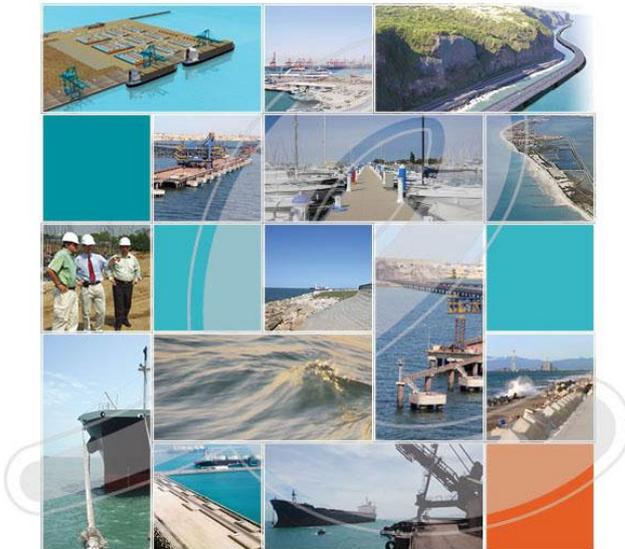




Etude de faisabilité de la sécurisation des étiers des Coëfs et de l'Arceau et du port de Noirmoutier

Etude hydrosédimentaire



**Rapport
provisoire**

Mai 2014

EP 131237M

Informations qualité

Titre du projet	Etude de faisabilité de la sécurisation des étiers des Coëfs et de l'Arceau et du port de Noirmoutier
Titre du document	Etude hydrosédimentaire
Date	Mai 2014
Auteur(s)	C.Lequette, F.Gouery
N° Affaire	EP131237M

Contrôle qualité

Version	Date	Rédigé par	Visé par :
V0	07/05/14	C. Lequette, F. Gouery	
V1	28/05/14	C. Lequette, F. Gouery	J. Piallat

Destinataires

Envoyé à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
O. Fouquet	CdC Ile de Noirmoutier	28/05/2014
C. Rataud	CdC Ile de Noirmoutier	28/05/2014
M. Paillart	CdC Ile de Noirmoutier	28/05/2014

Copie à :		
Nom	Organisme	Envoyé le :
A. Rooke	Egis	28/05/2014
R.Gervais	Egis	28/05/2014
J. Piallat	Egis	28/05/2014

Table des matières

Chapitre 1 Introduction	9
1.1 Zone d'étude	9
1.2 Contexte de l'opération.....	9
1.3 Objet de la mission.....	11
1.4 Documents de référence.....	12
Chapitre 2 Résumé	13
Chapitre 3 Méthodologie	14
3.1 Approche retenue.....	14
3.2 Caractéristiques du modèle numérique.....	14
3.2.1 Phénomènes en jeu considérés pour la modélisation, choix d'outils adaptés au regard des thématiques : courantologie et sédiments.....	14
3.2.2 Logiciel de modélisation	14
3.2.3 Emprise et discrétisations verticale et horizontale du modèle	15
3.2.3.1 Emprise du modèle	15
3.2.3.2 Discrétisation verticale du modèle	15
3.2.3.3 Maillage du modèle (résolution spatiale).....	15
3.2.4 Modèle Numérique de Terrain (MNT)	16
3.2.5 Conditions aux limites	18
3.2.6 Représentation des écluses et du bassin versant	18
3.2.7 Calage du modèle	18
3.2.7.1 Niveaux d'eau	18
3.2.7.2 Vitesses du courant	21
3.2.7.3 Conclusion sur le calage du modèle	23
Chapitre 4 Présentation du projet	24
Chapitre 5 Usages de l'eau et contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude	25
5.1 Usages de l'eau	25
5.2 Réseau hydrographique.....	25
5.3 Contexte hydrodynamique	26
5.3.1 Fluctuation du niveau marin et volumes oscillants.....	26
5.3.1.1 Marée astronomique / Niveaux de référence	27
5.3.1.2 Période de référence retenue pour les simulations.....	27
5.3.1.3 Volumes oscillants calculés sur la période de référence.....	28
5.3.2 Etats de mer (houles, mers du vent, agitation)	29
5.3.3 Courants.....	29
5.3.3.1 Aspects généraux	29

5.3.3.2	Courantologie du secteur d'étude	29
5.4	Contexte sédimentaire de la zone d'étude.....	33
5.4.1	Contexte sédimentologique – Cellule sédimentaire	33
5.4.2	Apports sédimentaires du bassin versant	33
5.4.2.1	Débit des étiers	33
5.4.2.2	Concentrations en MES dans les étiers	33
5.4.2.3	Apports sédimentaires des étiers.....	35
5.4.3	Cadre géomorphologique de la zone d'étude	35
5.4.3.1	Contexte géologique	35
5.4.3.2	Description morpho-bathymétrique de la zone d'étude.....	36
5.4.4	Nature des fonds et origine des sédiments marins superficiels.....	37
5.4.4.1	Répartition des faciès sédimentaires	37
5.4.4.2	Caractéristiques des sédiments superficiels du port de Noirmoutier-en- l'île.....	37
5.4.5	Epaisseurs de sédiments meubles	38
5.4.6	Dynamique sédimentaire de la zone d'étude	38
5.4.6.1	Dynamique naturelle	38
5.4.6.2	Impact de l'action anthropique sur le fonctionnement hydrosédimentaire de la baie de Bourgneuf et de la zone d'étude	43
5.4.6.3	Bilan sédimentaire de la zone d'étude – Evolution du trait de côte et des fonds marins.....	43
5.5	Synthèse de la dynamique hydrosédimentaire actuelle de la zone d'étude	44
Chapitre 6	Effets du projet sur le fonctionnement de la zone	46
6.1	Effet du projet sur le fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude	46
6.1.1	Effet du projet sur les niveaux d'eau et volumes de remplissage	46
6.1.2	Effet du projet sur les vitesses du courant	50
6.2	Effet du projet sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude..	53
6.3	Préconisations – Mesures réductrices/ compensatoires/ d'accompagnement.....	56
Chapitre 7	Conclusion – Synthèse	57
Chapitre 8	Annexe – Planches courantologiques	59

Liste des figures

Figure 1: Référentiel altimétrique.....	8
Figure 2: Situation générale de la zone d'étude	9
Figure 3: Maillage du modèle numérique.....	16
Figure 4: Emprise et bathymétrie du modèle numérique	17
Figure 5 : Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle mis en œuvre et ceux calculés par le logiciel SHOMAR au port de l'Herbaudiere du 14 au 28 Mars 2011	19
Figure 6: Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle et mesurés in situ à l'aval de l'écluse du Moulin du 14 au 28 Mars 2011	20
Figure 7 : Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle et mesurés in situ à l'amont de l'écluse du Moulin.....	21
Figure 8 : Localisation des points de comparaison des vitesses du courant de marée	22
Figure 9 : Comparaison des intensités (en haut) et directions (en bas) des vitesses du courant de marées prédites par le modèle et par le SHOM (les courbes en bleu représentent l'évolution du niveau d'eau)	22
Figure 10: Réseau hydrographique de la zone d'étude	26
Figure 11: Cycle de marée et d'ouvertures/fermetures des écluses simulé par le modèle	27
Figure 12 : Secteurs d'étude définis pour l'analyse des effets du projet sur l'hydrodynamique de la zone d'étude	28
Figure 13 : Courants de marée autour de l'île de Noirmoutier (jusant à gauche - flot à droite) - marée de coefficient 114.....	30
Figure 14 : Courants de marée dans le port de Noirmoutier au jusant (PM+3h ; en haut), et au flot (PM+3h ; en bas) - Marée exceptionnelle de coefficient 114	31
Figure 15 : Evolution des vitesses du courant dans l'avant-port, le long du chenal principal, en période de revif (en haut) et de déchet (en bas)	32
Figure 16 : Concentrations en MES dans les étiers en fonction de l'instant de la marée	34
Figure 17 : Concentrations moyennes (histogrammes), min et max (barres d'erreur) en MES dans les étiers, au flot, au jusant et sans distinction de l'instant de la marée	34
Figure 18 : Evolution des concentrations mensuelles moyennes, min et max en MES avec la pluviométrie mensuelle moyenne (1971-2000)	34
Figure 19 : Contexte géologique de la zone d'étude (extrait de [L5]).....	36
Figure 20 : Nature et répartition des sédiments de superficiels [L1]	37
Figure 21 : Plan d'échantillonnage et résultats des analyses granulométriques réalisées par IDRA sur les sédiments du port de Noirmoutier-en-l'Île [A2].....	38
Figure 22 : Concentration en MES (mg/l) en Baie de Bourgneuf (à gauche image SPOT du 13/12/2005 à 11h ; à droite résultats d'un modèle simulant la remobilisation des sédiments sous l'action de la marée et de l'agitation le même jour à la même heure) (Dussauze et al., 2010)	40
Figure 23 : Modélisation des tendances sédimentaires en 36 points du littoral atlantique proches de l'embouchure de la Loire pour quatre conditions de houle croisées avec des conditions de marée de vive-eau (en haut) et de morte-eau (en bas) [A1]	41
Figure 24: Schéma du fonctionnement sédimentaire actuel identifié sur la zone d'étude (fond : GoogleEarth©)	45
Figure 25 : Comparaison des niveaux d'eau simulés à l'aval des écluses de chaque étier pour les 3 configurations modélisées (état actuel, Solution 3, Solution 6)	47
Figure 26 : Evolutions temporelles des volumes des 3 réservoirs schématisant les zones situées en amont des étiers dans le modèle	49
Figure 27 : Moyenne des différentiels de vitesses du courant induits par la solution 3 [Sol3 – Actuel]	51
Figure 28 : Moyenne des différentiels de vitesses du courant induits par la solution 6 [Sol6 – Actuel]	51

Figure 29: Différentiel des vitesses max du courant entre l'état actuel et la solution 3 [Sol3 – Actuel].....	52
Figure 30 : Différentiel des vitesses max du courant entre l'état actuel et la solution 6 [Sol6 – Actuel].....	52
Figure 31 : Effets potentiels des portes à marée sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude – Solution 3.....	54
Figure 32 : Effets potentiels des portes à marée sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude – Solution 6.....	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Erreur RMS et écart-type du modèle sur les niveaux d'eau simulés au port de l'Herbaudière.....	19
Tableau 2 : Niveaux caractéristiques de la marée astronomique rapportés au zéro hydrographique (SHOM).....	27
Tableau 3 : Volumes remplis par la marée calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude sur la période simulée.....	28
Tableau 4 : Evolution des volumes de remplissage maximum calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures.....	48
Tableau 5 : Evolution des volumes de remplissage moyen calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures.....	48
Tableau 6 : Evolution des volumes remplissage minimum calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures.....	48

Acronymes, abréviations et conventions

BM	Basse Mer
BMME	Niveau des plus Basses Mers de Mortes-Eaux
BMVE	Niveau des plus Basses Mers de Vives-Eaux
BRGM	Bureau de Recherche Géologique et Minière
CM	Cote Marine (équivalent du Zéro Hydrographique)
NM	Niveau Moyen
PBMA	Niveau des Plus Basses Mers Astronomiques
PHMA	Niveau des Plus Hautes Mers Astronomiques
PM	Pleine Mer
PMME	Niveau des Plus hautes Mers de Mortes-Eaux
PMVE	Niveau des Plus hautes Mers de Vives-Eaux
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM)
VE	Vives-Eaux
VEE	Vives-Eaux Exceptionnelles

Symboles

Hs (m)	Hauteur significative de la houle (ou $H_{1/3}$) ; quantité statistique utilisée pour caractériser l'état de mer. Elle représente la moyenne des hauteurs (mesurées entre crête et creux) du tiers des plus fortes vagues
Tp (s)	Période de pic de la houle ; période correspondant au maximum de la densité d'énergie spectrale des vagues
Dp (degrés)	Direction pic de la houle ; direction correspondant au maximum de la densité d'énergie spectrale des vagues. L'angle est compté positivement, suivant le sens des aiguilles d'une montre, entre le Nord géographique et la direction de provenance des vagues
Dir (degrés)	Direction moyenne de provenance des vagues
Mag (m/s)	Magnitude/ intensité du courant

Conventions

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

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

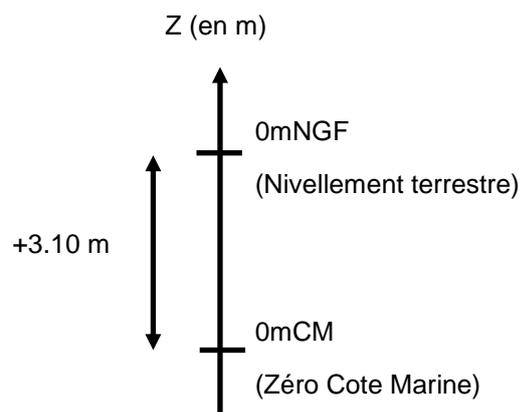
Systèmes de références planimétrique et vertical

Le système de coordonnées utilisé dans la présente étude est la projection en plan dans le système RGF93 Lambert93.

Par défaut, les cotes altimétriques évoquées dans cette étude sont rapportées au zéro Cote Marine (CM) qui correspond au niveau théorique sous lequel le niveau de la mer ne descend que très exceptionnellement (aussi appelé Zéro Hydrographique). Il sera fait également une correspondance avec la référence altimétrique terrestre (0 m NGF ; Nivellement Général de la France).

Comme illustré sur la figure suivante, sur la zone de projet, le zéro terrestre (NGF) se situe à environ 3.10m au-dessus du zéro Cote Marine Erreur ! Source du renvoi introuvable..

Figure 1: Référentiel altimétrique



Chapitre 1 Introduction

1.1 Zone d'étude

La zone d'étude se situe sur la partie est de l'île de Noirmoutier, et s'étend depuis l'avant-port de Noirmoutier, jusqu'aux écluses situées en aval des étiers du Moulin, de l'Arceau et des Coëfs (cf. figure suivante).



Figure 2: Situation générale de la zone d'étude

1.2 Contexte de l'opération

La communauté de communes de l'île de Noirmoutier a confié à Egis Ports la réalisation d'une étude de faisabilité pour la sécurisation des étiers des Coëfs et de l'Arceau et du port de Noirmoutier.

Cette étude fait suite au Programme d'Actions de Protection contre les Inondations (PAPI) en référence à la submersion marine.

L'étude de faisabilité est déclinée en 4 phases d'étude avec des points d'arrêt intermédiaires (présentation et validation) :

- Phase 1 : Recherche documentaire et données d'entrée : examen visuel, concertation et analyse bibliographique ;
- Phase 2 : Définition et étude de solutions d'aménagement ;
- Phase 3 : Analyse comparative des solutions et des enjeux d'aménagement ;
- Phase 4 : Description approfondie de la solution retenue.

Suite à la réalisation de la phase 3 de cette étude (Analyse comparative des solutions et des enjeux d'aménagement) et au comité de pilotage du 31/10/2013, il a été décidé de retenir 2 solutions parmi celles proposées :

- Solution 3 : Création de 3 portes à marée, une à l'entrée de chaque étier et du port, conformément rehausse à la cote +5m NGF des digues toujours exposées ;



- Solution 6 : Création de deux portes à marée, une pour le port de Noirmoutier et l'étier de l'Arceau et l'autre à l'entrée de l'étier des Coëfs.



Les aménagements que constituent les portes à marée sont susceptibles de modifier le fonctionnement hydrosédimentaire de la zone, et de modifier les conditions d'alimentation en eau des saliculteurs et conchyliculteurs par les étiers.

Suite au dernier comité de pilotage de l'étude, il a été décidé de comparer les deux solutions restantes par la réalisation d'une **étude hydro-sédimentaire** complémentaire, objet du présent document.

Cette mission a pour objet d'identifier la solution la solution ayant le moins d'impact sur le fonctionnement du site.

La phase n°4 de l'étude de faisabilité (description approfondie de la solution retenue) sera réalisée suite à cette étude spécifique.

1.3 Objet de la mission

L'objectif de cette étude est de préciser et alimenter l'analyse comparative des solutions de protection proposées dans le cadre de l'étude de faisabilité. Ce document présente successivement :

- la méthodologie retenue ;
- une présentation du fonctionnement hydrodynamique et sédimentologique actuel du port et des étiers ;
- une évaluation de l'impact des solutions proposées sur le fonctionnement de l'hydrosystème et les usages qui y sont liés (conchyliculteurs, sauniers).

1.4 Documents de référence

Le présent rapport fait référence à la documentation suivante :

Documents de référence du projet :

- [P1] Egis, 2013. Etude de faisabilité de la sécurisation des étiers des Coëfs et de l'Arceau et du port de Noirmoutier - Rapport de phase 2 : Description approfondie de la solution retenue. Ind.B

Documentation et données locales

- [L1] LCHF (1981). Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Tome 4 : De la Loire à la baie du Mont Saint-Michel
- [L2] Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie De Bourgneuf. Données d'observation des MES sur les étiers du Moulin, de l'Arceau et des Coëfs
- [L3] DHI, 2008. Etude de connaissance des phénomènes d'érosion sur le littoral vendéen
- [L4] SOGREAH, 2012. Etude relative à la gestion durable du trait de côte de la région des pays de la Loire. DREAL Pays de la Loire
- [L5] Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf, 2003. SAGE du Marais Breton et du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf – Atlas Cartographique.

Publications scientifiques, codes et standards

- [S1] SHOM, 2013. Ouvrage de marée. Références Altimétriques Maritimes - Cotes du zéro hydrographique et niveaux caractéristiques de la marée
- [S2] SHOM, Courants de marée des côtes de France (Manche/Atlantique

Études antérieures

- [A1] Sanchez M. (2008). Dynamique des sédiments fins dans une zone côtière à forte turbidité à proximité de l'embouchure de la Loire. Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil.
- [A2] IDRA Environnement SAS, 2010. Aménagement du port de plaisance de Noirmoutier-en-l'Île - Etude des sédiments et de leur devenir

Chapitre 2 Résumé

L'étude hydrosédimentaire présentée dans ce document a pour but de préciser et alimenter l'analyse comparative des solutions 3 et 6 de protection proposées dans le cadre de l'étude de faisabilité pour la sécurisation des étiers des Coëfs et de l'Arceau et du port de Noirmoutier.

Le contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude ainsi que l'impact potentiel des aménagements sur l'hydrosystème a été évalué au moyen d'un modèle numérique courantologique et d'une expertise sédimentaire.

L'impact des 2 solutions d'aménagements sur l'hydrodynamique, étudié avec le modèle hydrodynamique montre que les solutions envisagées ne devraient pas perturber de manière significative les usages locaux de l'eau (saliculture, conchyliculture). Les niveaux d'eau maximum actuellement atteints au niveau des écluses devraient en effet rester sensiblement les mêmes. Une légère diminution des volumes de remplissage en amont des écluses pourrait en revanche être observée, avec un impact plus marqué de la solution 6 (2 portes au lieu de 3).

De manière générale, l'analyse des résultats montre que la solution 6 induit plus de perturbations sur l'hydrodynamique locale que la solution 3. Elle devrait logiquement induire aussi une perturbation plus importante du fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude.

Chapitre 3 Méthodologie

3.1 Approche retenue

Afin de répondre aux besoins de l'étude, un modèle numérique courantologique 2D est mis en œuvre sur le périmètre de la zone d'étude, depuis l'avant-port jusqu'aux écluses de chacun des 3 étiers débouchant dans le port. Ce modèle permet :

- de mieux comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire actuel de la zone d'étude ;
- de fournir des entrants complémentaires pour le dimensionnement des solutions d'aménagement ;
- de modéliser 2 des solutions proposées (solutions 3 et 6) et d'évaluer leur incidence sur le fonctionnement hydrosédimentaire de la zone d'étude.

Le transport des sédiments n'est pas modélisé. Cette problématique est abordée par expertise des données disponibles et résultats du modèle hydrodynamique.

Les principales caractéristiques du modèle mis en œuvre, adaptées au contexte de l'étude sont rappelées ci-après.

3.2 Caractéristiques du modèle numérique

3.2.1 Phénomènes en jeu considérés pour la modélisation, choix d'outils adaptés au regard des thématiques : courantologie et sédiments

Sur la zone d'étude, les variations de niveaux d'eau permettant l'alimentation des étiers et les courants à l'origine du transport de sédiments et des évolutions des fonds sont essentiellement liés à la marée, et sont relativement indépendants des conditions de courants à l'extérieur du port.

Le modèle peut donc se limiter à représenter le phénomène de remplissage et vidange du domaine sous l'effet de la marée astronomique.

3.2.2 Logiciel de modélisation

Le module TELEMAC-2D de la suite logicielle **TELEMAC**® (développée par EDF R&D / LNHE) est utilisé pour simuler l'hydrodynamique de la zone d'étude.

Ce logiciel adapté aux études en milieux littoraux et portuaire permet de simuler les écoulements à surface libre à deux dimensions d'espace horizontales (résolution des équations de Saint-Venant par la méthode des éléments finis) en intégrant tous les éléments topobathymétriques d'un terrain naturel. Il peut prendre en compte la marée, les apports d'eau douce, l'influence des vents et courants présents dans la zone, notamment les courants induits par la houle. L'hydrodynamique est recalculée régulièrement, le cas échéant, pour tenir compte de l'évolution des fonds due aux mouvements sédimentaires.

3.2.3 Emprise et discrétisations verticale et horizontale du modèle

3.2.3.1 Emprise du modèle

Afin de décrire correctement les phénomènes en jeu, l'emprise du modèle couvre l'ensemble de l'île de Noirmoutier et de la baie de Bourgneuf. Le modèle a été étendu sur une emprise allant de la Pointe Saint-Gildas à Notre-Dame-de-Monts sur un axe nord-sud et du continent à une quinzaine de kilomètres à l'ouest de Noirmoutier sur un axe est-ouest (cf. figures suivantes).

Une extension à terre, de type « réservoir », schématisant le volume et la surface remplies par les grandes marées, est prise en compte pour évaluer l'incidence des aménagements sur les usages locaux situés à l'amont des écluses.

3.2.3.2 Discrétisation verticale du modèle

La différence entre un modèle 2D et 3D est une notion de discrétisation verticale de la masse d'eau dans le but de représenter, lorsqu'elle existe, la stratification de l'écoulement et par suite de la qualité de la masse d'eau variable le long de la colonne d'eau.

L'utilisation d'un modèle bidimensionnel (2D) pour simuler les courants est justifiée par le fort hydrodynamisme de la zone d'étude (marnage et courants importants), qui homogénéise la masse d'eau et limite sa stratification.

Cette simplification de la réalité (peu de variation des vitesses en fonction de la profondeur et vitesses verticales négligeables) permet d'utiliser des modèles 2DH (c'est-à-dire à deux dimensions spatiales horizontales et à valeurs moyennées sur la verticale) à des échelles de temps importantes, avec des mailles de petite taille.

3.2.3.3 Maillage du modèle (résolution spatiale)

La taille des mailles du modèle a été adaptée afin de représenter précisément la bathymétrie et les phénomènes hydrodynamiques en jeu tout en permettant d'avoir une bonne résolution numérique et des temps de calculs acceptables afin de respecter les délais proposés. Le maillage retenu doit être suffisamment précis pour représenter les caractéristiques des principales formes sédimentaires (chenaux principaux et secondaires notamment) ainsi que les ouvrages en dur de la zone d'étude.

La représentation fidèle des conditions hydrodynamiques sur la zone implique dans ces conditions de descendre à des tailles de maille de l'ordre de 10m à 20m dans l'avant-port, et d'ordre métrique à décimétrique au-delà.

↳ Le **maillage du modèle** (emprise et résolution), composé de 59 460 nœuds, est présenté sur la figure suivante.

