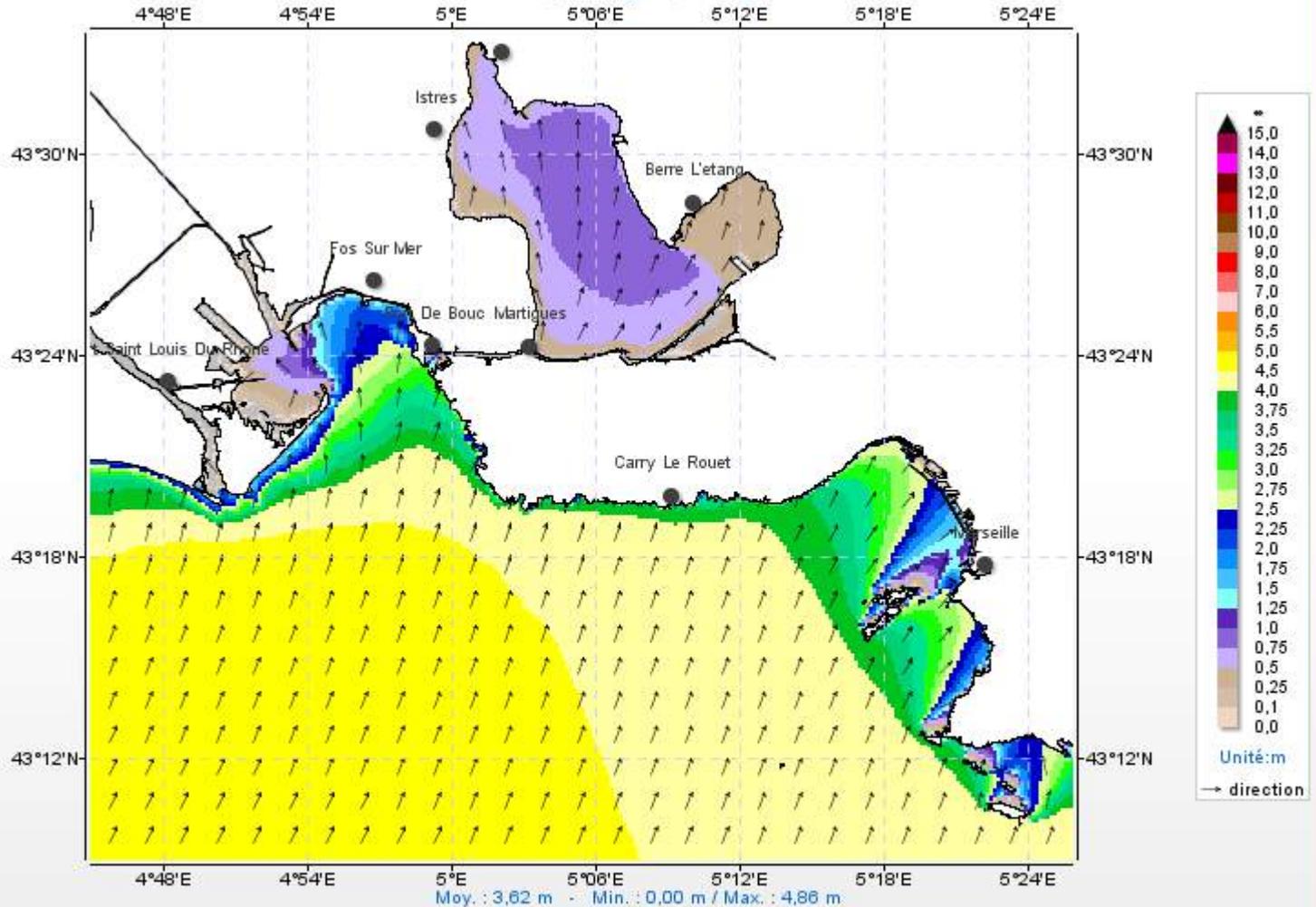


MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historik © IGN-SHOM 2009

[Informations](#) [Classification de l'état de...](#) [Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues le 04/03/2017 10:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 04h58



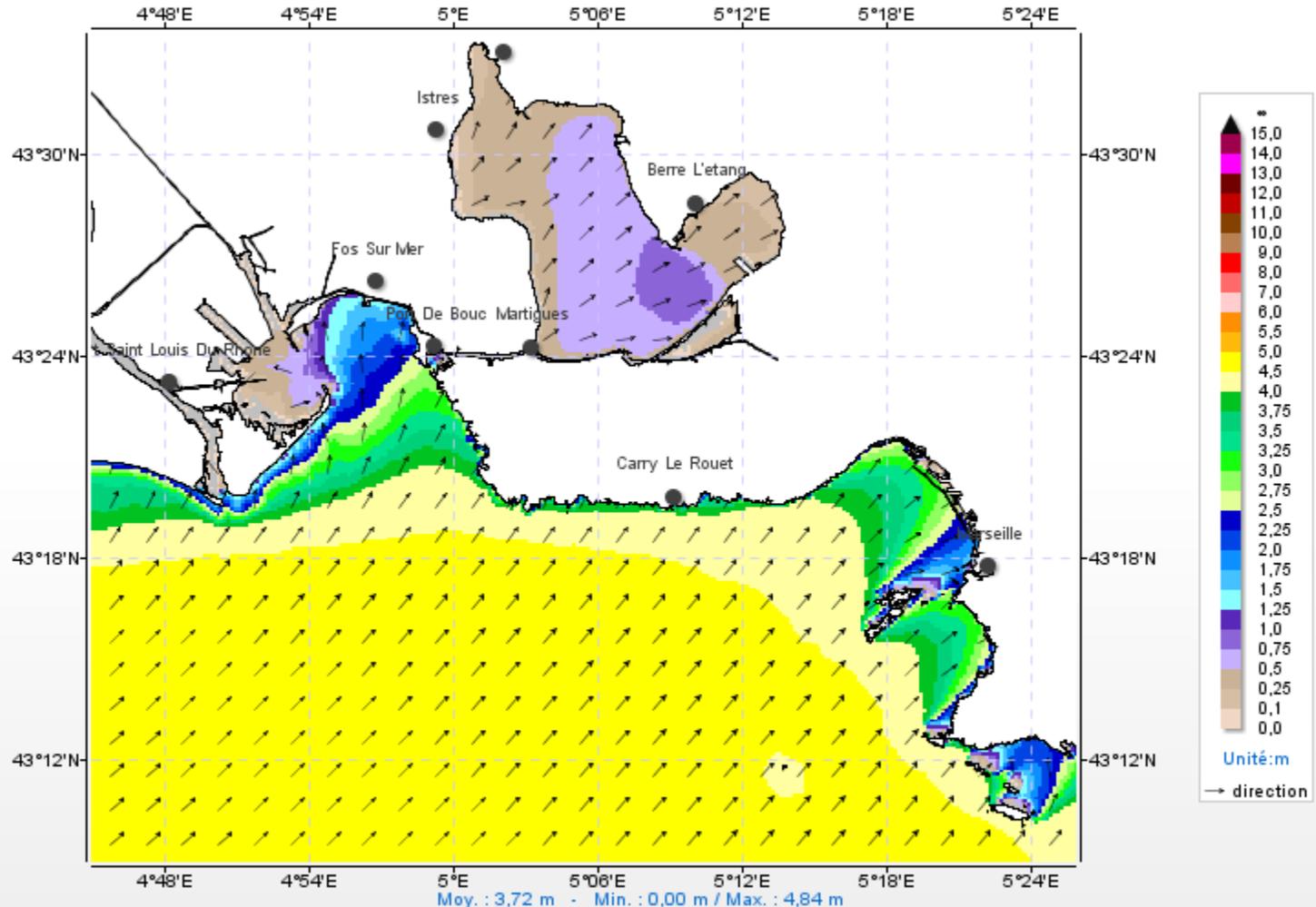
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

- [Informations](#)
- [Classification de l'état de...](#)
- [Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

## Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 13:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 14h38



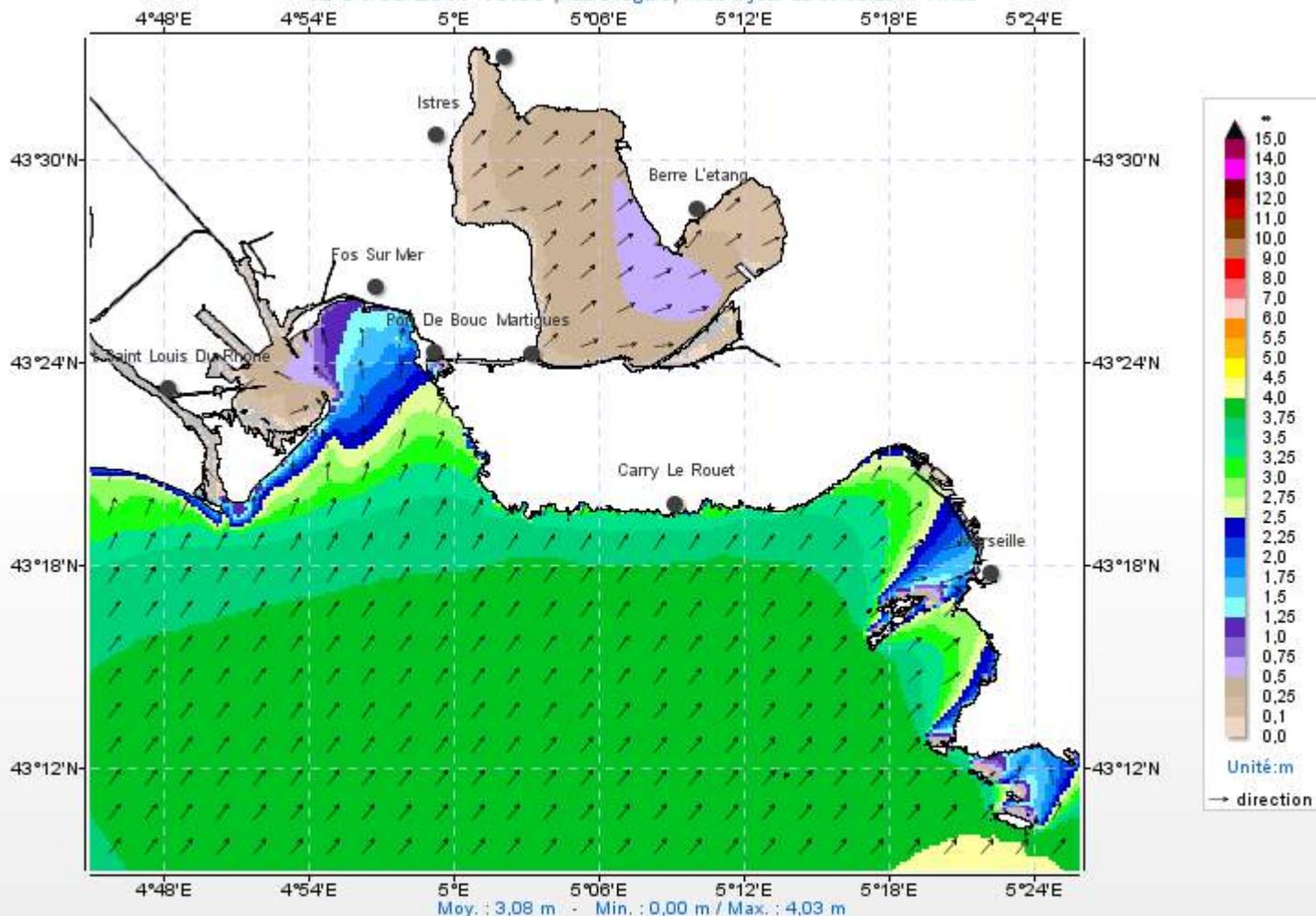
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

[Informations](#) [Classification de l'état de...](#) [Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 16:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 14h38



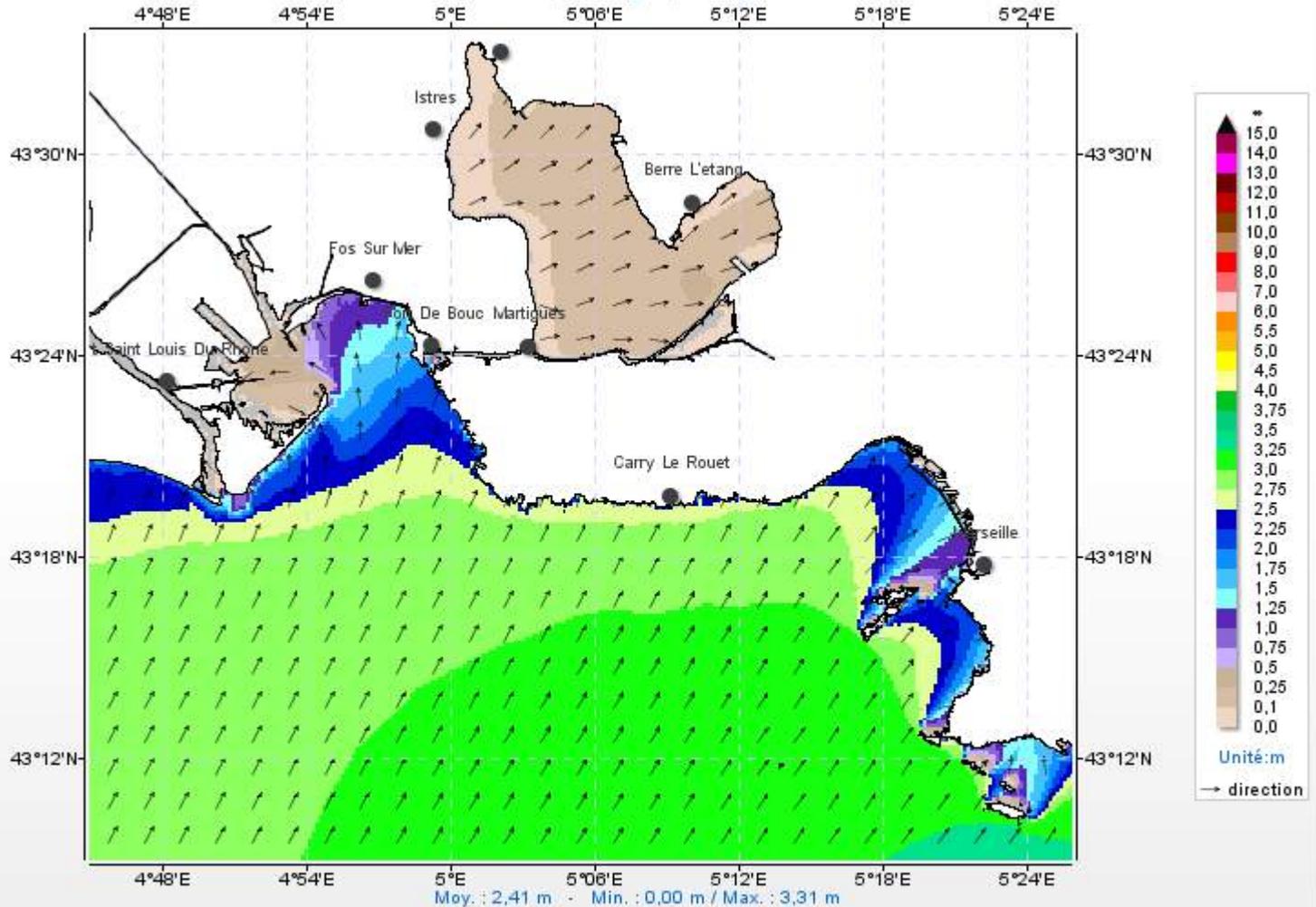
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historik © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 04/03/2017 19:00 (heure légale) mise à jour du 05/03/2017 14h38



MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historik © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

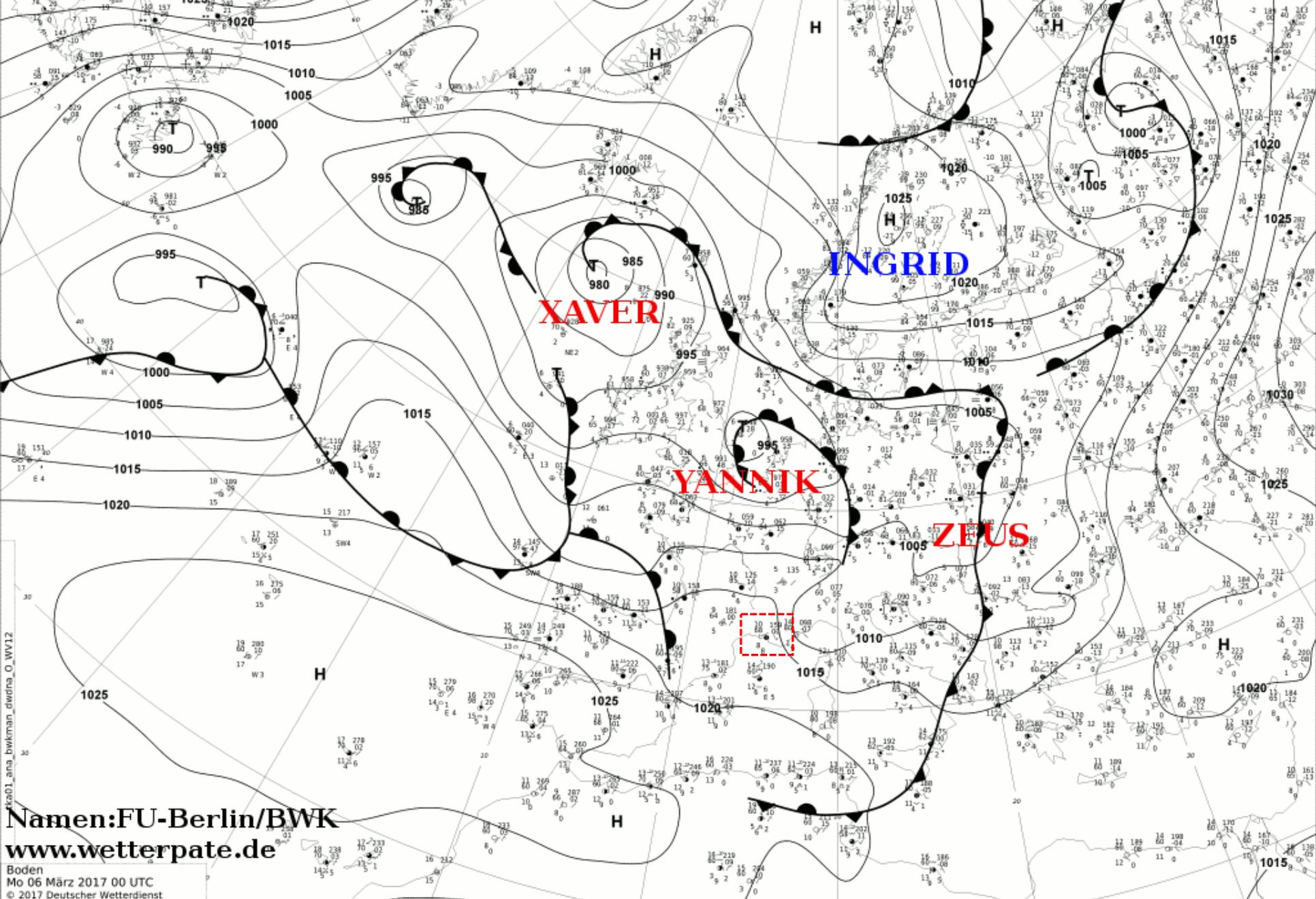
Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

# Photos disponibles sur internet (non vérifiées)



# Tempête Zeus du 06/03/2017

## Marseille



Namen: FU-Berlin/BWK  
[www.wetterpate.de](http://www.wetterpate.de)

Boden  
 Mo 06 März 2017 00 UTC  
 © 2017 Deutscher Wetterdienst

# Mesures in situ et prévisions disponibles

Etats de mer au large et niveau marin

# Mesures à la bouée houlographe du Planier (CANDHIS)

Liste des dernières mesures Temps Réel de la campagne 01305 - Le Planier

Date et heure (T.U.)	H1/3 (mètres)	Hmax (mètres)	Th1/3 (secondes)	Dir au pic (degrés)	Etalement au pic (degrés)	Température mer (degrés C)
06/03/2017 21:00	3.8	6.4	8.0	255	32	13.6
06/03/2017 20:30	3.8	5.3	7.8	264	26	13.6
06/03/2017 20:00	4.0	5.8	8.0	259	31	13.6
06/03/2017 19:30	4.2	6.3	8.1	257	41	13.6
06/03/2017 19:00	3.7	6.9	7.9	260	29	13.6
06/03/2017 18:30	3.8	7.0	7.6	262	26	13.6
06/03/2017 18:00	3.7	5.8	7.8	262	22	13.6
06/03/2017 17:30	3.9	6.3	7.9	260	20	13.6
06/03/2017 17:00	3.4	6.1	7.3	266	23	13.6
06/03/2017 16:30	2.7	4.0	6.4	253	29	13.6
06/03/2017 16:00	2.4	4.3	6.2	245	30	13.6
06/03/2017 15:30	2.0	3.2	5.5	231	35	13.7
06/03/2017 15:00	1.4	2.3	4.9	221	27	13.7
06/03/2017 14:30	1.3	2.1	4.8	215	35	13.7
06/03/2017 14:00	1.1	1.7	4.9	205	45	13.7
06/03/2017 13:30	1.0	1.6	4.8	205	61	13.7
06/03/2017 13:00	0.8	1.2	4.9	204	45	13.7
06/03/2017 12:30	0.8	1.6	5.2	208	51	13.7
06/03/2017 12:00	0.8	1.4	5.2	215	59	13.6
06/03/2017 11:30	0.8	1.2	5.3	217	57	13.6
06/03/2017 11:00	0.8	1.3	5.3	222	53	13.6
06/03/2017 10:30	0.8	1.3	5.3	214	56	13.6
06/03/2017 10:00	0.8	1.2	5.4	208	54	13.6
06/03/2017 09:30	0.8	1.4	5.3	246	43	13.6
06/03/2017 09:00	0.9	1.5	5.4	232	47	13.6
06/03/2017 08:30	1.0	1.7	5.4	242	38	13.6
06/03/2017 08:00	0.9	1.5	5.4	224	44	13.5

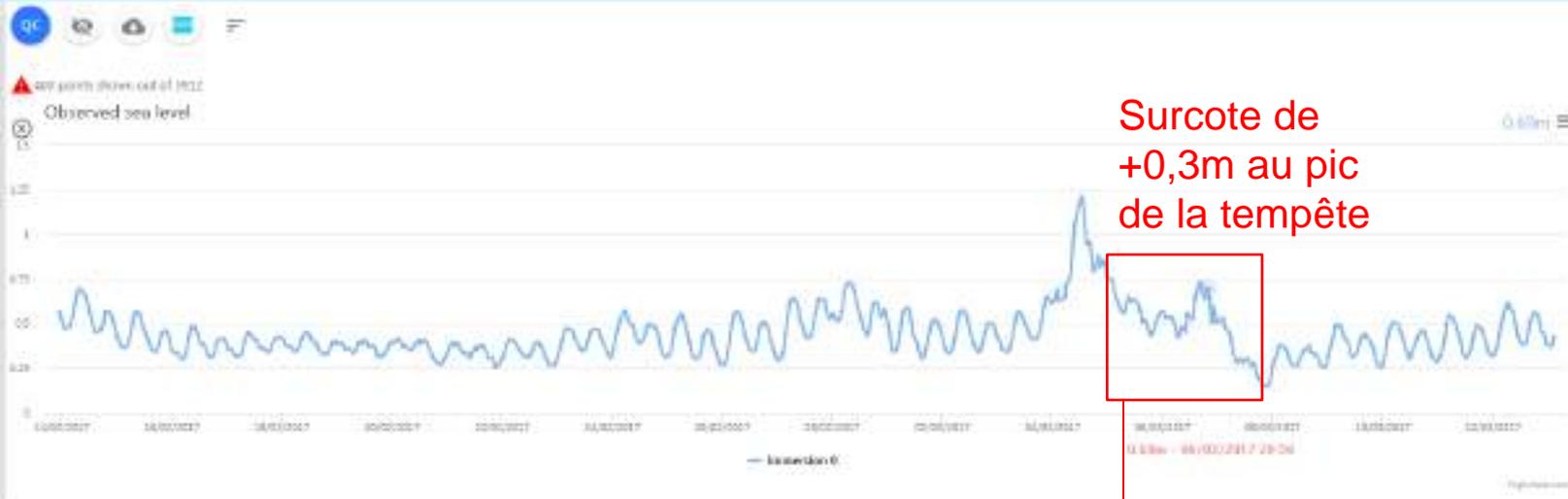
# Prévision de marée à Marseille (SHOM)

Lundi 6 mars 2017				Mardi 7 mars 2017				Mercredi 8 mars 2017				Jeudi 9 mars 2017			
Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient		Heure	Hauteur	Coefficient	
PM 02:51	0.43	-		PM 05:01	0.50	-		PM 05:58	0.52	-		SM 00:03	0.34	-	
SM 08:34	0.41	-		SM 11:07	0.40	-		SM 12:30	0.38	-		PM 05:42	0.52	-	
PM 14:26	0.47	-		PM 18:17	0.48	-		PM 17:22	0.47	-		SM 13:28	0.37	-	
SM 21:40	0.05	-		SM 22:56	0.35	-		-	-	-		PM 18:20	0.47	-	

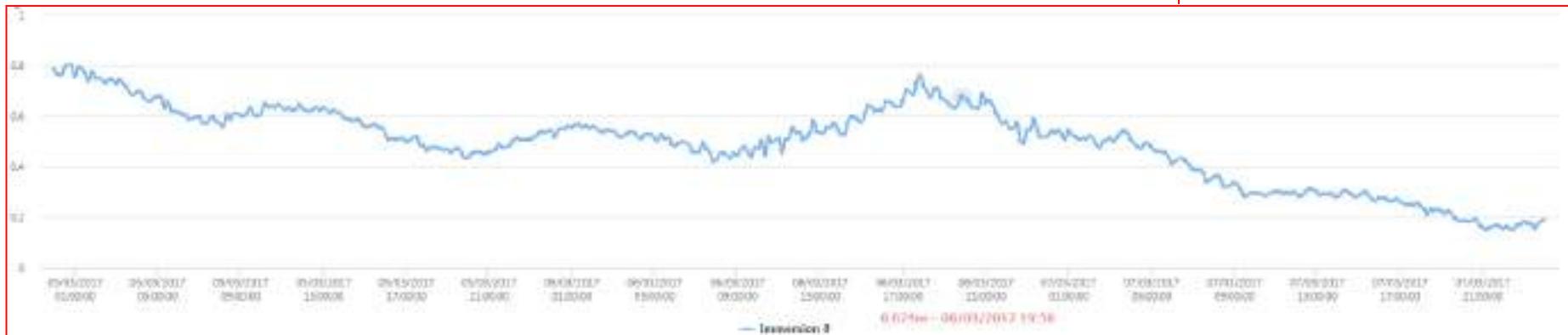
• • • • •



Station :  
**Marseille**  
 Référence :  
**IF000364**  
 Date de mise en service :  
**01/01/2016**  
 Date de mise à jour :  
**13/03/2017**  
 Numéro Code :  
**IF000364**  
 Éditeur :  
**SHOM, Service Hydrographique et Océanographique de la Marine**

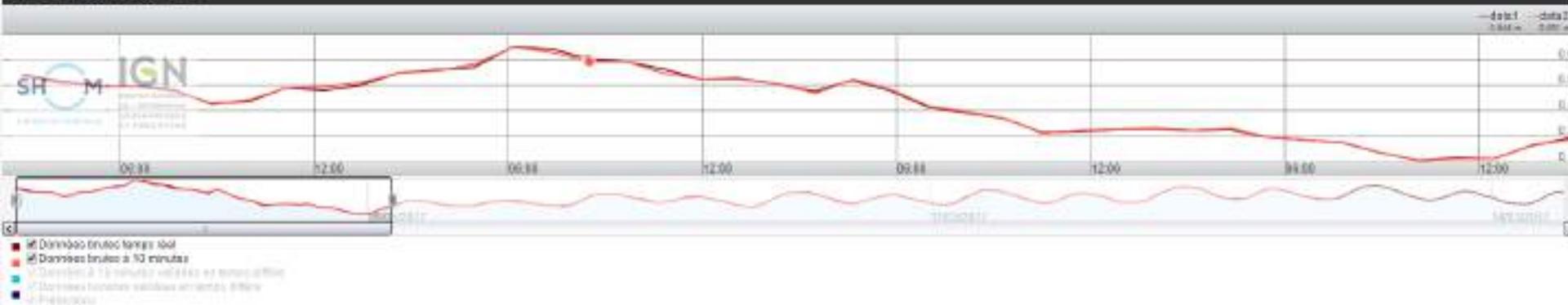


Surcote de +0,3m au pic de la tempête

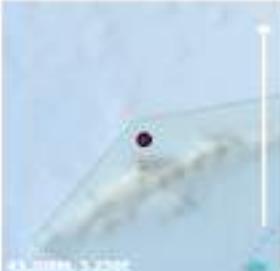


## Visualisation des hauteurs d'eau

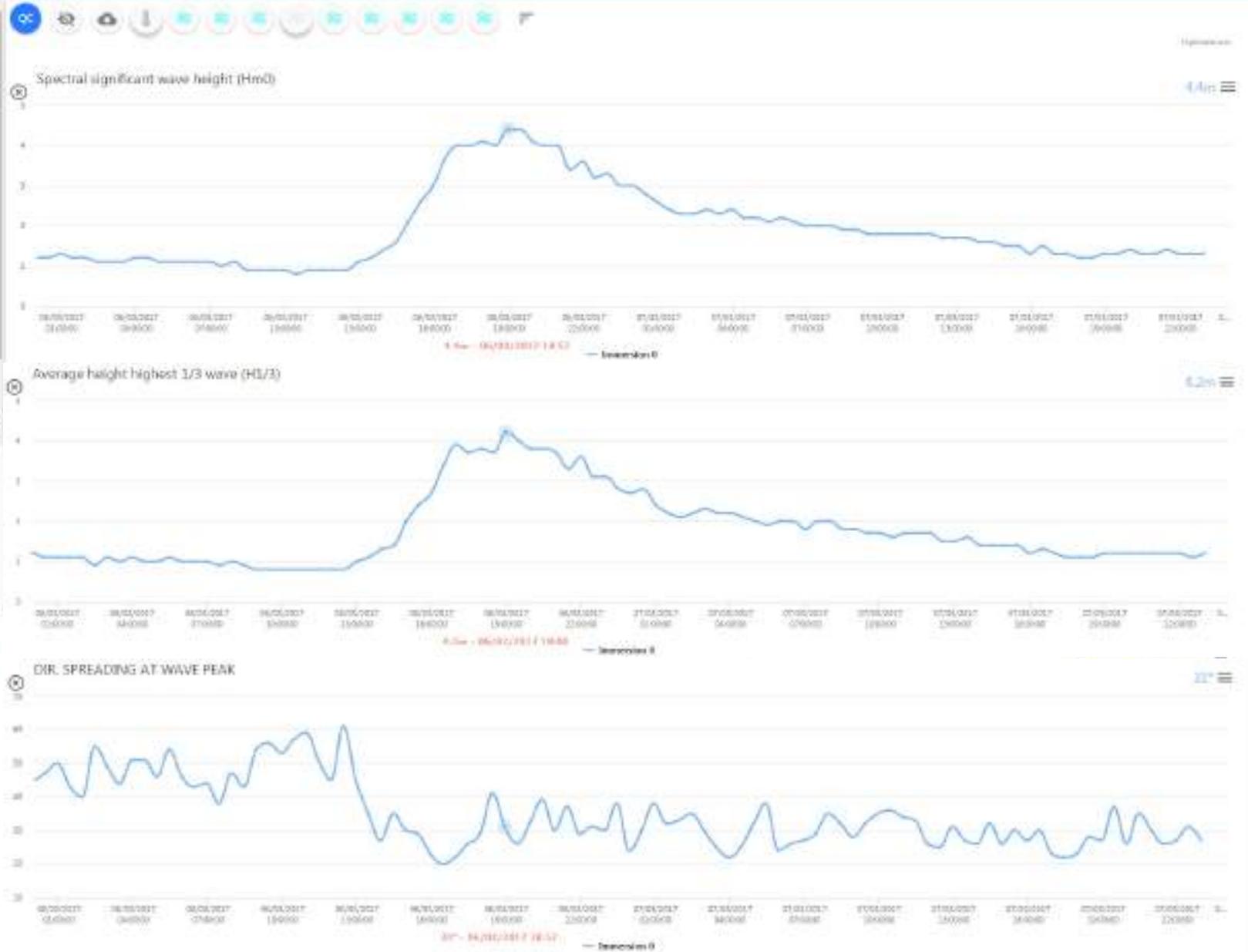
Zoom : 2h | 1 semaine | 2 semaines



Plateforme ouverte  
**Le Planier**  
 Elevé  
**Marseille Fos**  
 LE PORT DE TRAVAIL EN CONJONCTION  
**Cerema**  
 Plateforme ouverte  
 61289  
 Dernière mise à jour  
 13/06/2016  
 Dernière mise à jour  
 09/03/2017  
 Identifiant Code  
 61289  
 Description  
 CEREMA, Centre Etudes et  
 Expertise sur les Risques,  
 Environnement, Mobilité et