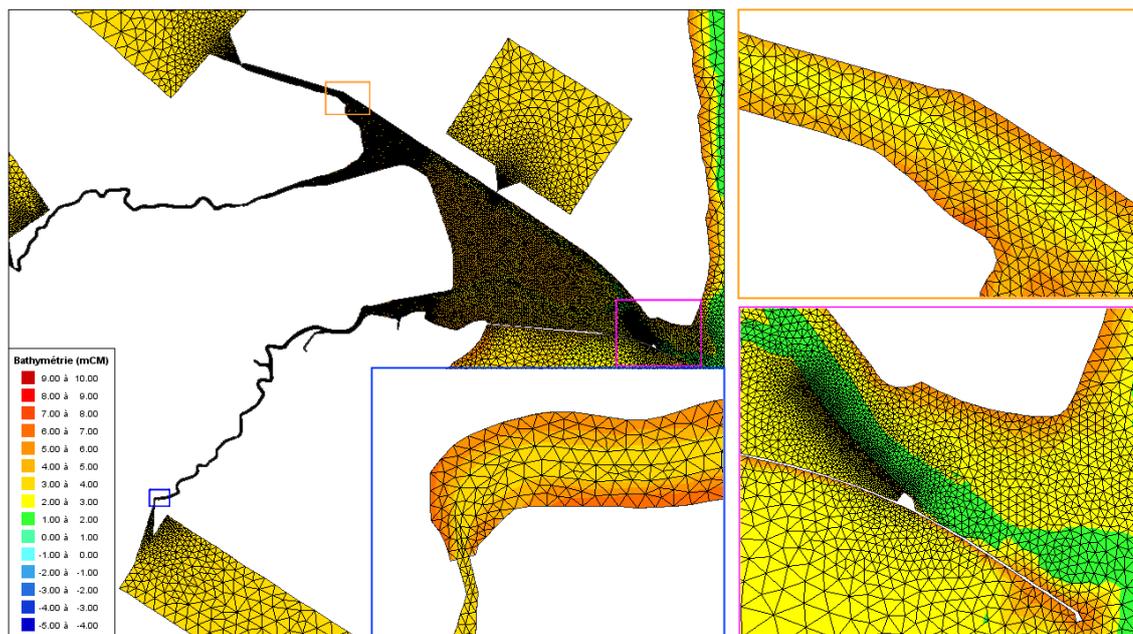


Figure 3: Maillage du modèle numérique

3.2.4 Modèle Numérique de Terrain (MNT)

Le MNT, support à la bathymétrie du modèle, a été assemblé pour la partie interne du port à partir des données topo-bathymétriques disponibles, rappelées ci-dessous :

- LIDAR Ifremer, 2008 ;
- MNT Litto3D ;
- Profils topo-bathymétriques levés dans l'avant-port et les étiers en Juillet 2013 et Janvier 2014.

Le MNT à l'extérieur du port est issu d'un assemblage réalisé par Egis dans le cadre d'études antérieures sur la zone (Profils de vulnérabilité des plages de Noirmoutier en l'Île, Egis 2011), à partir de sondes du SHOM et d'un levé LIDAR de la baie de Bourgneuf.

Le MNT final est présenté sur la figure suivante.

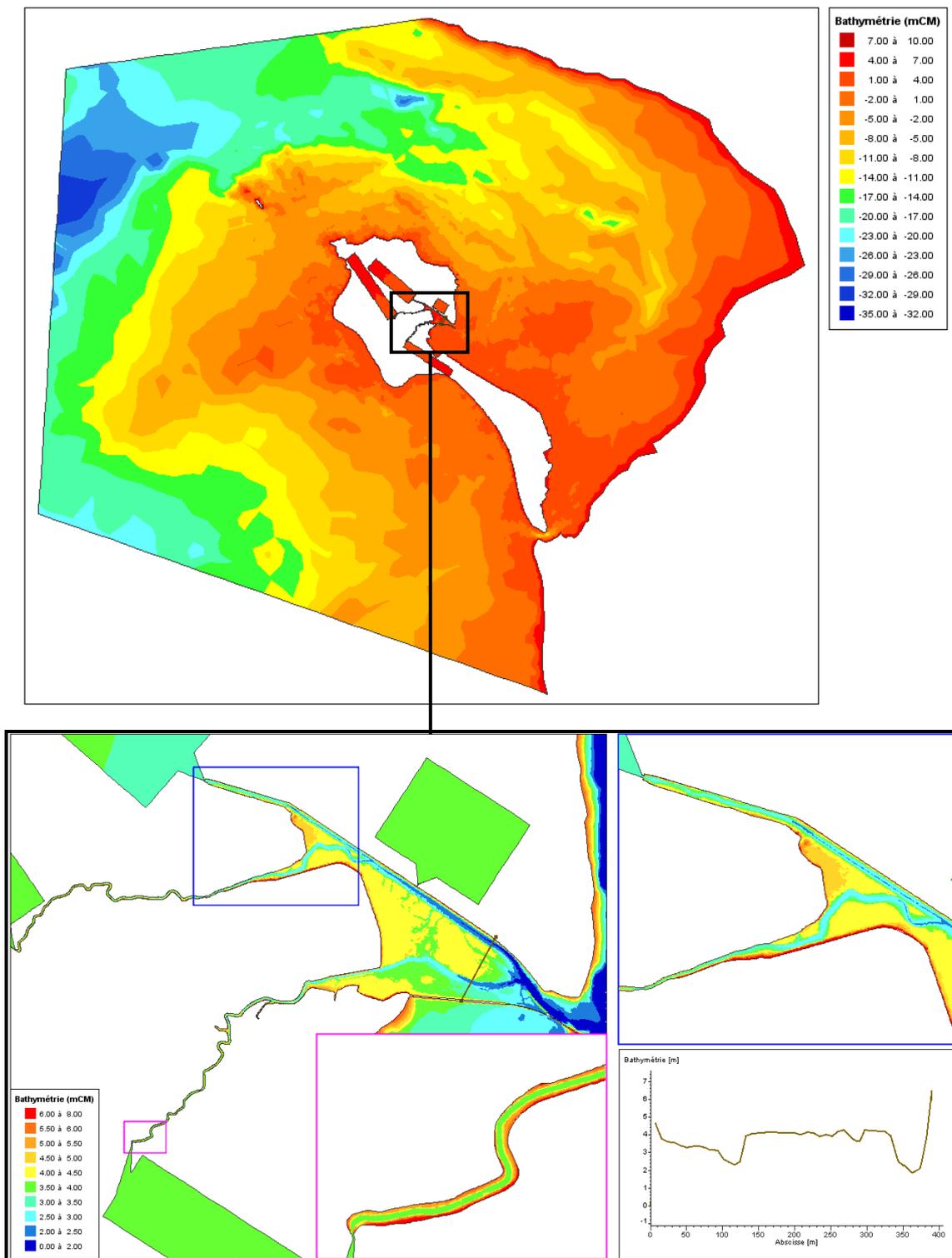


Figure 4: Emprise et bathymétrie du modèle numérique

3.2.5 Conditions aux limites

Le niveau d'eau et les vitesses générés à chaque instant par la marée astronomique sont imposés aux limites maritimes du modèle par couplage avec un modèle de plus grande emprise.

3.2.6 Représentation des écluses et du bassin versant

Les bassins versants rattachés à chaque étier de la zone d'étude au niveau des écluses sont modélisés sous la forme de réservoirs (1 par étier), de surfaces représentatives des zones pouvant être alimentées par la marée (cf. 5.1).

Les sections hydrauliques réelles des écluses et des ouvrages de franchissement de la RD948, transmises par le Maître d'Ouvrage, sont représentées dans le modèle.

Les vannes de toutes les écluses sont considérées fermées lorsque la vanne n°1 de l'écluse du Moulin, pour laquelle nous disposons de données de télésurveillance, est abaissée, et inversement.

Notes :

- les hauteurs intermédiaires de la vanne n°1 sont prises en compte comme représentatives d'un état complètement ouvert (cf. figure 11) ;
- le débit nominal des étiers n'est pas pris en compte dans le modèle.

3.2.7 Calage du modèle

Un calage et une analyse de la qualité des résultats du modèle ont été réalisés sur la base des données de niveau d'eau et vitesse du courant disponibles.

3.2.7.1 Niveaux d'eau

Les niveaux d'eau suivants ont été utilisés :

- Marégramme reconstitué à l'Herbaudière avec le logiciel SHOMAR (SHOM) ;
- Mesures disponibles en amont et à l'aval de l'écluse du Moulin.

La comparaison de ces données avec les résultats du modèle est présentée ci-après.

La période retenue pour la modélisation hydrodynamique de la zone d'étude est comprise entre le 14/03/2011 et le 28/03/2011, soit un cycle de marée complet mortes eaux – vives eaux de 15j, avec des marées de coefficients compris entre 34 à 118.

Niveaux d'eau à l'Herbaudière

Le marégramme modélisé par le modèle mis en œuvre, et celui reconstitué avec le logiciel SHOMAR sont présentés sur la figure suivante.

Comme l'indique le tableau suivant, les résultats obtenus sont très satisfaisants avec une erreur du modèle particulièrement réduite en référence au marégramme du SHOM (erreur quadratique moyenne de 3cm, et écart-type de 15cm).

Port de l'Herbaudière	Niveau d'eau (m)
Erreur RMS	0.03
Ecart-Type	0.15

Tableau 1 : Erreur RMS et écart-type du modèle sur les niveaux d'eau simulés au port de l'Herbaudière

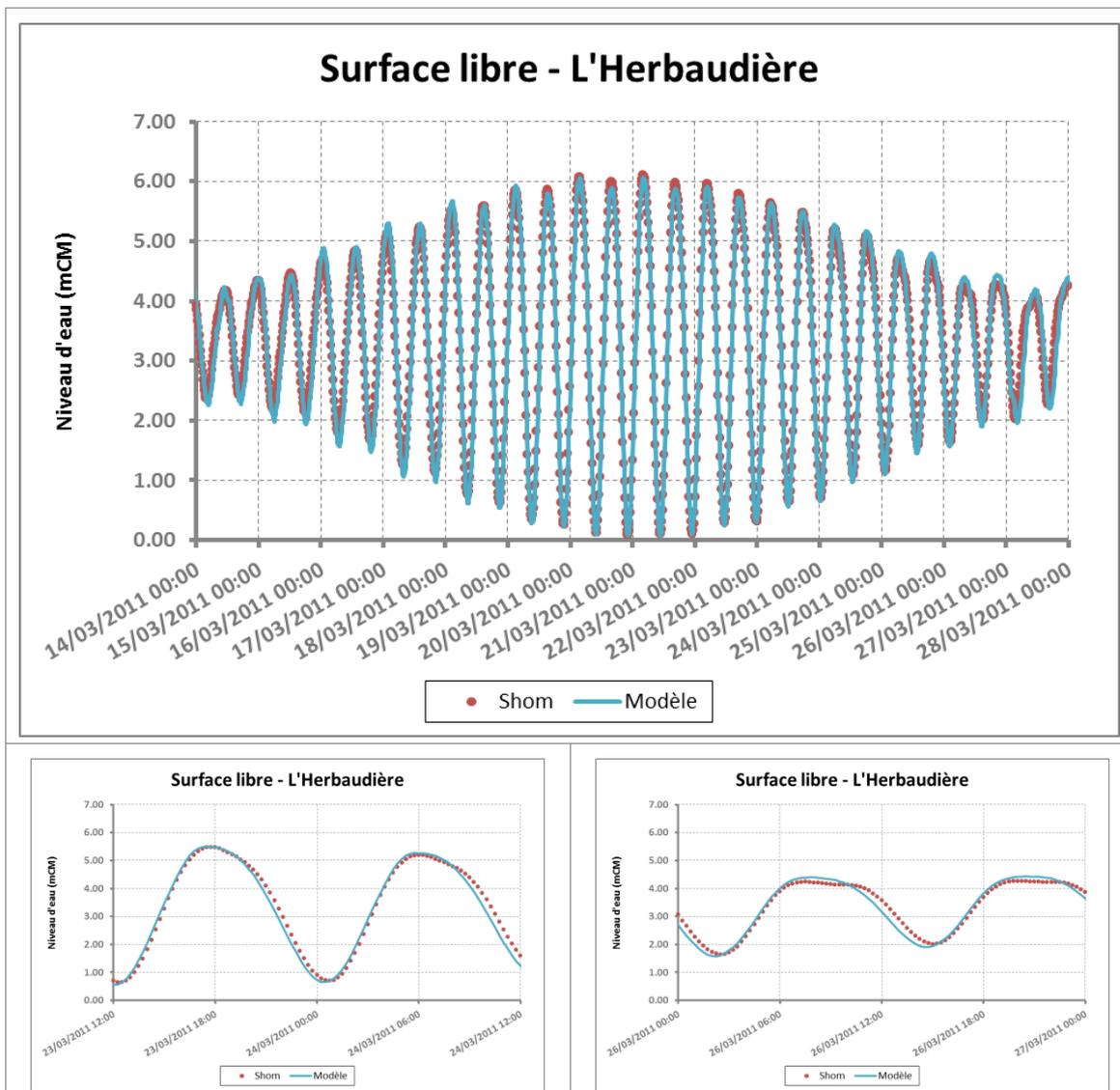


Figure 5 : Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle mis en œuvre et ceux calculés par le logiciel SHOMAR au port de l'Herbaudière du 14 au 28 Mars 2011

Niveaux d'eau à l'aval de l'écluse du Moulin

Le marégramme modélisé par le modèle mis en œuvre, et celui mesuré à l'aval de l'écluse du Moulin sont présentés sur la figure suivante. La hauteur de la vanne est également représentée, de manière à indiquer les périodes d'ouverture et fermeture de l'écluse sur la période considérée.

Les résultats du modèle sont très satisfaisants en termes de niveaux de pleine mer atteints et forme du marégramme obtenu (asymétrie flot / jusant). Seuls les niveaux minimum ne sont pas toujours bien représentés par le modèle, en particulier lorsque la partie maritime de l'étier du Moulin découvre. Ceci est vraisemblablement lié, d'une part à la représentation du secteur amont par des réservoirs uniques, schématiques, plutôt que par les chevelus réels, d'autre part à une possible différence de bathymétrie entre les fonds réels au moment de la mesure de niveau d'eau et le levé bathymétrique intégré au modèle. Le maillage a été raffiné au maximum sur cette zone afin de minimiser l'influence de l'interpolation dans le calcul.

Enfin, le fonctionnement schématique de l'écluse dans le modèle explique également certains écarts pouvant être constatés à pleine ou basse mer lorsque l'ouverture de la vanne était partielle dans la réalité (et considérée comme une ouverture totale par le modèle).

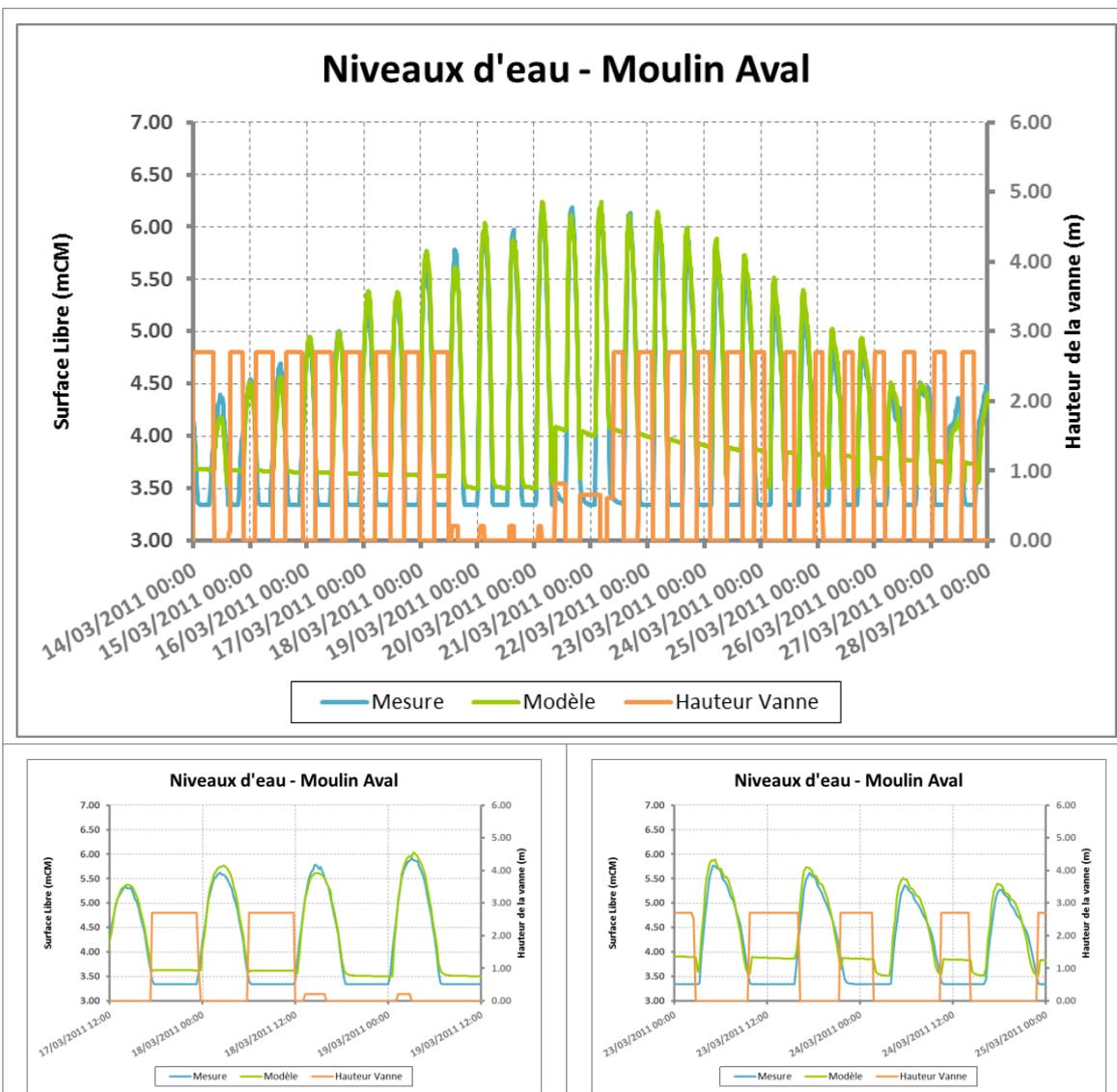


Figure 6: Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle et mesurés in situ à l'aval de l'écluse du Moulin du 14 au 28 Mars 2011

Niveaux d'eau à l'amont de l'écluse du Moulin

Le marégramme modélisé par le modèle mis en œuvre, et celui mesuré à l'amont de l'écluse du Moulin sont présentés sur la figure suivante.

Du fait de la schématisation du secteur amont de chaque étier par des réservoirs uniques (plutôt que par les chevelus réels), il n'est pas possible ni attendu de reproduire fidèlement l'évolution du niveau d'eau sur cette zone. Cette comparaison vise uniquement à illustrer les limites du modèle mis en œuvre, tout en montrant que les tendances au remplissage et à la vidange sur la période considérée sont respectées.

Les résultats du modèle sont dans ce sens satisfaisants.

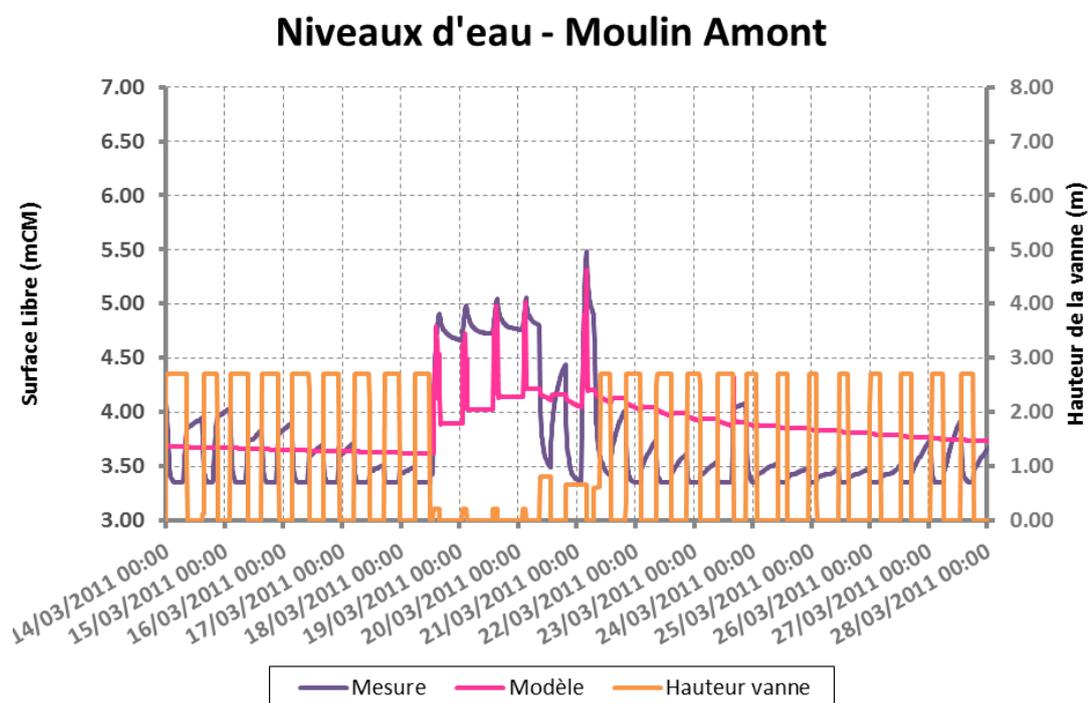


Figure 7 : Comparaison des niveaux d'eau calculés par le modèle et mesurés in situ à l'amont de l'écluse du Moulin

☞ L'ensemble des éléments de comparaison présentés ci-après montrent que le modèle reproduit fidèlement les variations du niveau marin tant au port de l'Herbaudière qu'à l'aval de l'écluse du Moulin, et représente de manière satisfaisante les tendances de remplissage/vidange en amont de l'écluse du Moulin.

3.2.7.2 Vitesses du courant

L'atlas des courants de marée du SHOM [S2] a été exploité pour apprécier la qualité des résultats du modèle en 2 points de la zone modélisée, reportés sur la figure suivante.

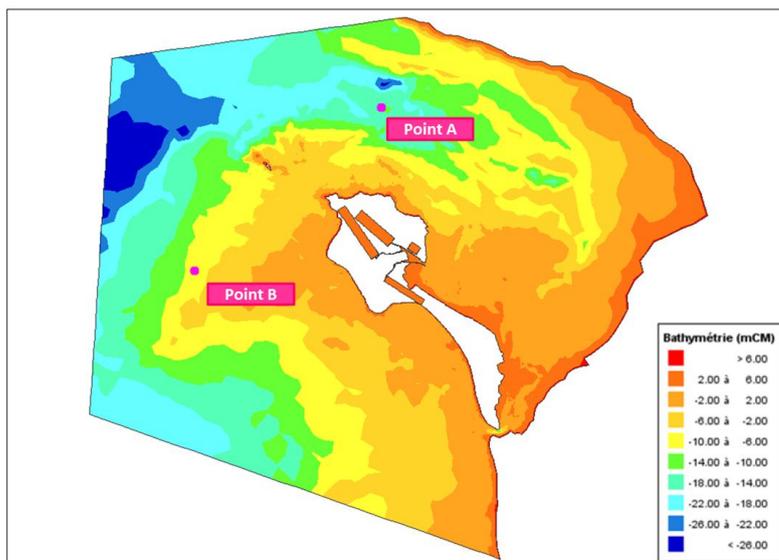


Figure 8 : Localisation des points de comparaison des vitesses du courant de marée

La comparaison des données du SHOM avec les résultats du modèle est présentée ci-dessous :

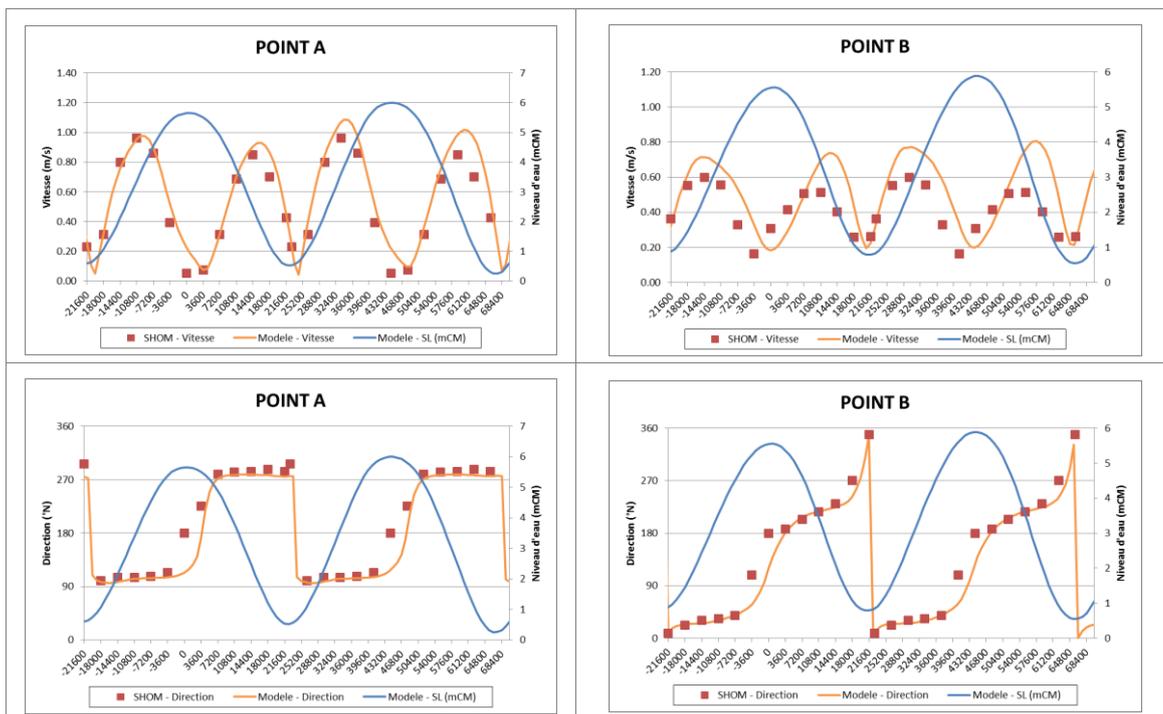


Figure 9 : Comparaison des intensités (en haut) et directions (en bas) des vitesses du courant de marées prédites par le modèle et par le SHOM (les courbes en bleu représentent l'évolution du niveau d'eau)

Ces comparaisons montrent une bonne corrélation des vitesses de courant calculées par le modèle avec celles de l'atlas du SHOM.

L'intensité et la direction du courant calculées au point A sont particulièrement bien reproduites par le modèle.

Au point B, l'intensité des vitesses calculée par le modèle est légèrement plus faible que celle renseignée par le SHOM, mais l'évolution est en revanche bien représentée, avec notamment la reproduction de fronts de vitesses plus rapprochés à l'étales de basse mer que de pleine mer. Enfin les directions calculées par le modèle sont bien reproduites par le modèle.

3.2.7.3 Conclusion sur le calage du modèle

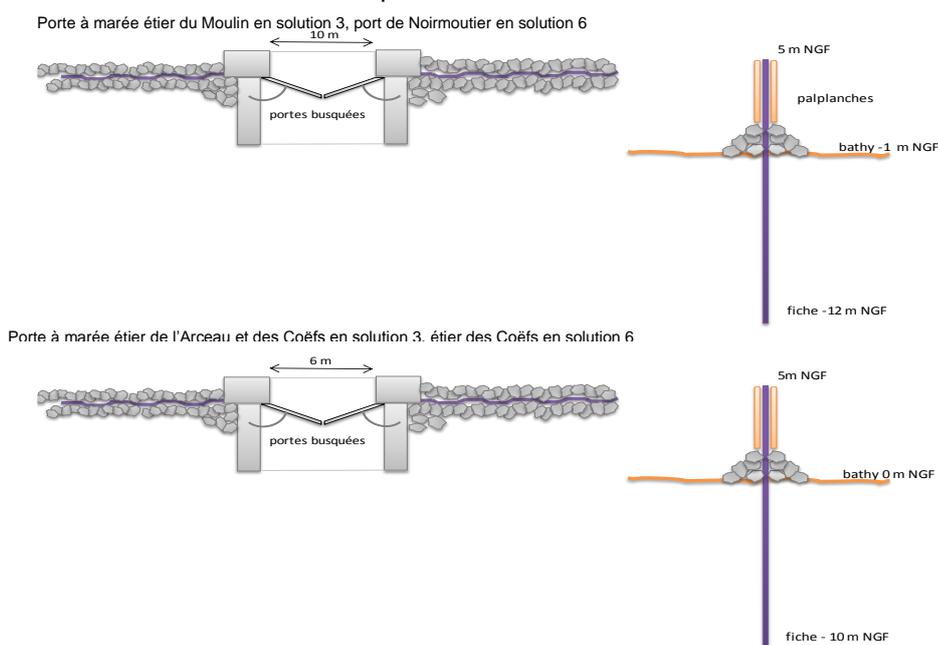
L'analyse des résultats du modèle mis en œuvre dans le cadre de cette mission montre que ce dernier reproduit les phénomènes de marée astronomique de manière satisfaisante sur la zone, et peut donc être exploité pour étudier l'hydrodynamique de la zone d'étude et l'impact des aménagements projetés.

Chapitre 4 Présentation du projet

Comme introduit au Chapitre 1, les solutions 3 et 6 ont été retenues suite au comité de pilotage du 31/10/2013. Les caractéristiques de ces solutions sont rappelées ci-dessous :

<p>implantation des 3 portes à marée</p> <p>Rehausse des digues (en vert le secteur complémentaire)</p>	<p>Création de 2 portes à marée</p> <p>Rehausse des digues (en vert le secteur complémentaire)</p>
<p>Solution 3 : Création de 3 portes à marée, une à l'entrée de chaque étier (L=6m) et du port (L=10m), confortement rehausse à la cote 5m NGF des digues toujours exposées.</p>	<p>Solution 6 : Création de deux portes à marée, une pour le port de Noirmoutier et l'étier de l'Arceau (L=10m), et l'autre à l'entrée de l'étier des Coëfs (L=6m).</p>

Les schémas de principe des portes à marée envisagées pour le port de Noirmoutier et les étiers de l'Arceau et des Coëfs sont présentés ci-dessous :



Chapitre 5 Usages de l'eau et contexte hydrosédimentaire de la zone d'étude

5.1 Usages de l'eau

Les usages de l'eau susceptibles d'être perturbés par les aménagements projetés se situent au niveau des étiers.

La saliculture, vocation historique des marais de l'île de Noirmoutier, constitue le principal usage de l'étier du Moulin. La prise d'eau pour les marais salants s'effectue d'avril à septembre, au moyen d'une gestion spécifique de l'écluse.

Les deux autres étiers (Arceau et Coëfs) font l'objet de prises d'eau pour les activités salicoles mais aussi pour l'aquaculture et la conchyliculture (claires à huitres).

Les prises d'eau liées aux activités aquacoles s'effectuent en majorité dans l'étier des Coëfs entre PM-2h et PM+1h. Des rejets s'effectuent parallèlement dans l'étier des Coëfs et l'étier de l'Arceau.

5.2 Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique du bassin versant drainé vers l'avant-port de Noirmoutier est représenté sur la figure suivante. Des systèmes d'écluses et vannages permettent de gérer l'alimentation par les étiers de bassins de saliculture et conchyliculture totalisant une surface d'environ 560ha.

Les principaux cours d'eau alimentant ce réseau et débouchant dans l'avant-port de Noirmoutier sont les étiers :

- Du Moulin, au nord ;
- De l'Arceau, au centre, ;
- Des Coëfs, au sud,
- De Mullembourg, à l'est.

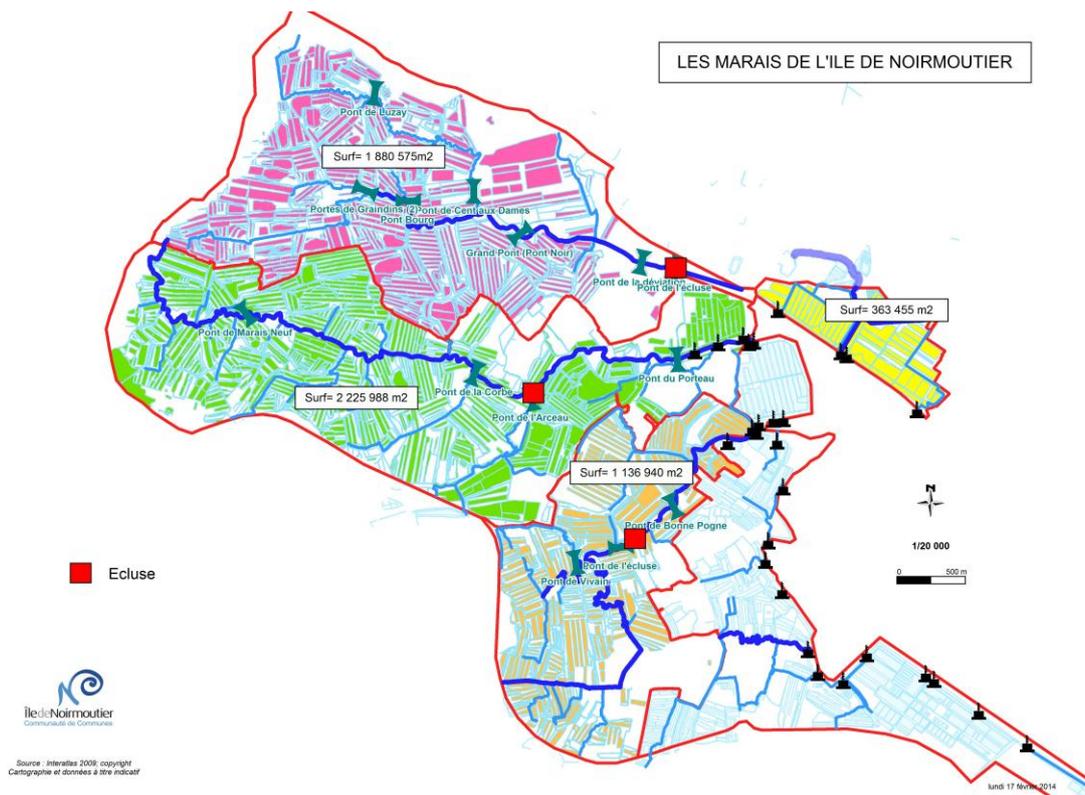


Figure 10: Réseau hydrographique de la zone d'étude

5.3 Contexte hydrodynamique

5.3.1 Fluctuation du niveau marin et volumes oscillants

Le niveau marin et ses fluctuations interviennent sur la possibilité d'action des vagues sur les fonds et le littoral. Ces fluctuations peuvent avoir des incidences du point de vue sédimentologique sur le temps d'action de la mer, et les possibilités d'action des houles sur les fonds.

Les variations du niveau de la mer dépendent de nombreux facteurs. Pour une analyse fine des niveaux extrêmes pouvant être atteints, il convient généralement de prendre en compte :

- la marée astronomique,
- les surcotes ou décotes liées aux variations de pression atmosphérique et au vent (tempêtes),
- une surélévation supplémentaire au rivage due au déferlement de la houle et aux courants (wave setup et surf-beat ; en zone exposée à la houle essentiellement),
- les fluctuations à moyen terme, saisonnières et interannuelles liées par exemple aux courants généraux ou aux effets stériques ;
- la remontée générale du niveau marin prévue en conséquence du réchauffement climatique.

Dans le cadre de cette étude, seule la marée astronomique est considérée, le site étant relativement abrité des états de mer du large (houle atlantique et mers du vent levées en baie de Bourgneuf), et la marée astronomique représentant l'essentiel des variations de niveau d'eau pouvant être attendues sur la zone.

5.3.1.1 Marée astronomique / Niveaux de référence

Sur la zone d'étude, la marée est de type semi-diurne et a une période moyenne de 12h25 (on observe environ 2 marées hautes et 2 marées basses par jour). Le marnage supérieur à 4 m pour une marée de vive-eau moyenne (cf. tableau suivant), définit un environnement de type meso-tidal. Le tableau ci-dessous présente les niveaux de référence de la marée définis par le SHOM à l'Herbaudière (au nord de l'île) et à Fromentine (au sud de l'île) [S1] :

Nom	Type	Lat	Long	Et.	Constante	PHMA	PMVE	PMME	NM	BMME	BMVE	PBMA
L'Herbaudière (île de Noirmoutier)	S	47 02 N	02 08 W	3.44		06.21	05.50	04.40	03.36	02.10	00.80	-0.02
Fromentine (embarcadère)	S	46 54 N	02 10 W	3.59		06.01	05.25	04.20	03.20	01.95	01.00	00.44

Tableau 2 : Niveaux caractéristiques de la marée astronomique rapportés au zéro hydrographique (SHOM)

5.3.1.2 Période de référence retenue pour les simulations

La période retenue pour la modélisation hydrodynamique de la zone d'étude est comprise entre le 14/03/2011 et le 28/03/2011, soit un cycle de marée complet mortes eaux – vives eaux de 15j, avec des marées de coefficients compris entre 34 à 118.

Ce choix permet de représenter l'ensemble des conditions de marées pouvant être observées sur le secteur d'étude, tout en disposant de données de terrain au niveau de l'écluse du Moulin (périodes d'ouverture/fermeture de la vanne n°1, niveaux amont et aval).

La figure suivante présente le cycle de marée représenté, associé aux niveaux amont/aval mesurés à l'écluse du Moulin, ainsi que les ouvertures/fermetures des écluses prises en compte par le modèle (rappel : les hauteurs intermédiaires de la vanne sont prises en compte dans le modèle comme représentatives d'un état complètement ouvert) :

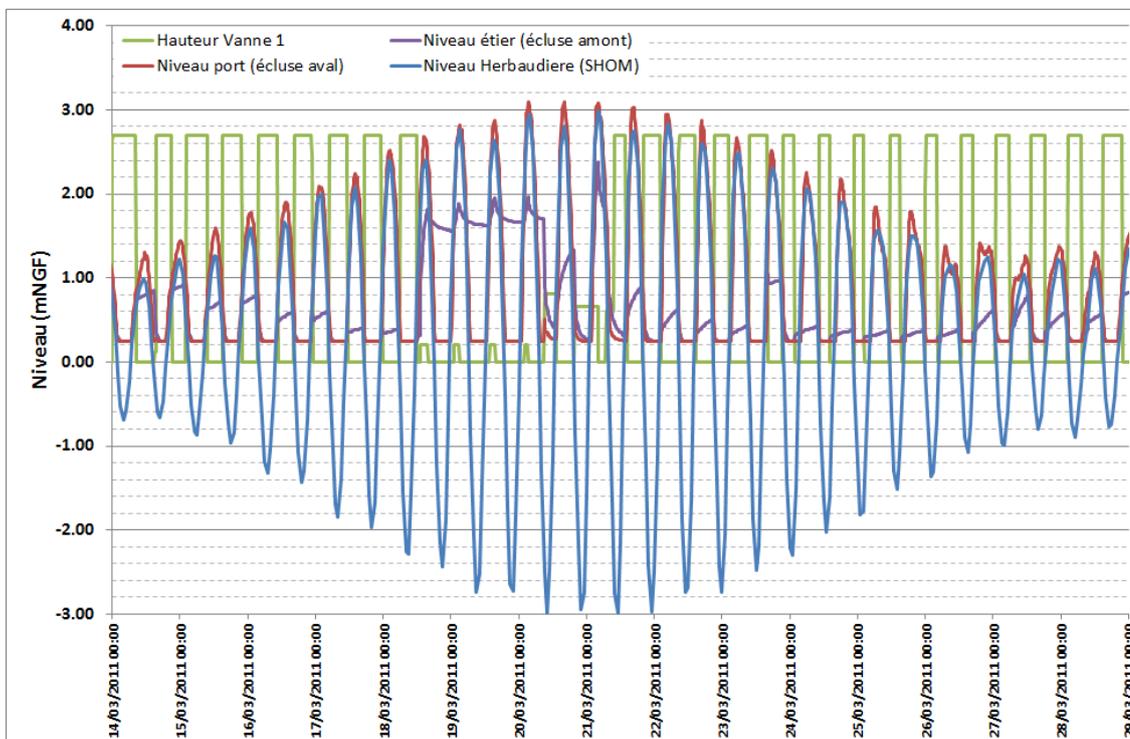


Figure 11: Cycle de marée et d'ouvertures/fermetures des écluses simulé par le modèle

5.3.1.3 Volumes oscillants calculés sur la période de référence

Afin d'apprécier l'effet du projet sur le fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude, une analyse des volumes remplis par la marée a été réalisée, en découpant la zone en plusieurs secteurs présentés sur la figure suivante.

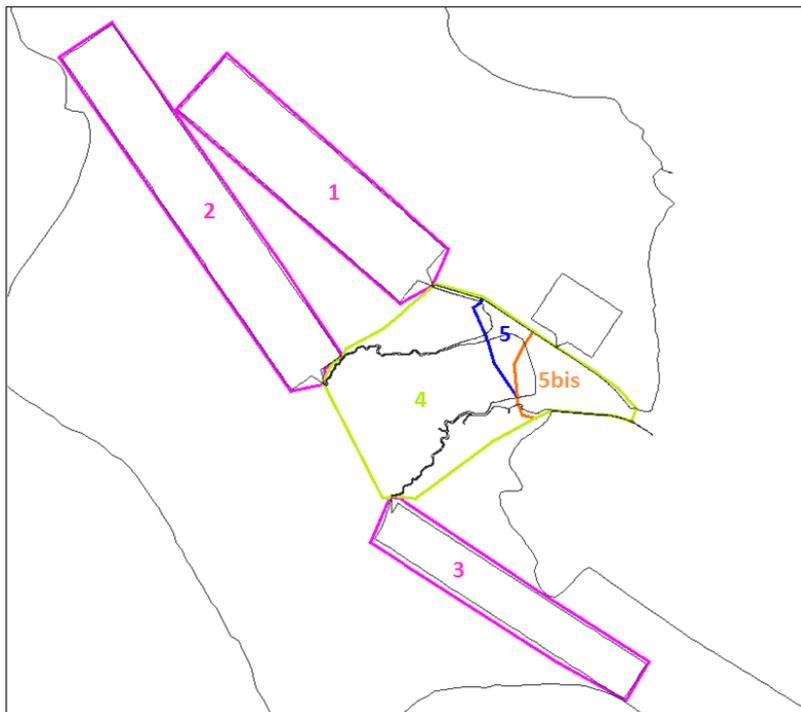


Figure 12 : Secteurs d'étude définis pour l'analyse des effets du projet sur l'hydrodynamique de la zone d'étude

La plage de variation du volume de chaque secteur, calculé d'après les résultats de simulation, est présentée dans le tableau suivant :

Volumes de remplissage calculés sur la période simulée (m ³)	Z1 - Réservoir Moulin	Z2 - Réservoir Arceau	Z3 - Réservoir Coëfs	Z4 - De l'entrée de l'avant- port aux écluses des étiers	Z5 - De l'entrée de l'avant- port aux portes à marée de la solution 3	Z5bis - De l'entrée de l'avant-port aux portes à marée de la solution 6
Min	63 290	0	1 237	6 929	5 166	4 696
Moyenne	249 838	74 008	82 017	343 732	309 956	269 540
Max	701 895	140 364	131 466	1 548 876	1 384 057	1 192 109

Tableau 3 : Volumes remplis par la marée calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude sur la période simulée

5.3.2 Etats de mer (houles, mers du vent, agitation)

Le port de Noirmoutier situé sur la face orientale de l'île est ouvert à l'est dans la baie de Bourgneuf où les fonds sont faibles.

Sa localisation le rend naturellement protégé des houles du large, très atténuées par déferlement et réfraction sur les petits fonds avant d'atteindre l'avant-port. Les clapots levés par les vents locaux en baie de Bourgneuf, bien que relativement peu intenses, deviennent prépondérants vis-à-vis des houles océaniques.

L'agitation du large n'atteint que très peu l'intérieur du port, notamment du fait de la présence de larges zones découvrantes devant le port à marée basse.

5.3.3 Courants

5.3.3.1 Aspects généraux

Les courants marins sont d'origines diverses et sont extrêmement difficiles à modéliser de manière intégrée. Quatre types de courants principaux peuvent être considérés, dont la présence et l'influence respective dépend largement du site considéré :

- les courants de marée astronomique, périodiques en intensité et en direction ;
- les courants générés par le vent qui, de par leur nature, sont importants en surface et décroissent rapidement avec la profondeur ;
- les courants permanents ou saisonniers (grands courants océaniques, courants de compensation, ...) ;
- les courants côtiers dus à la houle (dérive littorale ou courants sagittaux).

De par sa situation géographique (baie de Bourgneuf), les courants sur la zone sont principalement liés à la marée astronomique.

Les houles bien qu'amorties génèrent des courants de dérive littorale au niveau de la plage entre la Pointe de Saint-Pierre et Fort-Larron comme en témoigne la présence d'épi sur la plage. Ces courants influencent donc la dynamique littorale externe du port, mais pas la courantologie intérieure du port de Noirmoutier.

Les courants dus au vent sont susceptibles d'influencer légèrement la courantologie au niveau du port de Noirmoutier. Néanmoins, les courants de marée sont largement prépondérants à la fois sur les niveaux d'eau et sur les vitesses du courant atteints dans le port. La prise en compte du vent ne présente donc pas d'intérêt particulier pour l'étude de l'impact hydraulique de la mise en place de portes à marée en conditions usuelles.

Enfin, les courants généraux sont en effet négligeables au niveau du port de Noirmoutier.

Pour ces raisons, seuls les courants de marée sont pris en compte dans cette étude.

5.3.3.2 Courantologie du secteur d'étude

Les courants de marée au niveau de la zone d'étude sont liés au phénomène de remplissage / vidange de la baie de Bourgneuf. Les vitesses les plus fortes autour de l'île apparaissent dans le passage entre Noirmoutier et la Pointe Saint-Gildas, dans les chenaux de la baie (Le Fain notamment), et dans le goulet de Fromentine.