43.2086, 5.2202



Porteur de données  
**Le Planier**  
 Elevé

**Marseille Fos**  
 Le port de tous les vents

**Cerema**

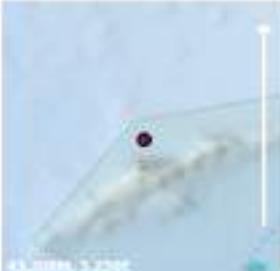
Numéro de série  
**61289**

Événement associé  
**13/06/2016**

Date de validité  
**09/03/2017**

Identifiant Code  
**61289**

Éditeur  
 CEREMA, Centre Etudes et Expertise sur les Risques, Environnement, Mobilité et

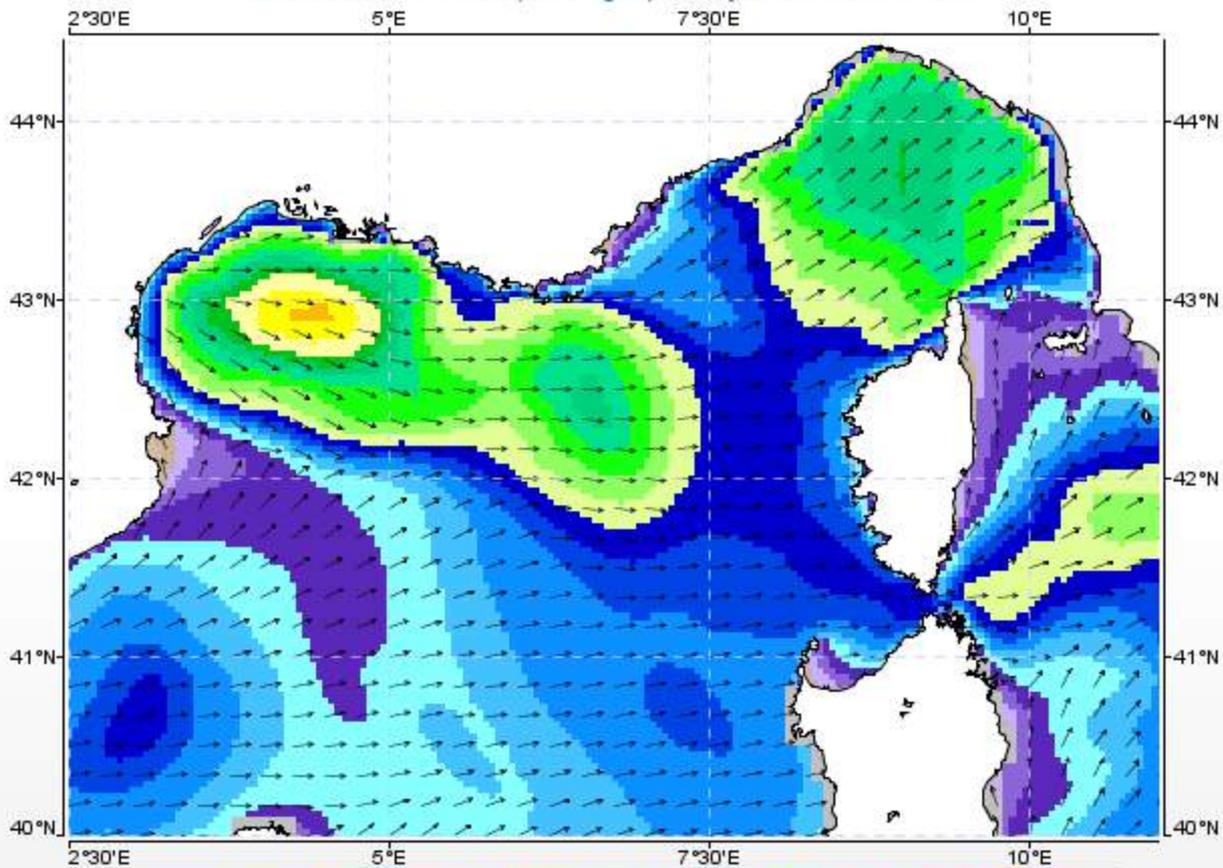



**=> Période de retour environ 20 ans pour la houle du large de secteur dir. N250° - N280° (Note: au pic de Hm0, Tp = 9s, dans l'encadrement théorique 9-11s)**

Extrait des prévisions d'états de mer disponibles  
sur <https://marc.ifremer.fr/>

### Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 16:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 12h37



Moy. : 2,12 m - Min. : 0,13 m / Max. : 5,13 m

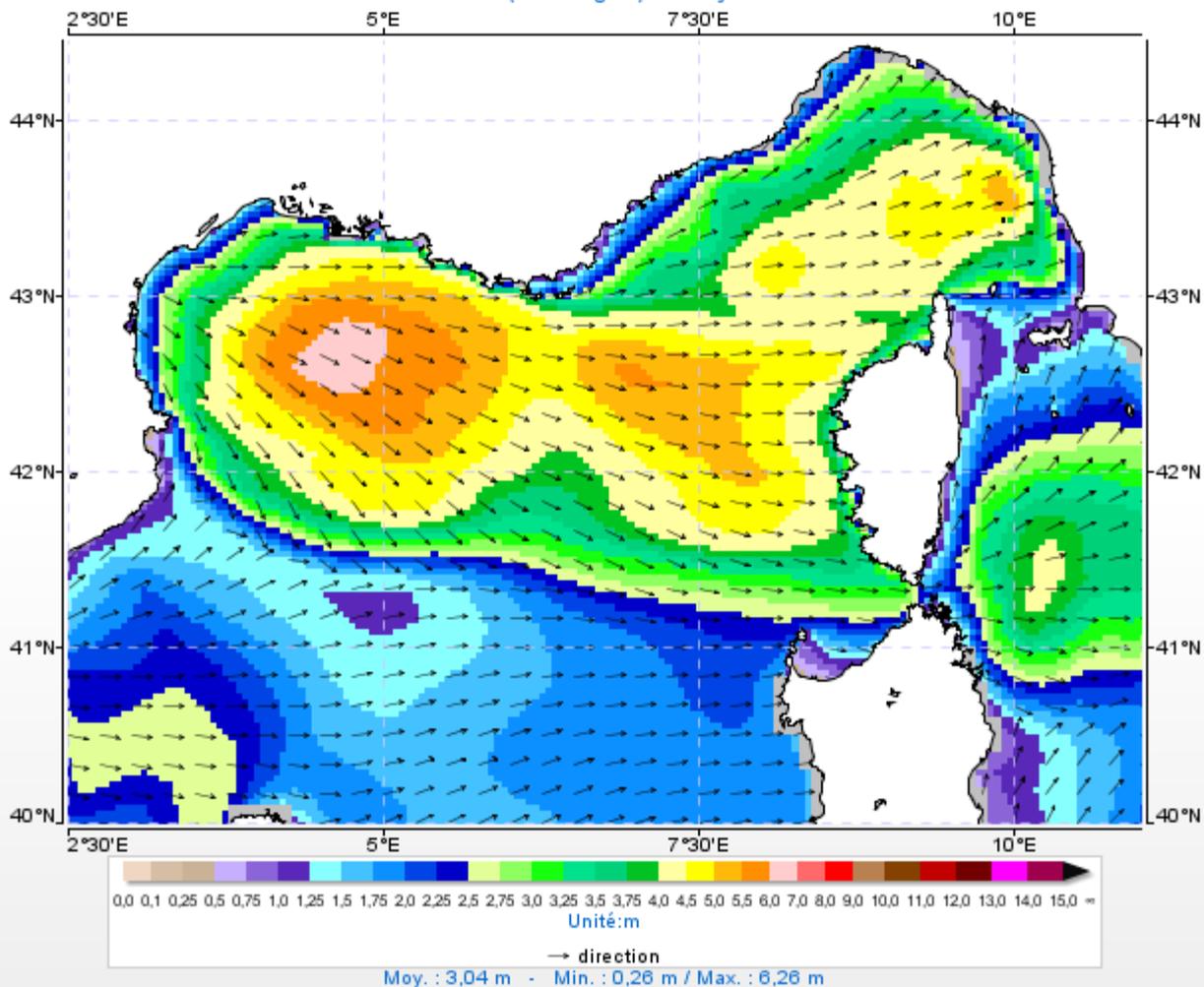


MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

Classification de l'état de... Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues le 06/03/2017 19:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 12h37



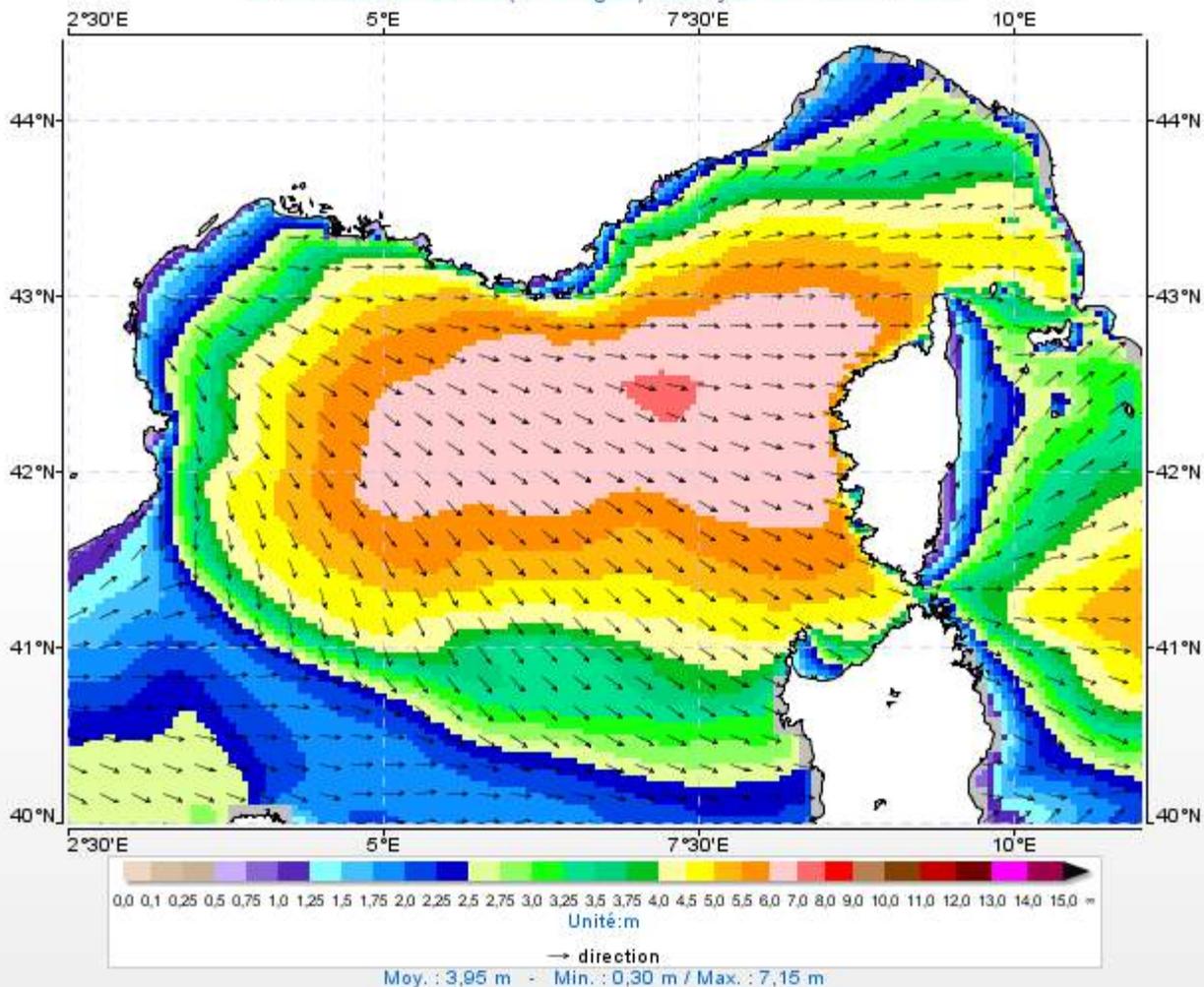
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- Information
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

## Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 22:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 12h37



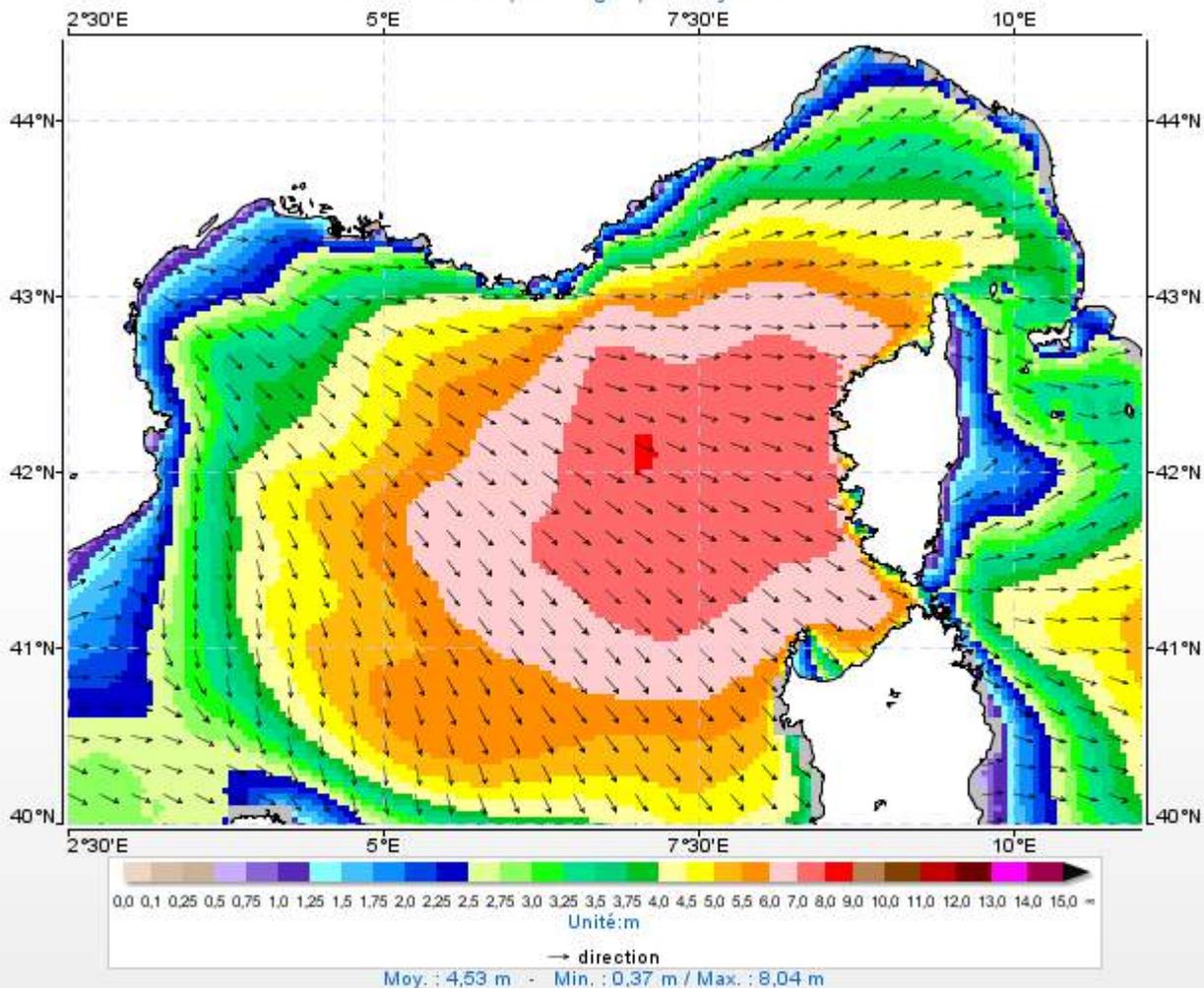
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- [Informations](#)
- [Classification de l'état de...](#)
- [Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir [conditions d'utilisation](#)).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 07/03/2017 01:00 (heure légale) mise à jour du 08/03/2017 02h07

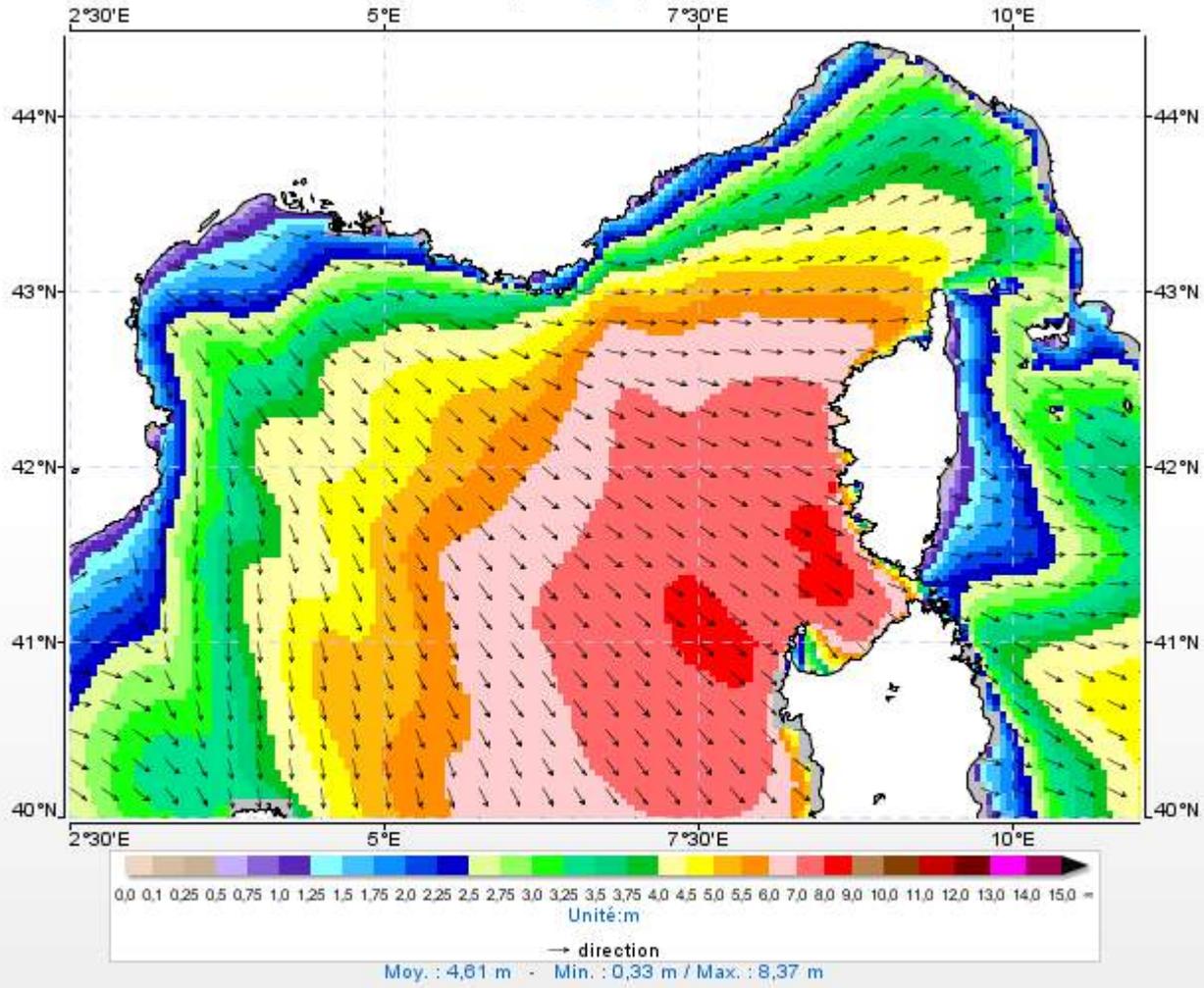


MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues le 07/03/2017 04:00 (heure légale) mise à jour du 08/03/2017 02h07



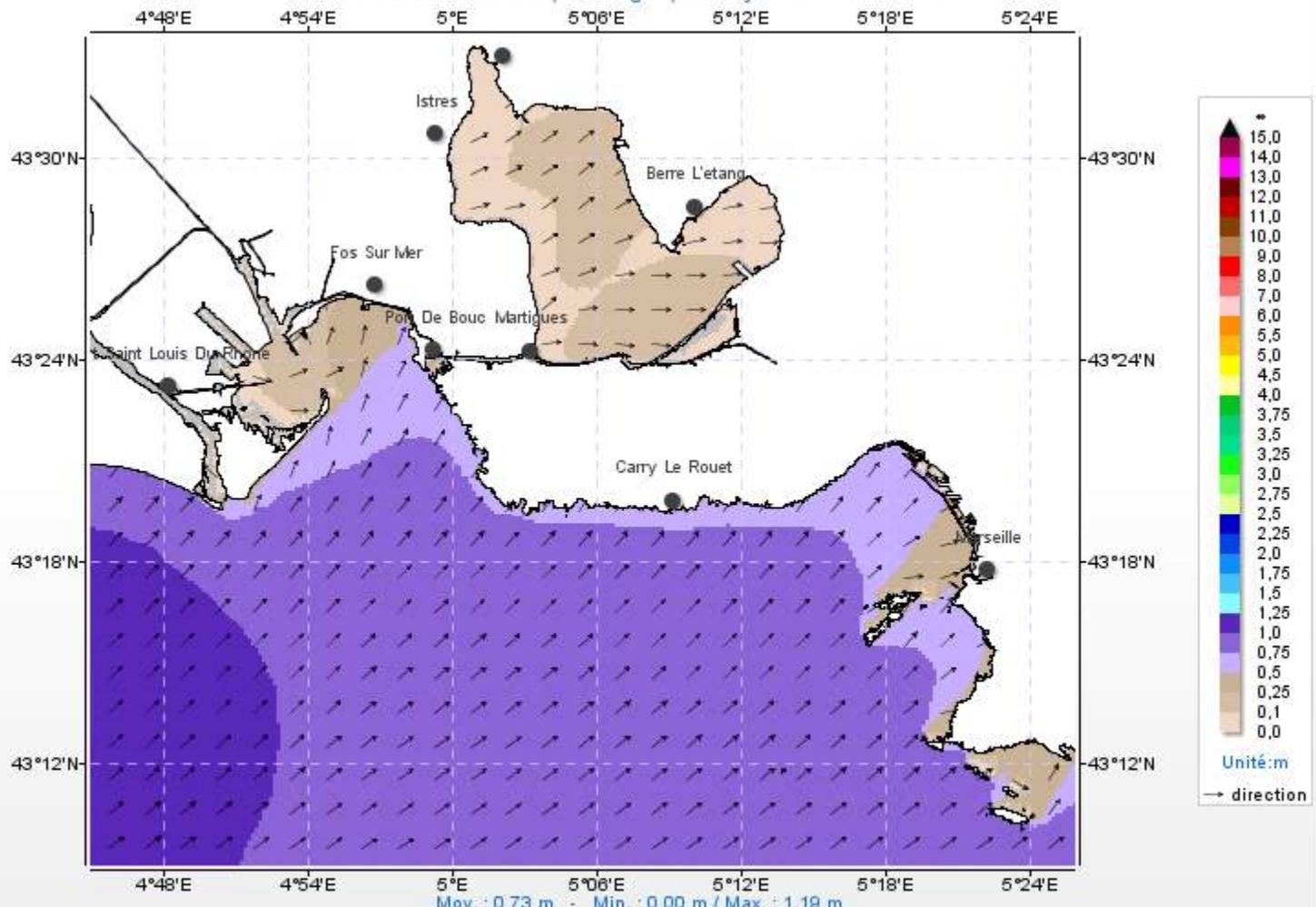
MODEL WAVEWATCH III (R) MEDMULTI - North Med. 2 min

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 13:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 14h41



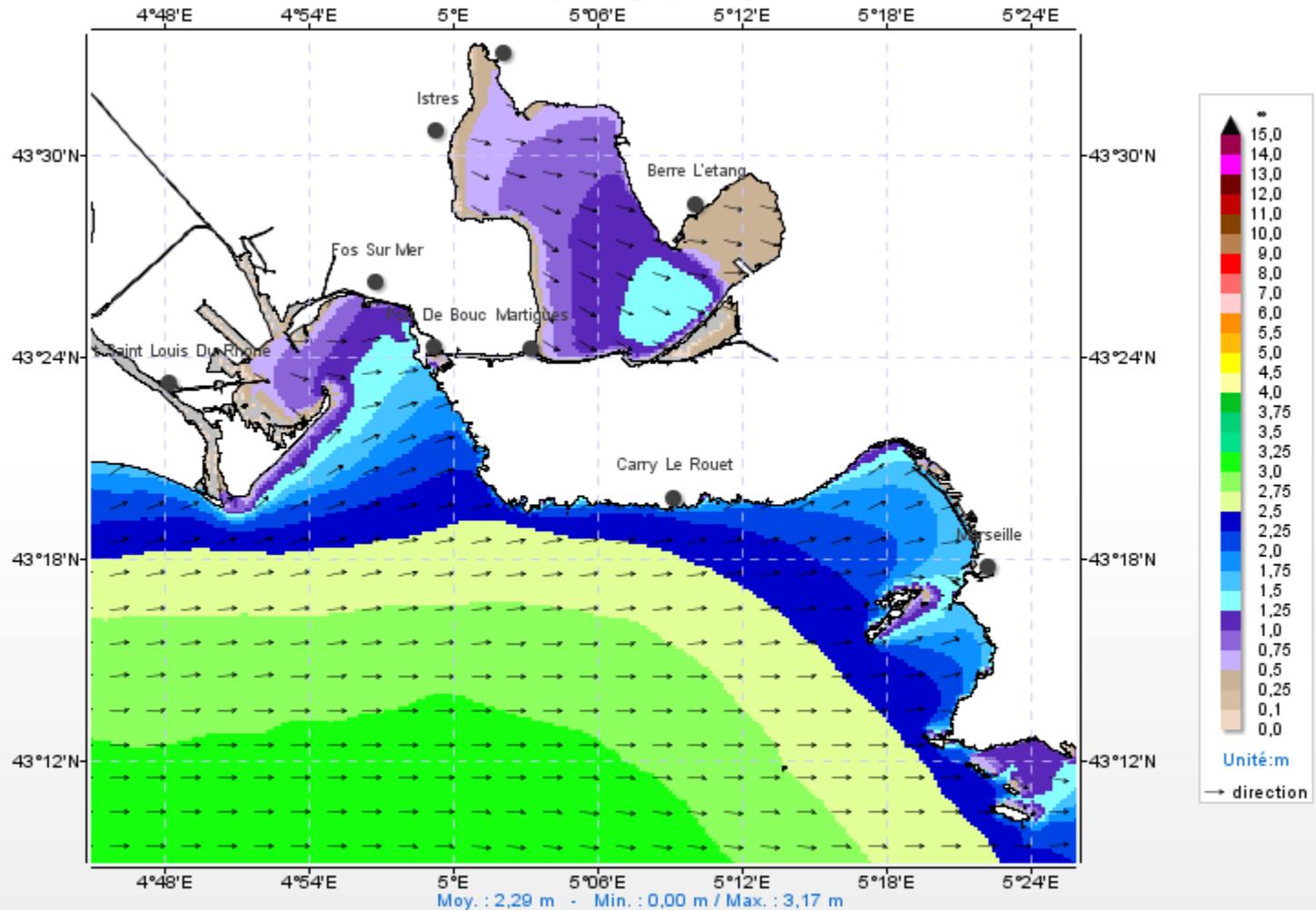
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 16:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 14h41



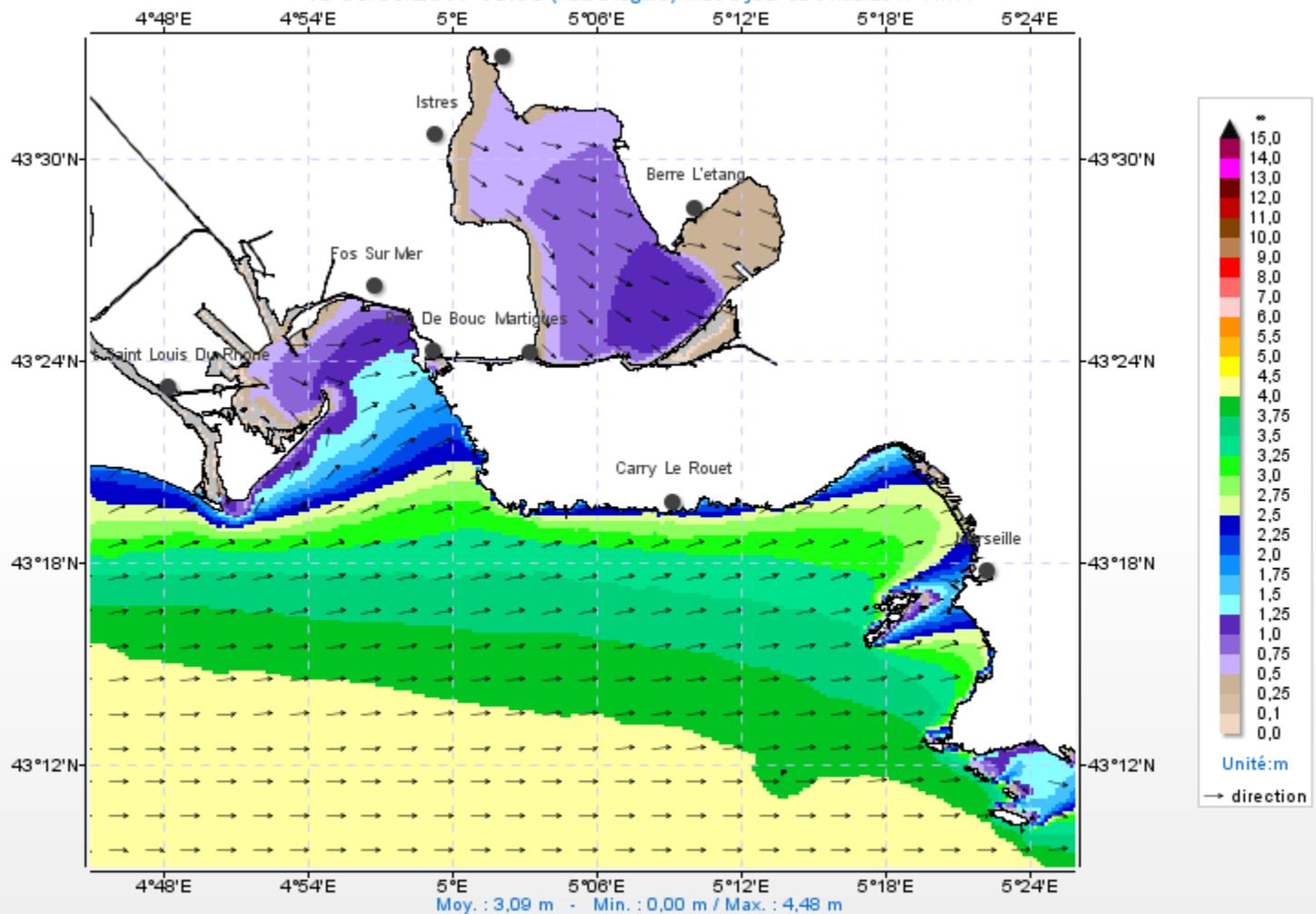
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historitt © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 19:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 14h41