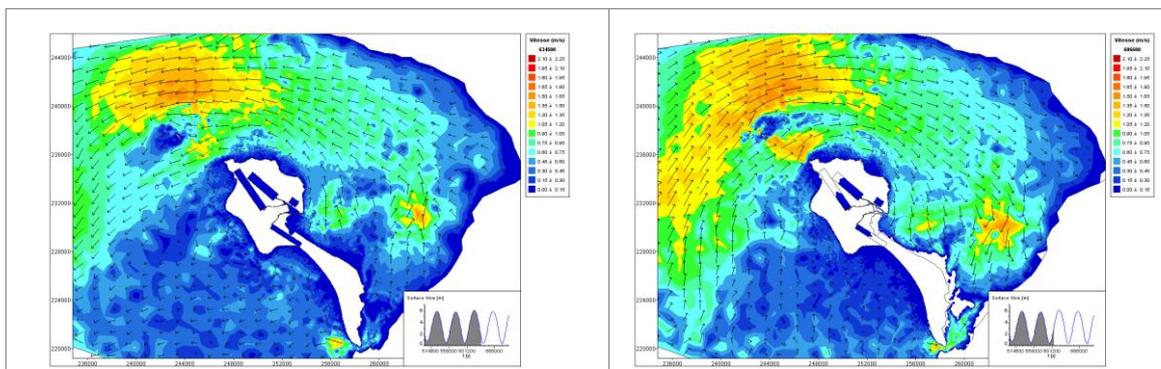


Figure 13 : Courants de marée autour de l'île de Noirmoutier (jusant à gauche - flot à droite) - marée de coefficient 114

Dans le port de Noirmoutier, les courants de marée sont liés au remplissage / vidange de l'avant-port et des étiers. Leur direction suit l'axe des chenaux, et sont orientés au nord-ouest au flot, et au sud-est au jusant (cf. Figure 14 ci-après).

Par effet de canalisation de l'écoulement, les vitesses les plus fortes sont rencontrées dans les étiers et chenaux. Les courants les plus forts sont rencontrés à la sortie du port, dans la partie la plus étroite, devant Fort Larron entre la digue des Ilots et la jetée Jacobsen. Ces courants dans le chenal peuvent atteindre à mi-marée (montante ou descendante) des vitesses d'environ 1.2m/s en marée de VE, et jusqu'à 1.5 m/s en période de VEE.

Enfin, comme l'illustre la figure suivante (Figure 15), on observe une asymétrie des courants de flot et jusant, particulièrement marquée à l'entrée du port, et qui s'atténue en remontant vers les écluses.

Plus précisément, à l'entrée du port, cette asymétrie dépend de la période de la marée, avec un courant de jusant plus intense qu'au flot en période de revif (période pendant laquelle les coefficients de marée augmentent), et l'inverse en période de déchet (période pendant laquelle les coefficients de marée diminuent). Plus à l'intérieur du port, aussi bien dans le chenal que sur les berges vasardes, les courants de flot sont généralement plus forts que ceux de jusant, cette différence étant plus marquée en période de déchet que de revif, et très réduite en période de morte-eau. Enfin, dans les étiers, et en particulier dans leur axe principal, on observe soit un comportement similaire lorsque les écluses sont fermées ou que les volumes de vidange en amont sont faibles, soit lorsque les volumes amont écoulés sont importants, on observe des vitesses de jusant du même ordre de grandeur voir supérieures à celles du flot, et maintenues plus longtemps que lors du flot (effet de chasse).

Des cartes courantologiques données à plusieurs instants de la marée sont présentées en Annexe.

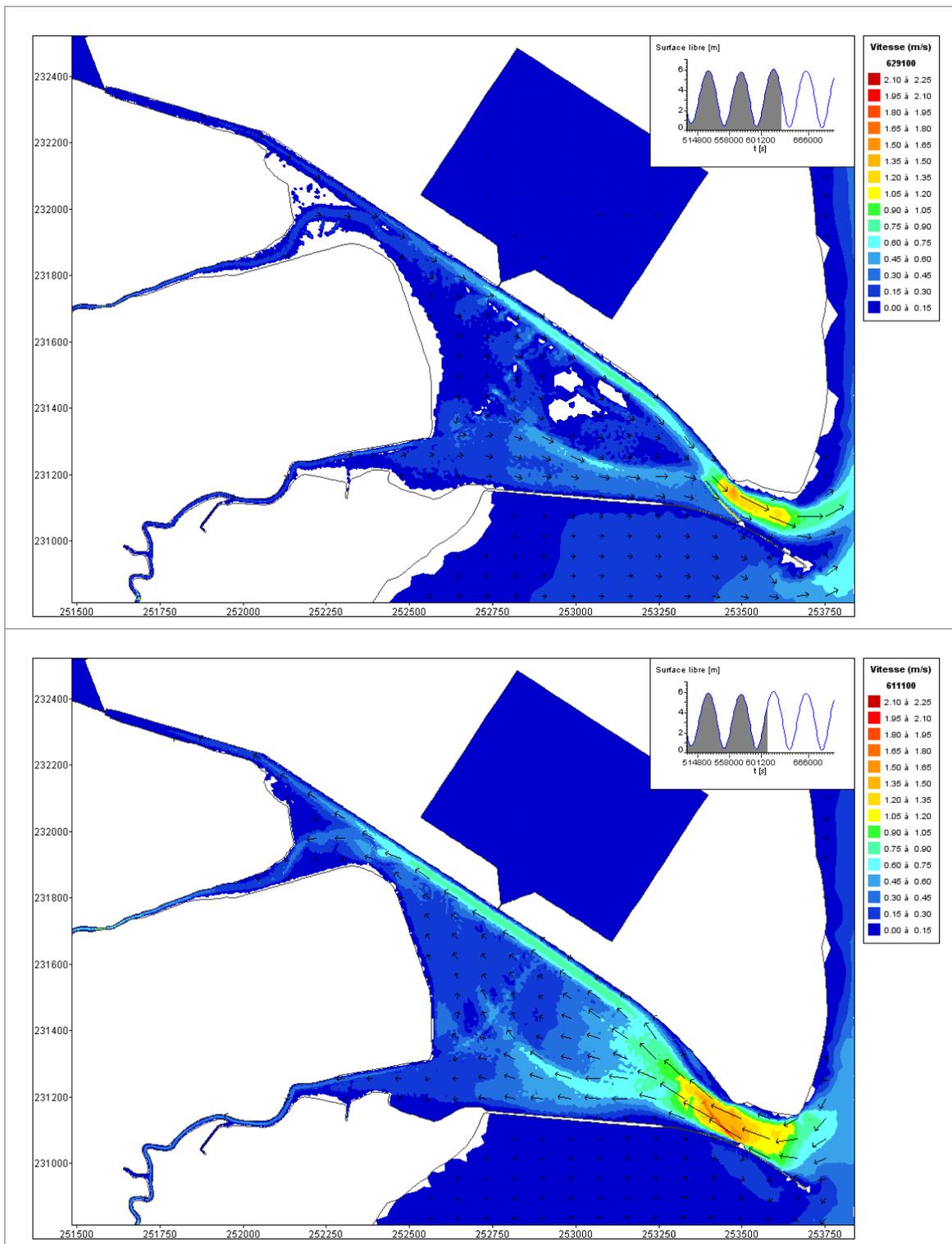


Figure 14 : Courants de marée dans le port de Noirmoutier au jusant (PM+3h ; en haut), et au flot (PM+3h ; en bas) - Marée exceptionnelle de coefficient 114

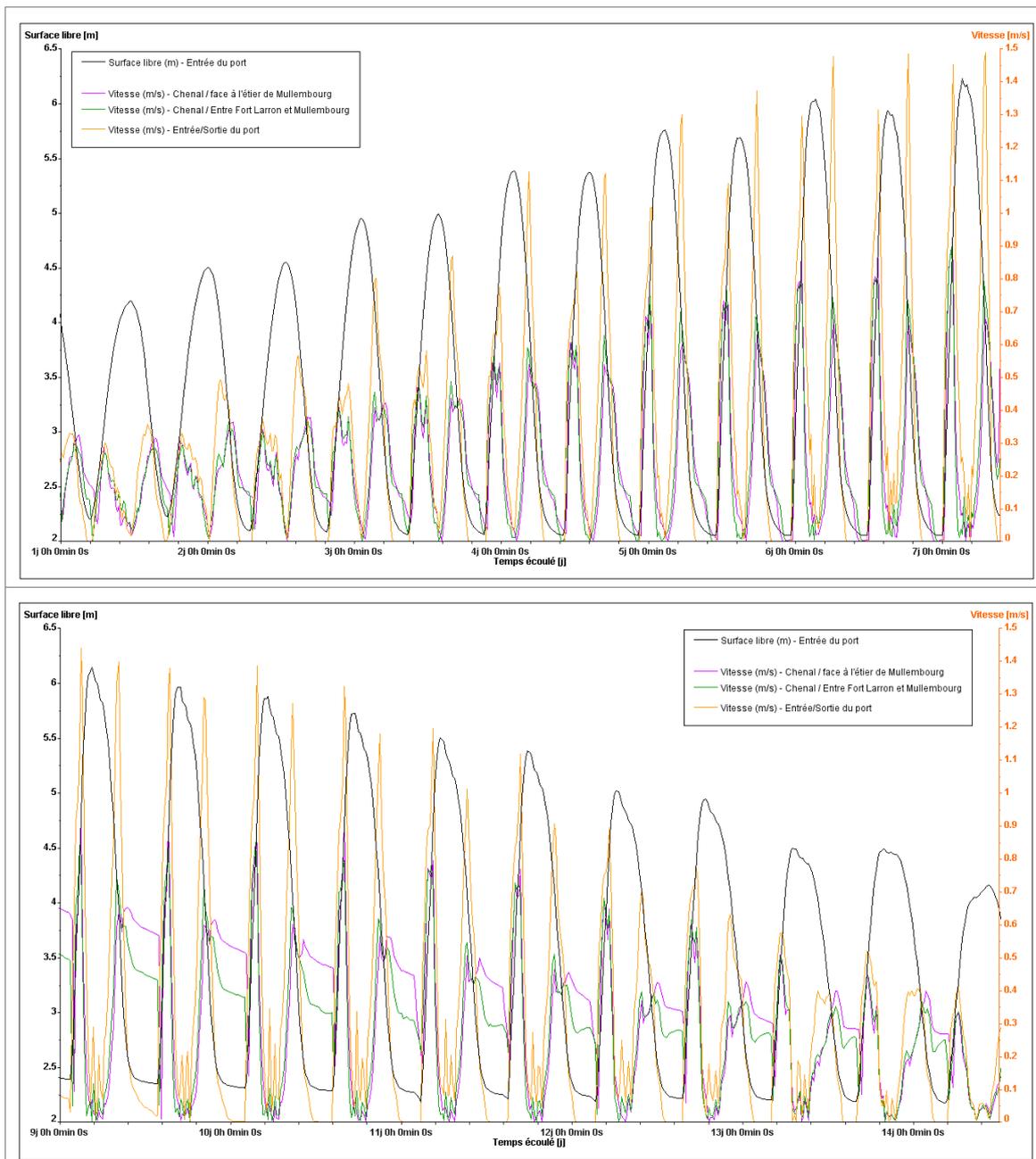


Figure 15 : Evolution des vitesses du courant dans l'avant-port, le long du chenal principal, en période de revif (en haut) et de déchet (en bas)

5.4 Contexte sédimentaire de la zone d'étude

5.4.1 Contexte sédimentologique – Cellule sédimentaire

La façade intérieure (littoral Est) de l'île de Noirmoutier jusqu'à Noirmoutier-en-l'Île constitue un sous-secteur homogène d'une unité sédimentaire¹ s'étendant de la pointe Saint Gildas à la baie de Bourgneuf [L4].

5.4.2 Apports sédimentaires du bassin versant

Les étiers littoraux sont susceptibles d'alimenter le littoral en sédiments. Il s'agit essentiellement de sédiments fins cohésifs (vases, limons). Nous ne disposons pas cependant, d'information quantitative précise sur les apports solides des étiers sur la zone d'étude.

Ces flux peuvent cependant être estimés en première approche en multipliant le débit moyen des étiers, par la concentration moyenne de matières en suspension (MES) au niveau des étiers.

5.4.2.1 Débit des étiers

Nous ne disposons pas d'information précise sur le débit d'eau douce amené par les étiers. Nous retiendrons en première approche les valeurs de débit suivantes : 100l/s pour l'étier du Moulin, 100l/s pour l'étier de l'Arceau, et 50l/s pour l'étier des Coëfs.

5.4.2.2 Concentrations en MES dans les étiers

Concernant les taux de MES, nous disposons en revanche d'une quantité importante de mesures réalisées dans les étiers par la DDTM85 et l'Observatoire de l'Eau du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf de 1995 à 2010 [L2].

L'analyse de ces résultats amène les commentaires suivants :

- les concentrations de MES sont similaires d'un étier à l'autre. Elles varient dans une large gamme de 7mg/l à 205mg/l, avec une moyenne de l'ordre de 30 à 40mg/l selon les étiers ;
- le taux de MES est faiblement corrélé à l'instant de la marée comme le montre la figure suivante (cf. Figure 16), avec des concentrations néanmoins légèrement plus élevées au flot qu'au jusant (cf. Figure 17), témoignant a priori d'apports de sédiments en suspension vraisemblablement plus importants en provenance de la baie de Bourgneuf que du bassin versant ;
- les concentrations moyennes de MES présentent également une saisonnalité et semblent être légèrement corrélées aux cumuls pluviométriques moyens comme l'illustre la Figure 18 ci-après, ce qui témoigne d'une contribution du bassin versant aux apports en sédiments fins sur la zone.

¹ Domaine côtier et marin où l'on peut admettre que les phénomènes sédimentologiques sont spécifiques et indépendants des domaines adjacents mais où toute intervention sur une partie du littoral peut avoir des conséquences sur l'ensemble du domaine considéré.

Finallement l'analyse de ces données nous amène à retenir une **concentration moyenne d'environ 35 mg/l** pour chacun des étiers étudiés.

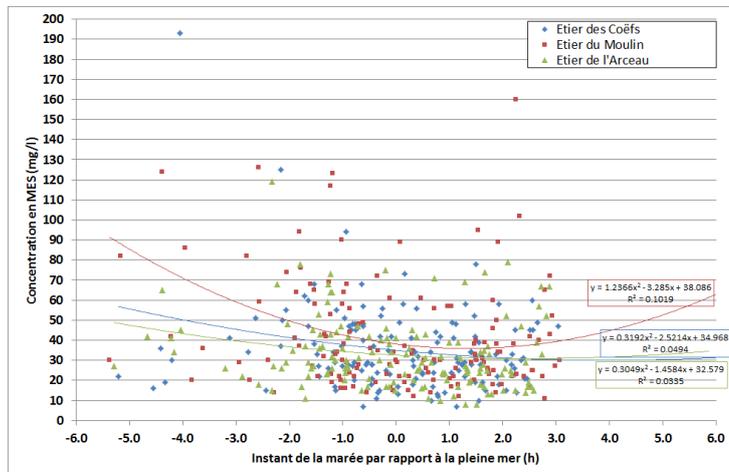


Figure 16 : Concentrations en MES dans les étiers en fonction de l'instant de la marée

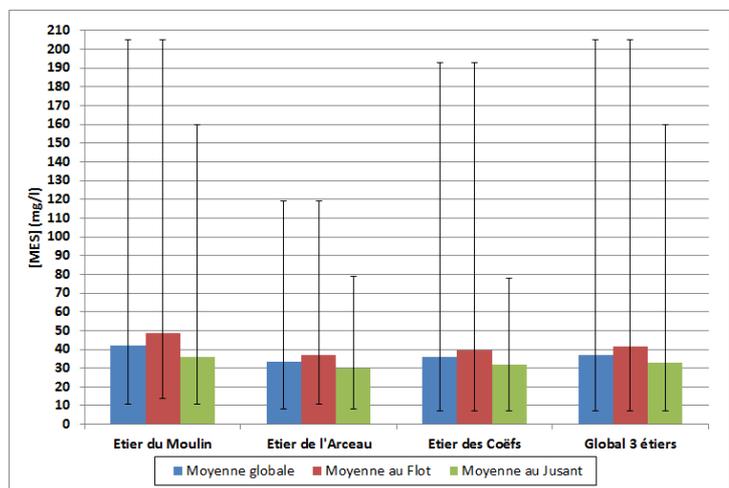


Figure 17 : Concentrations moyennes (histogrammes), min et max (barres d'erreur) en MES dans les étiers, au flot, au jusant et sans distinction de l'instant de la marée

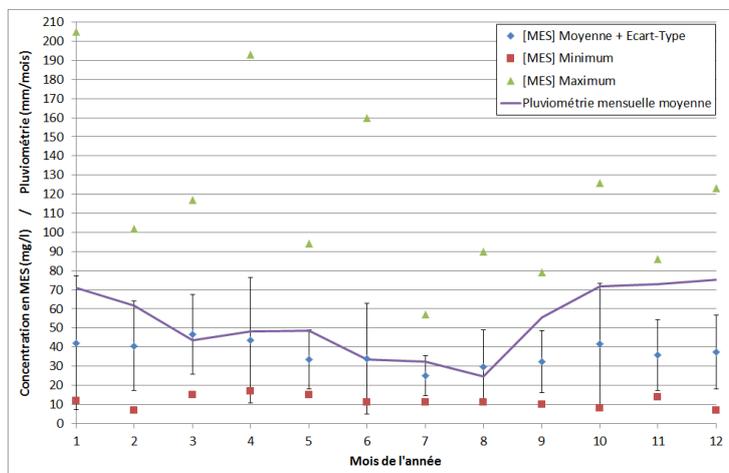


Figure 18 : Evolution des concentrations mensuelles moyennes, min et max en MES avec la pluviométrie mensuelle moyenne (1971-2000)

5.4.2.3 Apports sédimentaires des étiers

Sur la base des hypothèses de débit et concentration présentées plus haut, l'apport en MES peut ainsi être estimé à environ **275 t/an**.

En termes de contribution à la sédimentation de la zone d'étude, cet apport pourrait correspondre, dans l'**hypothèse** hautement **conservative** où l'on considère que la totalité de ces sédiments apportés par les étiers viennent à sédimenter dans le port et l'avant-port de Noirmoutier, à un **taux d'envasement moyen sur la zone de l'ordre de 1mm/an**.

Cet apport est donc **faible par rapport aux apports en provenance de la baie de Bourgneuf**. En effet, si l'on considère une concentration moyenne en MES égale à 35mg/l pour les volumes de remplissage du port par la marée, alors on peut estimer à environ 9000 t/an la quantité de sédiments transportés en suspension sur la zone d'étude. Si l'on considère que 25% de cet apport est susceptible de sédimenter dans la zone de balancement de la marée (hypothèse forte), alors on peut estimer à environ **1 cm/an** l'envasement potentiellement généré par les MES de la baie de Bourgneuf transportés **par la marée**.

Note : Dans la mesure où nous ne disposons pas de données précises sur l'envasement réel de la zone d'étude, ces taux de sédimentation sont donnés à titre purement indicatifs dans l'objectif de comparer les apports terrigènes et maritimes en sédiments fins sur la zone d'étude.

5.4.3 Cadre géomorphologique de la zone d'étude

5.4.3.1 Contexte géologique

Selon les cartes géologiques du BRGM, la dépression formée par les marais de Bourgneuf est constituée d'alluvions récentes formées, selon la terminologie locale, de bri (ou terre de marais). Ces dépôts sont composés de deux formations : une couche superficielle de vase gris-noire, riche en matières organiques, superposée à une vase verdâtre, reposant sur le socle cristallin ou sur le calcaire par l'intermédiaire d'une mince couche sableuse (cf. figure suivante) [L4][L5].

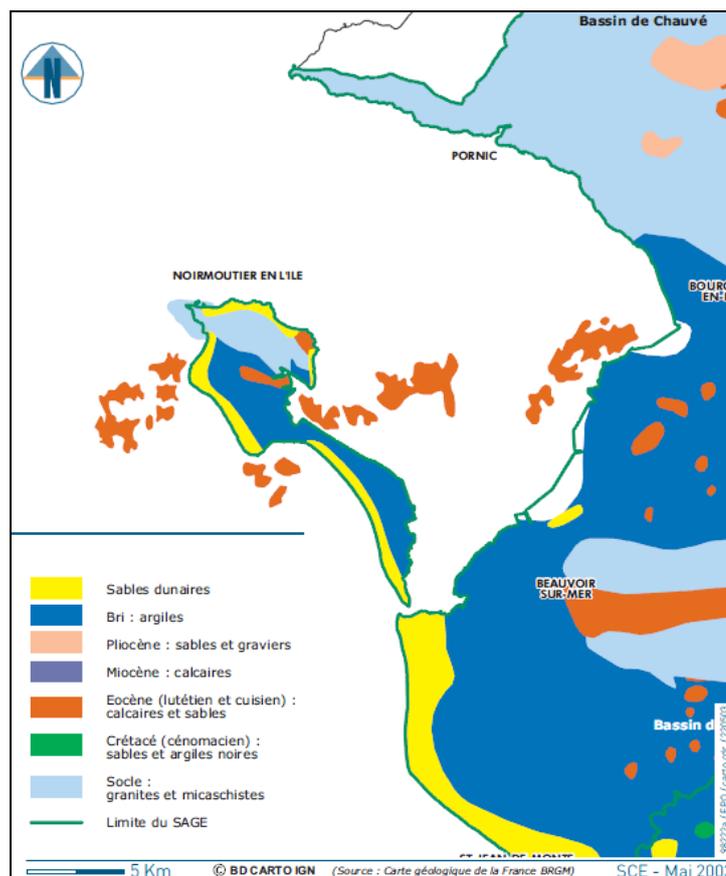


Figure 19 : Contexte géologique de la zone d'étude (extrait de [L5])

5.4.3.2 Description morpho-bathymétrique de la zone d'étude

Le littoral de ce sous-secteur est marqué par un linéaire important de digues à la mer protégeant les terrains situés en arrière (marais salants et polders) et la présence quelques étiers littoraux (au niveau du port de Noirmoutier-en-l'île par exemple) [L4]. Un cordon dunaire protège le littoral au nord du port.

Au niveau de Noirmoutier-en-l'île, le trait de côte possède une orientation quasi-circulaire ouverte vers l'Est. Comme introduit au 5.3.2, le littoral de de la zone d'étude bénéficie ainsi d'une protection naturelle contre les houles du large et est préférentiellement soumis aux clapots locaux levés par les vents soufflant sur la baie de Bourgneuf.

La bathymétrie générale autour de l'île et un zoom sur la zone d'étude ont été présentés sur la Figure 4. De manière globale, la pente des fonds est très faible (inférieure à 1%). Les petits fonds supérieurs à -10m CM occupent une superficie relativement importante, en particulier dans la baie de Bourgneuf, où les fonds forment un vaste estran bien développé.

Sur la zone d'étude, la pente moyenne est particulièrement faible, inférieure à 0.1% entre les écluses et l'entrée du port. La bathymétrie de la zone d'étude varie entre environ +1mCM à l'entrée du port et +6mCM sur les berges. L'essentiel de la zone de l'avant-port et des étiers se situe néanmoins entre les cotes +2mCM et +5mCM.

5.4.4 Nature des fonds et origine des sédiments marins superficiels

5.4.4.1 Répartition des faciès sédimentaires

D'après les cartographies sédimentaires générales établies par le LCHF (1981), la couverture sédimentaire en baie de Bourgneuf est principalement constituée de dépôts vaseux.

Nous ne disposons pas d'informations de détail sur les caractéristiques sédimentologiques du littoral de Noirmoutier-en-l'Île. Cependant, selon la carte géologique du BRGM, les digues de protection reposent généralement sur un estran sablo-vaseux, les sédiments les plus fins étant localisés en bordure de côte. Par ailleurs, au droit de Noirmoutier-en-l'Île, il existe un axe rocheux formant plusieurs écueils constitués de calcaires et grès.