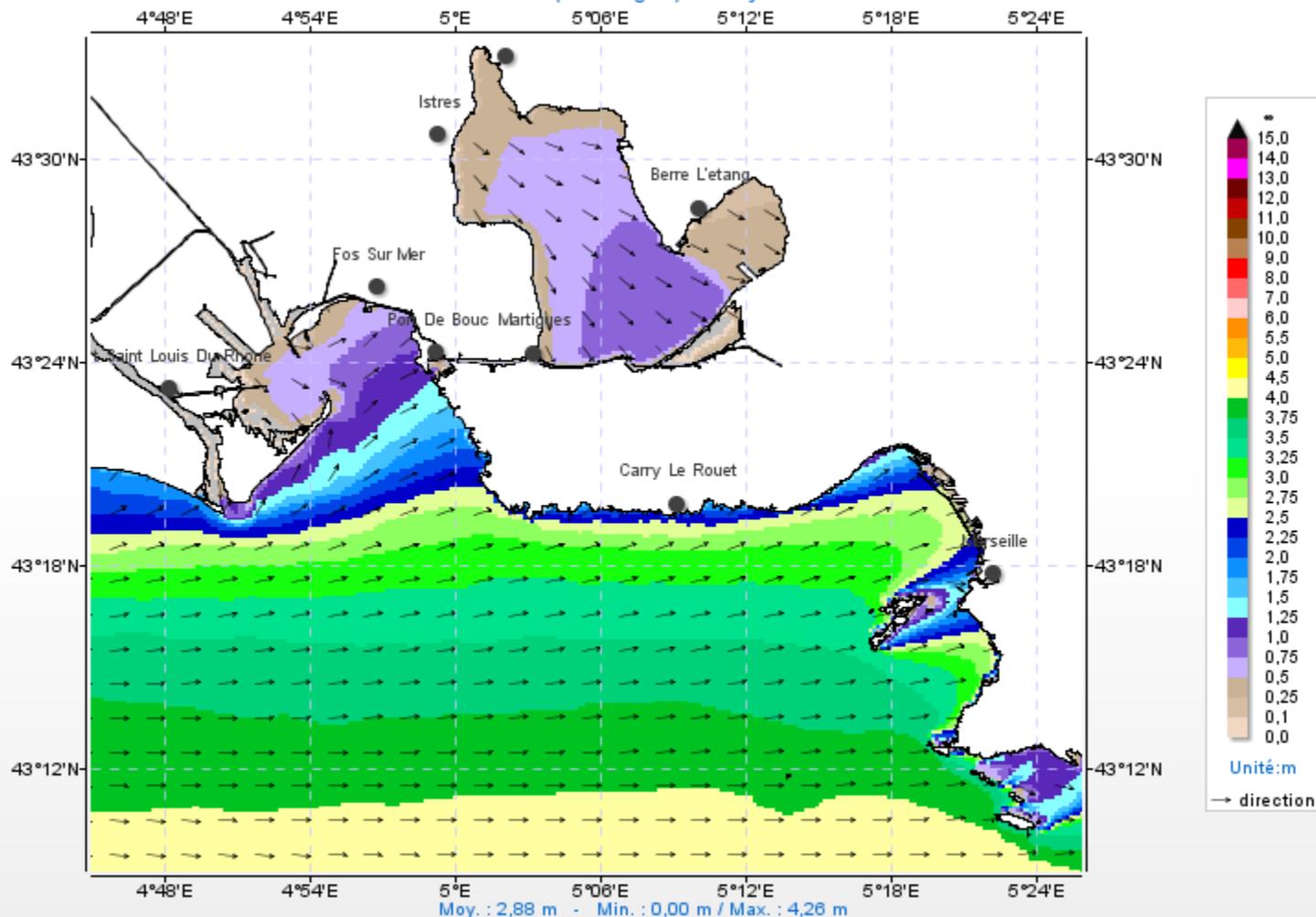
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

## Hauteur significative et direction des vagues

le 06/03/2017 22:00 (heure légale) mise à jour du 07/03/2017 14h41



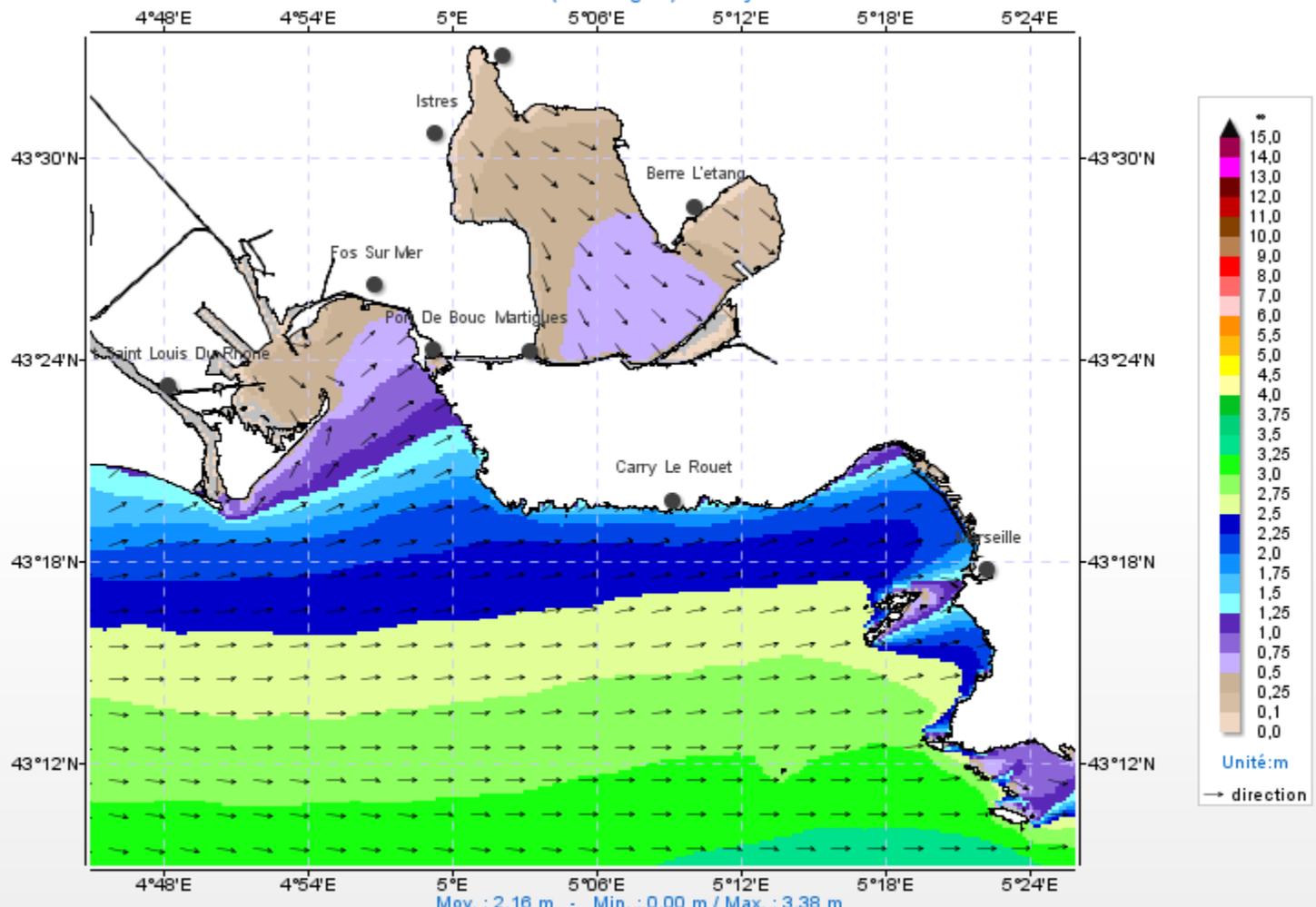
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

[Informations](#)
[Classification de l'état de...](#)
[Accès aux données](#)

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

### Hauteur significative et direction des vagues

le 07/03/2017 01:00 (heure légale) mise à jour du 08/03/2017 04h35



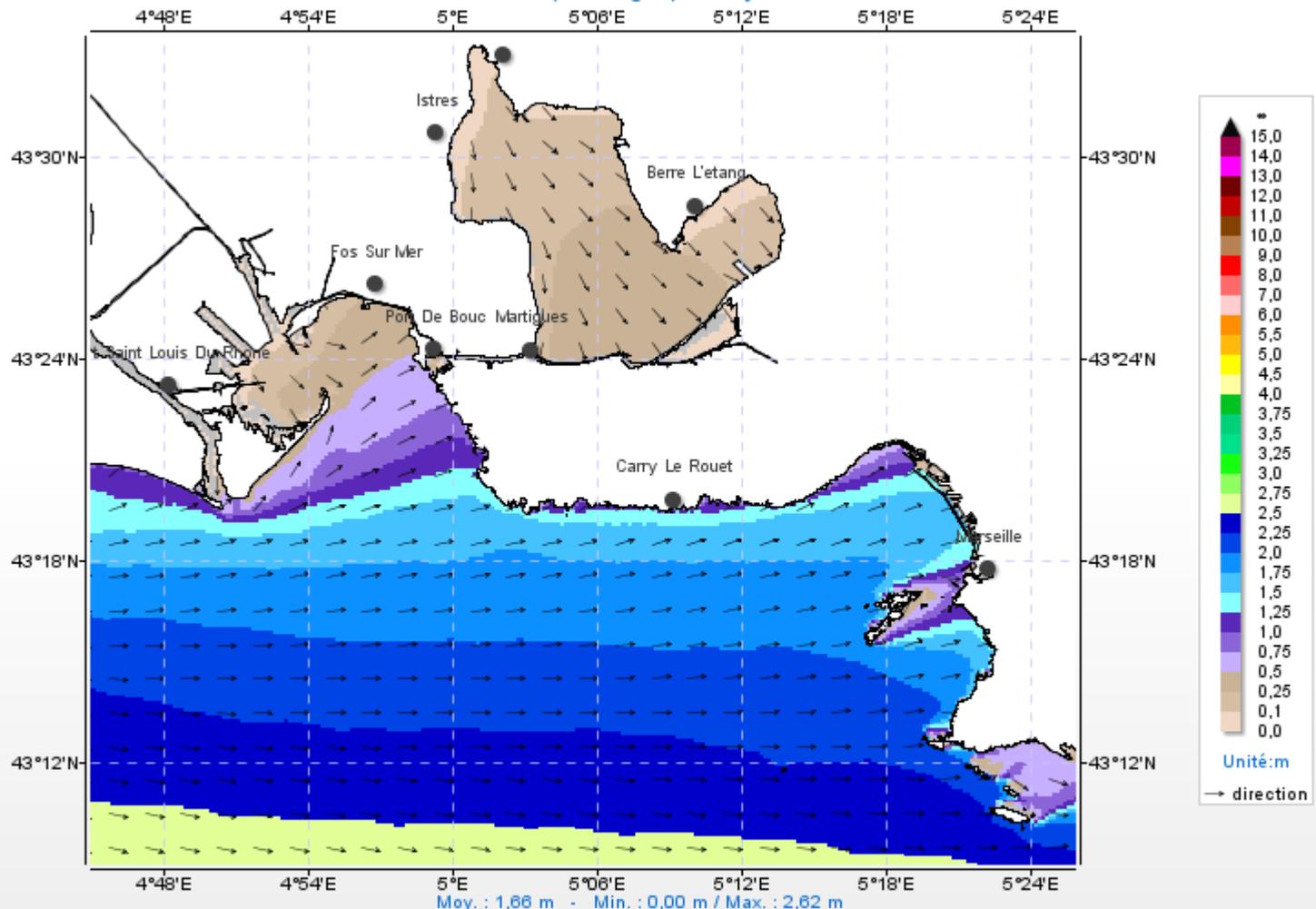
MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

- Informations
- Classification de l'état de...
- Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

# Hauteur significative et direction des vagues

le 07/03/2017 04:00 (heure légale) mise à jour du 08/03/2017 04h35



MODEL WAVEWATCH III (R) MENOR-UG - LANGUEDOC-200M - Trait de côte Historique © IGN-SHOM 2009

Informations Classification de l'état de... Accès aux données

Avertissement : ces données sont issues de simulations ou d'observations automatisées et n'ont qu'une valeur indicative (voir conditions d'utilisation).

# Reportage photographique

Visite de site le 07/03/2017

07/03/2017 13h

Anse Vieille Chapelle



07/03/2017 13h

Bonneveine



07/03/2017 13h

Borely







Annexe 03 – Résultats du  
modèle de propagation  
des états de mer du large



Rappel des scénarios  
simulés

## Etats de mer au large de la zone de projet

N° cas	Objectif	Période de retour	Direction	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)
1	Conditions usuelles fortes / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70
2			N265°	3,20	9,0	
3	Conditions extrêmes / Appréhension du dimensionnement des ouvrages	100 ans	N235°	5,90	12,5	1,23
4			N265°	5,10	11,0	
5	Analyse de sensibilité à la hauteur de houle	100 ans	N235°	<b>6,60</b>	12,5	1,23
6	Analyse de sensibilité au niveau d'eau		N235°	5,90	12,5	<b>0,37</b>
7	Tempête Zeus (06/03/2017)	20 ans	N260°	4,40	9,1	0,35



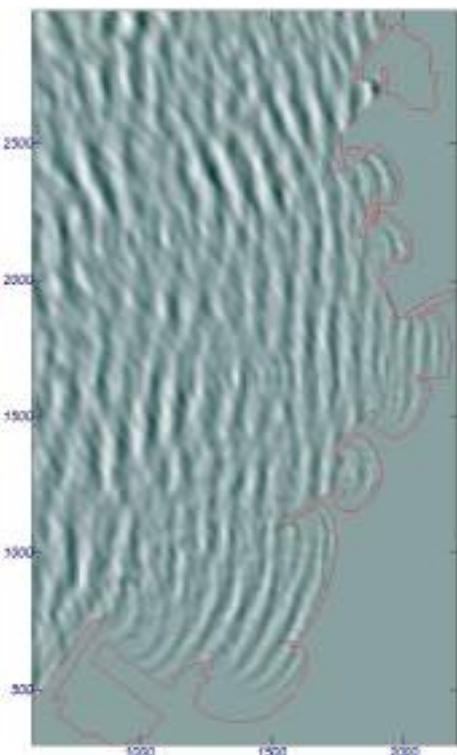
Modèle SMC-MOPLA  
Plans de vagues

# Cas 1

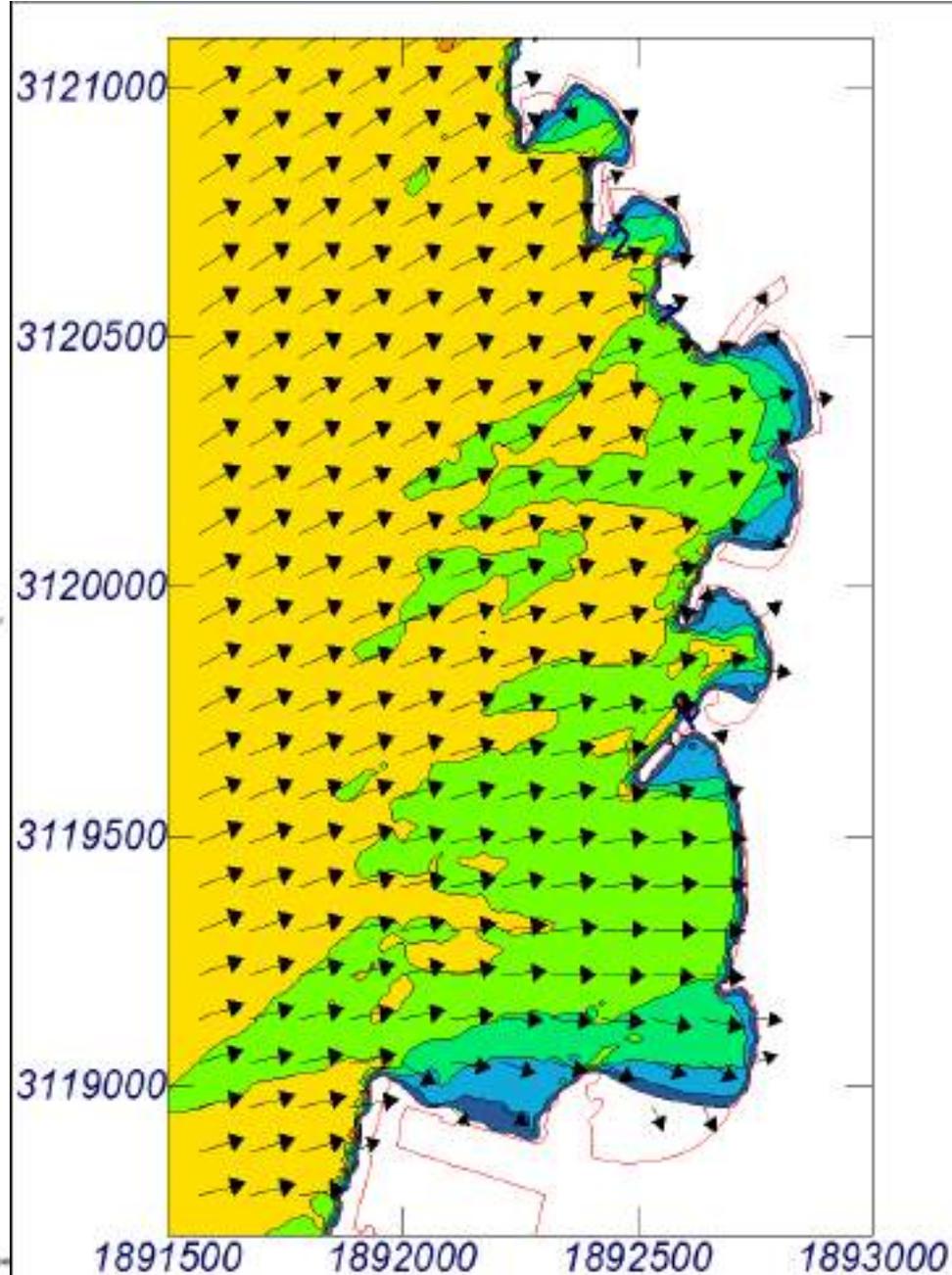
Tr 1 an / N235°

Hm0 = 3,5m / Tp = 10,0s

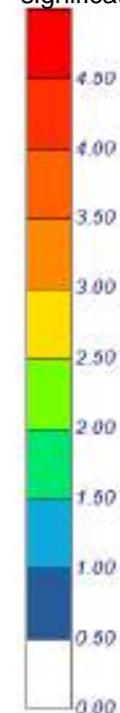
Niveau = +0,70mNGF



Programa desarrollado por



Hauteur de houle  
significative Hs (m)



Reference Vectors

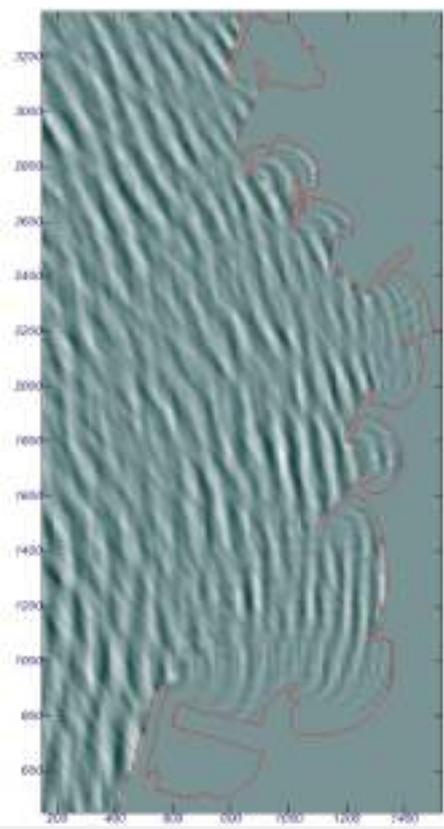


Programa desarrollado por

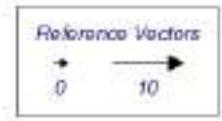
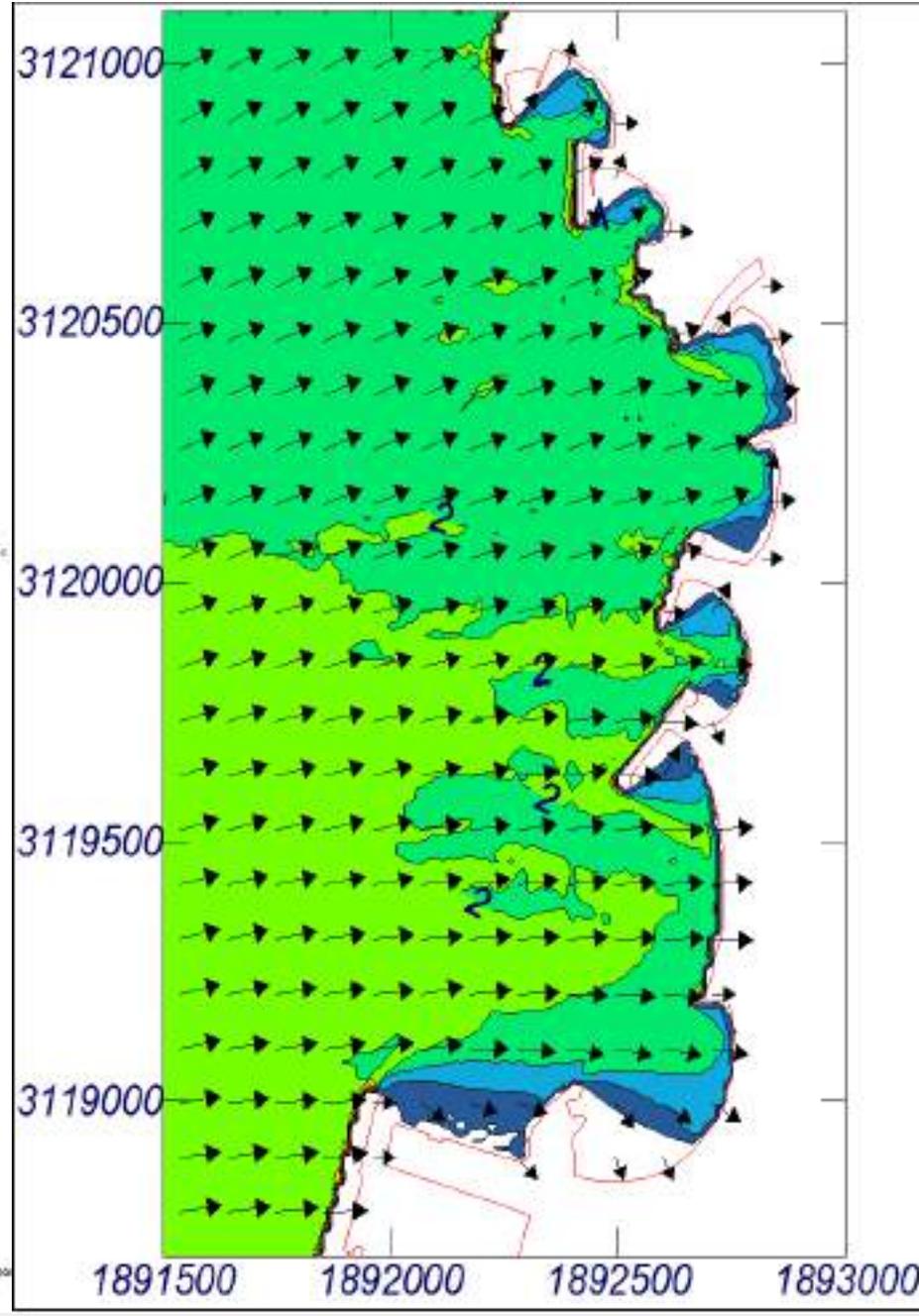


# Cas 2

Tr 1 an / N265°  
Hm0 = 3,2m / Tp = 9,0s  
Niveau = +0,70mNGF



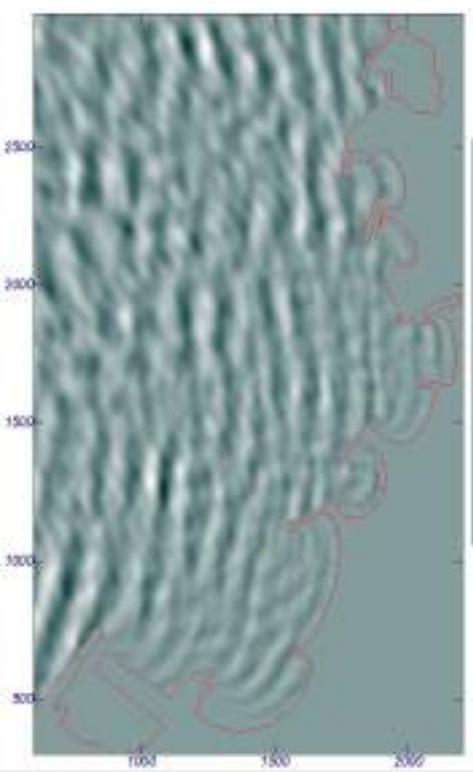
Programa desarrollado por GOC



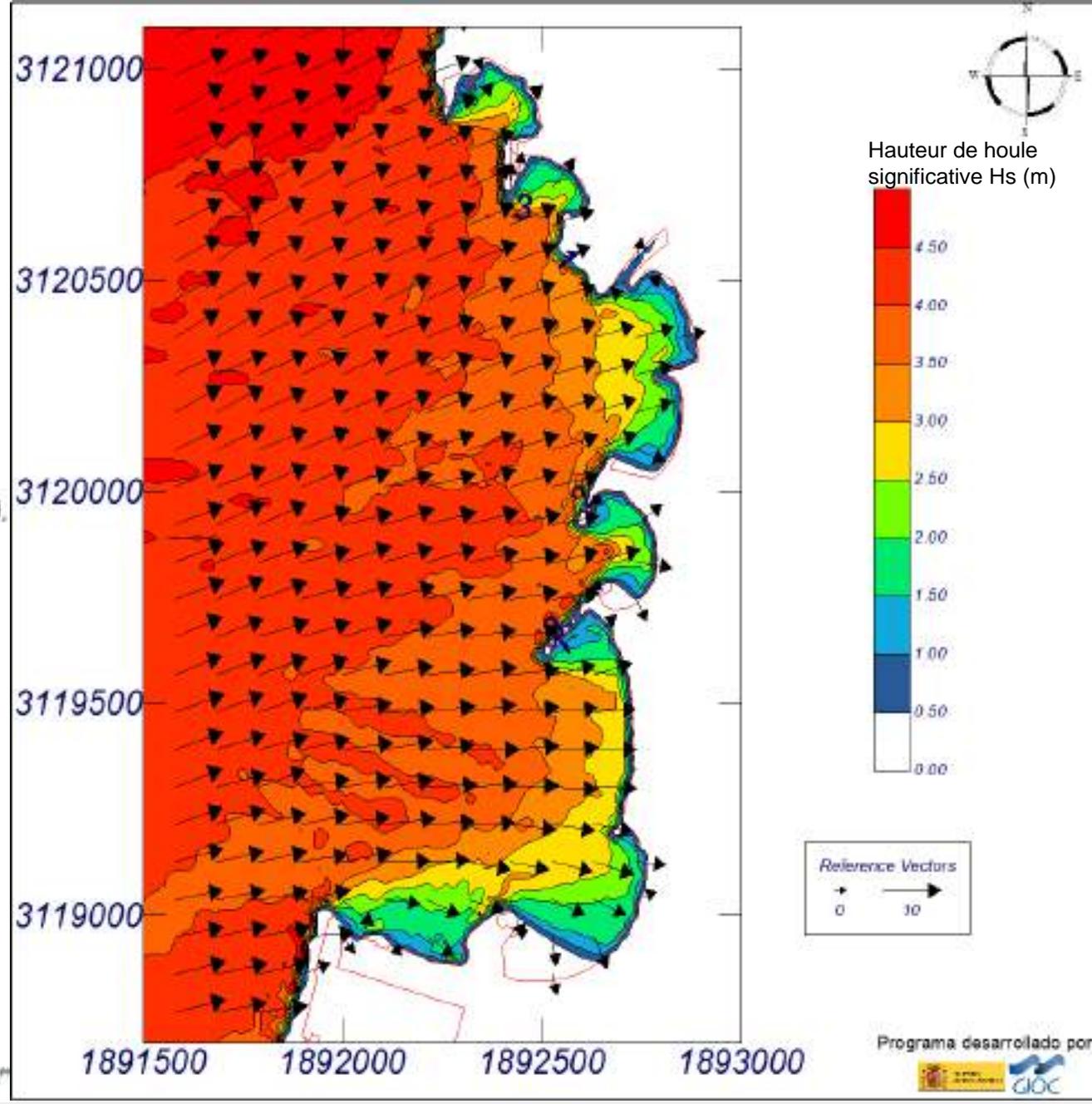
Programa desarrollado por GOC

# Cas 3

Tr 100 ans / N235°  
Hm0 = 5,9m / Tp = 12,5s  
Niveau = +1,23mNGF

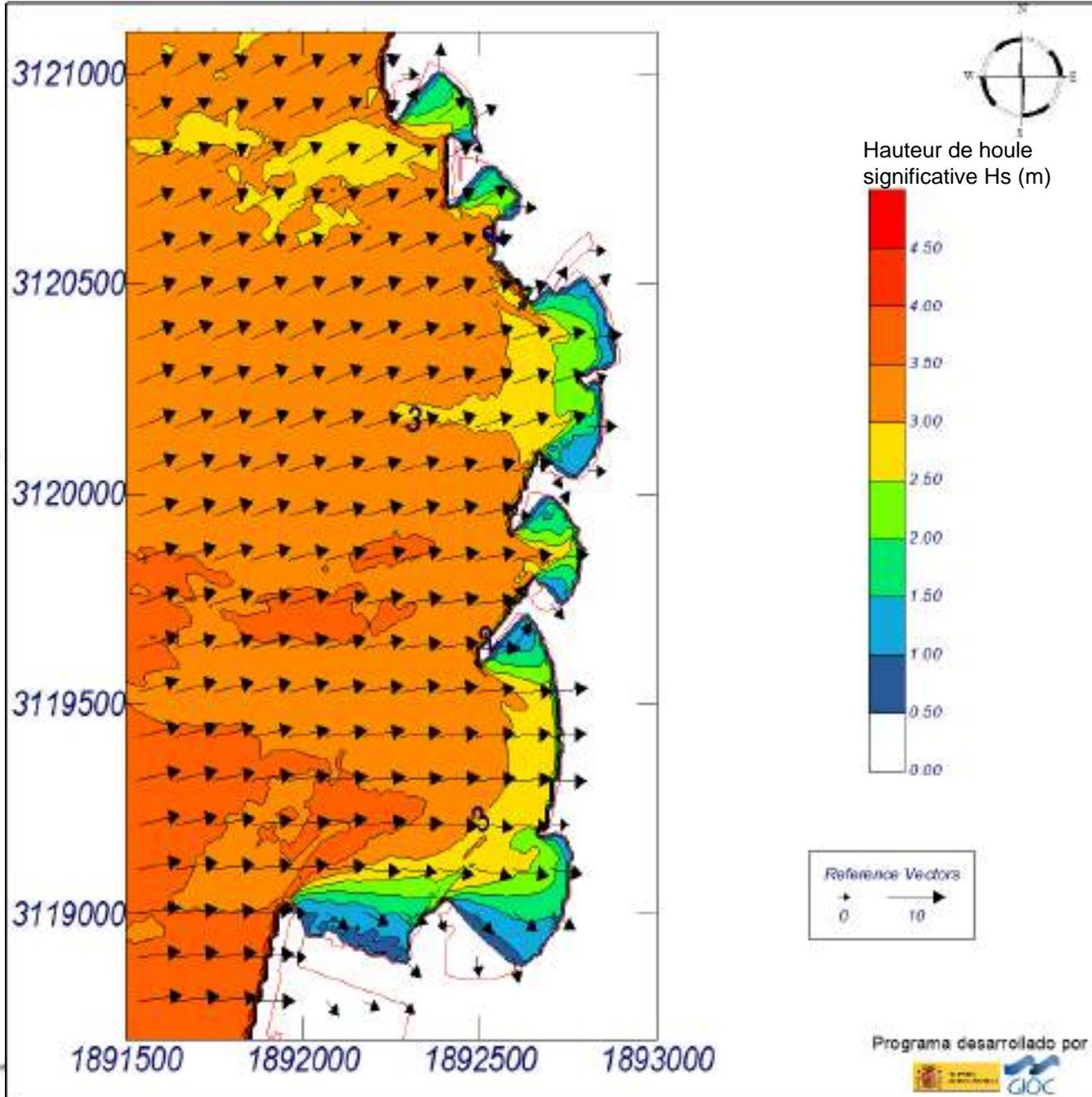
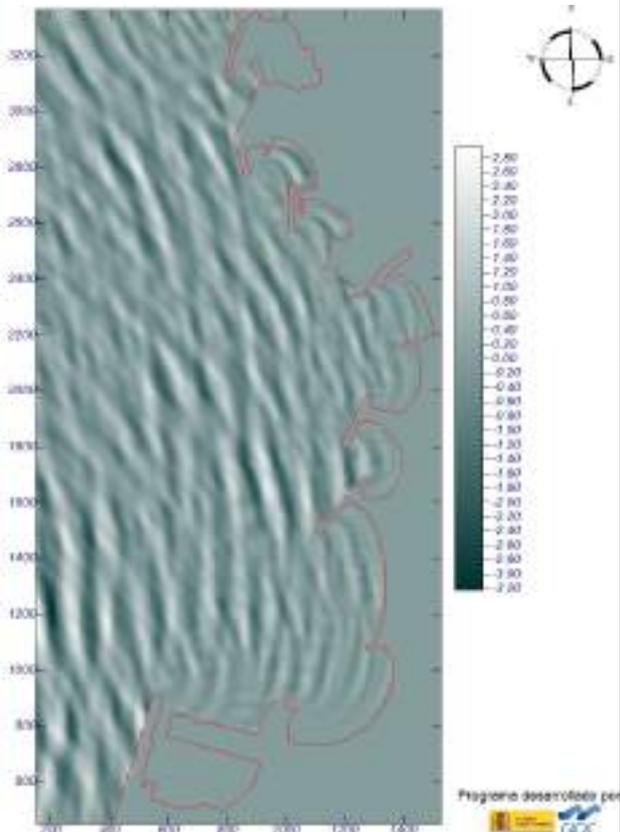