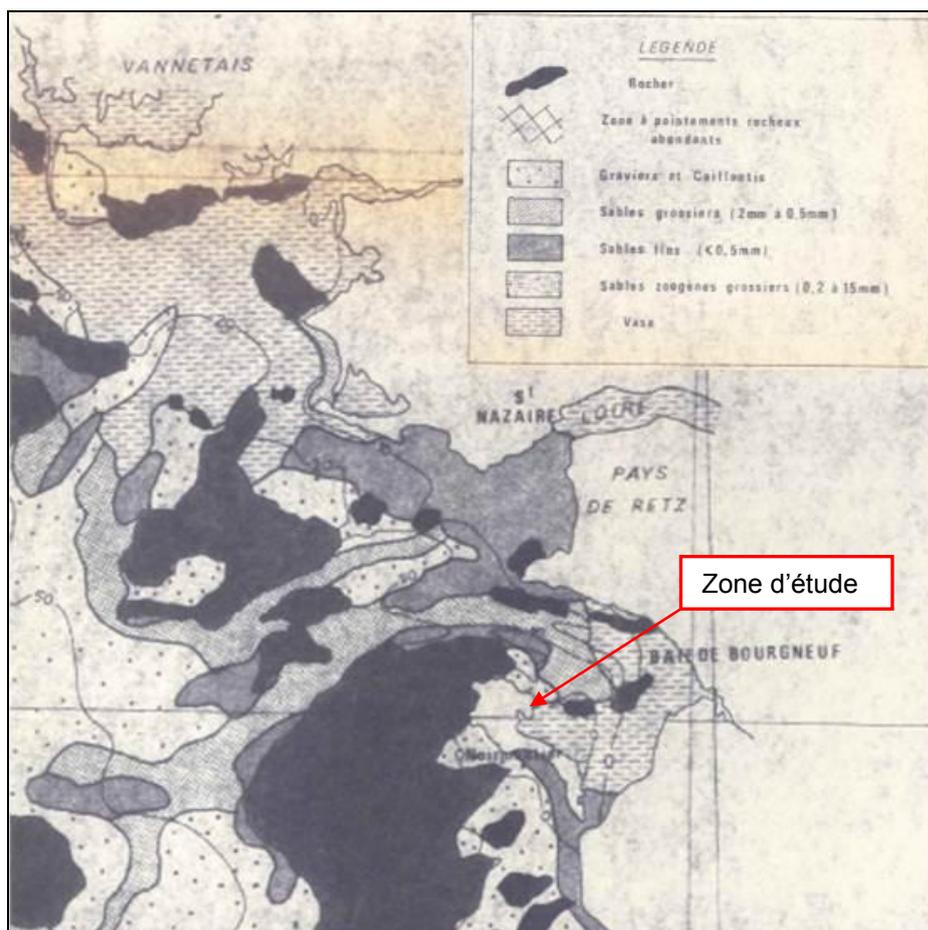


Figure 20 : Nature et répartition des sédiments de superficiels [L1]

5.4.4.2 Caractéristiques des sédiments superficiels du port de Noirmoutier-en-l'Île

A l'intérieur du port de Noirmoutier-en-l'Île, les investigations menées par IDRA dans le chenal d'accès [A2] ont mis en évidence la présence de vase et sable fin, avec un gradient granulométrique évoluant de l'entrée du port où le sable domine (97.5% de sédiments de diamètre $>63\mu\text{m}$), vers l'étier du Moulin où les vases dominent (plus de 86% de sédiments de diamètre $<63\mu\text{m}$; cf. figure ci-après).

Nous ne disposons pas de données analogues pour les chenaux secondaires menant aux 2 autres étiers. L'hypothèse d'une répartition granulométrique similaire peut cependant être

retenue à ce stade, dans la mesure où les conditions hydrodynamiques et apports du bassin versant sont comparables.

Enfin, les sédiments fins semblent prédominer de part et d'autre du chenal d'accès, formant de larges vasières intertidales (zones de slikkes et schorres) observables sur les images satellite.

Cette répartition est fortement corrélée aux conditions hydrodynamiques en jeu, plus fortes dans les chenaux (courant plus important), ainsi qu'au niveau de l'entrée du port où l'on observe à la fois une réduction de la section hydraulique qui va augmenter les vitesses des courants, et une légère influence de l'agitation du large. Ces conditions de courant et agitation plus importantes limitent la capacité de dépôt des particules les plus fines, contrairement aux zones de vasières intertidales, où l'hydrodynamisme plus faible (du fait d'une faible hauteur d'eau à marée haute) va faciliter le dépôt des sédiments les plus fins.

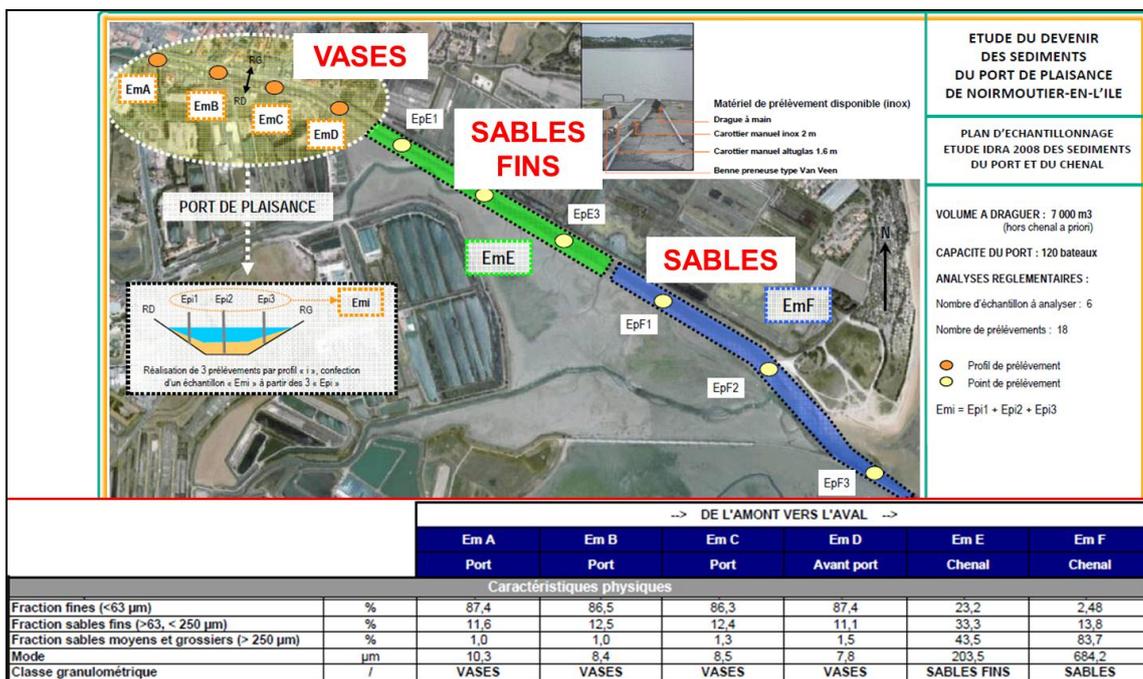


Figure 21 : Plan d'échantillonnage et résultats des analyses granulométriques réalisées par IDRA sur les sédiments du port de Noirmoutier-en-l'Île [A2]

5.4.5 Epaisseurs de sédiments meubles

Nous ne disposons pas d'informations concernant l'épaisseur des sédiments sur la zone d'étude.

5.4.6 Dynamique sédimentaire de la zone d'étude

5.4.6.1 Dynamique naturelle

Transit éolien

L'effet du vent sur la dynamique sédimentaire intervient essentiellement sur les plages sèches et est à l'origine de la formation des cordons dunaires. Il n'intervient donc pour ainsi dire pas sur la dynamique sédimentaire à l'intérieur du port de Noirmoutier, gouvernée par l'action de la houle et des courants.

Aspects généraux sur l'action de la houle et des courants

Les mouvements sédimentaires sont étroitement liés aux caractéristiques énergétiques des conditions environnementales océaniques (vent, houle, courant de marée) et aux apports des bassins versants en eau douce et sédiments. Ils sont donc saisonniers, et peuvent s'effectuer avec des fluctuations importantes d'une année à l'autre.

Les fonds marins se modèlent et se déplacent pour atteindre un profil d'équilibre. Ce profil évolue si les forçages hydrodynamiques varient, et les volumes de matériaux mis en jeu peuvent être très importants. Ces évolutions se traduisent par des modifications des niveaux de plages et des fonds marins et aussi de la répartition des matériaux superficiels.

A la côte, en zone exposée à l'agitation du large, ce qui est le cas pour les côtes nord et est de la baie de Bourgneuf ainsi que celles de l'île de Noirmoutier, la houle joue un rôle fondamental dans les transports sédimentaires. La houle agit sur les sédiments en :

- remettant en suspension les sédiments (plus particulièrement dans la zone de déferlement) qui peuvent alors être repris par les courants (de marée, etc.),
- créant un courant littoral longitudinal dans la zone de déferlement lorsqu'elle déferle avec une incidence oblique par rapport au trait de côte, ou en créant un courant de compensation sur le fond (undertow) en cas de forte houle frontale ;
- favorisant le transport des sédiments grossiers et des galets (le cas échéant) sur l'estran (« en dent de scie » dans la zone de « jet de rive »),
- créant 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 ou à l'entrée des ports (phénomène de diffraction).

Les matériaux fins (vases) sont absents des zones les plus exposées, principalement constituées de sables et roches dénudées (ayant subi l'action érosive de la houle).

Plus au large, au-delà de fonds de l'ordre de -7mCM, mais aussi en direction du fond de la baie de Bourgneuf et le long de la côte orientale de Noirmoutier, l'influence de la houle diminue, et les courants (liés au vent et à la marée principalement) deviennent les principaux agents morphodynamiques. En fonction de leur taille, les sédiments seront mobilisés, entraînés par les courants et déposés dans des zones moins énergétiques.

Les sédiments les plus fins se retrouvent ainsi dans les fonds plus importants (au large) et dans les zones abritées du courant et de la houle (abris portuaires, zones intertidales abritées de la houle, etc.) créant ainsi des surfaces importantes de vasières. L'envasement peut par ailleurs être favorisé par une asymétrie des courants de marée de flot et de jusant, tel que cela peut être observé dans le port de Noirmoutier (cf. §5.3.3.2)

La houle conserve néanmoins constamment un rôle important de remise en suspension des sédiments en baie de Bourgneuf. En effet, en se brisant sur les hauts fonds à l'approche des côtes, les vagues créent une forte agitation, chargeant en sédiments les eaux claires du large (cf. figure suivante). Les particules remises en suspension peuvent alors être réintroduites dans les zones abritées par le flot de la marée. Cette "reprise" sédimentaire, dont l'estimation exacte est délicate (cf. estimation au §5.4.2.3), montre néanmoins l'importance des transports solides dans les échanges avec la baie.

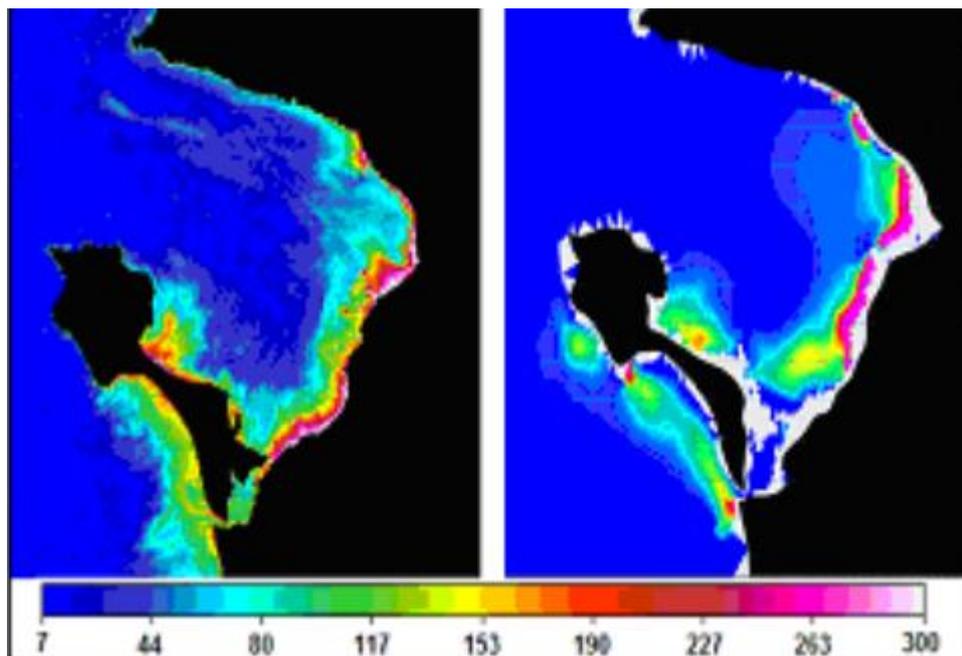


Figure 22 : Concentration en MES (mg/l) en Baie de Bourgneuf (à gauche image SPOT du 13/12/2005 à 11h ; à droite résultats d'un modèle simulant la remobilisation des sédiments sous l'action de la marée et de l'agitation le même jour à la même heure) (Dussauze et al., 2010)

Tendances sédimentaires de la baie de Bourgneuf sous l'actions des agents naturels

SANCHEZ a déterminé dans [A1] à l'aide de la méthode basée sur la caractérisation des agents hydrodynamiques et de leur action sur les sédiments fins, les tendances à l'érosion, à la sédimentation et au transport en plusieurs points d'une zone s'étendant de la baie du Pouliguen à l'île d'Yeu. Les résultats de cette étude sont présentés figure suivante pour une marée de vive-eau et une marée de morte-eau.

L'analyse de ces résultats met en évidence au niveau du port de Noirmoutier une tendance marquée au transport des sédiments fins vers le sud-sud-est, quelles que soient les conditions de marée et de houle étudiées.

Bien que la côte nord-est de Noirmoutier soit en légère érosion d'après DHI [L3], de manière générale en baie de Bourgneuf, il ressort des éléments disponibles que l'évolution des fonds au droit des digues de protection est essentiellement liée à la dynamique tidale étant donné la très faible importance des houles sur cette zone particulière. Enfin, à ces facteurs naturels peuvent s'ajouter les actions anthropiques à rattacher aux travaux de poldérisation de la zone. L'évolution des fonds de la baie de Bourgneuf est donc à mettre en relation avec les effets conjugués de l'envasement naturel et des actions anthropiques. L'envasement naturel en baie de Bourgneuf est en effet à rattacher à :

- l'accumulation des sédiments lors de la transgression flandrienne, lorsque le niveau marin proche de l'actuel fut atteint il y a environ 3000 à 4000 ans,
- la situation particulière de la zone située en fond de baie favorisant le dépôt de sédiments fins (faibles courants de marée, faible agitation).

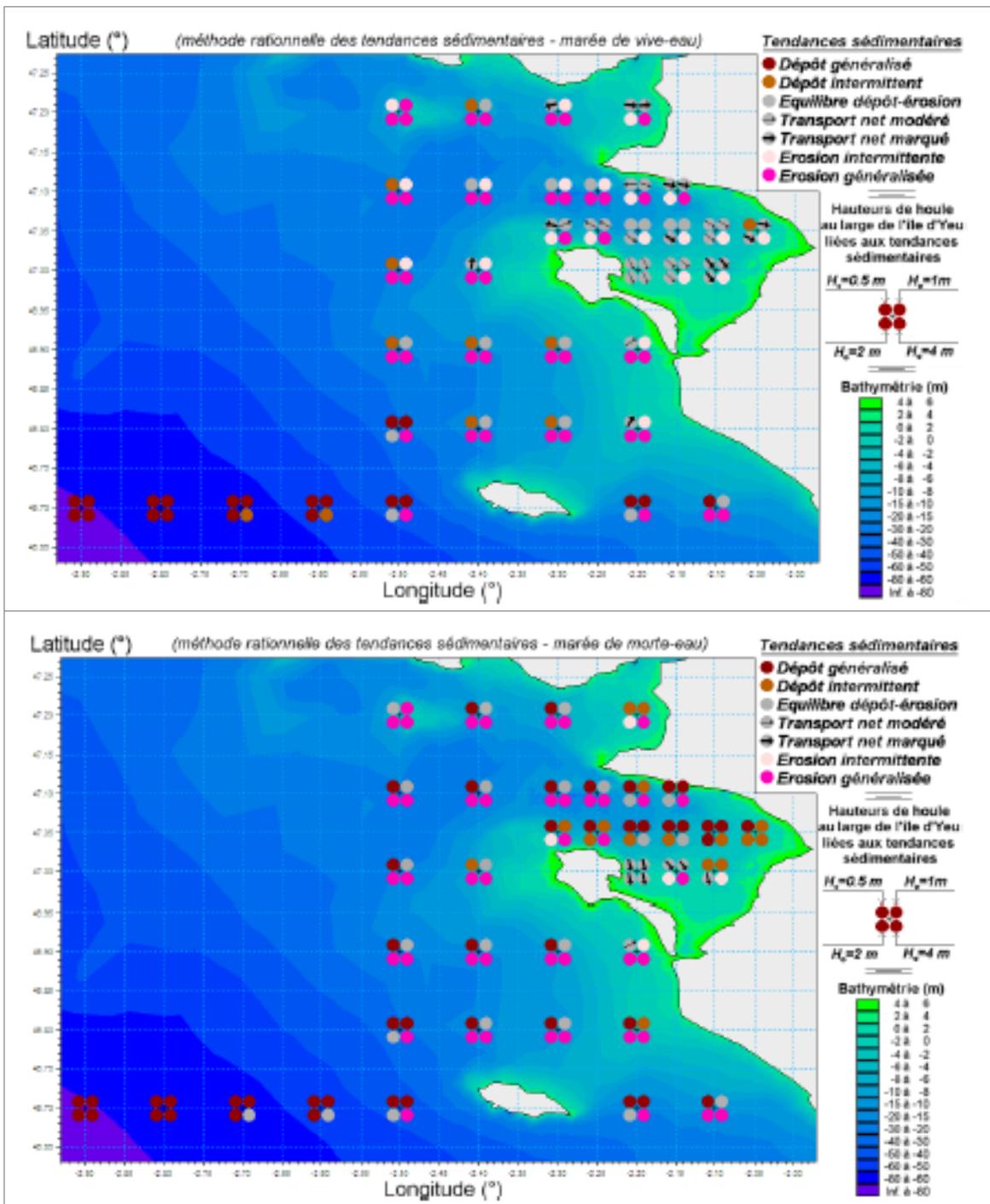


Figure 23 : Modélisation des tendances sédimentaires en 36 points du littoral atlantique proches de l'embouchure de la Loire pour quatre conditions de houle croisées avec des conditions de marée de vive-eau (en haut) et de morte-eau (en bas) [A1]

Tendances sédimentaires du port de Noirmoutier sous l'actions des agents naturels

Au même titre que la baie de Bourgneuf, l'évolution des fonds dans le port de Noirmoutier est essentiellement liée à la dynamique tidale étant donné la très faible importance des houles sur cette zone particulière, excepté à l'entrée du port, où les houles résiduelles sont à l'origine d'un léger transport sédimentaire littoral alimentant l'entrée du port en sable (cf. illustration suivante).

Ce phénomène d'engraissement du port par les sédiments fins du large (baie de Bourgneuf) est par ailleurs favorisé par une asymétrie des courants de flot et jusant observable dans le chenal d'accès au port de Noirmoutier (courant de flot généralement plus fort que celui de jusant, en particulier une fois passée l'entrée du port ; cf. §5.3.3.2).

Bien que le développement actuel des vasières intertidales de l'avant-port laisse supposer au moins un équilibre sédimentaire sinon une tendance à l'envasement de la zone, comme pour l'ensemble des bassins portuaires situés sur le littoral, nous ne disposons pas cependant, de suffisamment de données bathymétriques historiques permettant de préciser la tendance sédimentaire dans le port de Noirmoutier.

Les rares entretiens des fonds (le dernier dragage du port aurait eu lieu en 1955, d'après la CdC Ile de Noirmoutier), témoignent toutefois d'une dynamique d'envasement de la zone d'étude relativement lente ou stabilisée à ce jour.

Ce point semble confirmé par les cubatures réalisées par IDRA d'après les levés bathymétriques de 2004 et 2008 sur les zones du port et de l'avant-port. Ces résultats montrent en effet que la sédimentation dans l'étier du Moulin semble être stabilisée sinon en léger recul, puisque la comparaison des cubatures entre 2004 et 2008 indique une faible variation des volumes à extraire par rapport à un plan de comparaison constant. La légère variation constatée entre 2004 et 2008 est d'ailleurs négative, de l'ordre de 1 400 m³ (sur plusieurs hectares ; cet écart absolu atteint en relatif 3,5 %) [A2].

Enfin, aux facteurs naturels peuvent s'ajouter les effets d'actions anthropiques telles que les ouvertures/fermetures des écluses des étiers qui vont modifier légèrement les conditions d'écoulement et donc de sédimentation sur la zone, ainsi que la circulation des bateaux qui est susceptible de limiter localement le dépôt des sédiments ou de remettre en suspension les vases fraîchement déposées.



5.4.6.2 Impact de l'action anthropique sur le fonctionnement hydrosédimentaire de la baie de Bourgneuf et de la zone d'étude

Aux processus physiques décrits plus haut, sur lesquels il est assez difficile d'agir, se superposent des facteurs anthropiques et en particulier tous les travaux de poldérisation de la baie qui ont contribué à faire diminuer le volume oscillant et donc à accentuer ces phénomènes d'envasement [L4]. A noter aussi que le développement des installations conchylicoles dans la baie a pu aussi contribuer à favoriser la sédimentation en réduisant les courants et l'agitation.

Au niveau du port de Noirmoutier, la présence d'écluses au niveau de chacun des 3 étiers va, lorsque celles-ci sont fermées, limiter les volumes oscillants et la capacité de la zone à évacuer les sédiments fins au jusant. Néanmoins, les séquences d'ouverture / fermeture auront pour conséquence à certains moments de l'année d'augmenter les volumes évacués au jusant et permettent donc d'améliorer le phénomène de chasse. La détermination de l'effet de ces ouvrages sur les tendances d'évolution du port de Noirmoutier est donc délicate sans une modélisation complète et réaliste du fonctionnement de la zone sur une année type complète.

Enfin, il semblerait que certaines zones du port présentent une tendance récente à l'envasement du fait d'une réduction de l'activité du port, les moteurs de bateaux (en marche autant qu'à poste) limitant l'envasement de la zone en remettant régulièrement en suspension les matériaux fraîchement déposés.

5.4.6.3 Bilan sédimentaire de la zone d'étude – Evolution du trait de côte et des fonds marins

Les phénomènes sédimentaires rencontrés sur ce littoral sont donc :

- un envasement de la baie de Bourgneuf essentiellement liée à la dynamique tidale et aux apports de la Loire, accentué par les travaux de poldérisation et le développement d'installations conchylicoles ;
- une accrétion du littoral sableux au nord de la zone d'étude due au transport de sable depuis le nord de l'île par les vagues jusqu'à l'entrée du port ;
- une tendance probablement à l'envasement du port de Noirmoutier liée à la dynamique tidale et aux apports de MES de la baie de Bourgneuf, susceptible d'être perturbée par la présence d'écluses à l'aval des étiers, et par la circulation des navires à moteur.

Evolution des fonds marins en baie de Bourgneuf et dans le port de Noirmoutier

La baie de Bourgneuf est soumise à un phénomène de colmatage estimé à +1cm/an en moyenne sur l'ensemble de la baie (Gouleau, 1975). Cette sédimentation se localise cependant préférentiellement au Sud d'une ligne estimée au niveau de Noirmoutier-en-l'île – Port du Collet, mais les chiffres de la sédimentation sur cette zone particulière ne sont pas disponibles.[L4]

D'après les éléments reportés plus haut, les observations actuelles laissent supposer un équilibre sédimentaire sinon une légère tendance à l'envasement de la zone.

Nous ne disposons pas cependant de données précises sur la zone d'étude. Pour établir des tendances d'évolution sur la zone, il serait nécessaire de disposer de plusieurs jeux de bathymétrie historiques à moyen ou long terme de la zone qui pourraient alors être comparés aux données disponibles récentes.

Evolution du trait de côte et des petits fonds

Les tendances évolutives du littoral de la zone d'étude sont les suivantes :

- Au nord du port : d'après DHI [L3], le littoral est stable ou en légère accrétion, au rythme de +0.5 à +0.9m/an entre 1975 et 2001. Cette tendance devrait se poursuivre dans les années à venir, au moins à court ou moyen terme.
- Au sud du port : le trait de côte, peu exposé à l'agitation du large, et protégé par des digues, est relativement stable [L3][L4].

5.5 Synthèse de la dynamique hydrosédimentaire actuelle de la zone d'étude

Le port de Noirmoutier, ouvert à l'est sur la baie de Bourgneuf, est relativement protégé de l'agitation du large et essentiellement soumis à l'action de la marée astronomique.

Le littoral adjacent est endigué et stable au sud, sableux et plutôt en accrétion au nord (+0.5 à +0.9m/an). Le transit sédimentaire nord→sud sur ce secteur (3 à 4000m³) alimente régulièrement l'entrée du port en sédiments sableux, qui sont périodiquement entraînés dans le chenal d'accès du port ou dispersés plus au large par les courants de marée.

Les fonds marins en baie de Bourgneuf sont essentiellement vasards (sédiments ligériens principalement) avec une tendance à l'engraissement (au rythme moyen de +1cm/an) principalement sous l'action de la marée astronomique, accentuée par les travaux de poldérisation et le développement d'installations conchylicoles. Par ailleurs, l'action conjuguée des courants de marée et de l'agitation du large (houles et mers du vent) remobilise régulièrement les sédiments fins dans les faibles fonds, générant une turbidité importante susceptible d'être transportée par la marée à l'intérieur du port et ainsi favoriser son envasement. Cette contribution extérieure semble largement dominer celle des étiers débouchant directement dans le port.

Bien que nous ne disposions pas de données historiques suffisantes pour établir une tendance nette d'évolution des fonds dans le port de Noirmoutier, il semblerait que la zone présente une tendance naturelle à un faible envasement, sinon à l'équilibre sédimentaire, les usages actuels sur la zone (saliculture, aquaculture, navigation) limitant probablement les phénomènes d'engraissement.

⇨ Une proposition de schéma de fonctionnement du littoral de la zone d'étude est présentée ci-après.

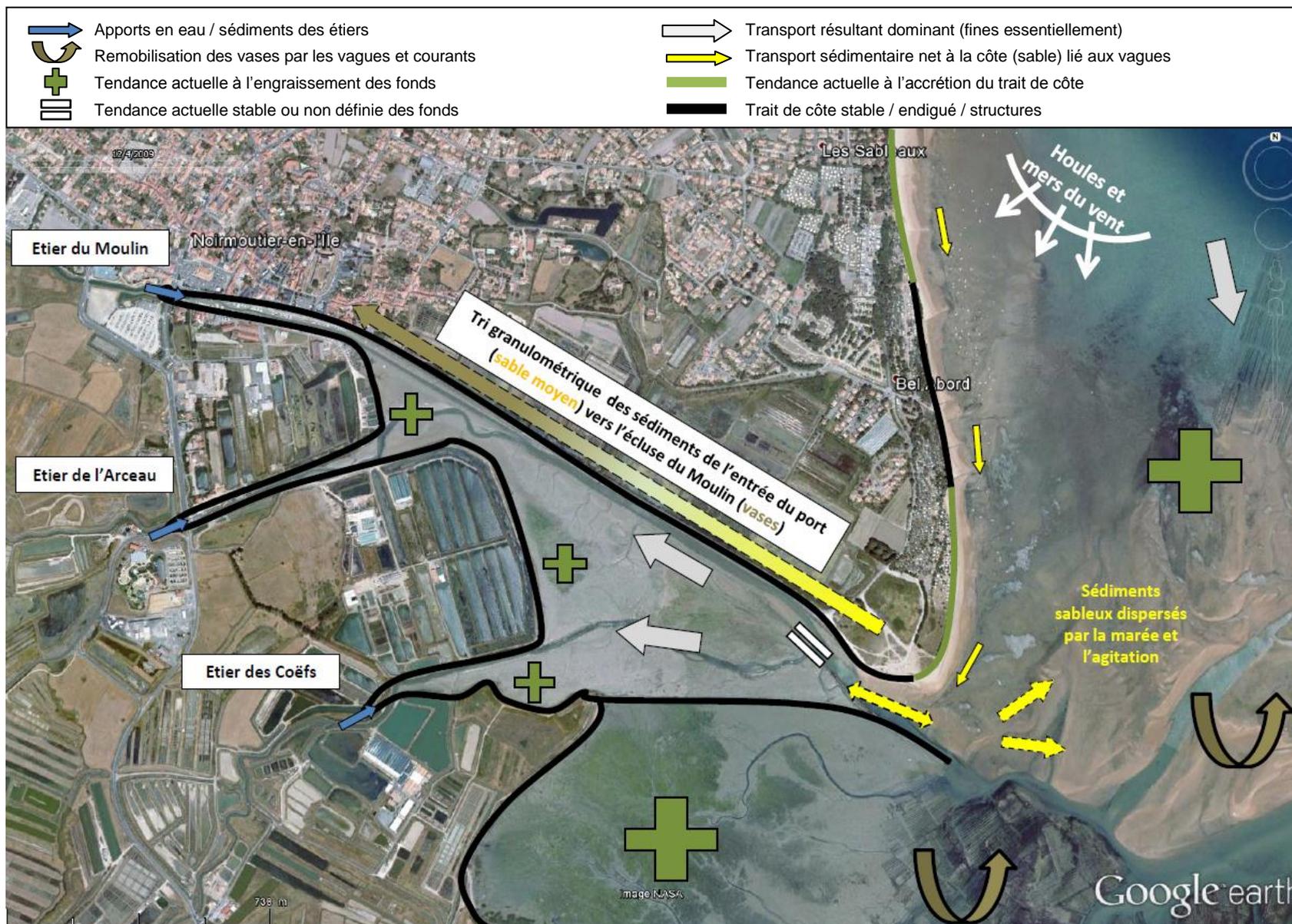


Figure 24: Schéma du fonctionnement sédimentaire actuel identifié sur la zone d'étude (fond : GoogleEarth©)

Chapitre 6 Effets du projet sur le fonctionnement de la zone

6.1 Effet du projet sur le fonctionnement hydrodynamique de la zone d'étude

Les effets du projet sont évalués en termes d'impact sur :

- les volumes remplis par la marée et les niveaux d'eau moyens et maximums atteints sur les différents secteurs de la zone d'étude ;
- les vitesses moyennes et maximales atteintes sur la zone d'étude.

6.1.1 Effet du projet sur les niveaux d'eau et volumes de remplissage

Les effets du projet sont illustrés à l'aide des figures et tableaux suivants, reportant pour l'état actuel et les 2 états aménagés, l'évolution des niveaux d'eau obtenus à l'aval des écluses de chacun des 3 étiers, et l'évolution des volumes de remplissage à l'aval et en amont des écluses.

Ces résultats mettent en évidence les impacts suivants sur les **niveaux d'eau** :

- A l'aval de l'écluse du moulin :
 - Solution n°3 : pas d'impact significatif sur la courbe de marée ;
 - Solution n°6 : diminution du niveau de pleine-mer atteint (jusqu'à -7cm) et un déphasage de la courbe (≤ 15 minutes) visibles essentiellement pendant la période de remplissage du réservoir amont, pendant environ les 2h précédant la pleine mer, qui peut générer ponctuellement des écarts de niveau d'eau supérieurs à 7cm.
- A l'aval des écluses de l'Arceau et des Coëfs :
 - Solution n°3 : pas d'impact significatif sur la courbe de marée ;
 - Solution n°6 : les niveaux maximums atteints sont peu ou pas affectés. En revanche, la courbe de marée est légèrement modifiée, notamment en fin de jusant, pendant environ 2h à 5h après la pleine mer, avec un niveau qui se maintient plus longtemps dans l'étier de l'Arceau, et au contraire un retour au niveau de basse mer plus rapide dans l'étier des Coëfs.

En termes de **volumes de remplissage**, les résultats mettent en évidence les impacts suivants :

- les solutions d'aménagements n°3 et n°6 induisent toutes deux une réduction du volume de remplissage simulé ;
- la réduction de ce volume est plus marquée pour la solution d'aménagement n°6 que pour la solution n°3 (jusqu'à 2 fois plus pour les zones les plus impactées) ;
- l'étier de l'Arceau est le plus pénalisé en termes de réduction du volume (-20 % en moyenne et maximum pour la solution n°6 ; -10% pour la solution n°3).

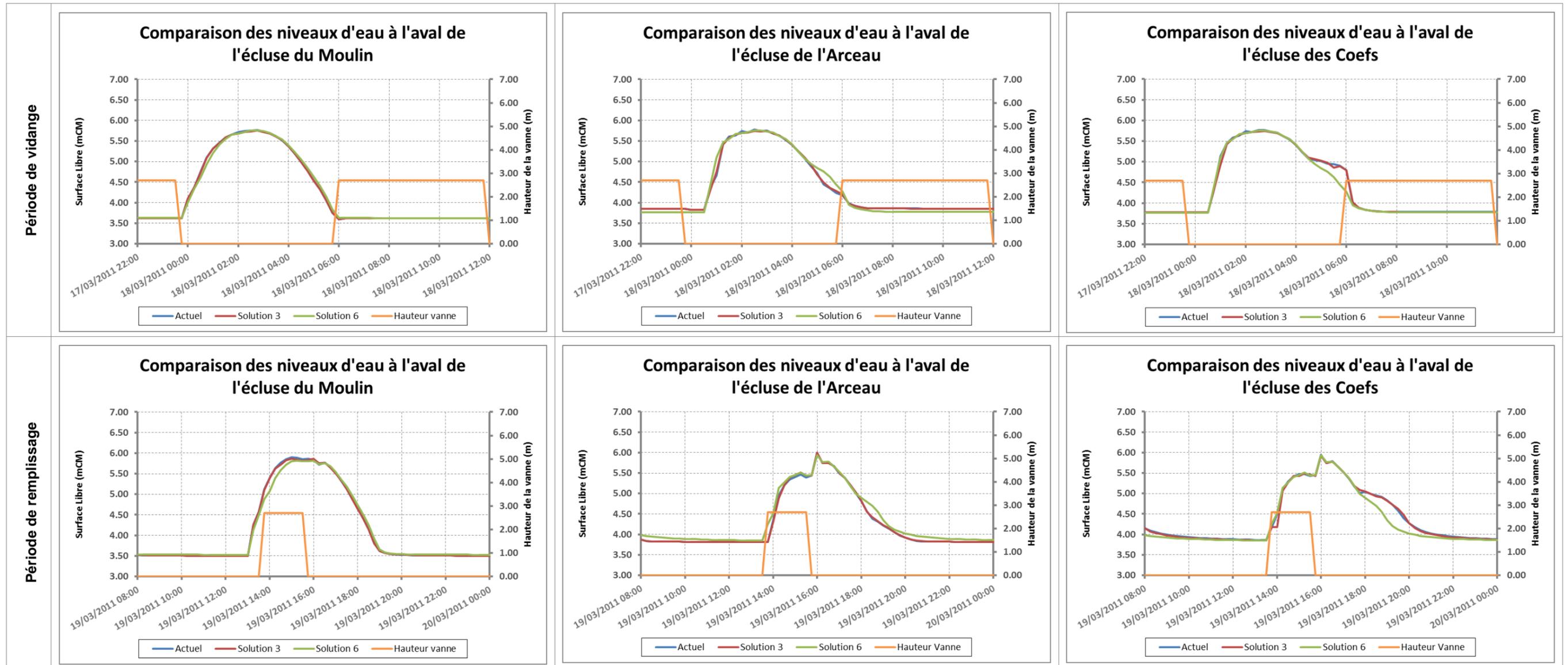


Figure 25 : Comparaison des niveaux d'eau simulés à l'aval des écluses de chaque étier pour les 3 configurations modélisées (état actuel, Solution 3, Solution 6)

Les tableaux et figures suivants reportent les résultats obtenus en termes de volumes de remplissage pour chaque configuration actuelle et futures modélisées :

Tableau 4 : Evolution des volumes de remplissage maximum calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures

Volumes max.	Actuel	Solution 3		Solution 6	
	Volume max. (m ³)	Volume max. (m ³)	Ecart / actuel	Volume max. (m ³)	Ecart / actuel
Z1- Etier du Moulin	701 895	668 820	-5%	650 051	-7%
Z2 - Etier de l'Arceau	140 364	126 102	-10%	112 617	-20%
Z3 - Etier des Cœfs	131 466	124 127	-6%	123 503	-6%
Z4 - Port -> Ecluses	1 548 876	1 532 982	-1%	1 503 285	-3%
Z5 - Port -> Portes à marée	(Sol3 / Sol6) 1 384 057 / 1 192 109	1 369 949	-1%	1 170 537	-2%

Tableau 5 : Evolution des volumes de remplissage moyen calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures

Volumes moyens	Actuel (m ³)	Solution 3		Solution 6	
	Volume moyen (m ³)	Volume moyen (m ³)	Ecart / actuel	Volume moyen (m ³)	Ecart / actuel
Z1- Etier du Moulin	249 838	238 540	-5%	233 860	-6%
Z2 - Etier de l'Arceau	74 008	67 679	-9%	59 469	-20%
Z3 - Etier des Cœfs	82 017	77 534	-5%	73 872	-10%
Z4 - Port -> Ecluses	343 732	341 706	-1%	342 707	0%
Z5 - Port -> Portes à marée	(Sol3 / Sol6) 309 956 / 269 540	308 097	-1%	269 135	0%

Tableau 6 : Evolution des volumes remplissage minimum calculés sur les différents secteurs de la zone d'étude à l'état actuel et pour les 2 configurations futures

Volumes min.	Actuel	Solution 3		Solution 6	
	Volume min. (m ³)	Volume min. (m ³)	Ecart / actuel	Volume min. (m ³)	Ecart / actuel
Z1- Etier du Moulin	63 290	63 220	0%	65 243	+3%
Z2 - Etier de l'Arceau	0	0	0%	0	0%
Z3 - Etier des Cœfs	1 237	1 200	-3%	1 204	-3%
Z4 - Port -> Ecluses	6 929	7 087	+2%	6 981	+1%
Z5 - Port -> Portes à marée	(Sol3 / Sol6) 5 166 / 4 696	5 251	+2%	4 735	+1%

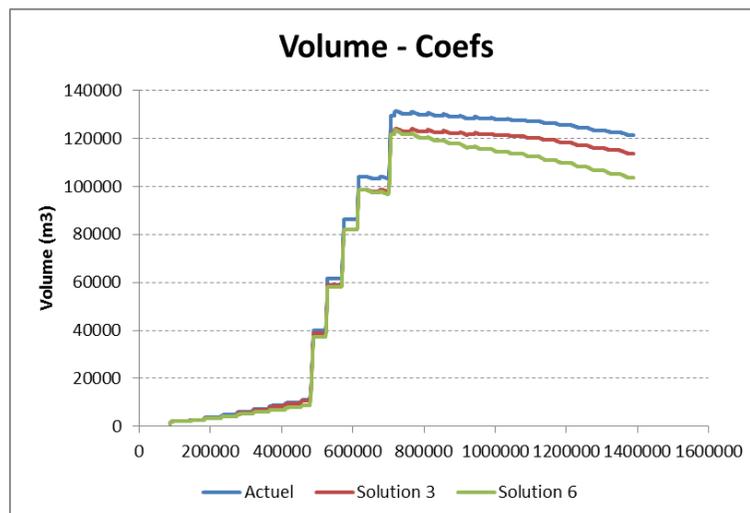
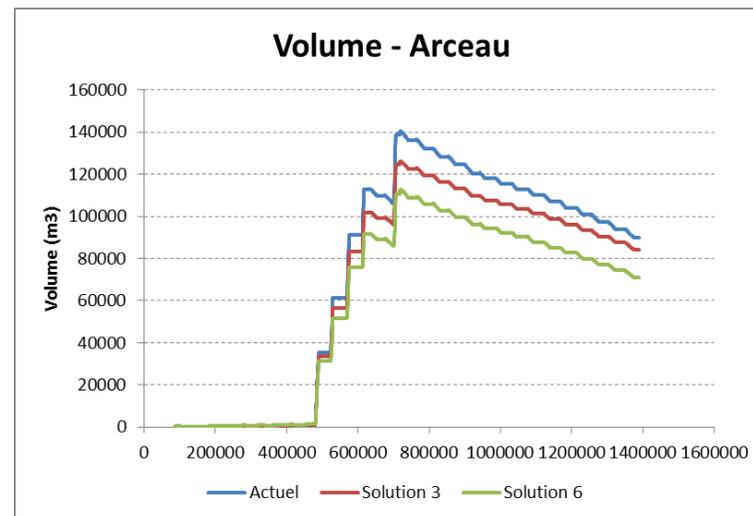
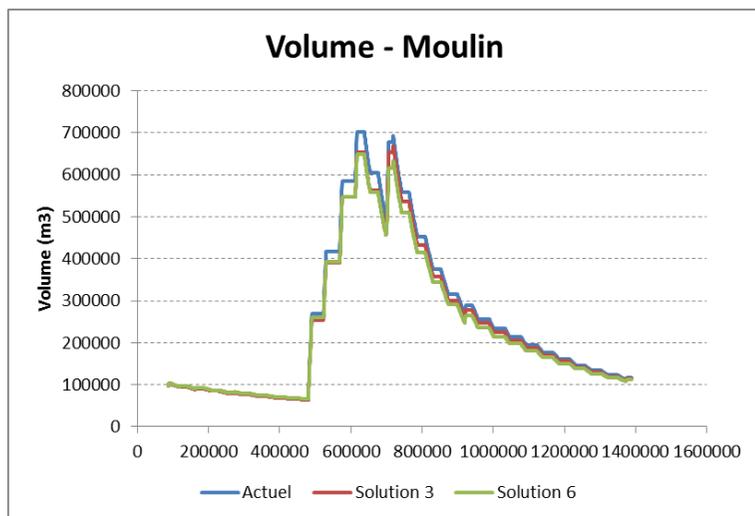


Figure 26 : Evolutions temporelles des volumes des 3 réservoirs schématisant les zones situées en amont des étiers dans le modèle

6.1.2 Effet du projet sur les vitesses du courant

Les aménagements projetés entraînent une réduction importante de la section courante au niveau des portes à marée. Toutefois, ces réductions de section sont de largeur similaire aux veines d'écoulement maximum des étiers concernés, et sont positionnés peu ou prou autour de ces principaux axes d'écoulement, de sorte que l'impact courantologique est relativement limité au regard des aménagements projetés.

Des cartes courantologiques données à plusieurs instants de la marée, à l'état actuel et pour chaque solution d'aménagement, sont présentées en Annexe.

Les cartes suivantes présentent le différentiel moyen calculé entre l'état actuel et les états aménagés sur les vitesses du courant simulées, ainsi que le différentiel calculé entre les vitesses maximales simulées à l'état actuel et les états aménagés.

Il ressort de ces résultats que les ouvrages projetés, quelle que soit la solution considérée, induisent les impacts suivants :

- un accroissement des vitesses au niveau des portes à marée dû à la réduction de section au niveau des portes,
- une réduction des vitesses de part et d'autre des portes,
- des gyres de recirculation en amont (au flot) et en aval (au jusant) des portes.

L'impact sur les vitesses est le plus forte au niveau des portes délimitant des volumes oscillants les plus importants, c'est-à-dire :

- pour la solution 3 : au niveau des portes des étiers de l'Arceau et des Coëfs (augmentation /réduction inférieure à +0.3m/s / -0.1m/s en moyenne) ;
- pour la solution 6 : au niveau de la porte dite « du port » située à l'aval des étiers du Moulin et de l'Arceau (augmentation comprise entre 0.3 et 0.5m/s en moyenne, avec des accélérations atteignant jusqu'à +2.0m/s ponctuellement ; réduction jusqu'à -0.3m/s en moyenne). Ces accélérations ont pour effet au maximum du flot de modifier significativement l'écoulement principal au nord-ouest de la porte, qui se scinde actuellement en deux chenaux orientés vers les étiers de l'Arceau et du Moulin, et qui shunterait (dans le cas de cette solution) une partie du chenal menant à l'étier de l'Arceau. A noter que cette déviation du courant au plus fort du flot sera susceptible d'impacter les conditions de navigation (risque d'échouage, sinon de collision plus important).

La zone d'influence des portes est relativement limitée. L'impact des portes sur les vitesses dans les étiers est essentiellement ressenti en termes de possibles légers déphasages entraînant des modifications ponctuelles des vitesses. Enfin, le profil asymétrique de la marée dans le port n'est pas modifié de manière significative, avec globalement des vitesses au flot qui restent supérieures ou égales à celles de jusant.

☞ La solution entraînant les plus fortes perturbations sur les écoulements de la zone d'étude est logiquement la solution 6, qui induit la réduction de section hydraulique la plus forte relativement aux volumes de remplissage situés plus en amont.