Programa desarrollado por



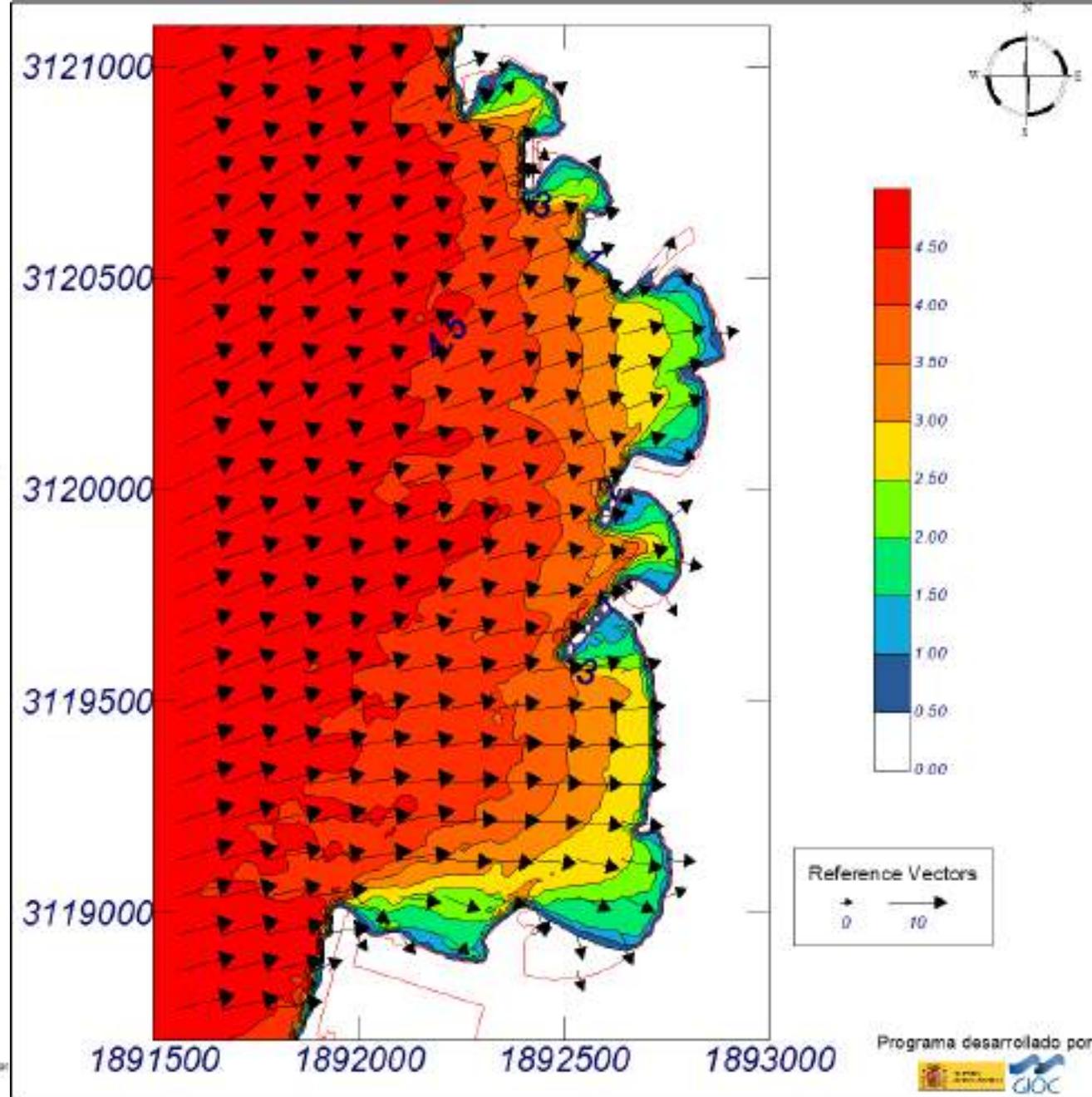
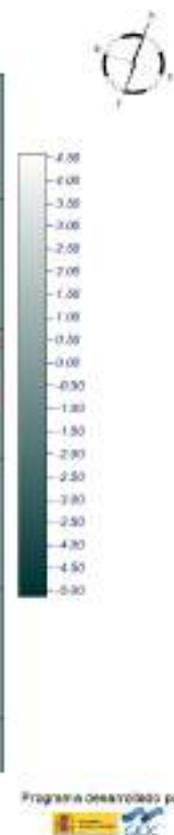
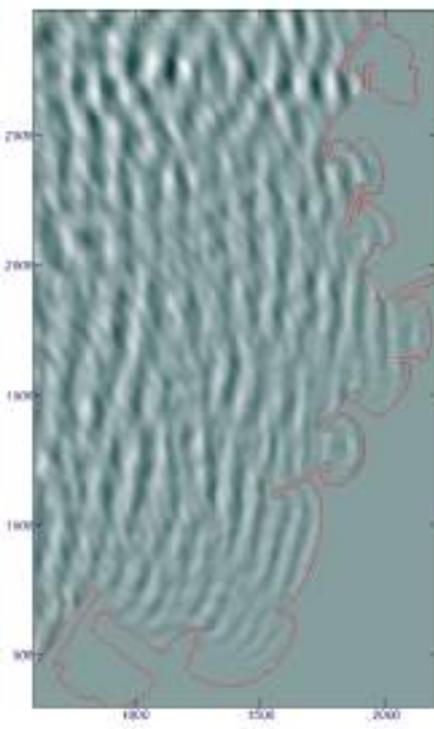
# Cas 4

Tr 100 ans / N265°  
Hm0 = 5,1m / Tp = 11,0s  
Niveau = +1,23mNGF



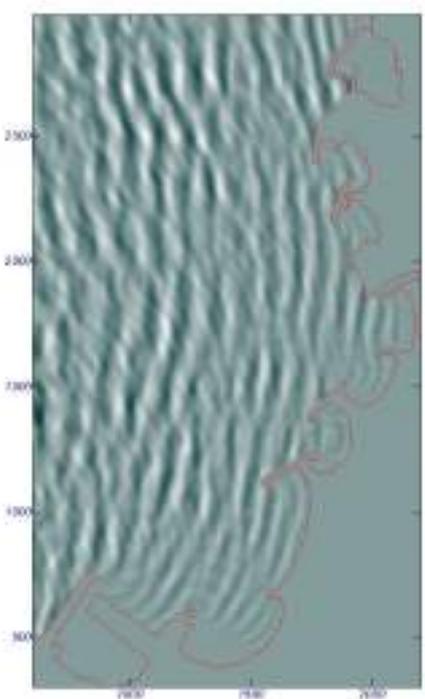
# Cas 5

Tr 100 ans / N235°  
Hm0 = 6,6m / Tp = 12,5s  
Niveau = +1,23mNGF

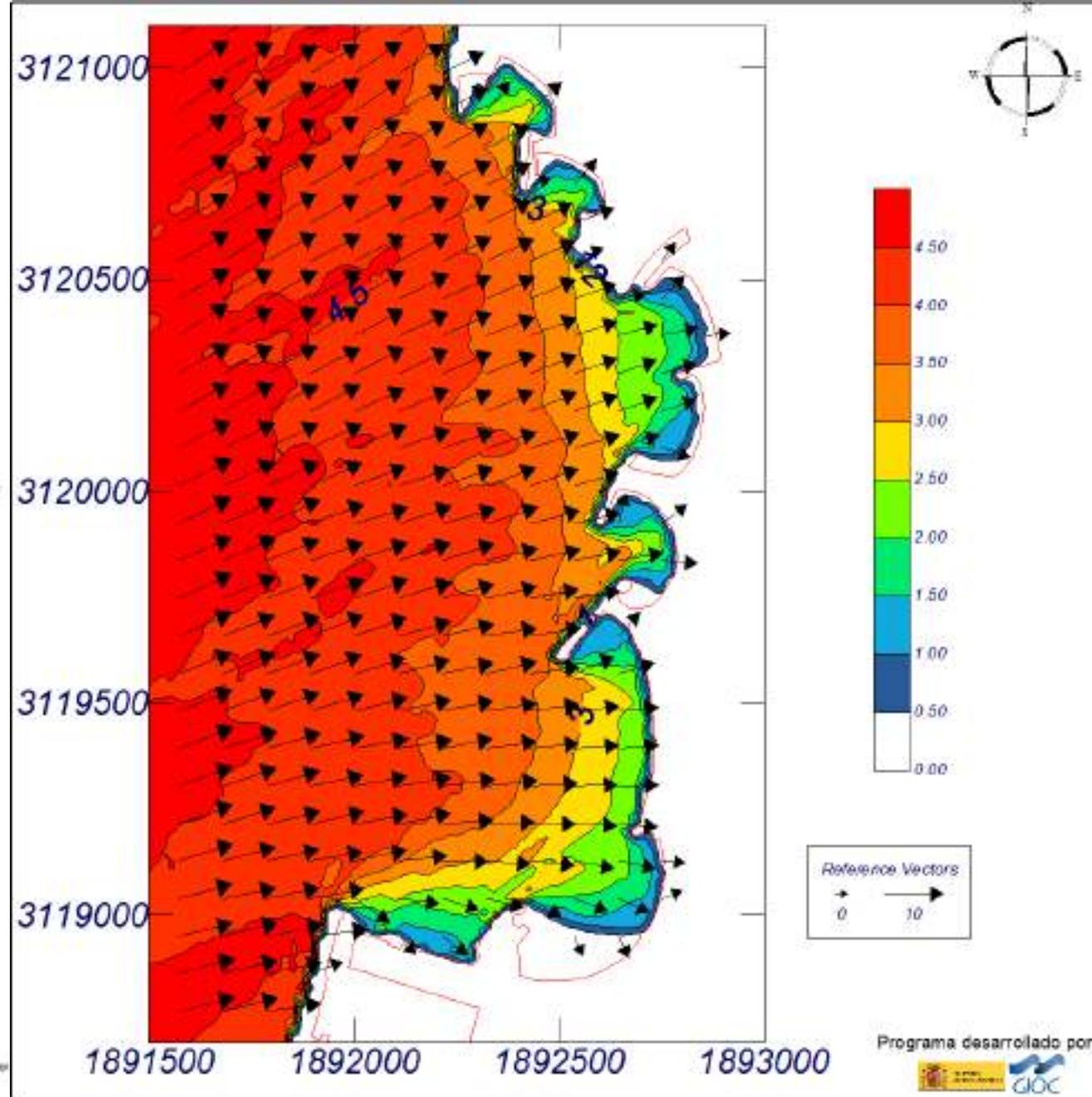


# Cas 6

Tr 100 ans / N235°  
Hm0 = 5,9m / Tp = 12,5s  
Niveau = +0,37mNGF



Programa desenvolto por



Reference Vectors  
→ 0 → 10

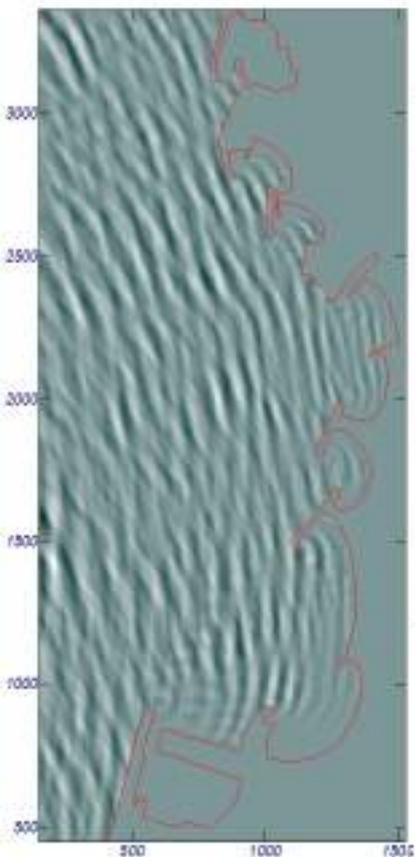
Programa desarrollado por

# Cas 7 (tempête Zeus)

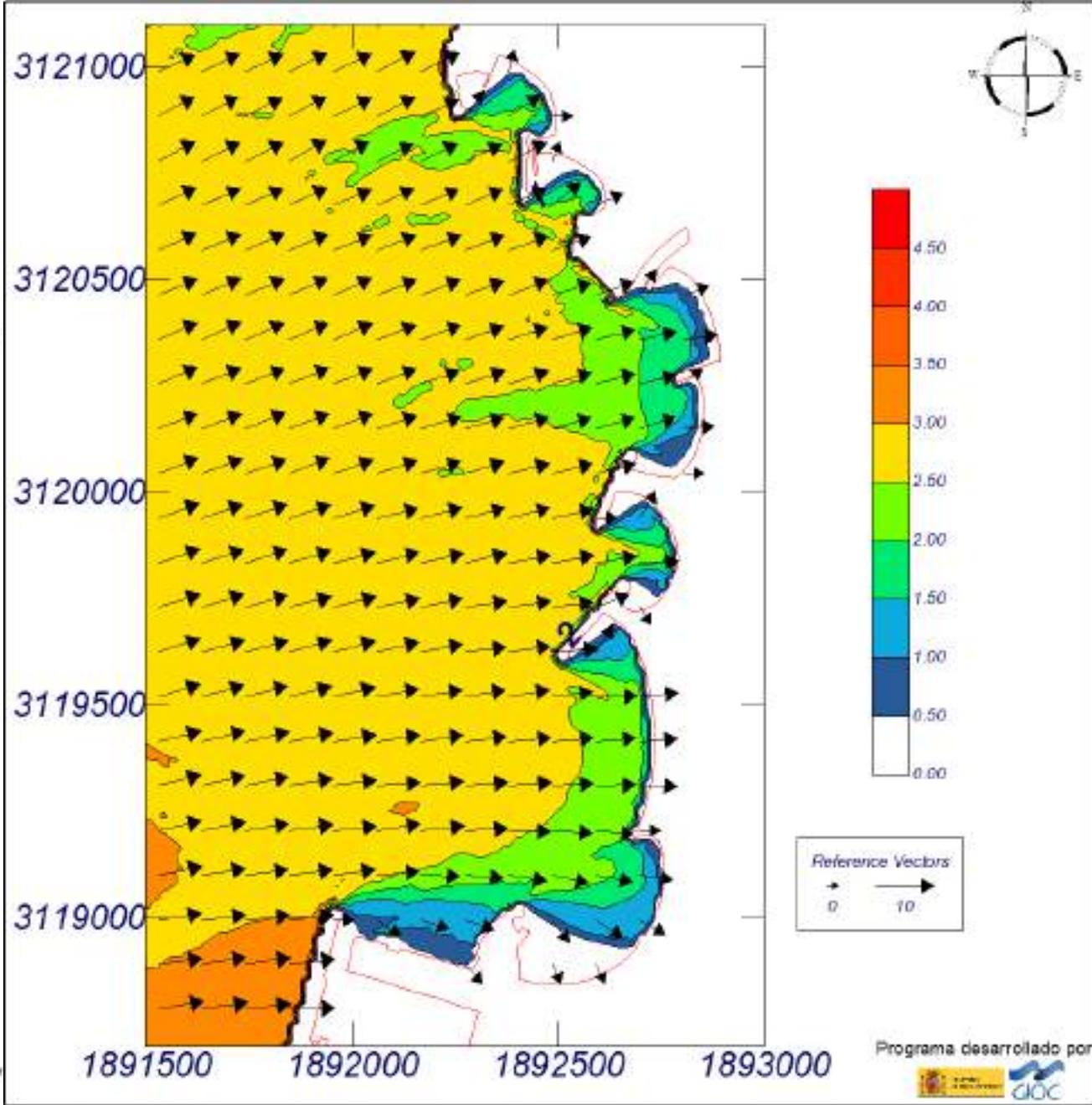
Tr 1 an / N260°

Hm0 = 4,4m / Tp = 9,1s

Niveau = +0,35mNGF

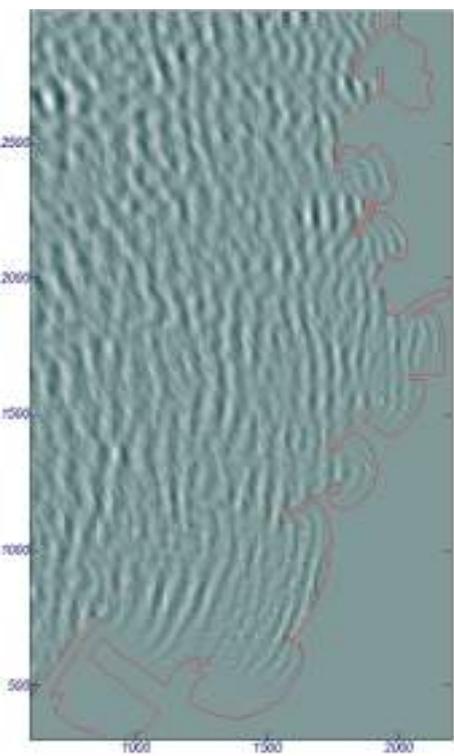


Programa desarrollado por

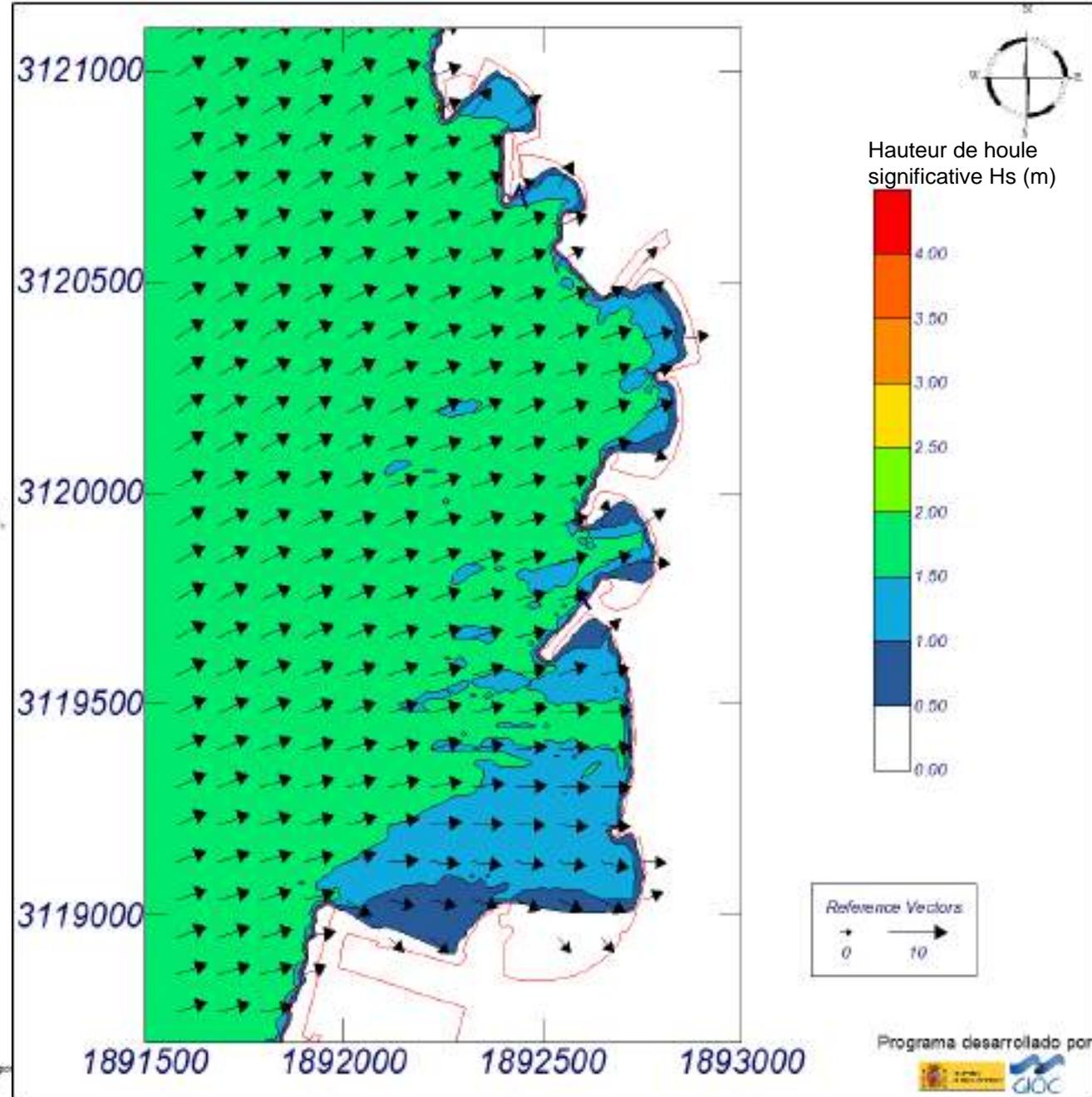
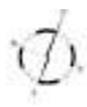


# Cas M1

Tr 1 mois / N235°  
Hm0 = 2,2m / Tp = 8,0s  
Niveau = +0,37mNGF

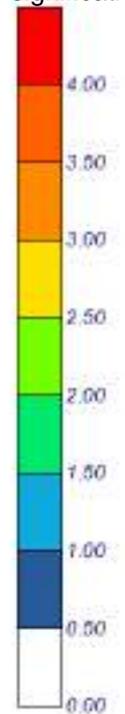


Programa desenvolto por



Reference Vectors  
→ 0 10

Hauteur de houle  
significative Hs (m)



Programa desenvolvido por

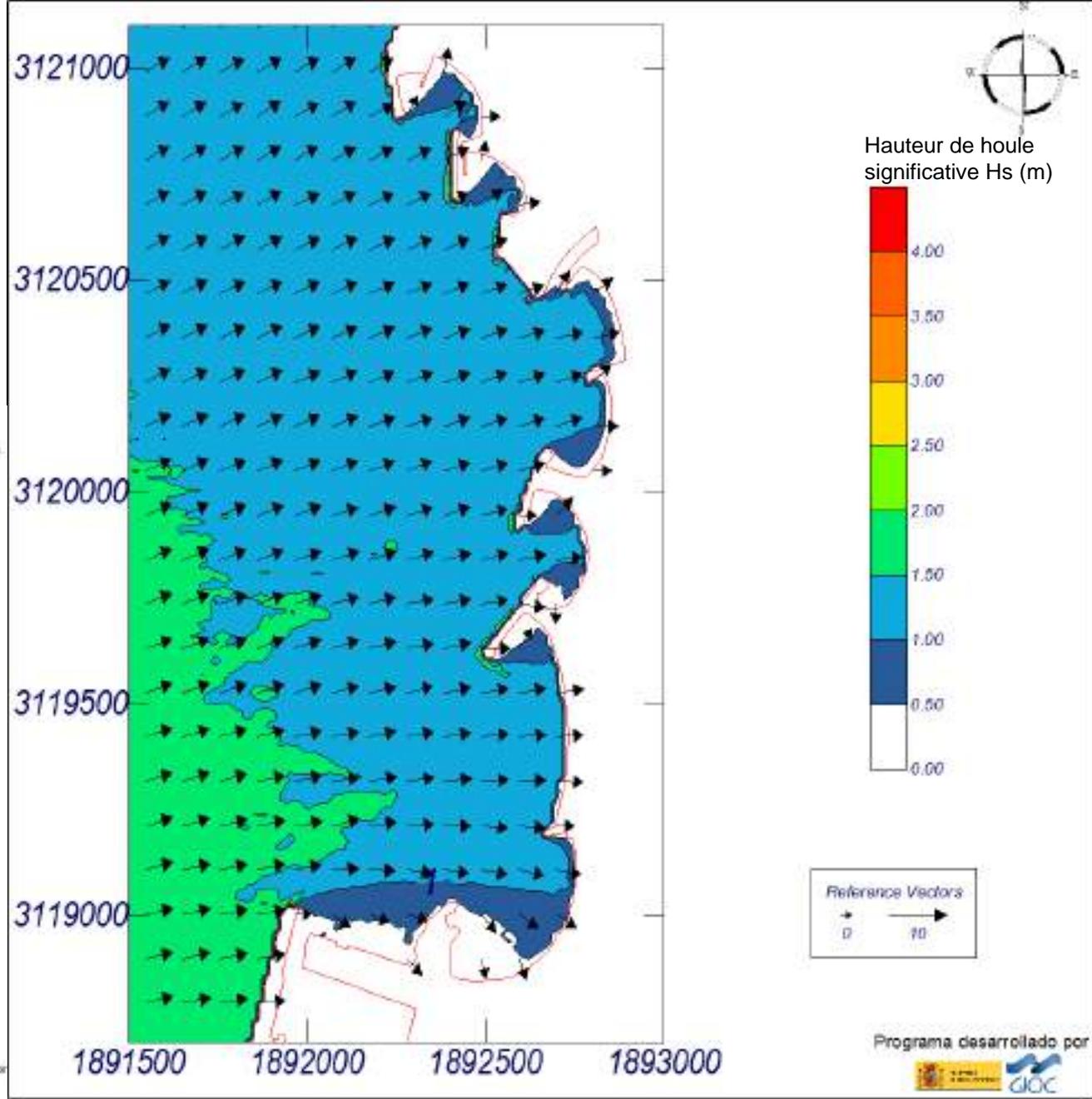
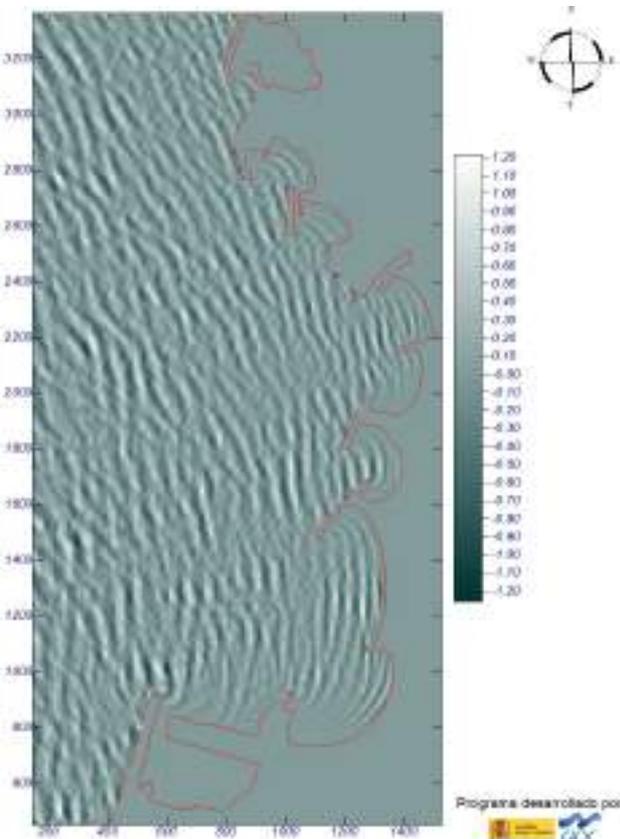


# Cas M2

Tr 1 mois / N265°

Hm0 = 2,2m / Tp = 7,0s

Niveau = +0,37mNGF





Annexe 04 – Résultats du  
modèle de courantologie  
SMC-MOPLA



Rappel des scénarios  
simulés

## Etats de mer au large de la zone de projet

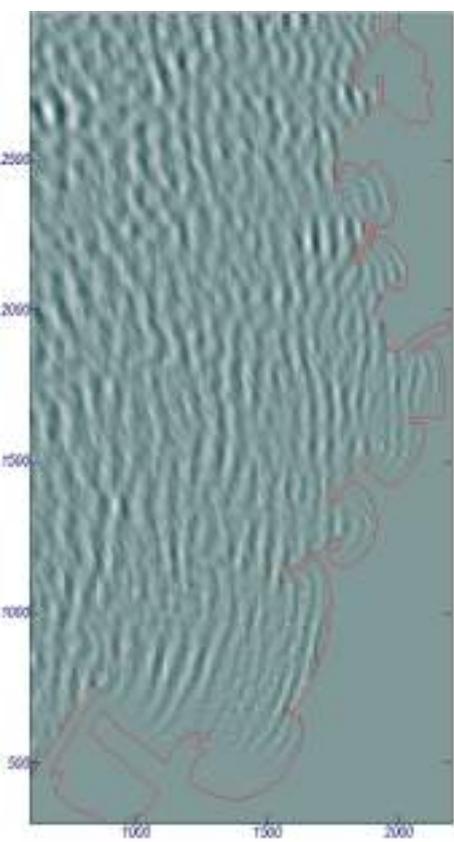
N° cas	Objectif	Période de retour	Dir.	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)
M1	Conditions usuelles modérées / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 mois	N235°	2,20	8,0	0,37
M2			N265°	2,20	7,0	
1	Conditions usuelles fortes / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70
2			N265°	3,20	9,0	



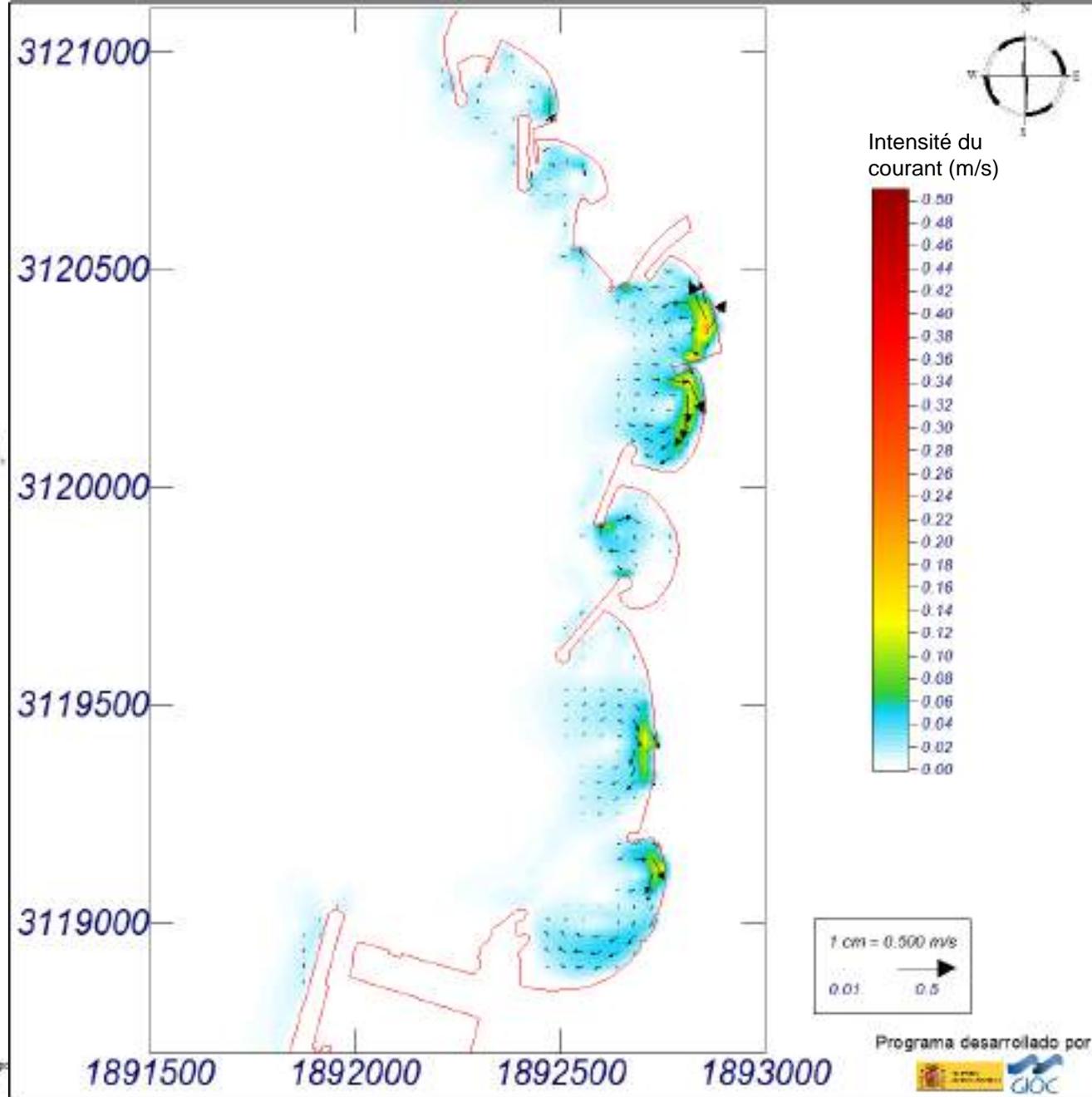
Courants de dérive induits  
par la houle (état actuel)

# Cas M1

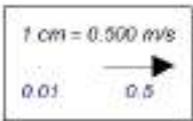
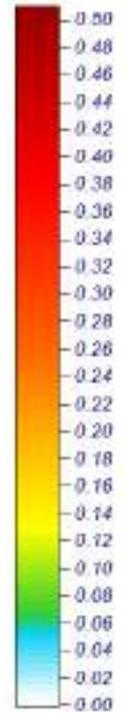
Tr 1 mois / N235°  
Hm0 = 2,2m / Tp = 8,0s  
Niveau = +0,37mNGF



Programa desenvolupat per



Intensitat del corrent (m/s)