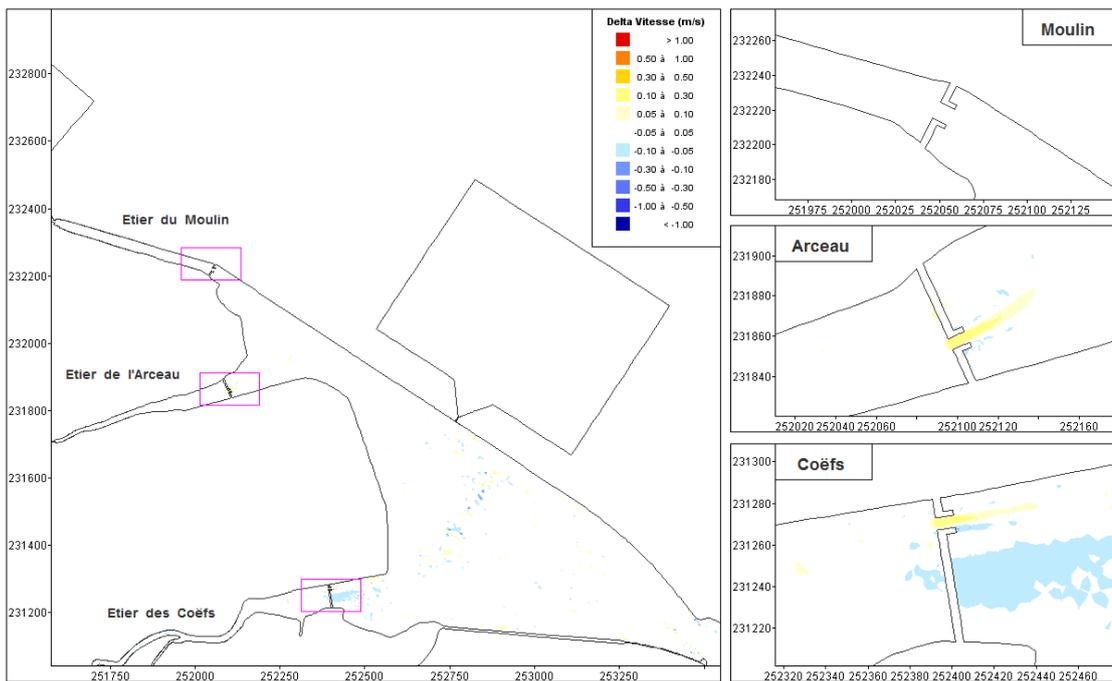


Figure 27 : Moyenne des différentiels de vitesses du courant induits par la solution 3 [Sol3 – Actuel]

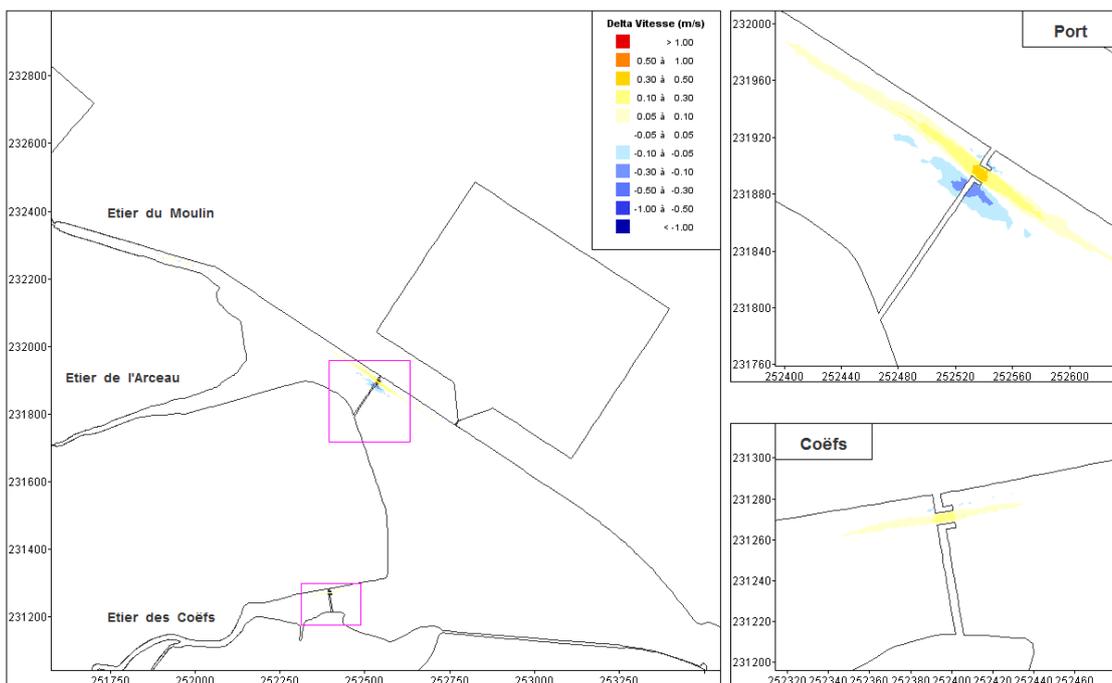


Figure 28 : Moyenne des différentiels de vitesses du courant induits par la solution 6 [Sol6 – Actuel]

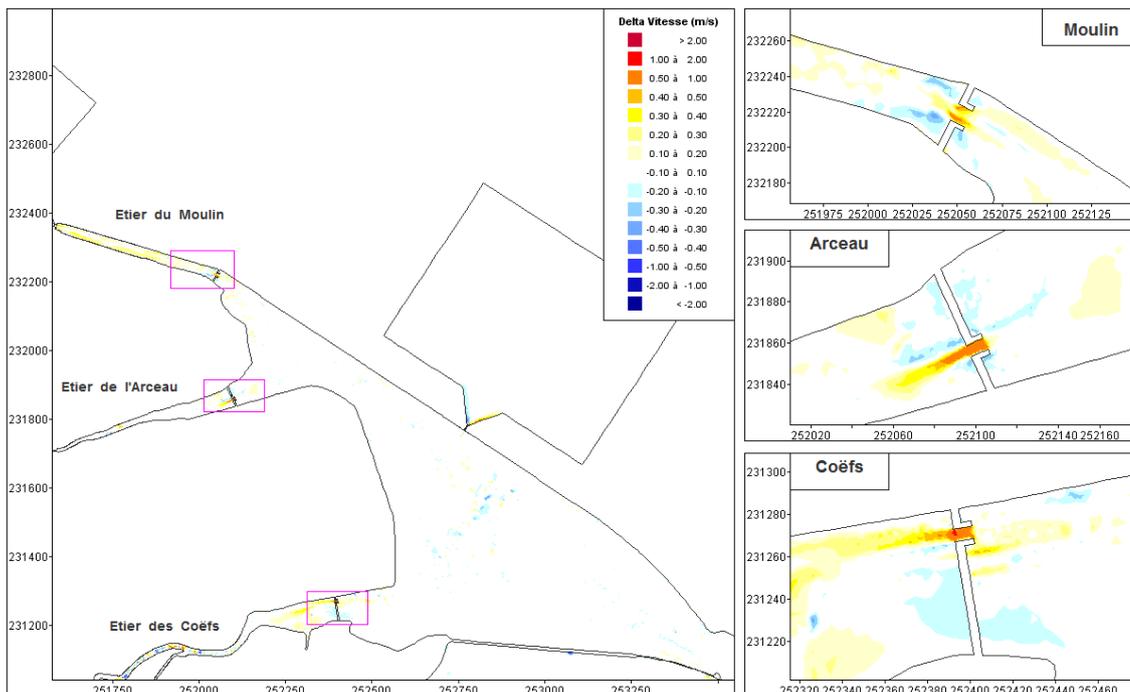


Figure 29: Différentiel des vitesses max du courant entre l'état actuel et la solution 3 [Sol3 - Actuel]

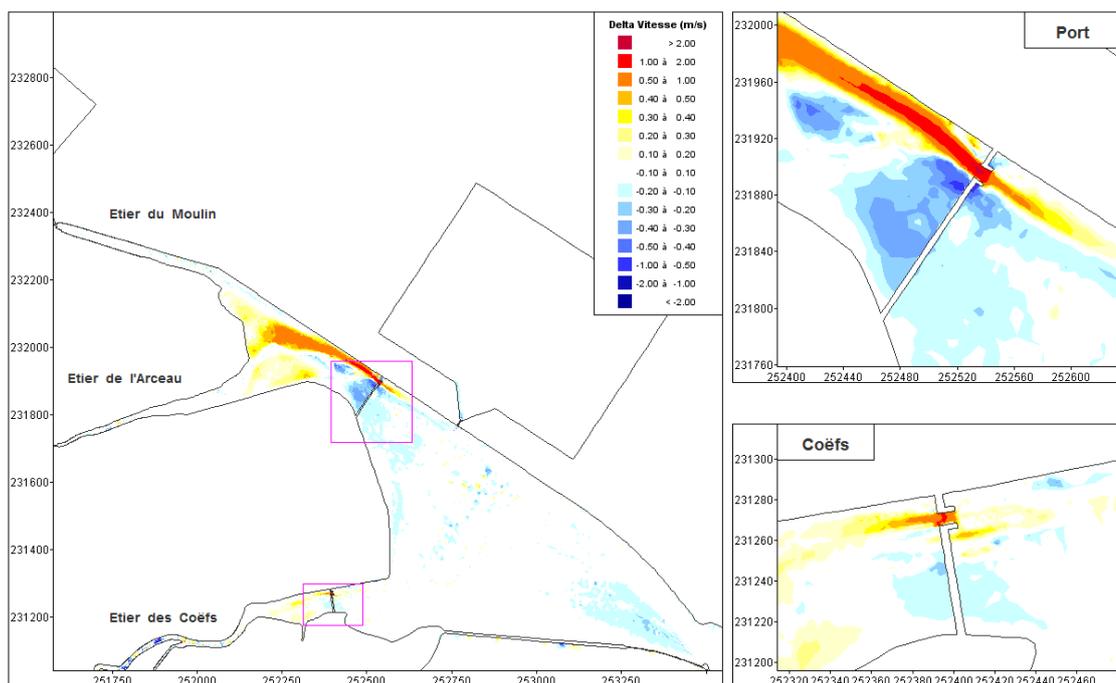


Figure 30 : Différentiel des vitesses max du courant entre l'état actuel et la solution 6 [Sol6 - Actuel]

6.2 Effet du projet sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude

Les aménagements projetés ont pour principaux effets sur l'hydrodynamique de :

- modifier légèrement la forme du marégramme en amont des portes,
- et de créer des zones d'accélération et de réduction des vitesses, principalement autour des portes à marée.

Le profil asymétrique de la marée à l'intérieur du port n'étant pas modifié, la tendance générale naturelle d'évolution de la zone, ainsi que celle des zones adjacentes au nord ou au sud, ne devrait pas être perturbée par les aménagements.

Les effets des solutions envisagées sur le fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude seront essentiellement cantonnés aux zones impactées en termes de vitesse et direction du courant.

En l'absence de données rhéologiques sur les sédiments en place (concentration à différentes profondeurs, vitesse de chute des sédiments, tensions critiques d'érosion et de dépôt), tant dans les chenaux qu'au niveau des vasières, il est délicat de définir et quantifier précisément les effets des ouvrages projetés sur l'évolution des fonds de la zone.

On peut néanmoins s'attendre, en l'absence de mesures réductrices, aux effets qualitatifs suivants :

- abaissement des fonds dans les zones d'accélération du courant : dans l'axe des portes essentiellement, mais aussi en limite de certains ouvrages de protection longitudinaux quelle que soit la solution considérée, ainsi que sur la vasière située entre les étiers de l'Arceau et du Moulin (cimetière marin) dans le cas de la solution 6 ; les sédiments ainsi mobilisés seront majoritairement amenés à se déposer dans les zones plus calmes adjacentes à l'intérieur du port, le reste étant susceptible d'être évacué par la marée en baie de Bourgneuf ;
- déplacement vers le nord, dans le cas de la solution 6, de la partie aval de l'étier de l'Arceau, au niveau de la jonction avec l'étier du Moulin ;
- engraissement local de part et d'autre de l'axe des portes, en particulier au niveau des gyres de recirculation en amont (au flot) et en aval (au jusant) des portes.

D'après les résultats de simulation, la solution 6 induit plus de perturbations que la solution 3 sur l'hydrodynamique locale. Elle devrait logiquement induire aussi une perturbation plus importante du fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude.

Les figures suivantes présentent une synthèse des effets potentiels de chaque solution pouvant être attendus sur le fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude.



Figure 31 : Effets potentiels des portes à marée sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude – Solution 3

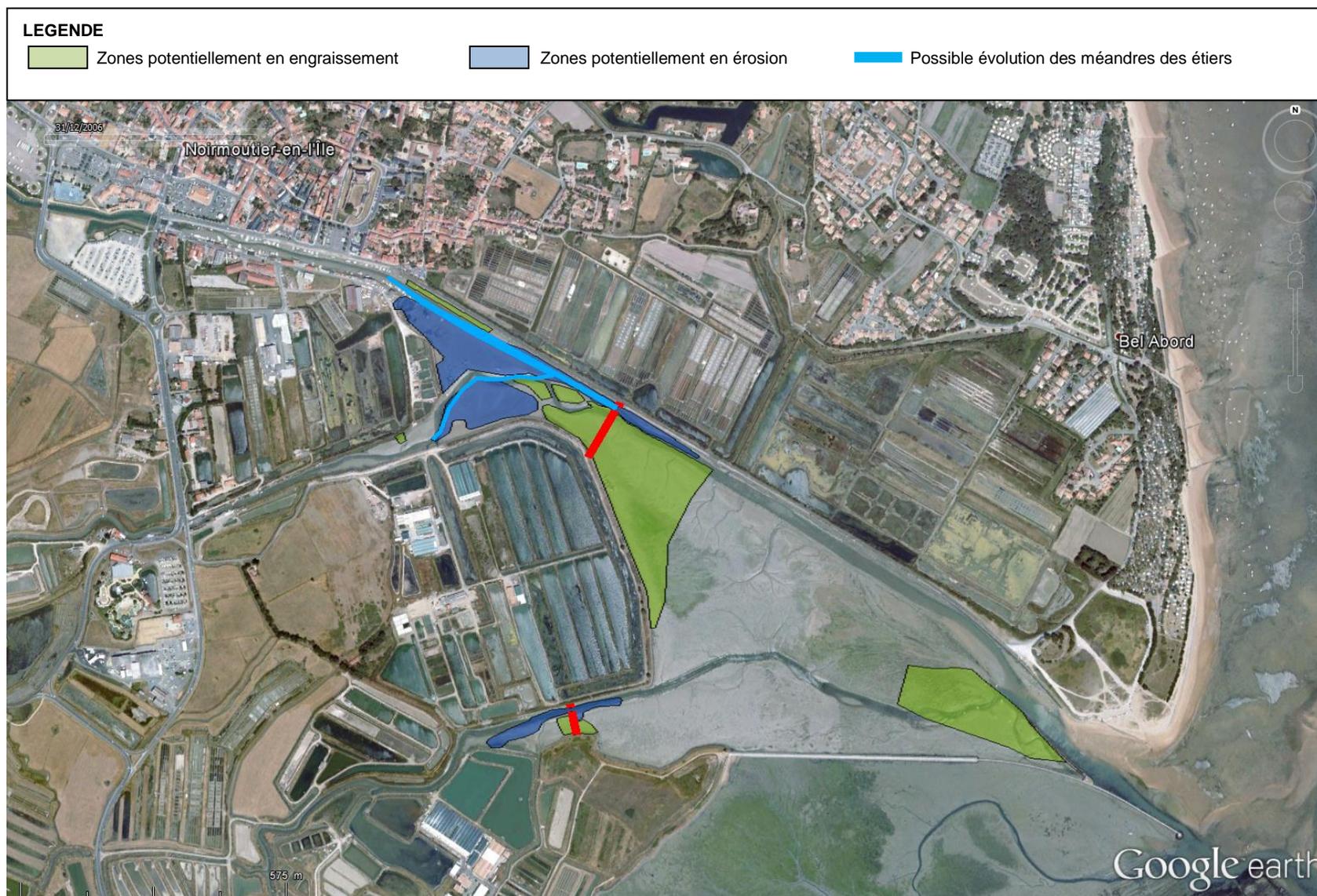


Figure 32 : Effets potentiels des portes à marée sur la dynamique sédimentaire de la zone d'étude – Solution 6

6.3 Préconisations – Mesures réductrices/ compensatoires/ d'accompagnement

Afin de prévenir tout risque de déstabilisation des ouvrages projetés, la **mesure réductrice** suivante devrait être retenue pour leur exploitation, **quelle que soit la solution retenue** : substitution des matériaux en place dans l'axe des portes, au niveau des zones d'accélération, dans le but de **limiter le risque d'affouillement** (mise en place d'un radier béton au niveau des portes, tapis anti-affouillement).

Par ailleurs, si la **solution 6** devait être retenue, il est recommandé, pour la porte dite du port (à la jonction des étiers du Moulin et de l'Arceau), de prévoir soit une **largeur** de porte **plus importante**, soit des **ouvrages de vannage complémentaires** de part et d'autre de l'ouverture de la porte, en tant que **mesure réductrice complémentaire**, afin de limiter les effets de l'ouvrage sur le fonctionnement sédimentaire de la zone.

Par ailleurs, un **suivi bathymétrique régulier** devrait être réalisé **en tant que mesure d'accompagnement** dans le but de suivre l'évolution des fonds sur la zone, préciser les effets de l'implantation des aménagements, et anticiper si possible les risques de perturbation de la navigation ou de déstabilisation d'ouvrages situés à proximité.

Ce suivi devrait être réalisé a minima sur les zones de navigation et autour des portes à marée, et idéalement sur l'ensemble de la zone, de l'entrée du port jusqu'aux écluses, de manière à suivre l'évolution des fonds de manière optimale.

Ce suivi devrait être mis en œuvre à l'issue des travaux, puis au bout de 6 mois, 1 an, 5 ans, et enfin tous les 10 ans ou plus, si un nouvel équilibre sédimentaire semble avoir été atteint.

Chapitre 7 Conclusion – Synthèse

Le port de Noirmoutier, ouvert à l'est sur la baie de Bourgneuf, est relativement protégé de l'agitation du large et essentiellement soumis à l'action de la marée astronomique.

Le littoral adjacent est endigué et stable au sud, sableux et plutôt en accrétion au nord (+0.5 à +0.9m/an). Le transit sédimentaire nord→sud sur ce secteur (3 à 4000m³) alimente régulièrement l'entrée du port en sédiments sableux, qui sont périodiquement entraînés dans le chenal d'accès du port ou dispersés plus au large par les courants de marée.

Les fonds marins en baie de Bourgneuf sont essentiellement vasards (sédiments ligériens principalement) avec une tendance à l'engraissement (au rythme moyen de +1cm/an) principalement sous l'action de la marée astronomique, accentuée par les travaux de poldérisation et le développement d'installations conchylicoles. Par ailleurs, l'action conjuguée des courants de marée et de l'agitation du large (houles et mers du vent) remobilise régulièrement les sédiments fins dans les faibles fonds, générant une turbidité importante susceptible d'être transportée par la marée à l'intérieur du port et ainsi favoriser son envasement. Cette contribution extérieure semble largement dominer celle des étiers débouchant directement dans le port.

Bien que nous ne disposions pas de données historiques suffisantes pour établir une tendance nette d'évolution des fonds dans le port de Noirmoutier, il semblerait que la zone présente une tendance naturelle à un faible envasement, sinon à l'équilibre sédimentaire (dernier dragage réalisé en 1955), les usages actuels sur la zone (saliculture, aquaculture, navigation motorisée, moteurs en marche à poste) limitant probablement les phénomènes d'engraissement.

Les aménagements projetés ont pour principaux effets sur l'hydrodynamique de :

- modifier légèrement la forme du marégramme en amont des portes, avec peu d'impact sur les niveaux maximum atteints, mais un impact plus sensible (jusqu'à -10% à -20%) sur la capacité de remplissage des bassins versants situés en amont des écluses, en particulier pour la solution 6 ;
- et de créer des zones d'accélération et de réduction des vitesses, principalement autour des portes à marée.

Le profil asymétrique de la marée à l'intérieur du port n'étant pas modifié, la tendance générale naturelle d'évolution de la zone (faible envasement), ainsi que celle des zones adjacentes au nord ou au sud, ne devrait pas être perturbée par les aménagements. Les effets des solutions envisagées sur le fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude seront donc essentiellement cantonnés aux zones impactées en termes de vitesse et direction du courant.

Ces zones potentiellement impactées ont été délimitées d'après les résultats des simulations courantologiques. En revanche, en l'absence de données rhéologiques sur les sédiments en place (concentration à différentes profondeurs, vitesse de chute des sédiments, tensions critiques d'érosion et de dépôt), tant dans les chenaux qu'au niveau des vasières, il est délicat de prévoir plus précisément les effets des ouvrages projetés sur l'évolution des fonds de la

zone (par exemple en termes d'évolution des méandres des étiers, de profondeurs d'affouillement ou d'engrassements).

On peut néanmoins s'attendre, en l'absence de mesures réductrices, aux effets qualitatifs suivants :

- abaissement des fonds dans les zones d'accélération du courant (dans l'axe des portes essentiellement, mais aussi sur la vasière située entre les étiers de l'Arceau et du Moulin dans le cas de la solution 6) ; les sédiments ainsi mobilisés étant majoritairement amenés à se déposer dans les zones plus calmes adjacentes, le reste étant susceptible d'être évacué par la marée en baie de Bourgneuf ;
- déplacement vers le nord, dans le cas de la solution 6, de la partie aval de l'étier de l'Arceau, au niveau de la jonction avec l'étier du Moulin ;
- engraissement local de part et d'autre de l'axe des portes, en particulier au niveau des gyres de recirculation en amont (au flot) et en aval (au jusant) des portes.

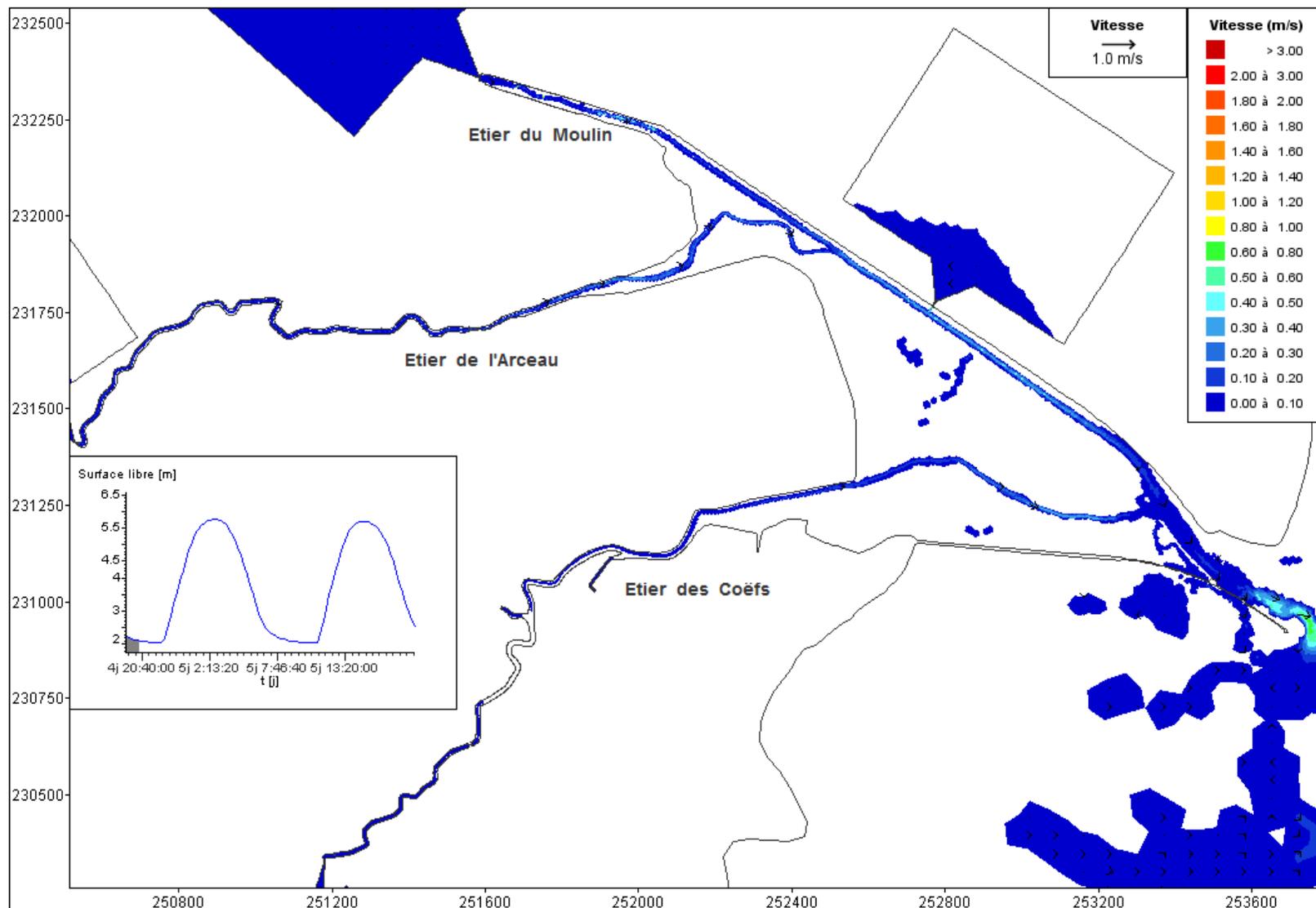
D'après les résultats de simulation, la solution 6 induit plus de perturbations sur l'hydrodynamique locale que la solution 3. Elle devrait logiquement induire aussi une perturbation plus importante du fonctionnement sédimentaire de la zone d'étude.