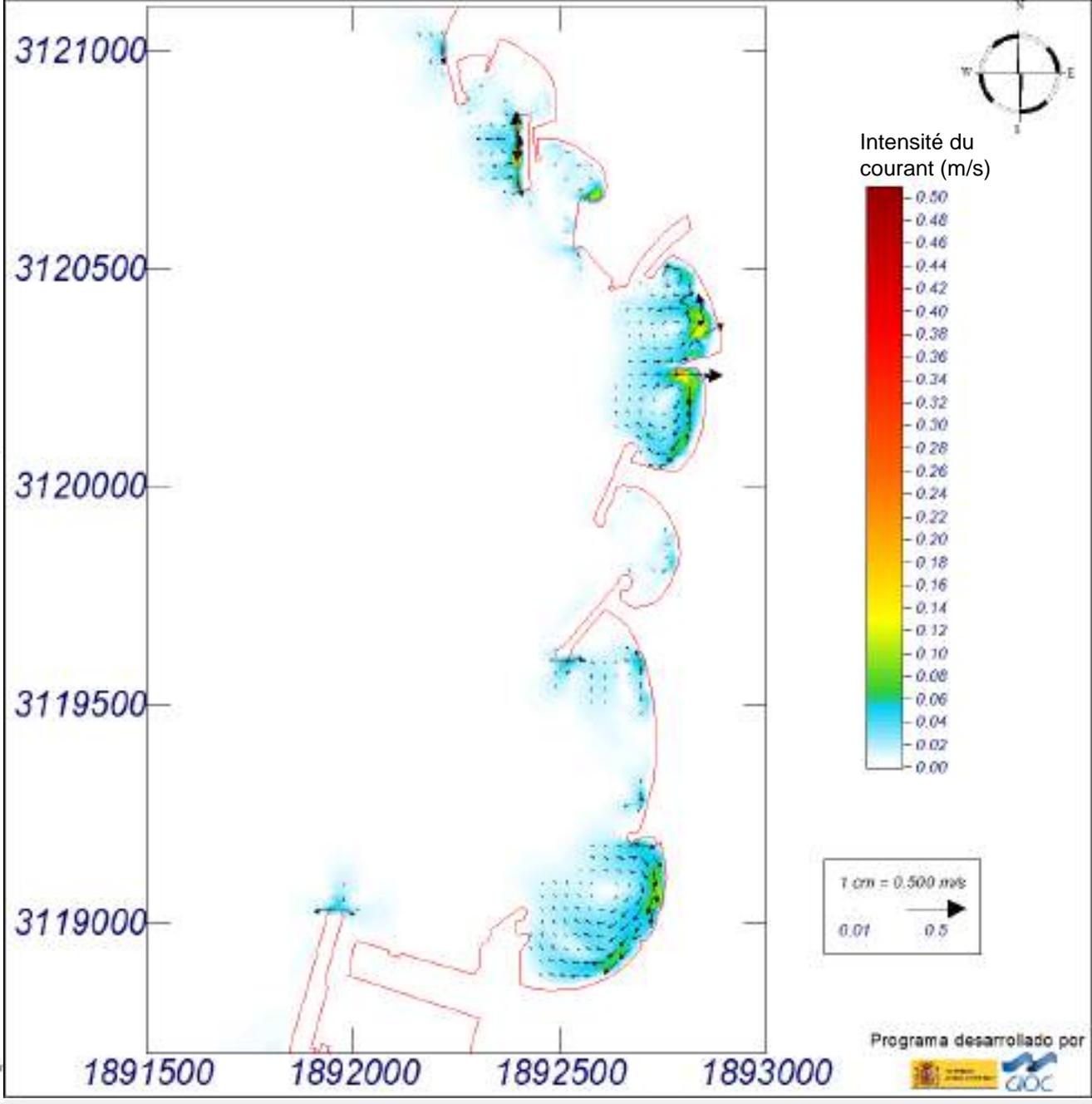
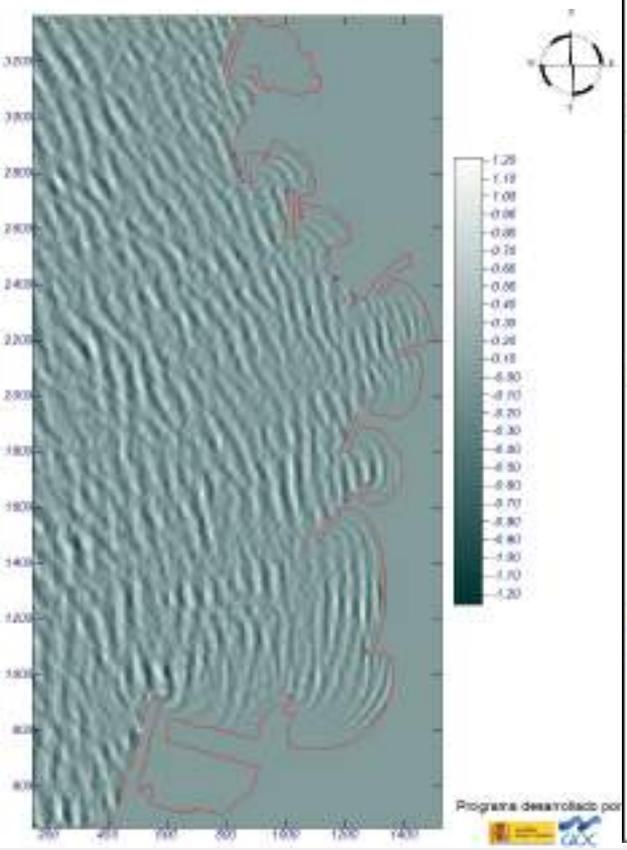


Programa desenvolupat per



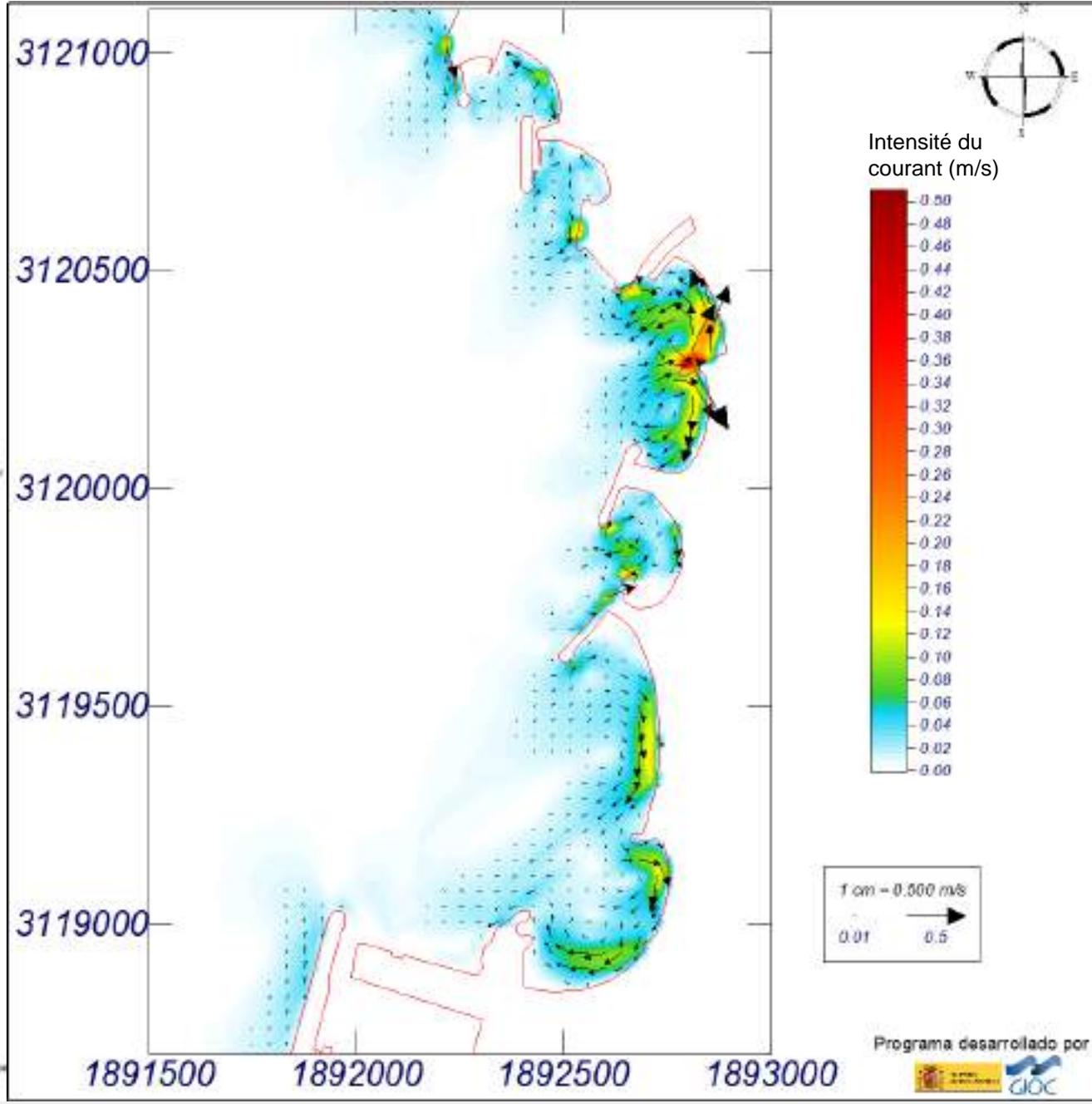
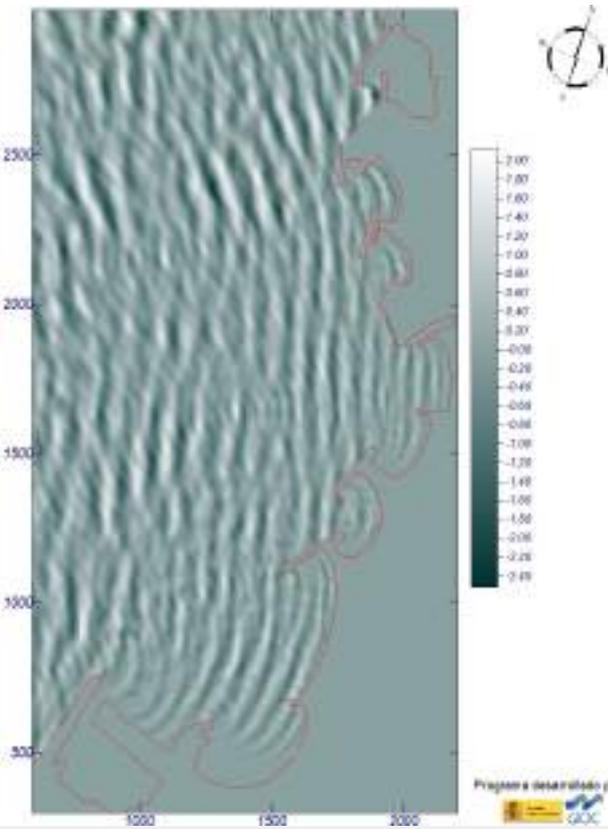
# Cas M2

Tr 1 mois / N265°  
Hm0 = 2,2m / Tp = 7,0s  
Niveau = +0,37mNGF



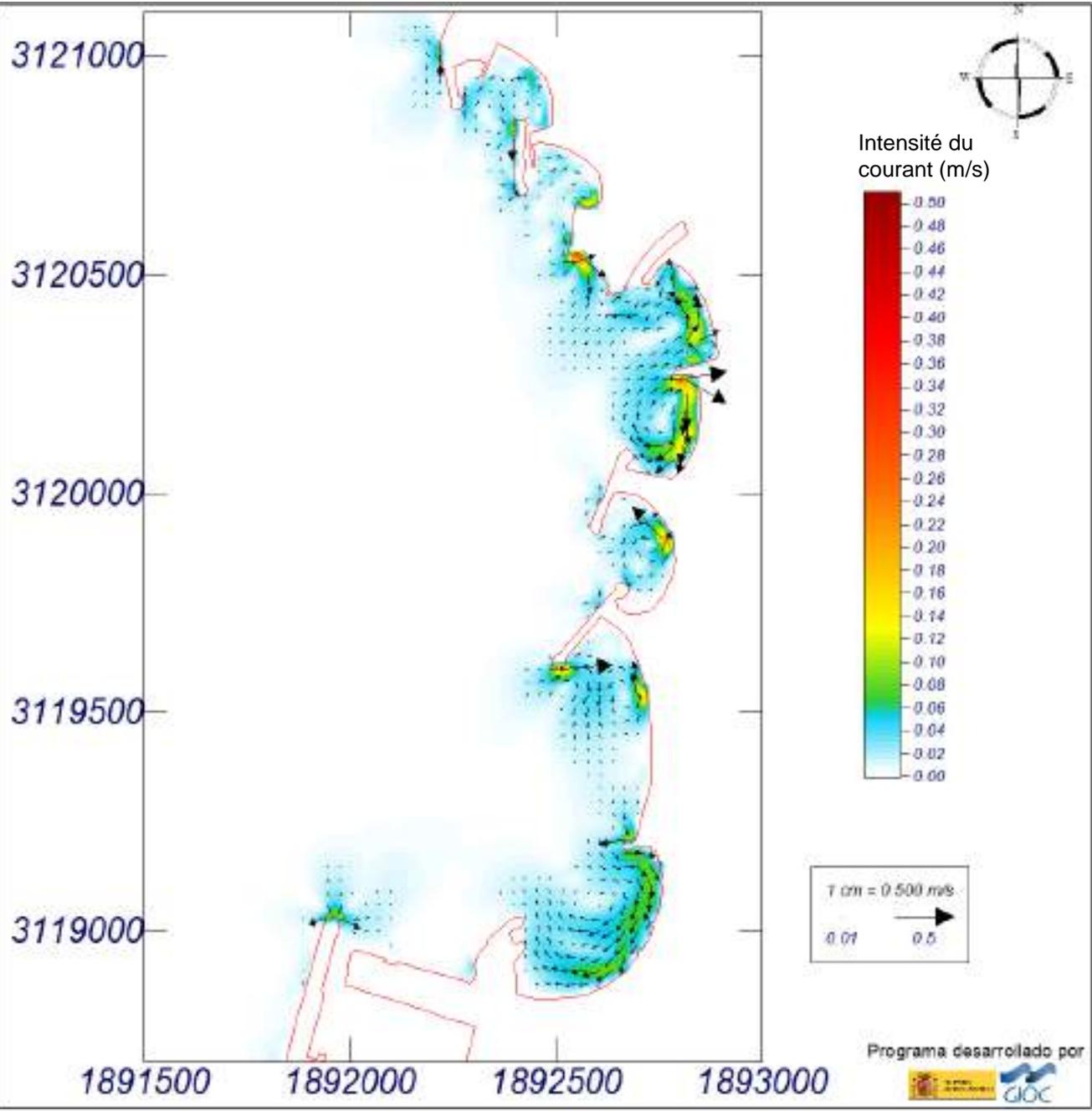
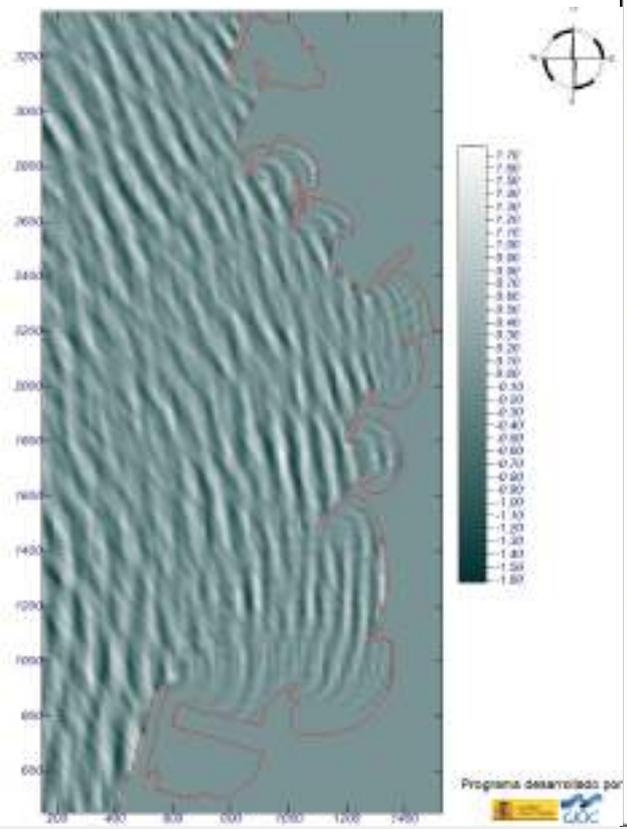
# Cas 1

Tr 1 an / N235°  
Hm0 = 3,5m / Tp = 10,0s  
Niveau = +0,70mNGF



# Cas 2

Tr 1 an / N265°  
Hm0 = 3,2m / Tp = 9,0s  
Niveau = +0,70mNGF





Annexe 05 – Analyse des  
levés topo-bathymétriques  
disponibles

**Bathymétrie  
ANDROMEDE 2008**

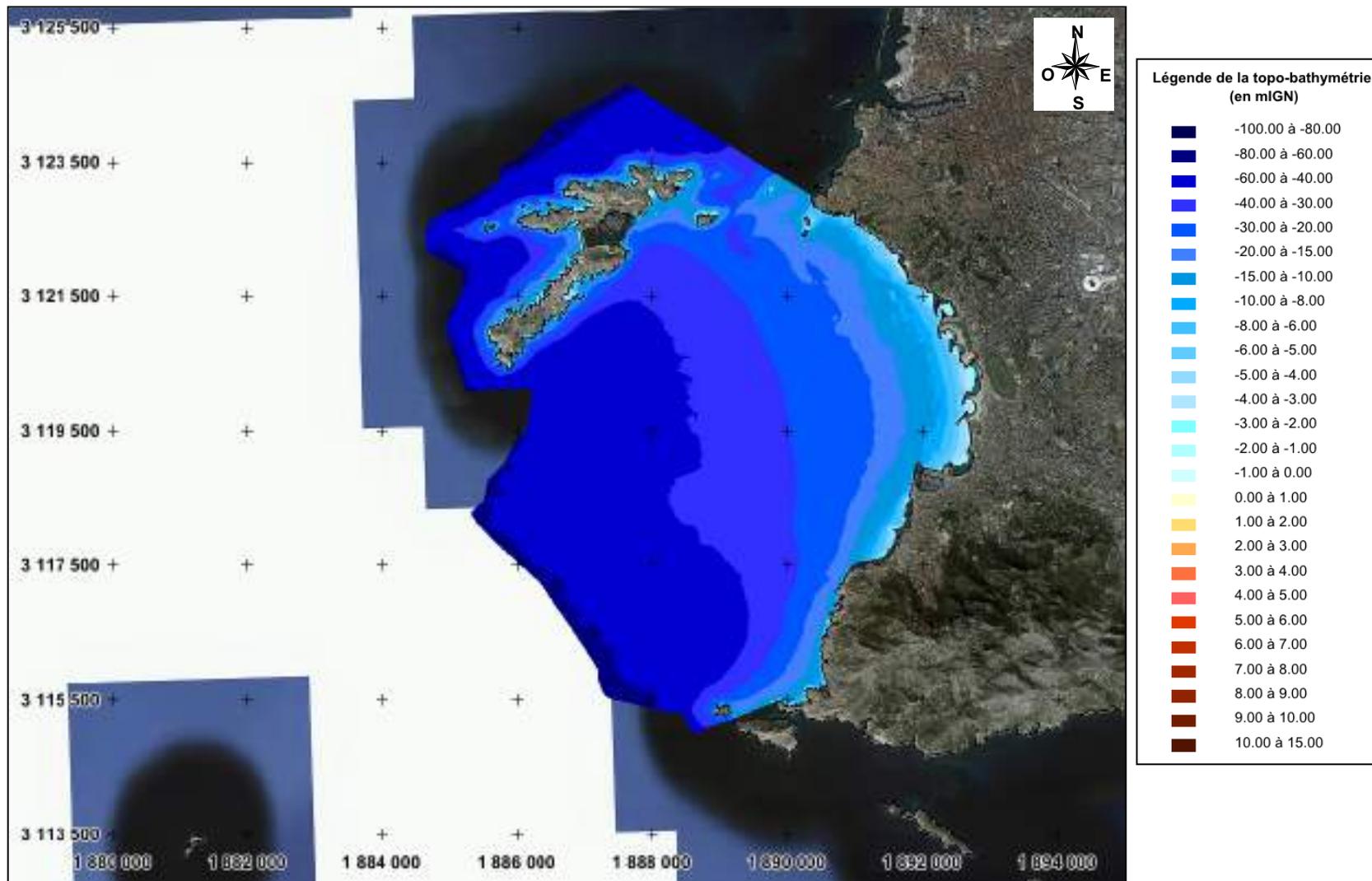


Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44

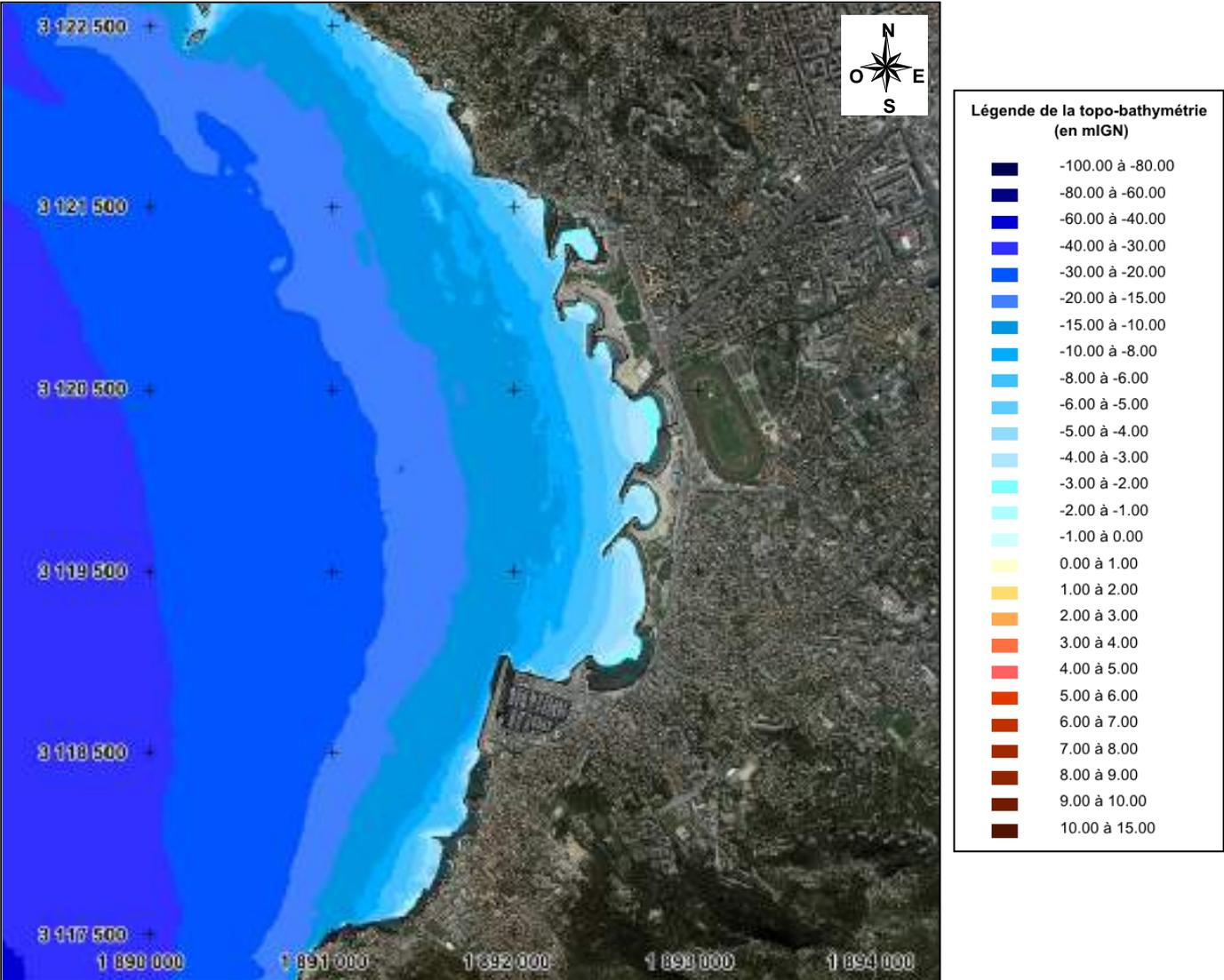
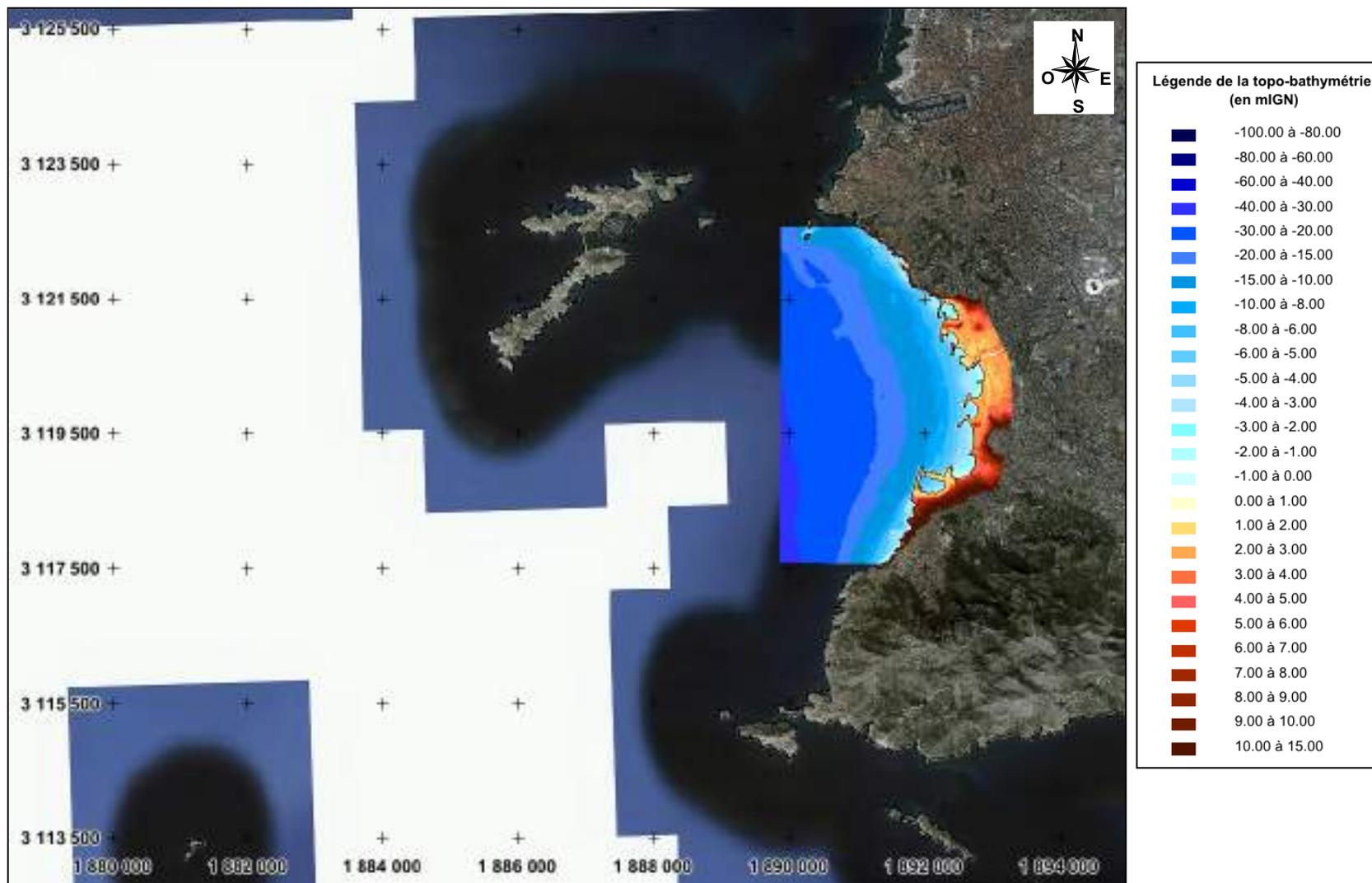


Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44



*Image satellite Google Earth 03/2016*

*Coordonnées L93-CC44*

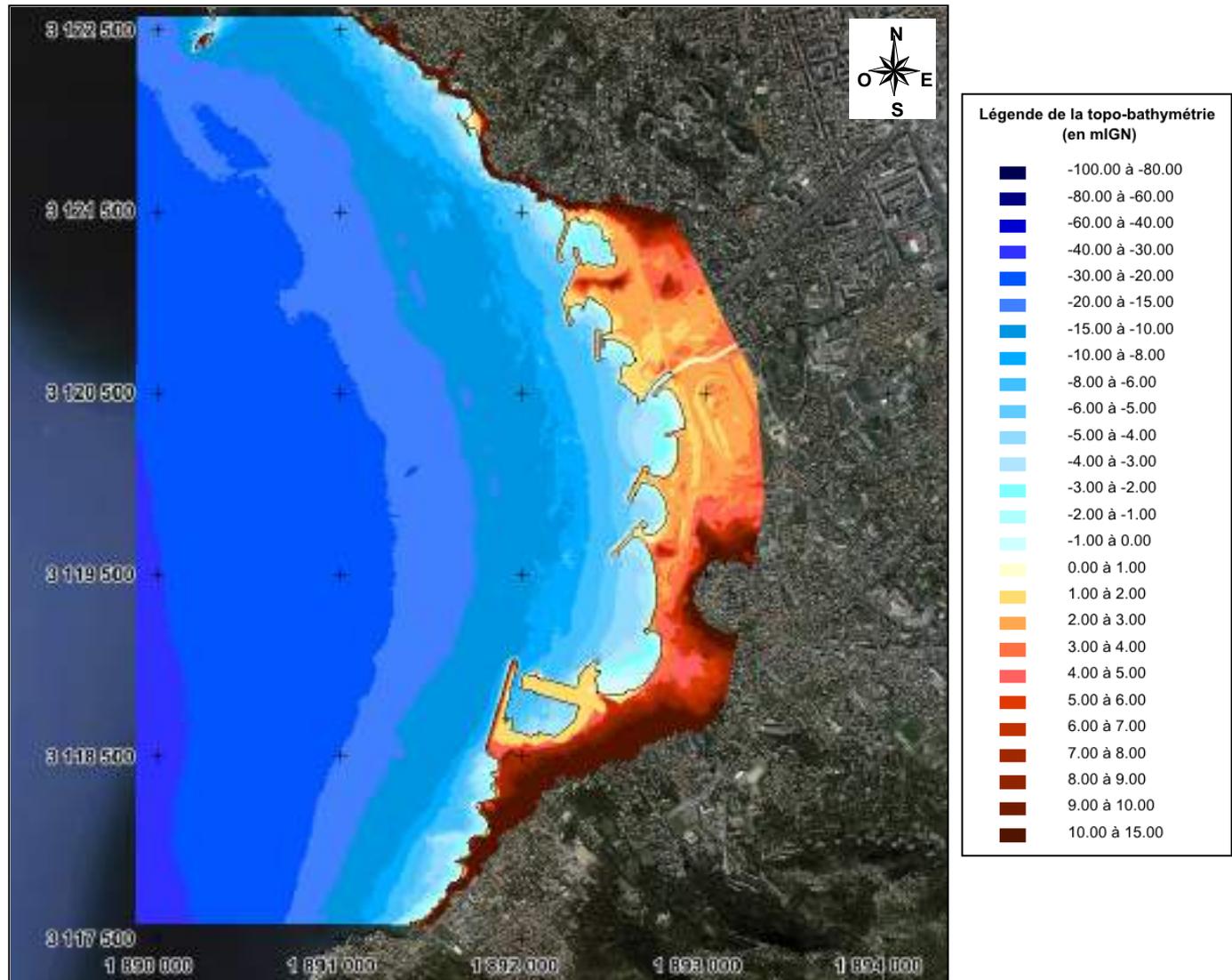
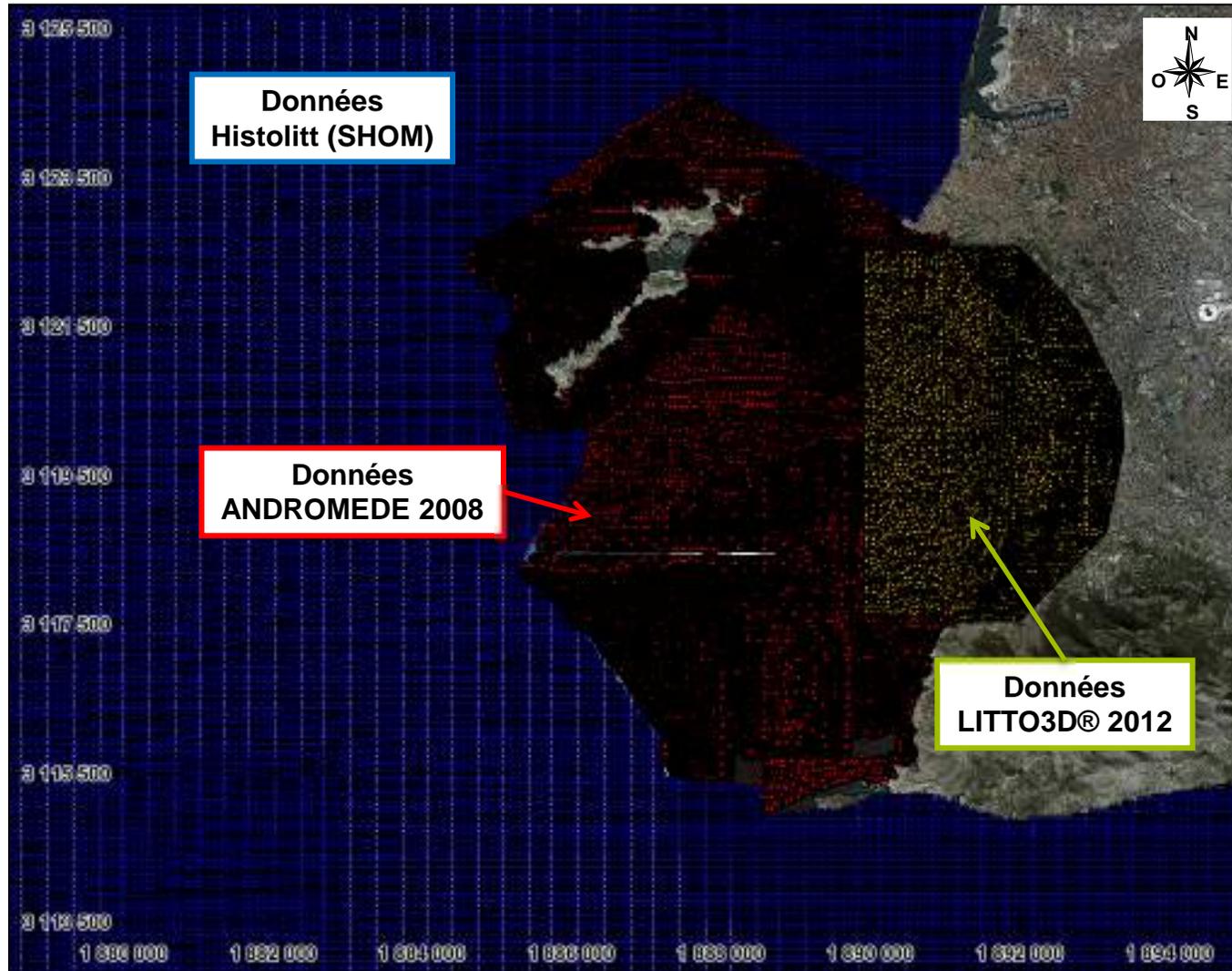


Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44

**Bathymétrie concaténée**  
**Données retenues**



*Image satellite Google Earth 03/2016*

*Coordonnées L93-CC44*

## Bathymétrie concaténée Résultat

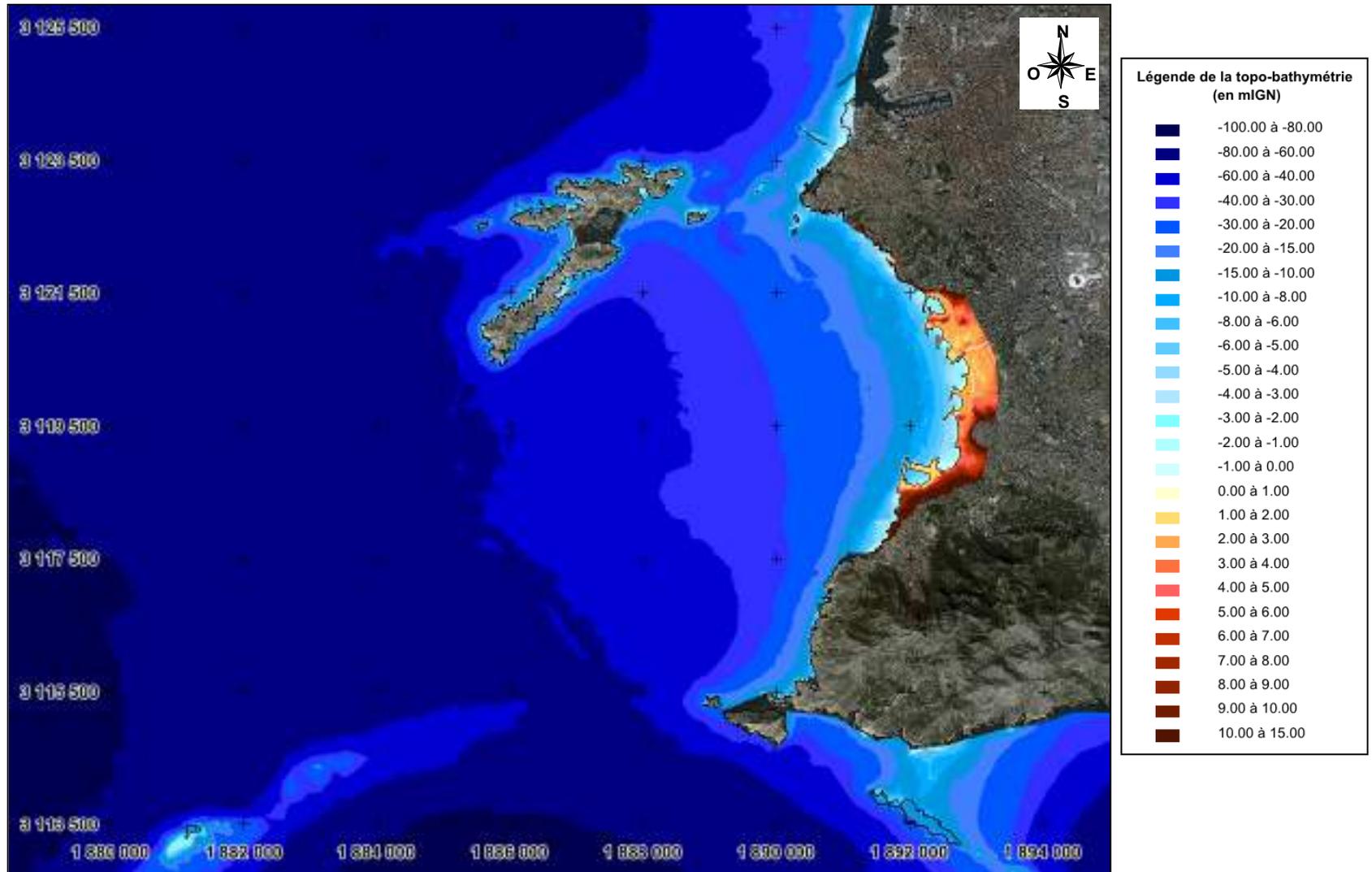
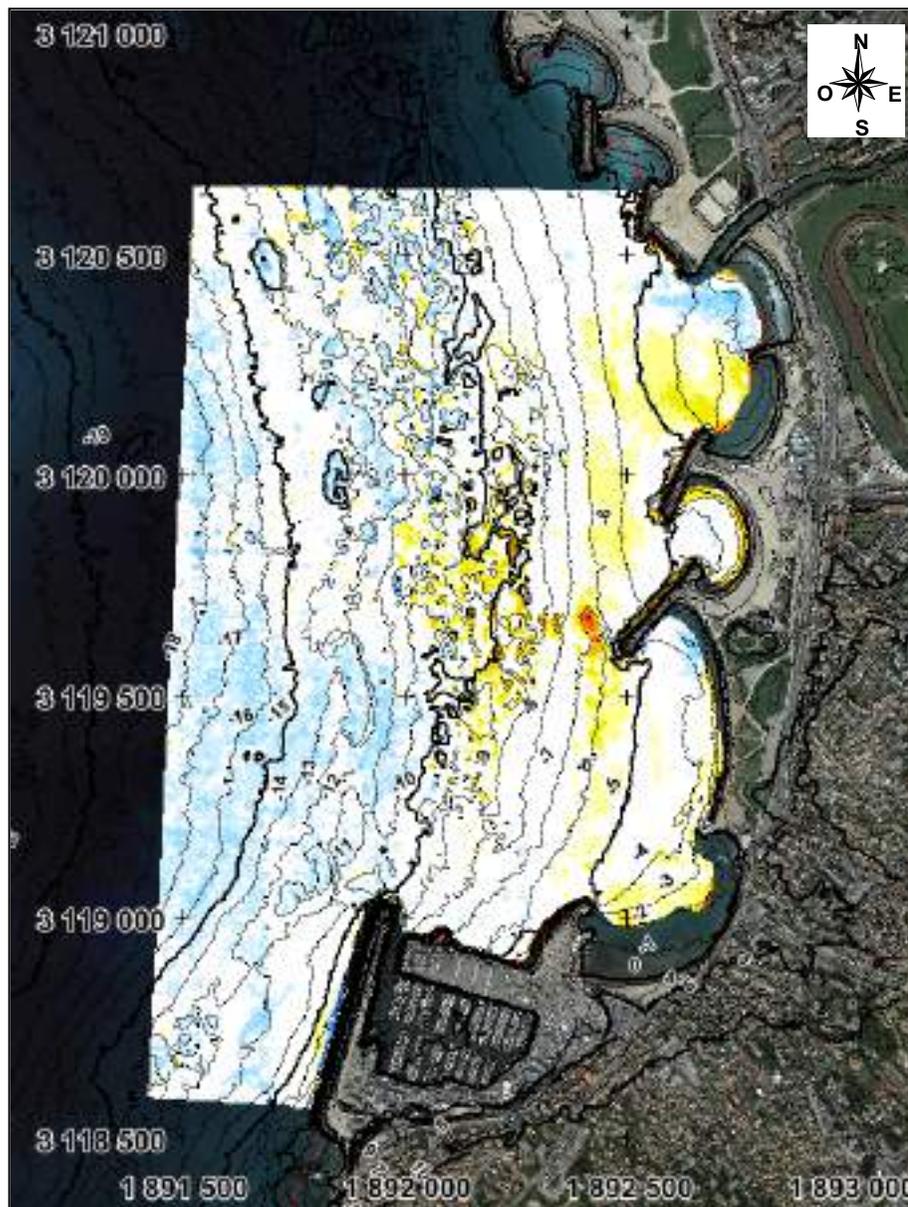


Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44

**Différentiel de bathymétrie  
entre 2012 et 2008**



**Légende de différentiel  
de bathymétrie (en m)**

■	-3.00 à -2.00
■	-2.00 à -1.50
■	-1.50 à -1.00
■	-1.00 à -0.75
■	-0.75 à -0.50
■	-0.50 à -0.30
■	-0.30 à -0.20
■	-0.20 à 0.20
■	0.20 à 0.30
■	0.30 à 0.50
■	0.50 à 0.75
■	0.75 à 1.00
■	1.00 à 1.50
■	1.50 à 2.00
■	2.00 à 3.00
■	3.00 à 4.00
■	4.00 à 5.00

Isobathes: Source Litto3D®

Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44

**Différentiel de bathymétrie  
entre 2012 et 2008**

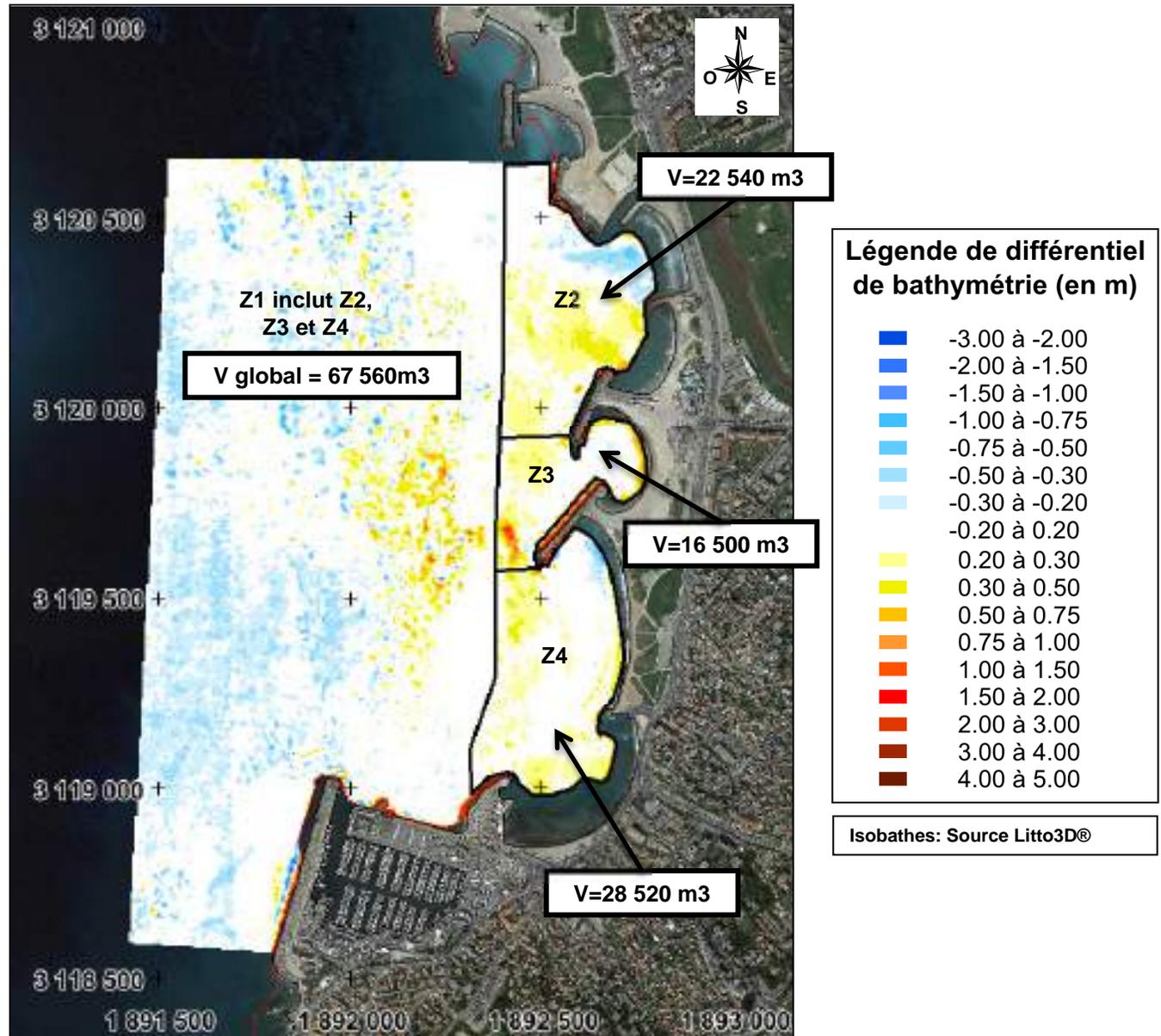


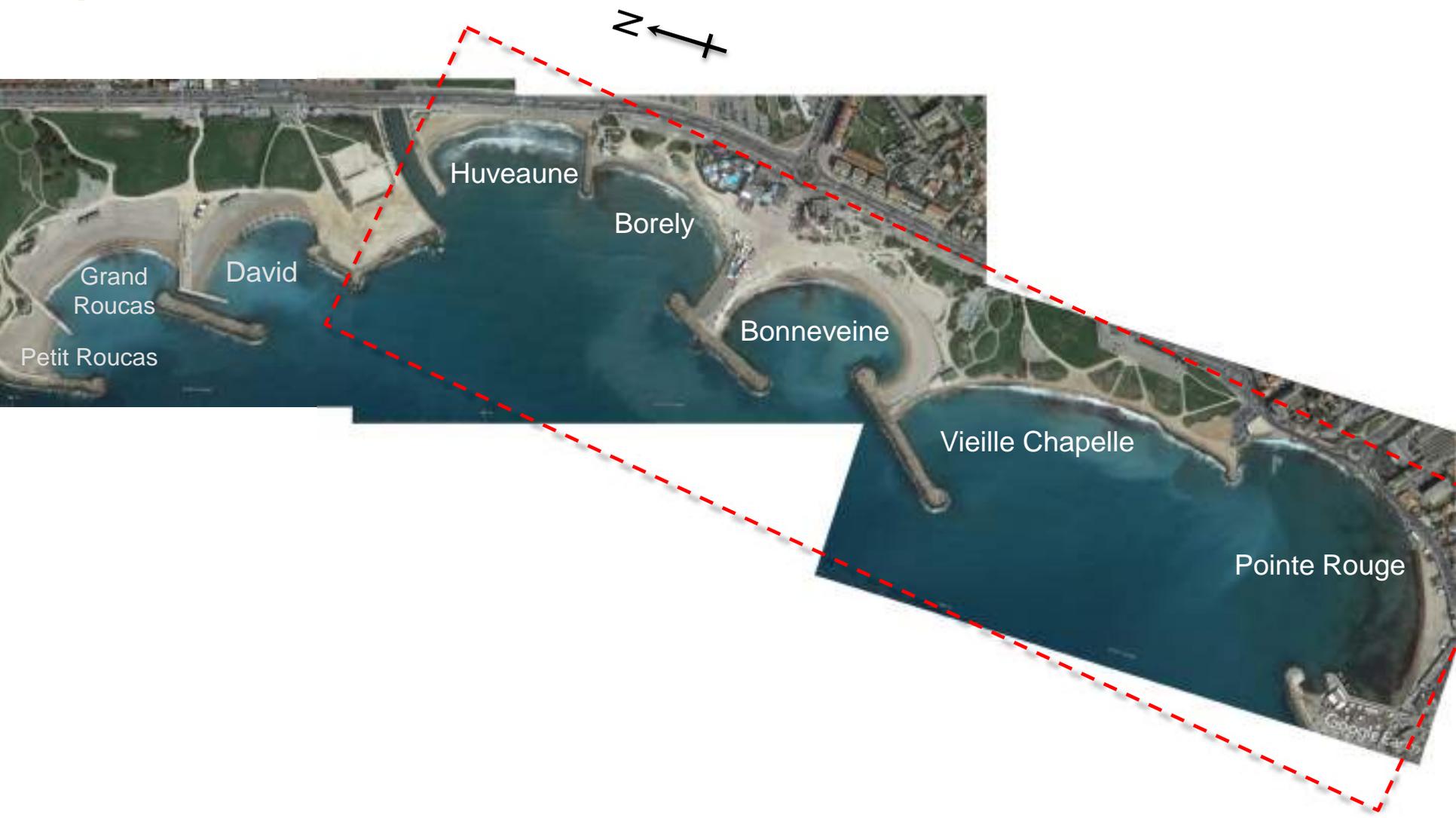
Image satellite Google Earth 03/2016

Coordonnées L93-CC44

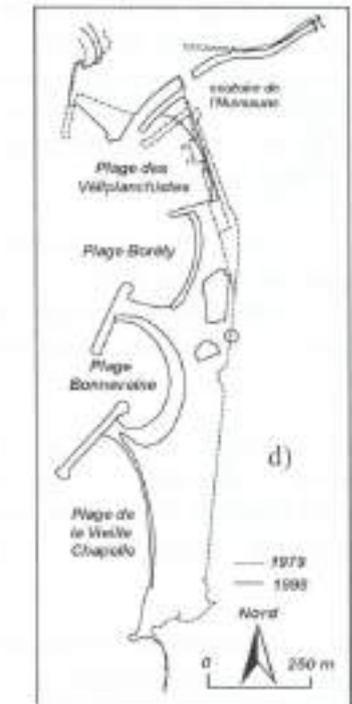
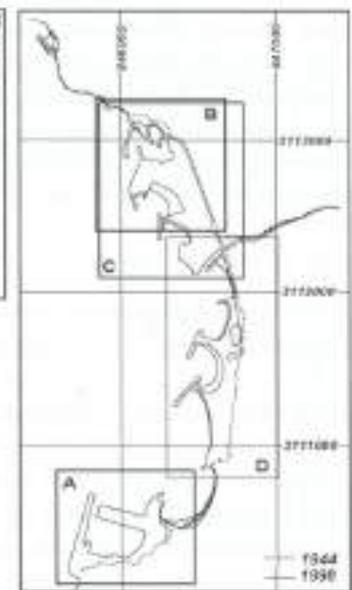
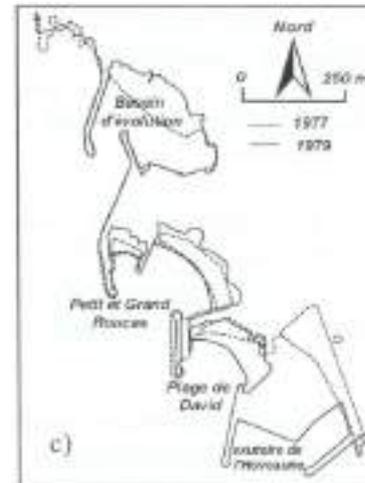
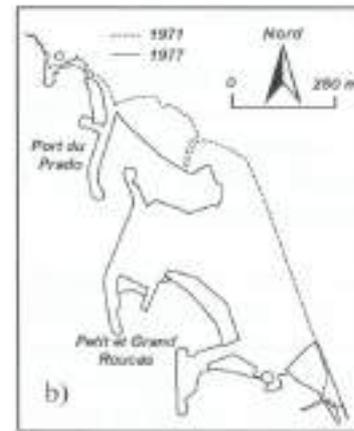
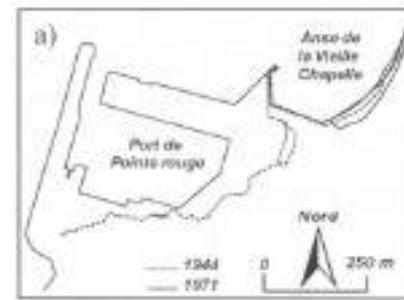
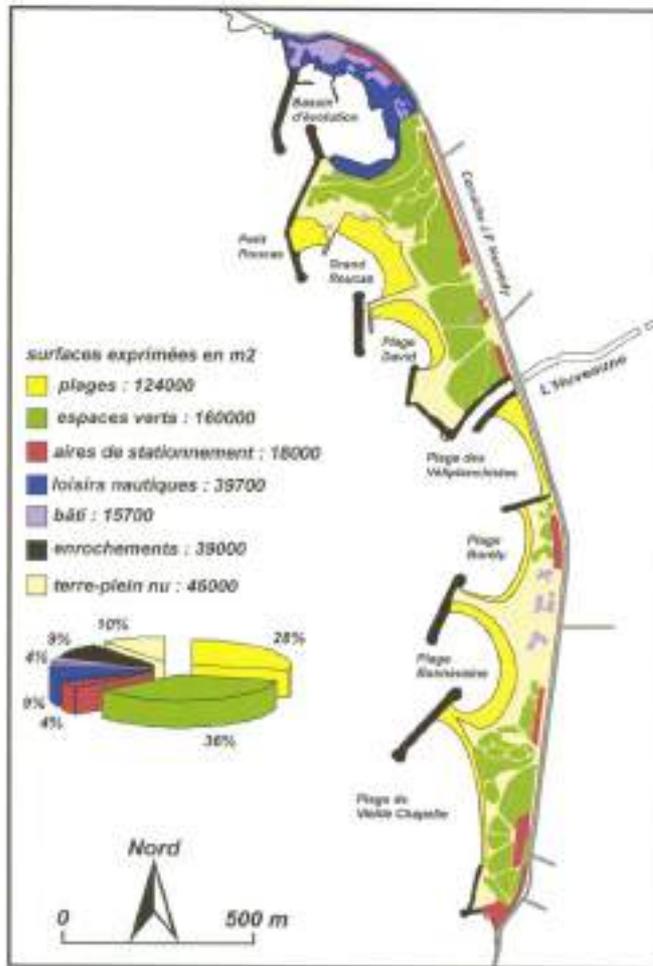


Annexe 06 – Photographies  
historiques du littoral et  
évolution du trait de côte

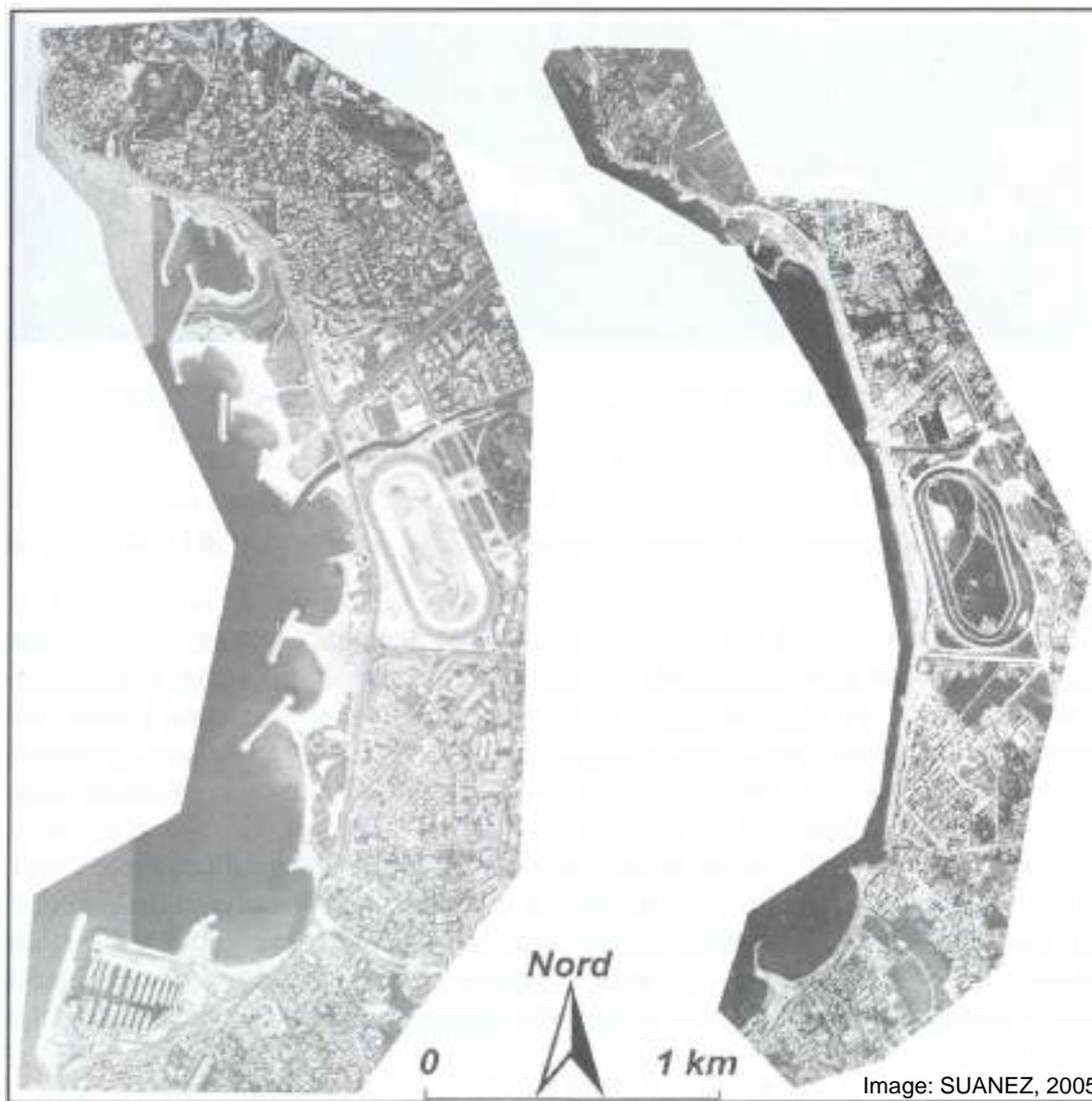
# Zone d'étude



# Etapas de la construction des plages urbaines du Prado (Suanez, 2005)



# Photographies aériennes / Images satellite



## Sources:

- IGN
- Google Earth

24-08-1977



27-09-1979



28-04-1984



27-07-1988



10-04-1991



15-07-1992



21-03-1999



14-05-2003



15-01-2004



23-08-2007



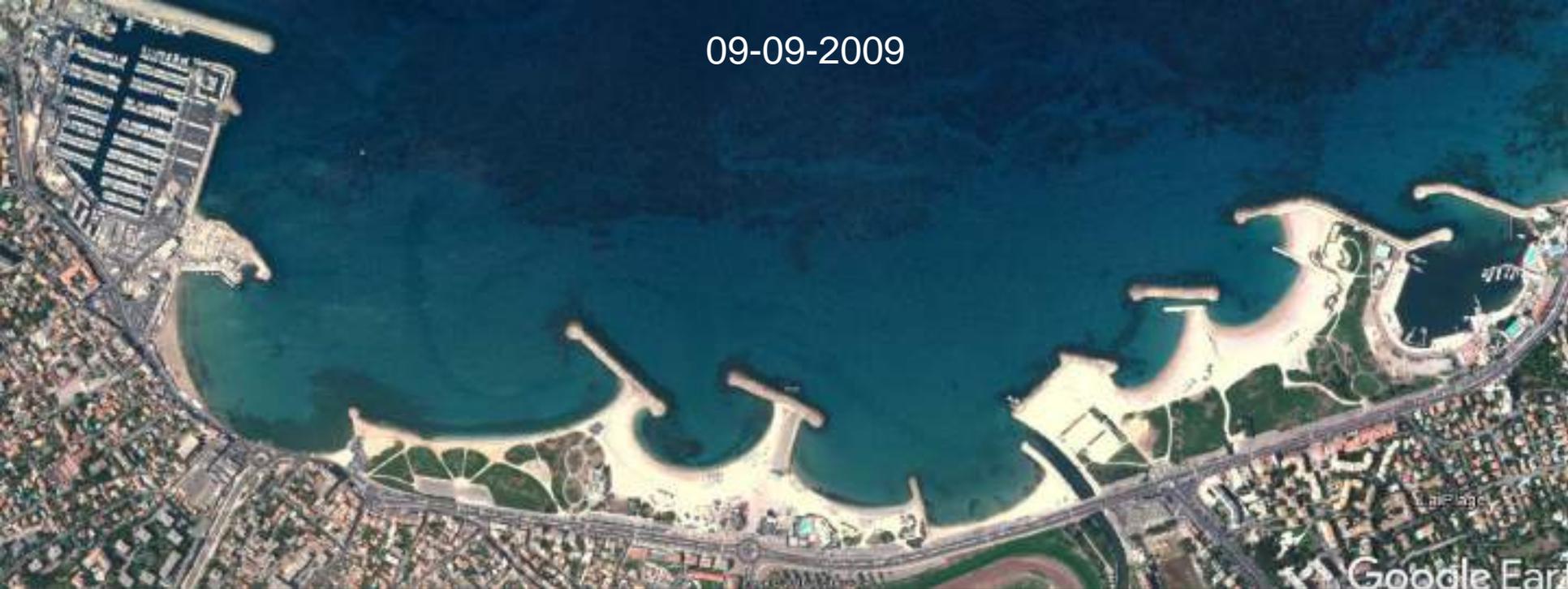
01-01-2008



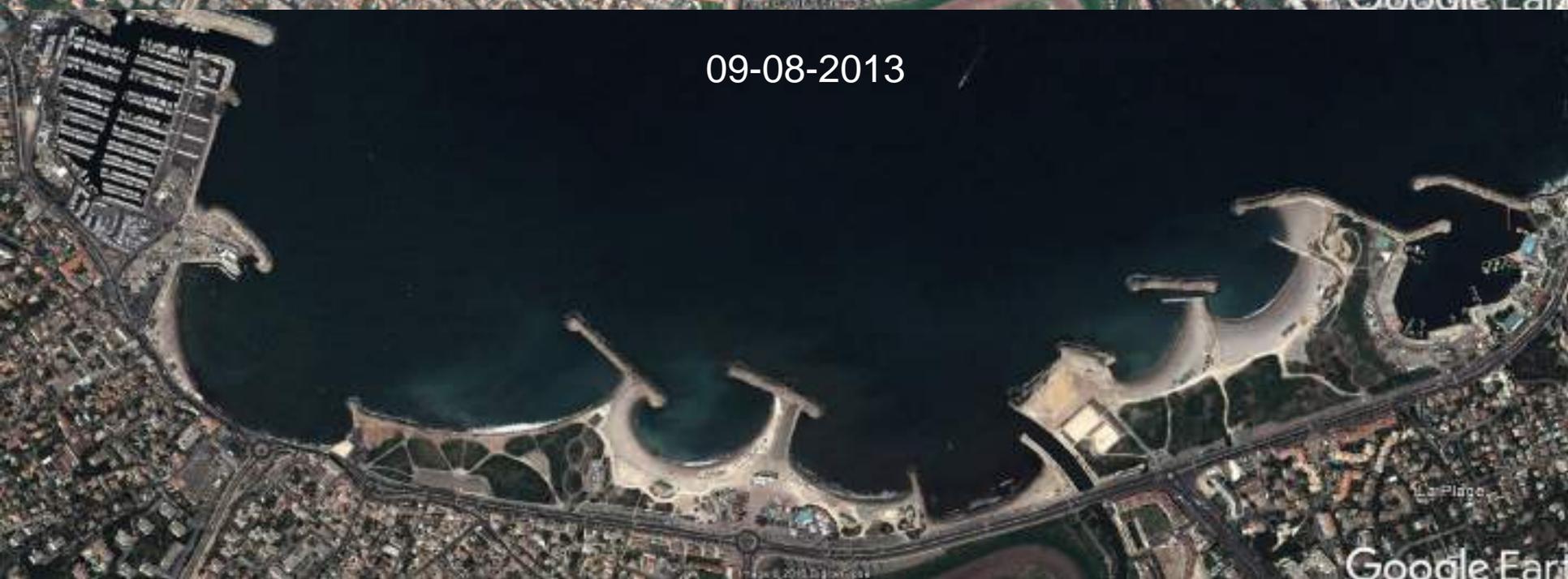
01-06-2008



09-09-2009



09-08-2013



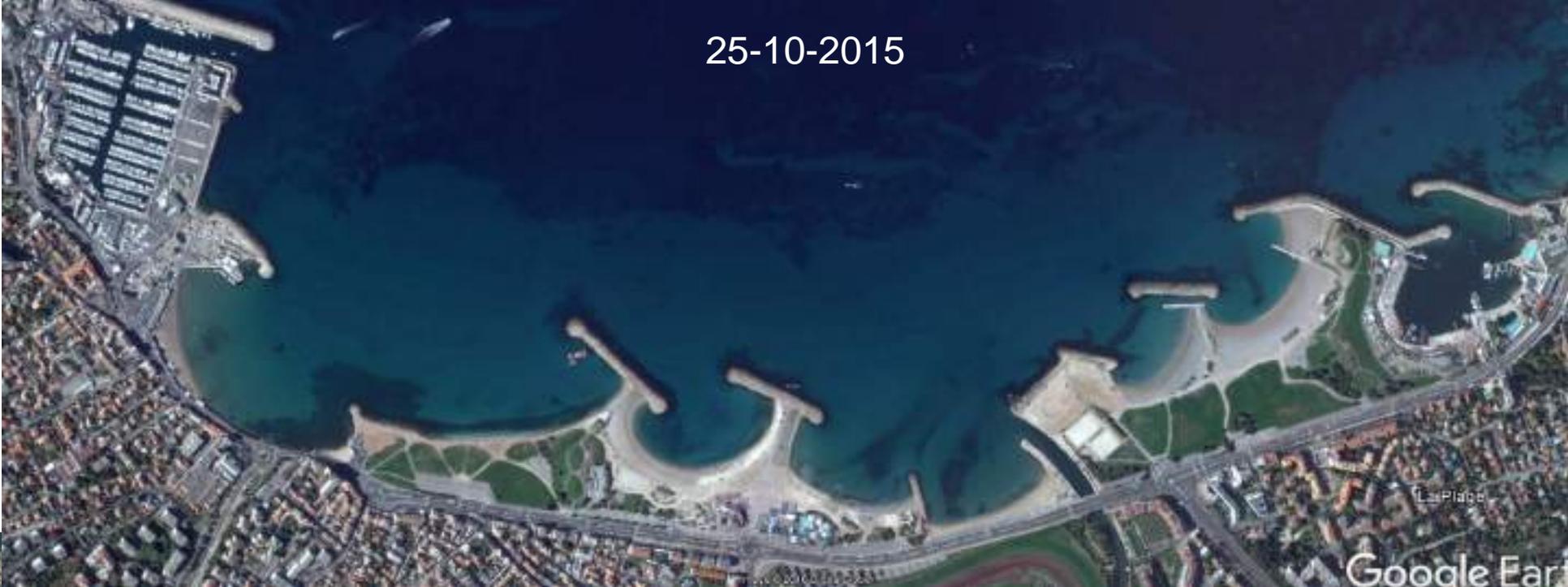
01-08-2014



25-06-2015



25-10-2015



24-03-2016



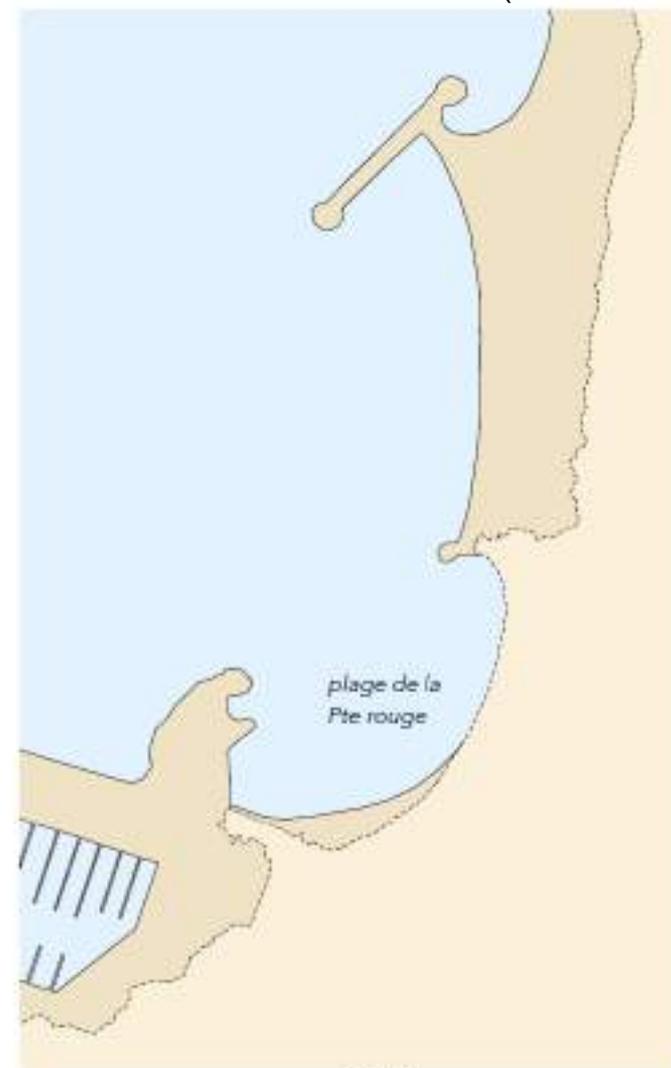
# Zoom sur la plage de Pointe Rouge

Modifications historique du paysage

(Source: ABF)



XVIII<sup>ème</sup> siècle



2015

## Le site et son histoire

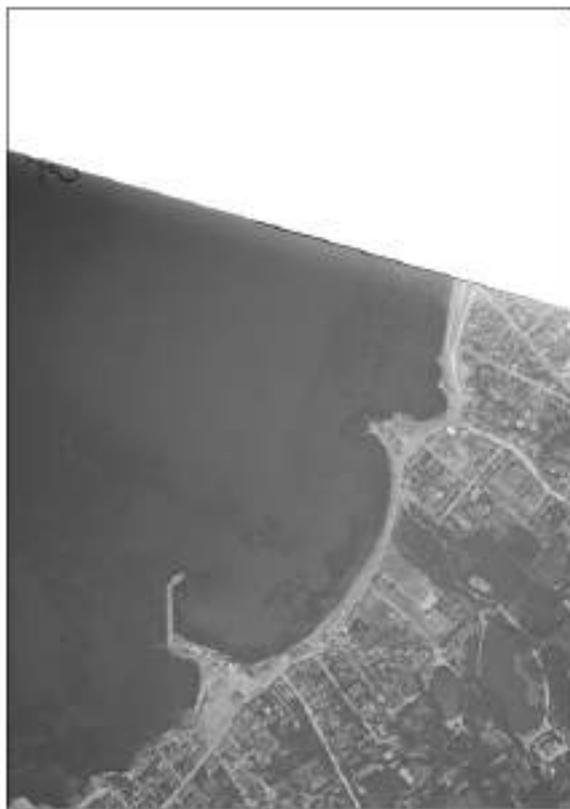
### Evolution du littoral



# Zoom sur la plage de Pointe Rouge

Avant guerre

(Source: ABF)



# Zoom sur la plage de Pointe Rouge

Après guerre

(Source: ABF)



# Zoom sur la plage de Pointe Rouge

(Source: ABF)

Aujourd'hui



# Zoom sur la plage de Pointe Rouge

(Source: ABF)

Vue de la plage depuis le quai actuellement ensablé



1965



2015

16-05-1957



01-03-1966



10-11-1969



01-01-1973



13-02-1975



24-08-1977



12-08-1978



27-09-1979



04-06-1983



28-04-1984



27-07-1988



10-04-1991





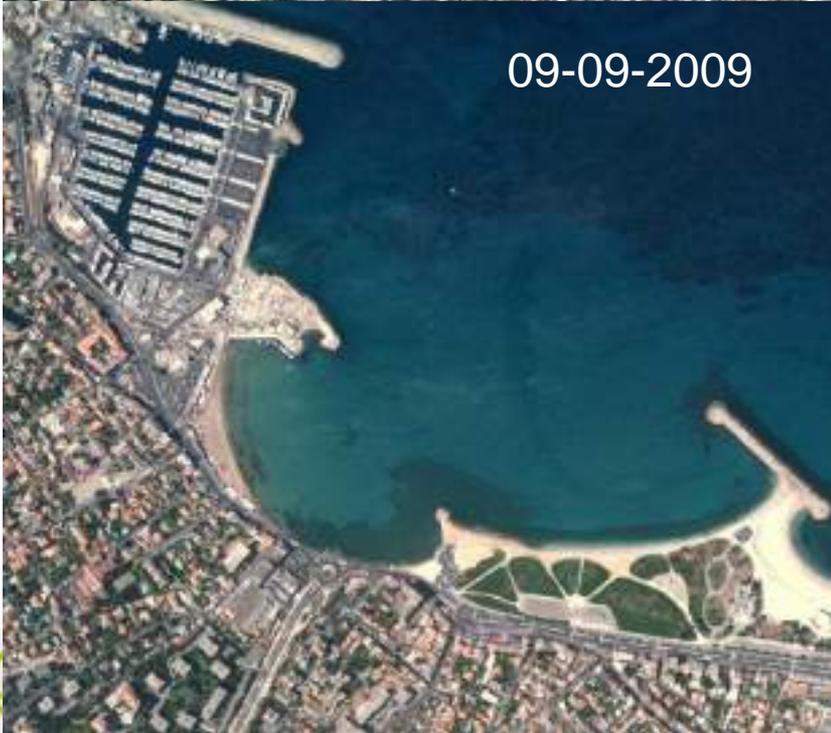
01-01-2008



01-06-2008



09-09-2009



09-08-2013



01-08-2014



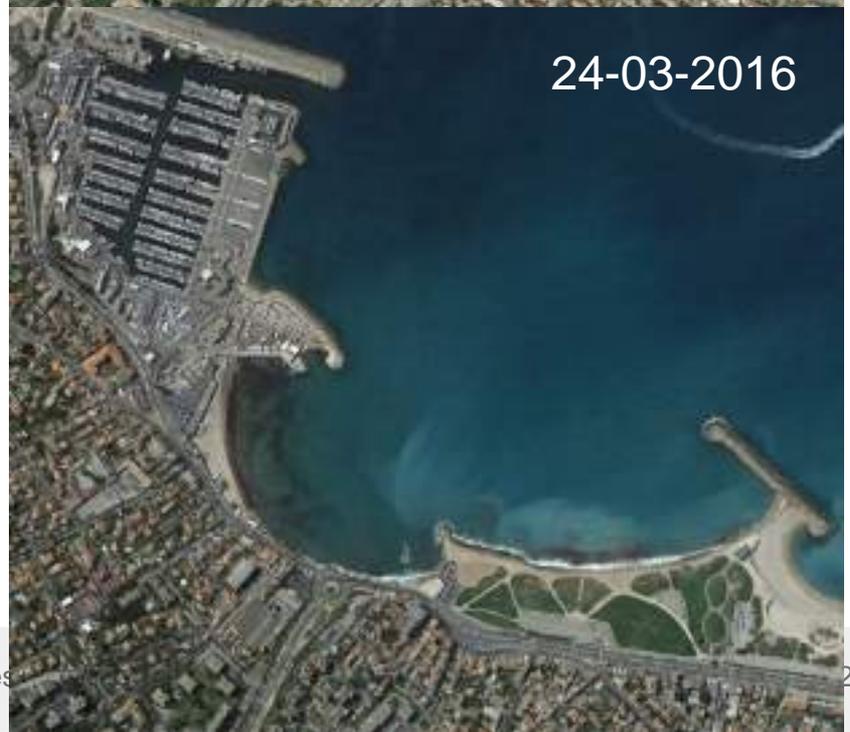
25-06-2015



25-10-2015



24-03-2016





Annexe 07 – Résultats du  
modèle sédimentaire  
SMC-MOPLA



Rappel des scénarios  
simulés

## Etats de mer au large de la zone de projet

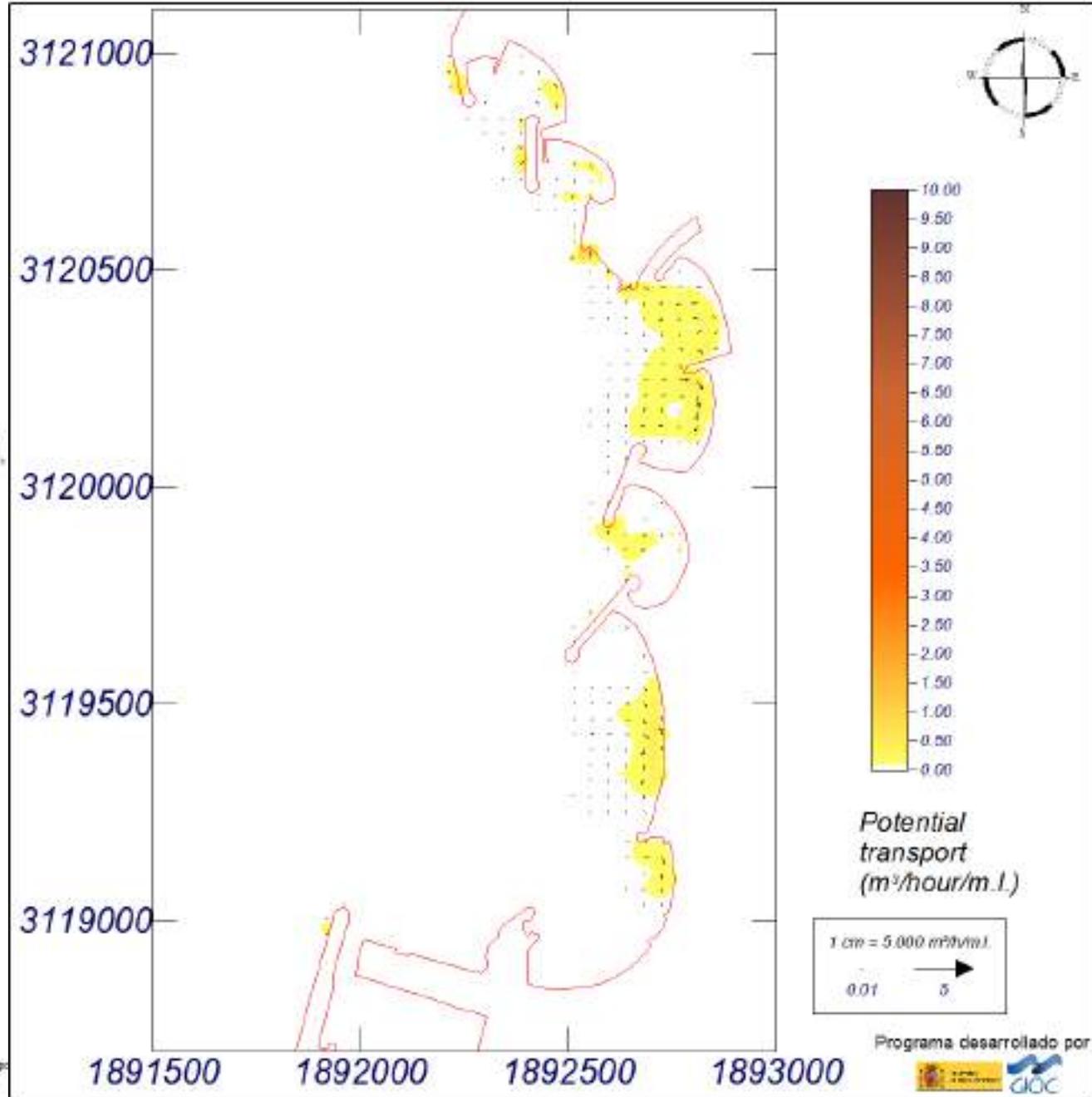
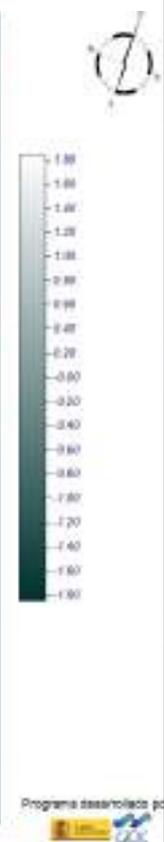
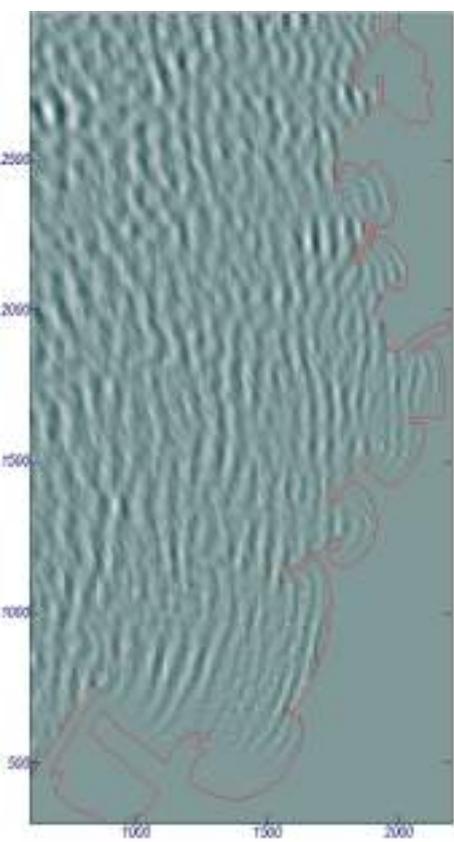
N° cas	Objectif	Période de retour	Dir.	Hm0 (m)	Tp (s)	Niveau d'eau (mNGF)
M1	Conditions usuelles modérées / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 mois	N235°	2,20	8,0	0,37
M2			N265°	2,20	7,0	
1	Conditions usuelles fortes / Appréhension de la dynamique littorale en tempête	1 an	N235°	3,50	10,0	0,70
2			N265°	3,20	9,0	



Transport sédimentaire  
potentiel induit par la houle  
(état actuel)

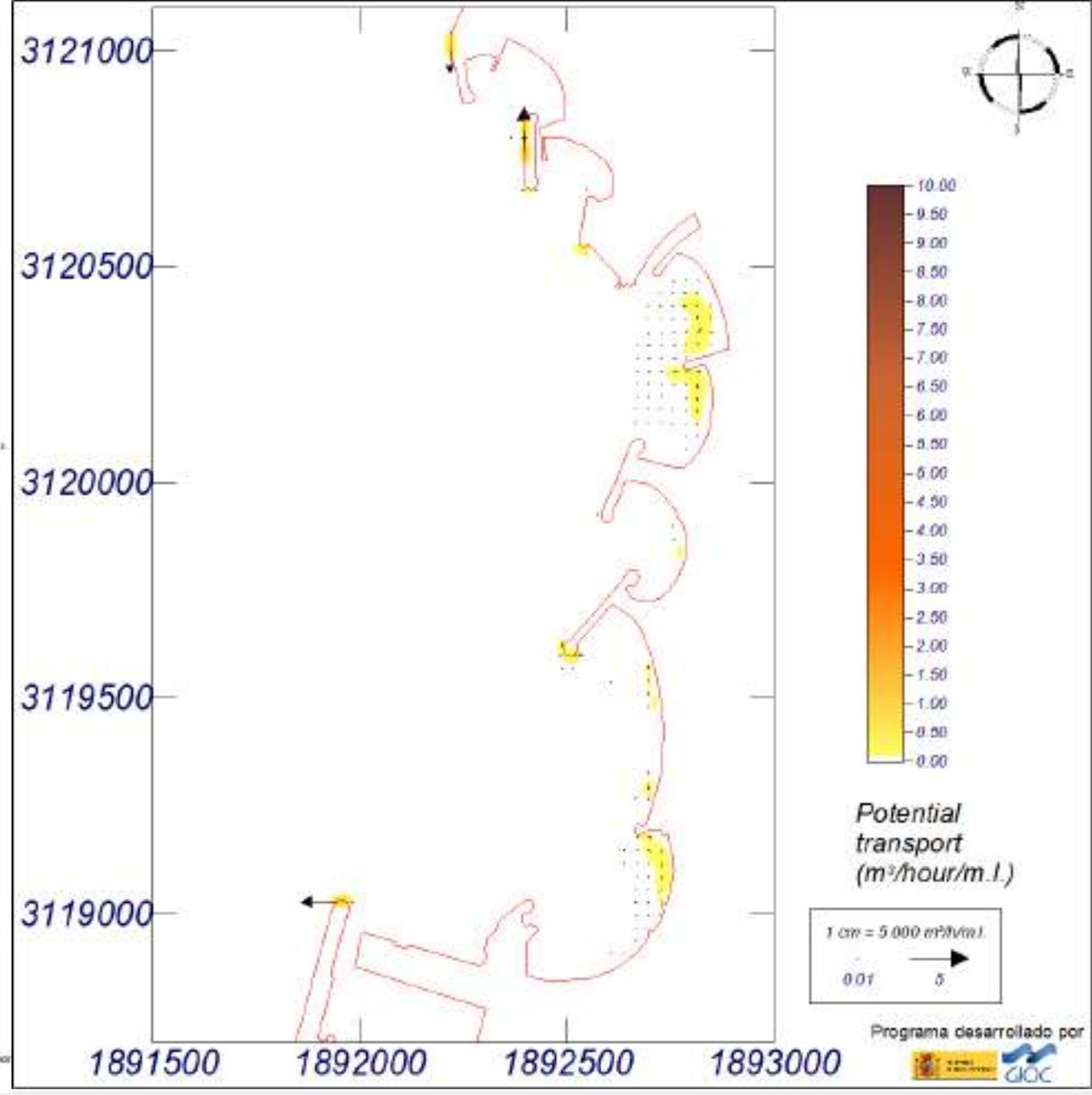
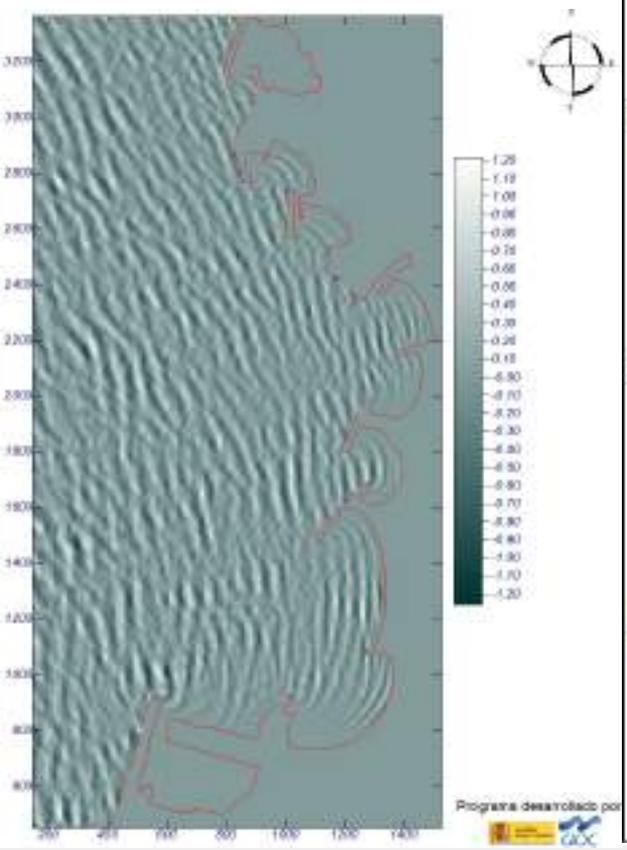
# Cas M1

Tr 1 mois / N235°  
Hm0 = 2,2m / Tp = 8,0s  
Niveau = +0,37mNGF  
D50 = 0,3mm



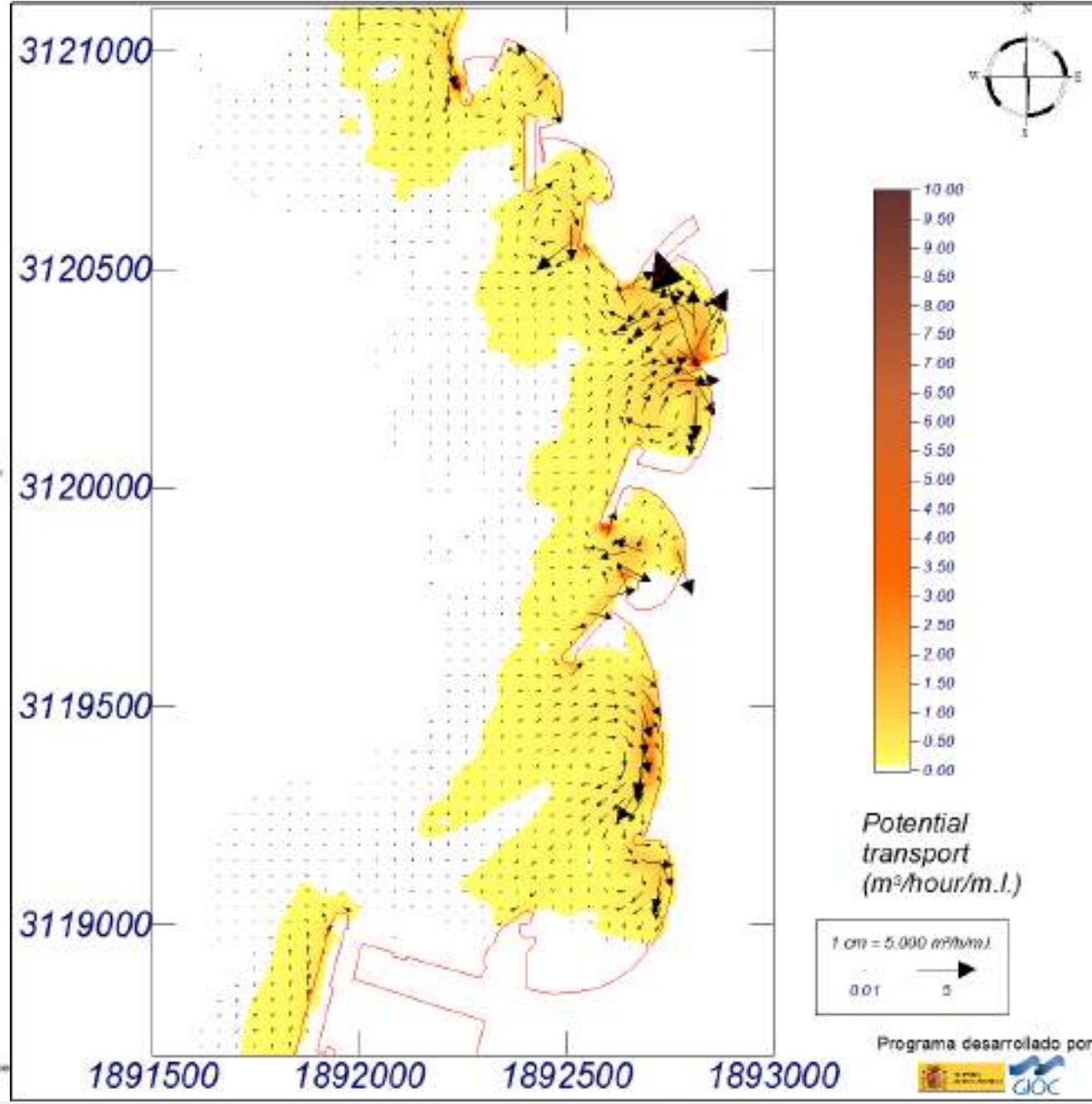
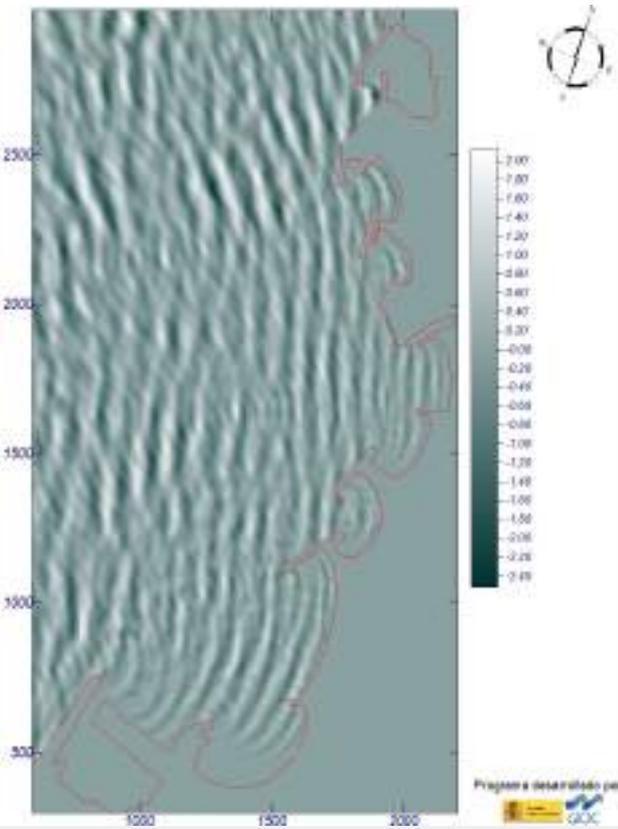
# Cas M2

Tr 1 mois / N265°  
Hm0 = 2,2m / Tp = 7,0s  
Niveau = +0,37mNGF  
D50 = 0,3mm



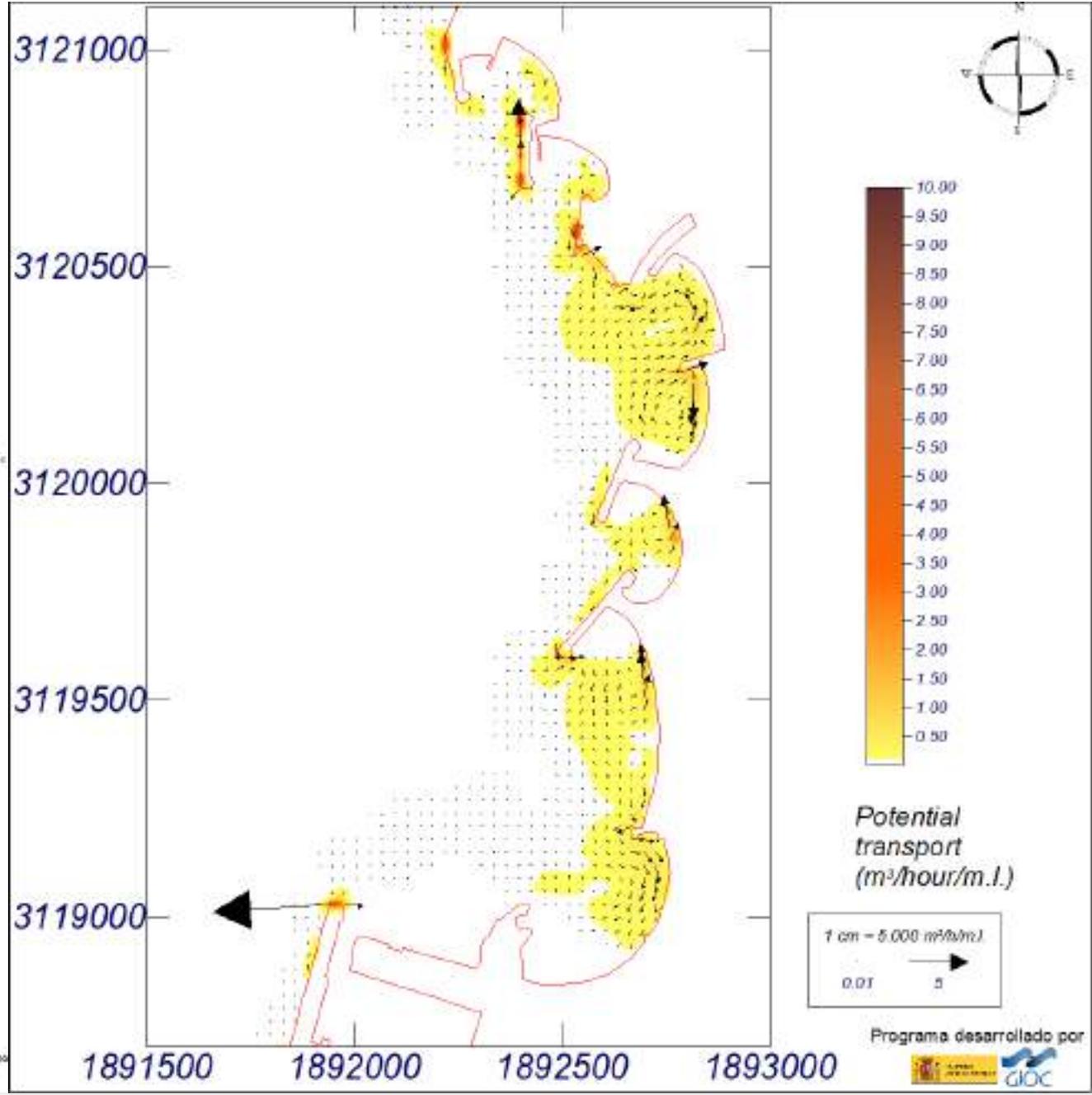
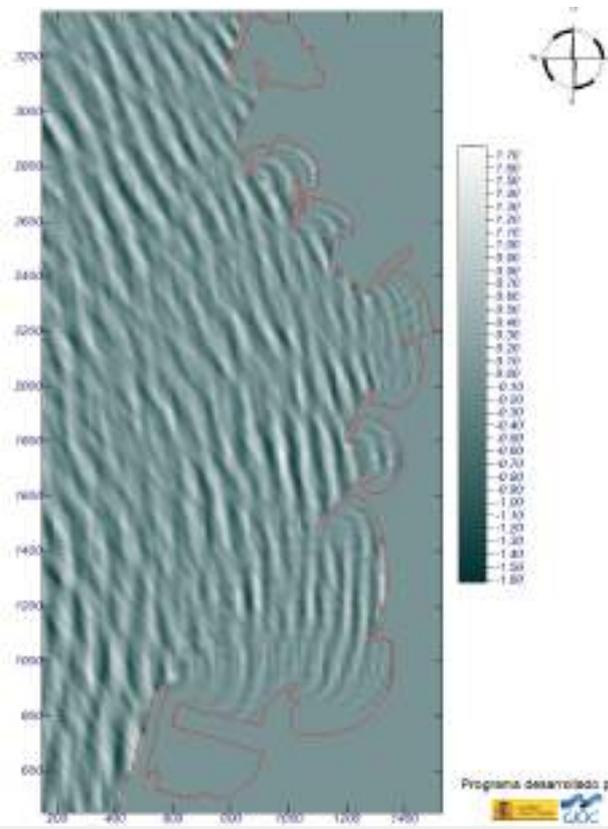
# Cas 1

Tr 1 an / N235°  
Hm0 = 3,5m / Tp = 10,0s  
Niveau = +0,70mNGF  
D50 = 0,3mm



# Cas 2

Tr 1 an / N265°  
Hm0 = 3,2m / Tp = 9,0s  
Niveau = +0,70mNGF  
D50 = 0,3mm





# Annexe 08 – Liste des évènements prévus en 2017 sur la zone d'étude

(document « Evènements 2017.pdf »)













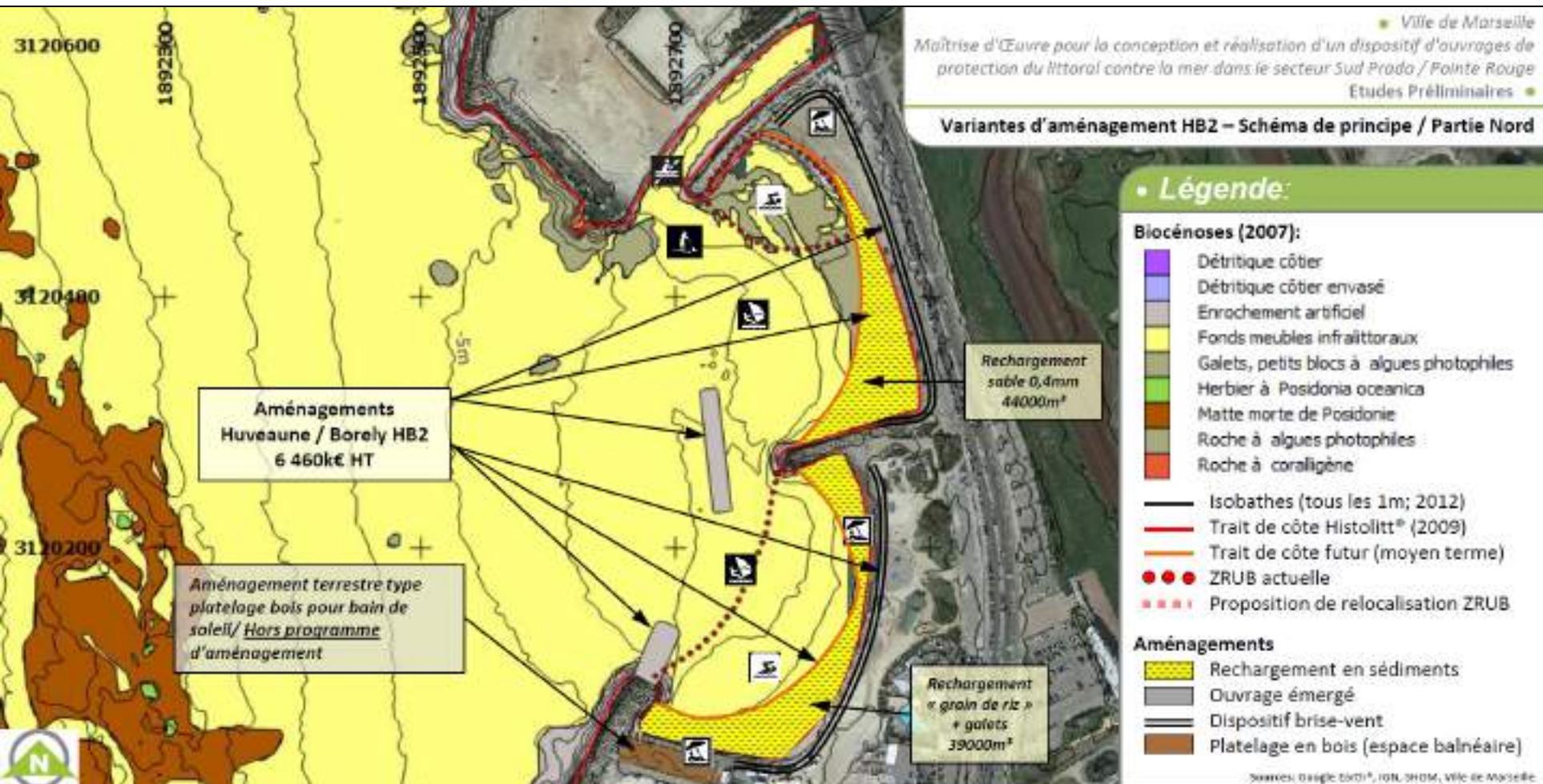




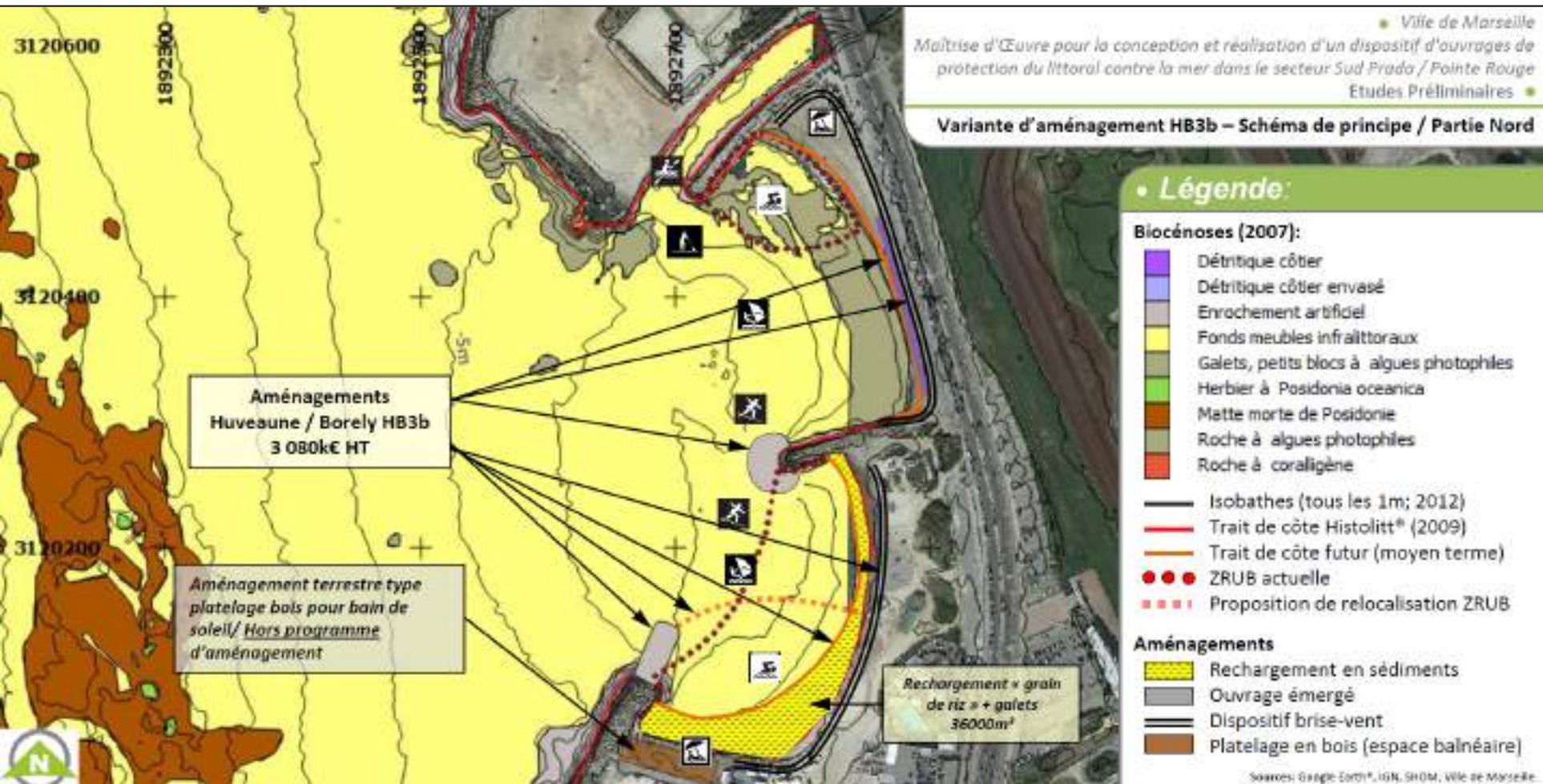


Annexe 09 – Variantes  
d'aménagement non  
intégrées aux scénarios  
proposés

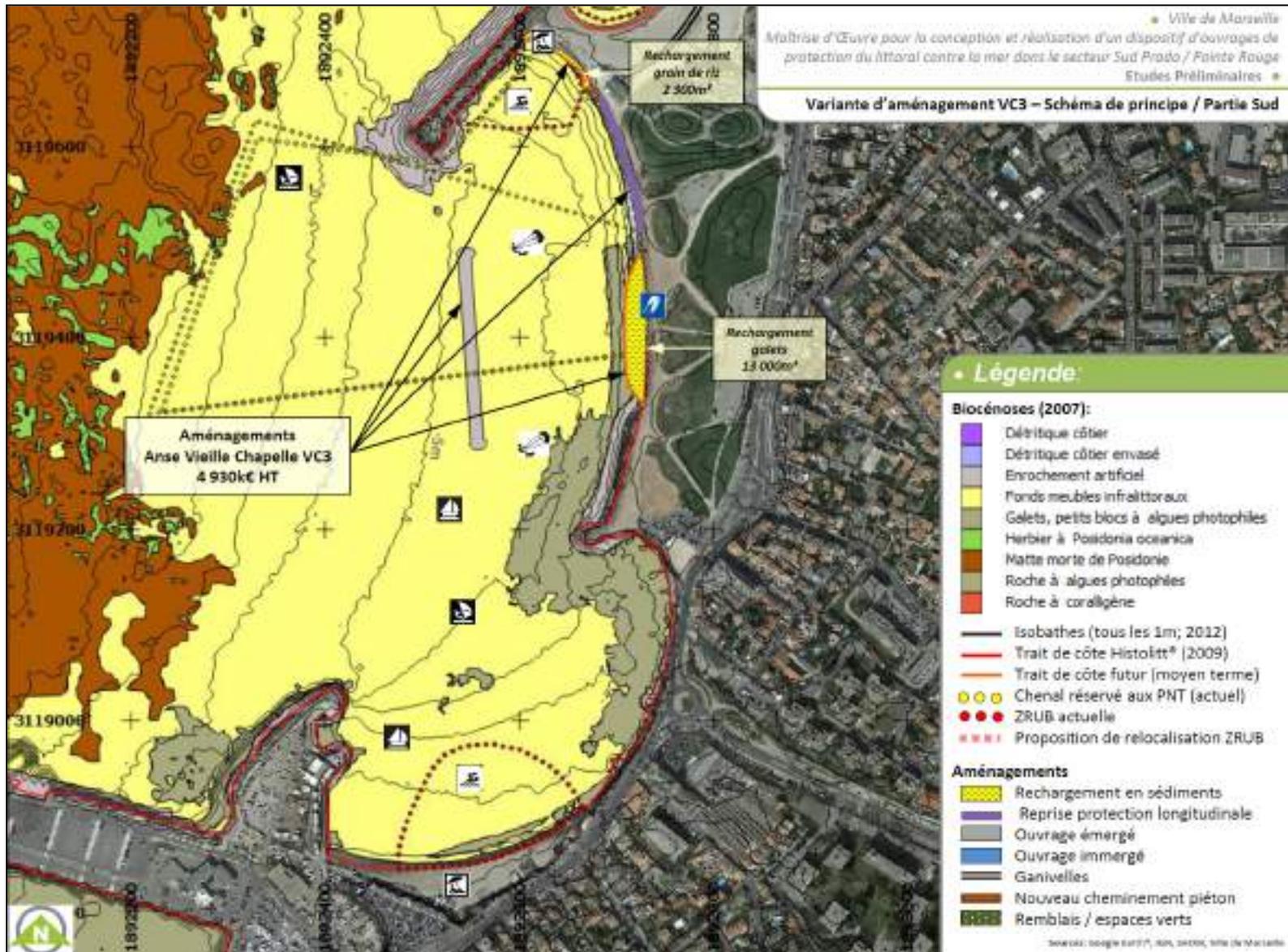
# Plages de l'Huveaune et Borely



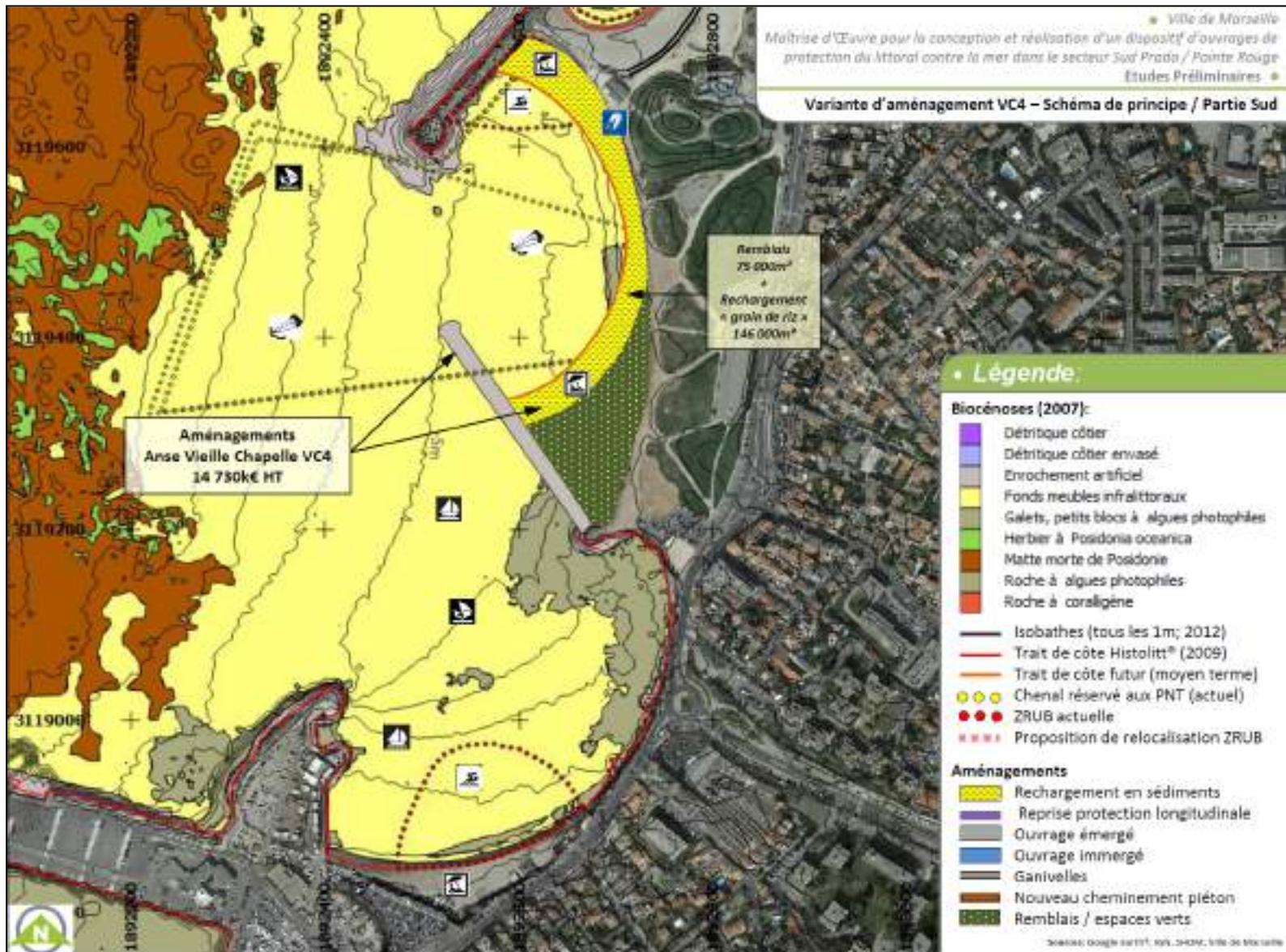
# Plages de l'Huveaune et Borely



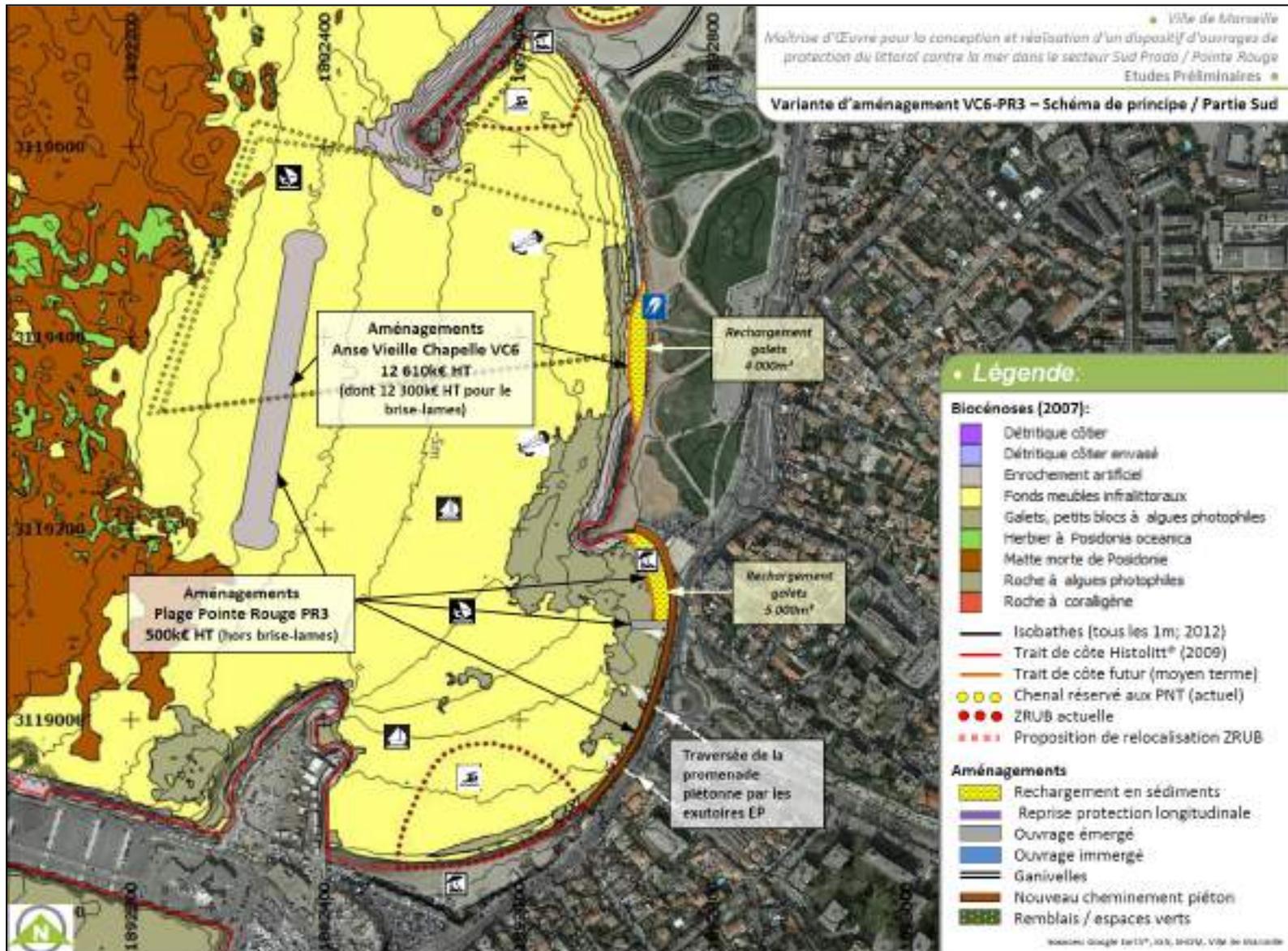
# Anse de la Vieille Chapelle et Pointe Rouge



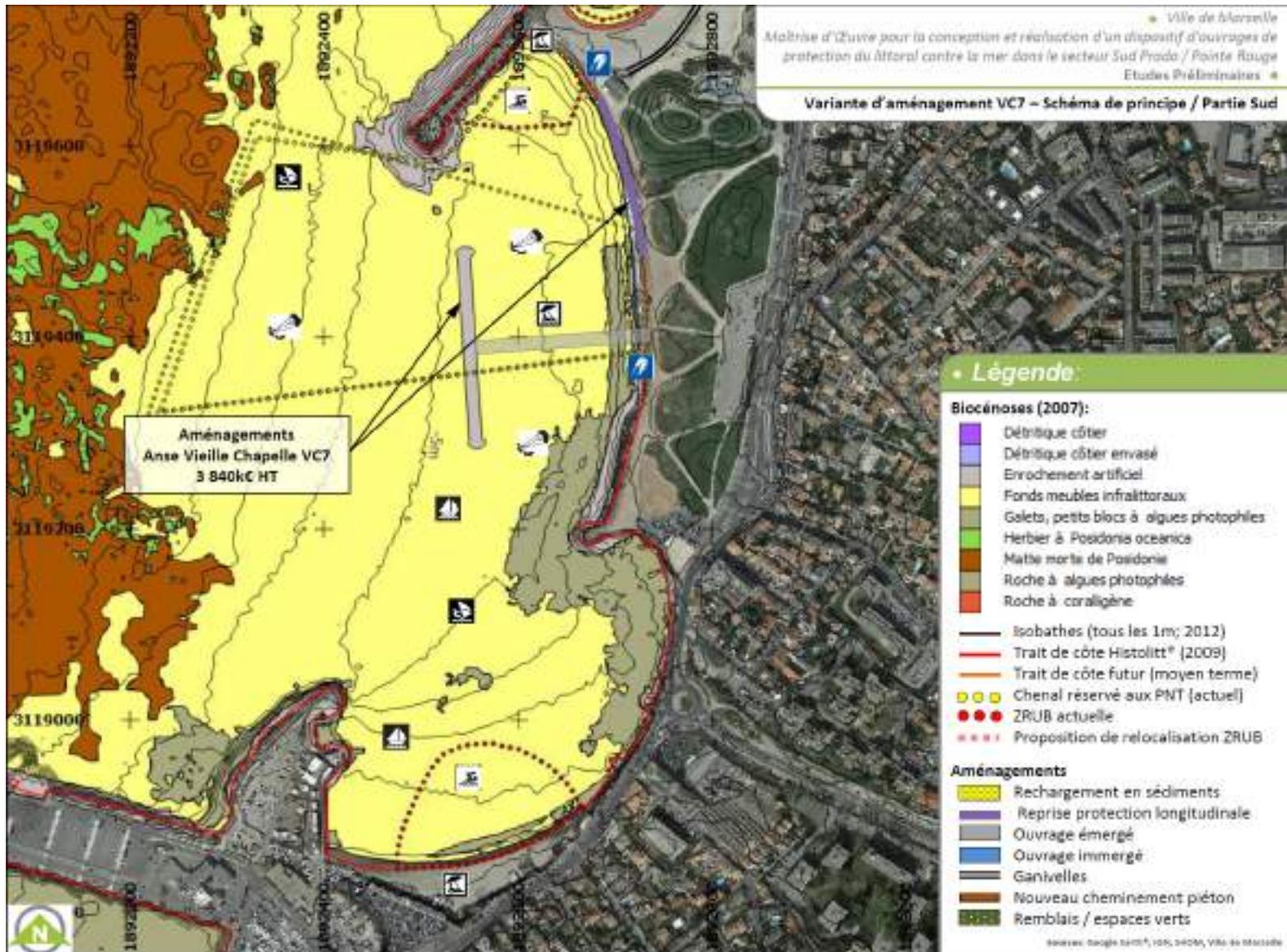
# Anse de la Vieille Chapelle et Pointe Rouge



# Anse de la Vieille Chapelle et Pointe Rouge



# Anse de la Vieille Chapelle et Pointe Rouge





Annexe 10 – Chiffrage  
estimatif des scénarios  
d'aménagement

Conception et réalisation d'un dispositif d'ouvrages de protection du littoral  
contre la mer dans le secteur Sud Prado / Pointe Rouge



Etudes préliminaires

SCENARIO 1

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
100	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB1</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1 500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Platelage bois sur enrochements	m³			Hors programme
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>45 300</b>
200	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV1</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Decapage sable/remblais zone nord	m³	400	7	2 800
204	Rechargement sable	m³	12100	50	605 000
205	Dépose du dispositif expérimental	Ft			Budget entretien
206	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>1 000 800</b>
300	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC1</u></b>				
301	Rehausse limite Bonneveine-Vieille Chapelle (galets)	m³	700	60	42 000
302	Reprise du haut de talus de la protection longitudinale en enrochements	ml	330	166	54 690
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>96 690</b>
400	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR4</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
402	Brise-lames	ml	90	4284	385 600
403	Epi au sud du rechargement en sable nord Pointe Rouge	m³	20	473	9 450
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>395 050</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>1 537 840</b>
	Divers et aléas		25%		384 460
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>1 920 000</b>

Etudes préliminaires

**SCENARIO 2**

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
<b>100</b>	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB1</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1 500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Platelage bois sur enrochements	m³			Hors programme
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>45 300</b>
<b>200</b>	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV1</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Decapage sable/remblais zone nord	m³	400	7	2 800
204	Rechargement sable	m³	12100	50	605 000
205	Dépose du dispositif expérimental	Ft			Budget entretien
206	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>1 000 800</b>
<b>300</b>	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC2</u></b>				
301	Rehausse limite Bonneveine-Vieille Chapelle (galets)	m³	700	60	42 000
302	Reprise complète protection longitudinale en enrochements	ml	330	1397	461 100
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>503 100</b>
<b>400</b>	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR4</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
402	Brise-lames	ml	90	4284	385 600
403	Epi au sud du rechargement en sable nord Pointe Rouge	m³	20	473	9 450
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>395 050</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>1 944 250</b>
	<b>Divers et aléas</b>		<b>25%</b>		<b>486 063</b>
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>2 430 000</b>

Etudes préliminaires

**SCENARIO 3**

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
<b>100</b>	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB4</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Extension Brise-lames Borely	ml	50	7611	380 550
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>425 850</b>
<b>200</b>	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV1</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Decapage sable/remblais zone nord	m³	400	7	2 800
204	Rechargement sable	m³	12100	50	605 000
205	Dépose du dispositif expérimental	Ft			Budget entretien
206	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>1 000 800</b>
<b>300</b>	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC1</u></b>				
301	Rehausse limite Bonneveine-Vieille Chapelle (galets)	m³	700	60	42 000
302	Reprise du haut de talus de la protection longitudinale en enrochements	ml	330	166	54 690
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>96 690</b>
<b>400</b>	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR4</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
402	Brise-lames	ml	90	4284	385 600
403	Epi au sud du rechargement en sable nord Pointe Rouge	m³	20	473	9 450
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>395 050</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>1 918 390</b>
	<b>Divers et aléas</b>		<b>25%</b>		<b>479 597</b>
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>2 400 000</b>

Etudes préliminaires

**SCENARIO 4**

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
<b>100</b>	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB3</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Récif artificiel (stade de glisse)	m³			Hors programme
105	Extension Brise-lames Borely	ml	50	7611	380 550
106	Rechargement sable Borely	m³	35700	50	1 785 000
107	Dépose des enrochements de protection en partie Sud	ml	110	220	24 167
108	Platelage bois sur plateforme béton	m²			Hors programme
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>2 235 017</b>
<b>200</b>	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV1</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Decapage sable/remblais zone nord	m³	400	7	2 800
204	Rechargement sable	m³	12100	50	605 000
205	Dépose du dispositif expérimental	Ft			Budget entretien
206	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>1 000 800</b>
<b>300</b>	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC1</u></b>				
301	Rehausse limite Bonneveine-Vieille Chapelle (galets)	m³	700	60	42 000
302	Reprise du haut de talus de la protection longitudinale en enrochements	ml	330	166	54 690
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>96 690</b>
<b>400</b>	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR1</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>0</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>3 332 507</b>
	Divers et aléas		25%		833 127
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>4 170 000</b>

Etudes préliminaires

**SCENARIO 5**

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
<b>100</b>	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB1</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Platelage bois sur enrochements	m²			Hors programme
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>45 300</b>
<b>200</b>	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV3</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>393 000</b>
<b>300</b>	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC1</u></b>				
301	Rehausse limite Bonneveine-Vieille Chapelle (galets)	m³	700	60	42 000
302	Reprise du haut de talus de la protection longitudinale en enrochements	ml	330	166	54 690
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>96 690</b>
<b>400</b>	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR2</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
402	Brise-lames	ml	90	4284	385 600
403	Rechargement sable nord Pointe Rouge	m³	55000	50	2 750 000
404	Epi au sud du rechargement en sable nord Pointe Rouge	m³	20	473	9 450
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>3 145 050</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>3 680 040</b>
	<b>Divers et aléas</b>		<b>25%</b>		<b>920 010</b>
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>4 600 000</b>

Etudes préliminaires

**SCENARIO 6**

	DESIGNATION DES PRIX	U	QUANTITE	PU HT	MONTANT HT
<b>100</b>	<b><u>PLAGES DE L'HUVEAUNE ET BORELY : HB3</u></b>				
101	Dispositif brise-vent	ml	665	20	13 300
102	Panneaux d'information	u	4	1500	6 000
103	Reprise enrochements parking Huveaune	ml	130	200	26 000
104	Récif artificiel (stade de glisse)	m³			Hors programme
105	Extension Brise-lames Borely	ml	50	7611	380 550
106	Rechargement sable Borely	m³	35700	50	1 785 000
107	Dépose des enrochements de protection en partie Sud	ml	110	220	24 167
108	Platelage bois sur plateforme béton	m²			Hors programme
	<b>TOTAL HUVEAUNE-BORELY (hors divers et aléas)</b>				<b>2 235 017</b>
<b>200</b>	<b><u>PLAGE DE BONNEVEINE : BV2</u></b>				
201	Dispositif brise-vent	ml	250	20	5 000
202	Panneaux d'information	u	2	1500	3 000
203	Decapage sable/remblais zone nord	m³	9100	7	63 700
204	Rechargement sable	m³	23100	50	1 155 000
205	Dépose du dispositif expérimental	ml			Budget entretien
206	Butée sous-marine en enrochements	ml	125	3080	385 000
	<b>TOTAL BONNEVEINE (hors divers et aléas)</b>				<b>1 611 700</b>
<b>300</b>	<b><u>ANSE DE LA VIEILLE CHAPELLE : VC5</u></b>				
301	Brise-lames sans deconstruction de la piste provisoire	ml	210	13525	2 840 250
302	Remblai à l'arrière des nouvelles plages	m³	45000	30	1 350 000
303	Rechargement massif en sable des nouvelles plages	m³	186000	50	9 300 000
	<b>TOTAL VIEILLE CHAPELLE (hors divers et aléas)</b>				<b>13 490 250</b>
<b>400</b>	<b><u>ANSE DE POINTE ROUGE : PR2</u></b>				
401	Cheminement piétonnier avec dévoiement réseaux EP	ml			Hors programme
402	Brise-lames	ml	90	4284	385 600
403	Rechargement sable nord Pointe Rouge	m³	55000	50	2 750 000
404	Epi au sud du rechargement en sable nord Pointe Rouge	m³	20	473	9 450
	<b>TOTAL POINTE ROUGE (hors divers et aléas)</b>				<b>3 145 050</b>
	<b>TOTAL HT TRAVAUX</b>				<b>20 482 017</b>
	<b>Divers et aléas</b>		<b>25%</b>		<b>5 120 504</b>
	<b>MONTANT TOTAL ARRONDI HT y compris Divers et aléas</b>				<b>25 600 000</b>



- Études générales
- Assistance au Maître d'Ouvrage
- Maîtrise d'œuvre conception
- Maîtrise d'œuvre travaux
- Formation

Egis Siège social  
15 Avenue du Centre  
CS20538 GUYANCOURT  
78286 SAINT QUENTIN EN YVELINES  
Tél. : 01 39 41 40 00  
<http://www.egis.fr>