En lien avec les impacts prévisibles de ces aménagements, des mesures réductrices visant à limiter le risque de déstabilisation des portes à marée et/ou d'ouvrages adjacents ont été proposées, consistant à limiter le risque d'affouillement au niveau des zones d'accélération du courant, et également à augmenter la section hydraulique de la porte dite « du port » dans le cas de la solution 6.

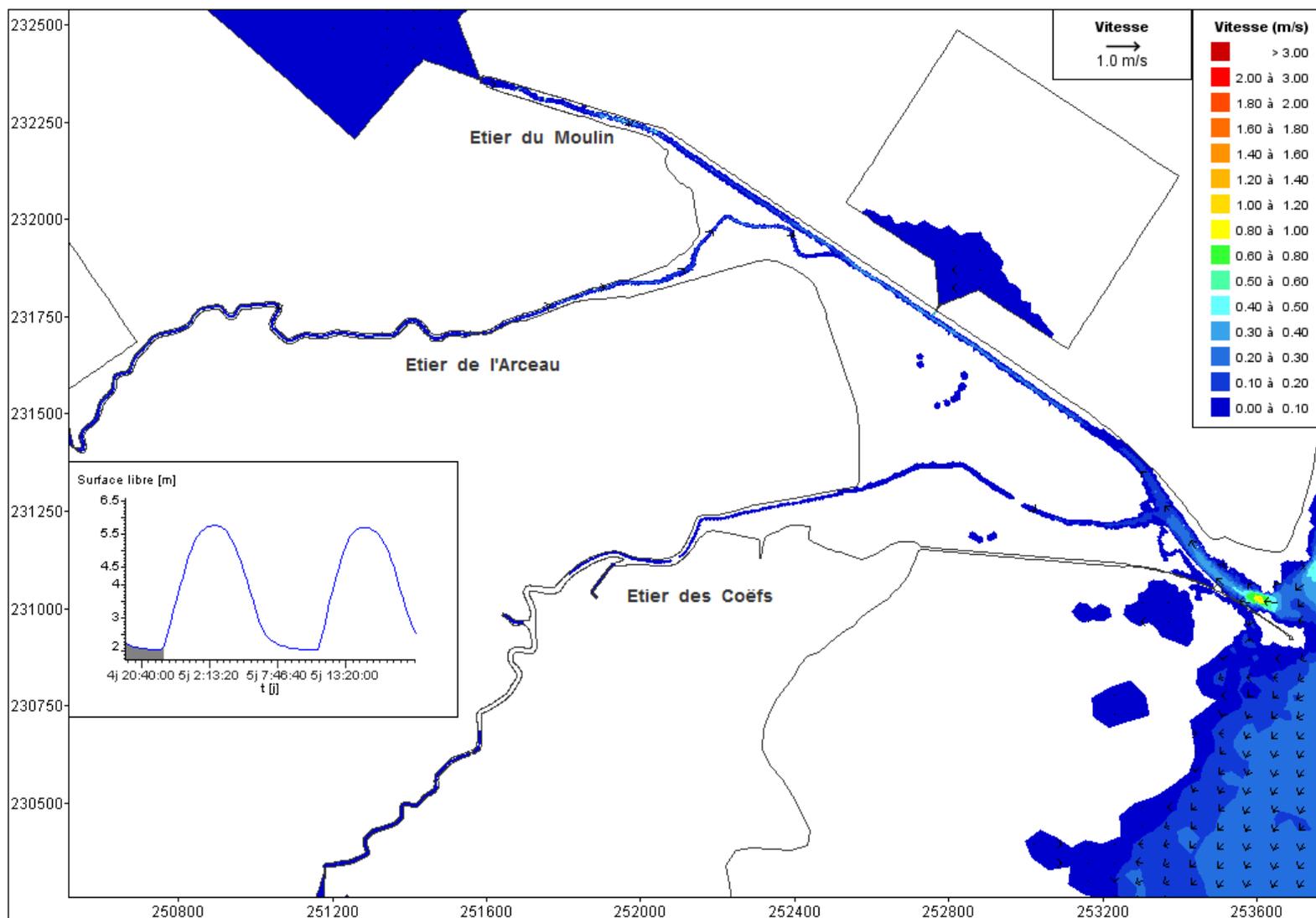
Par ailleurs, un suivi régulier des fonds est recommandé en tant que mesure d'accompagnement dans le but de suivre l'évolution des fonds sur la zone, préciser les effets de l'implantation des aménagements, et anticiper si possible les risques de perturbation de la navigation ou de déstabilisation d'ouvrages situés à proximité

Chapitre 8 Annexe – Planches courantologiques

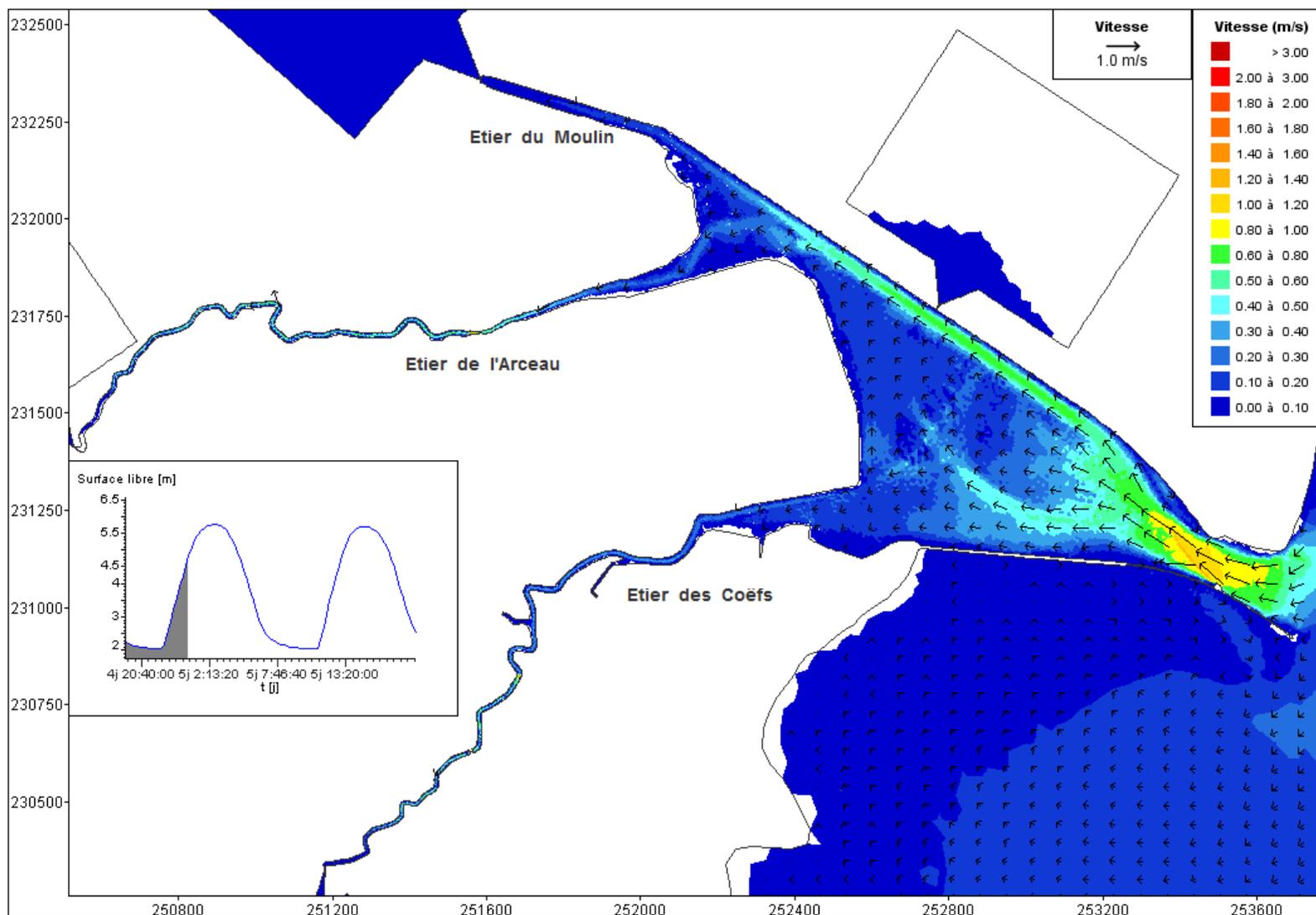
Port de Noirmoutier – PM-6 – Coeff. Marée 88



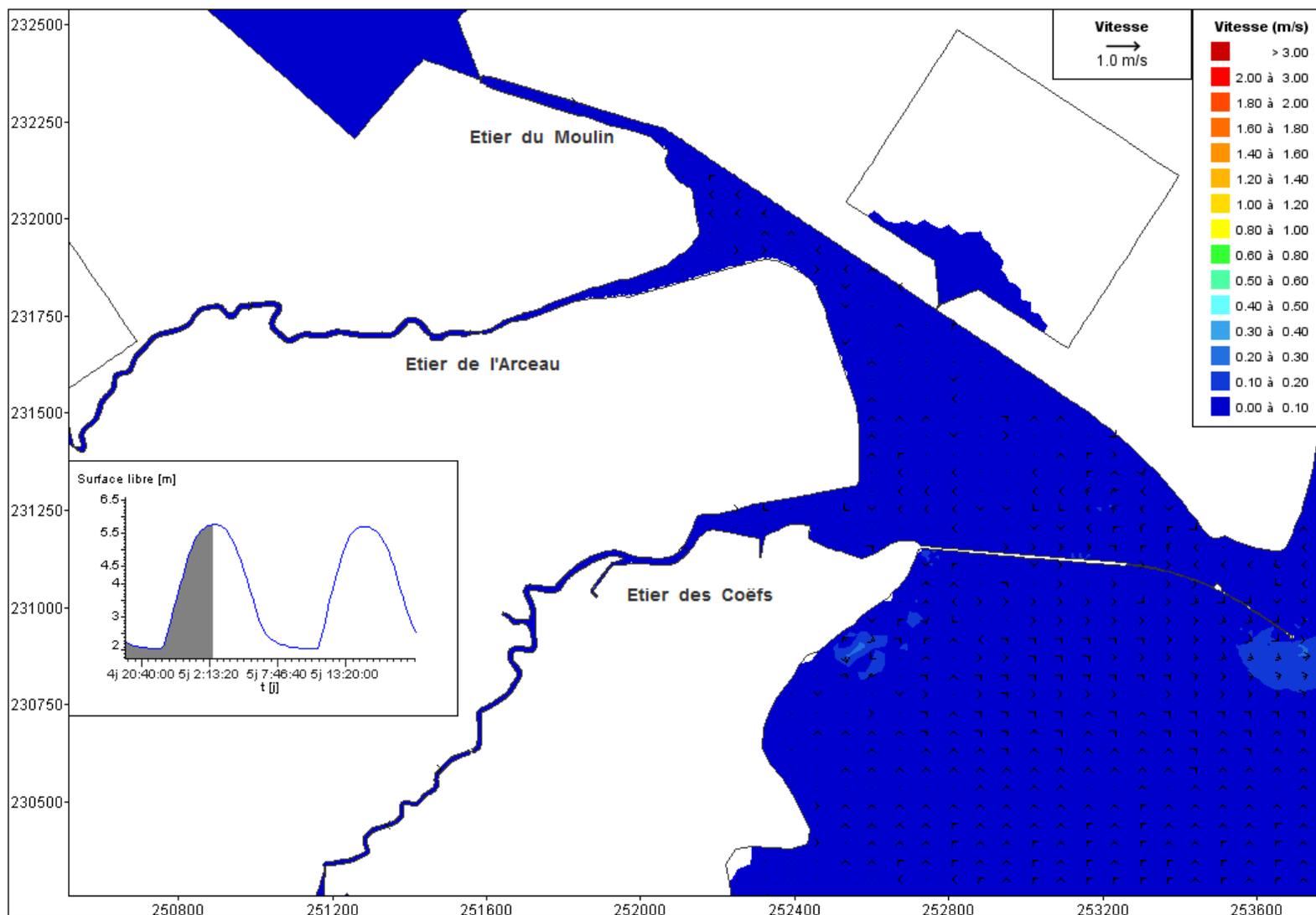
Port de Noirmoutier – PM-4 – Coeff. Marée 88



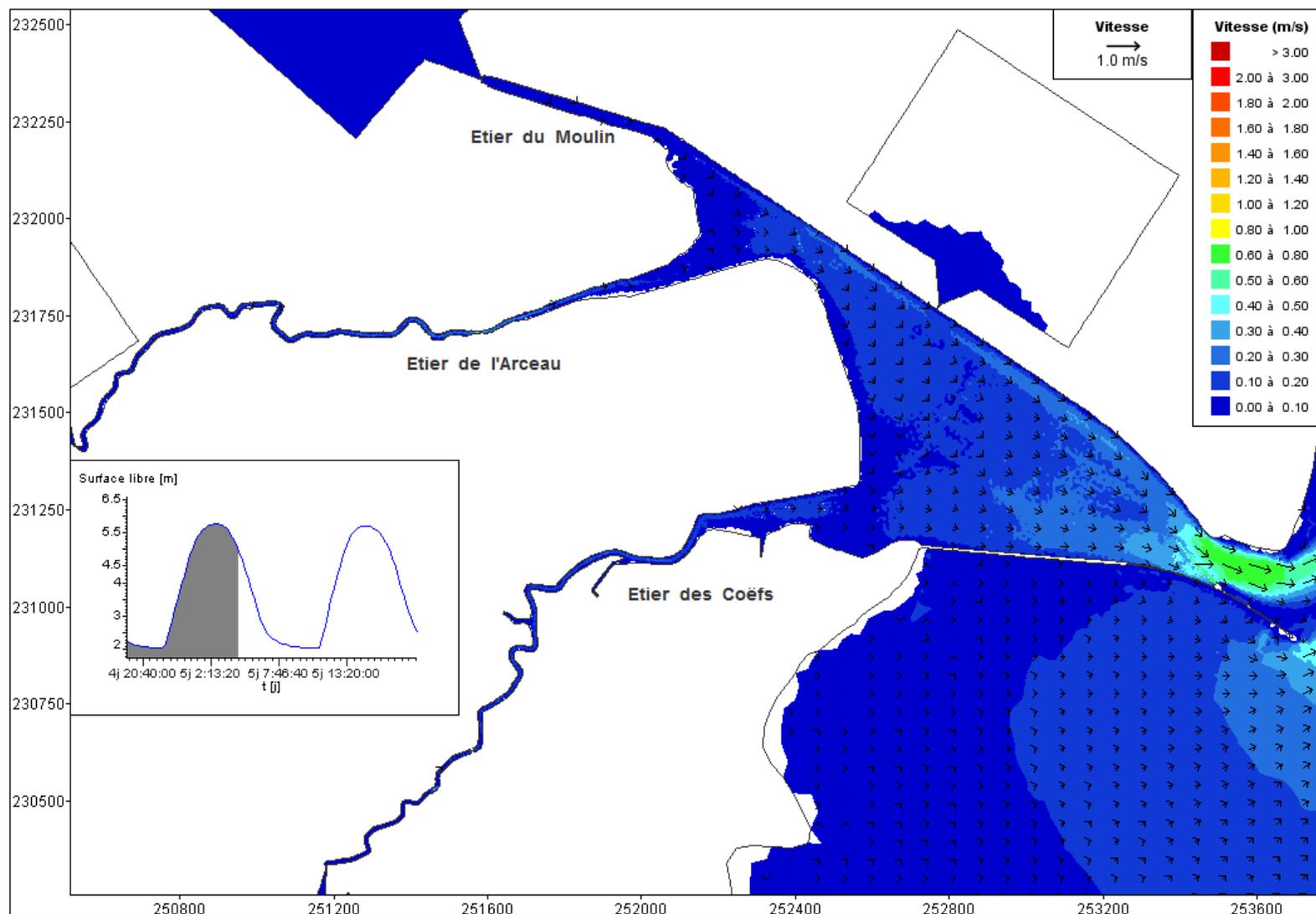
Port de Noirmoutier – PM-2 – Coeff. Marée 88



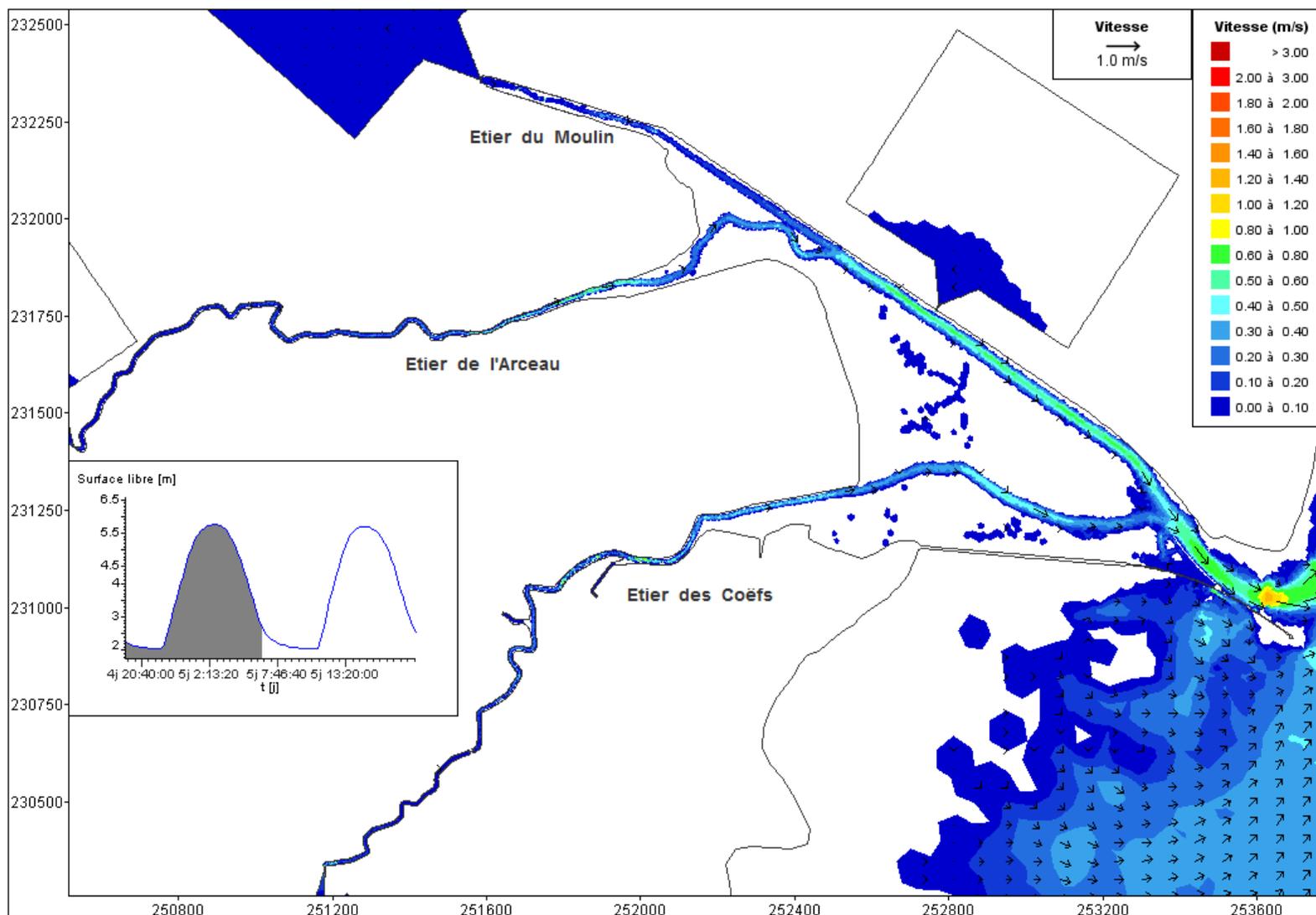
Port de Noirmoutier – PM – Coeff. Marée 88



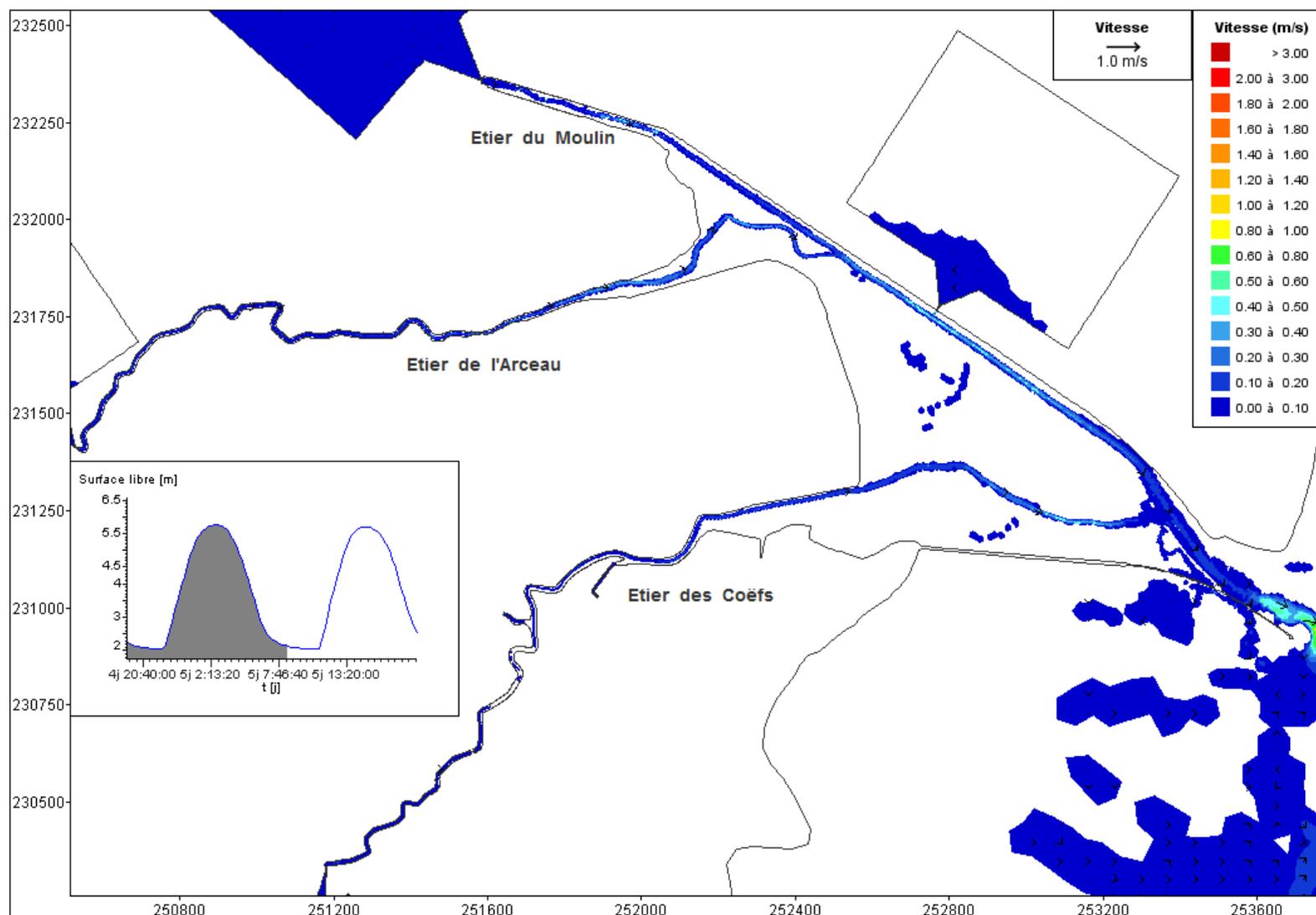
Port de Noirmoutier – PM+2 – Coeff. Marée 88



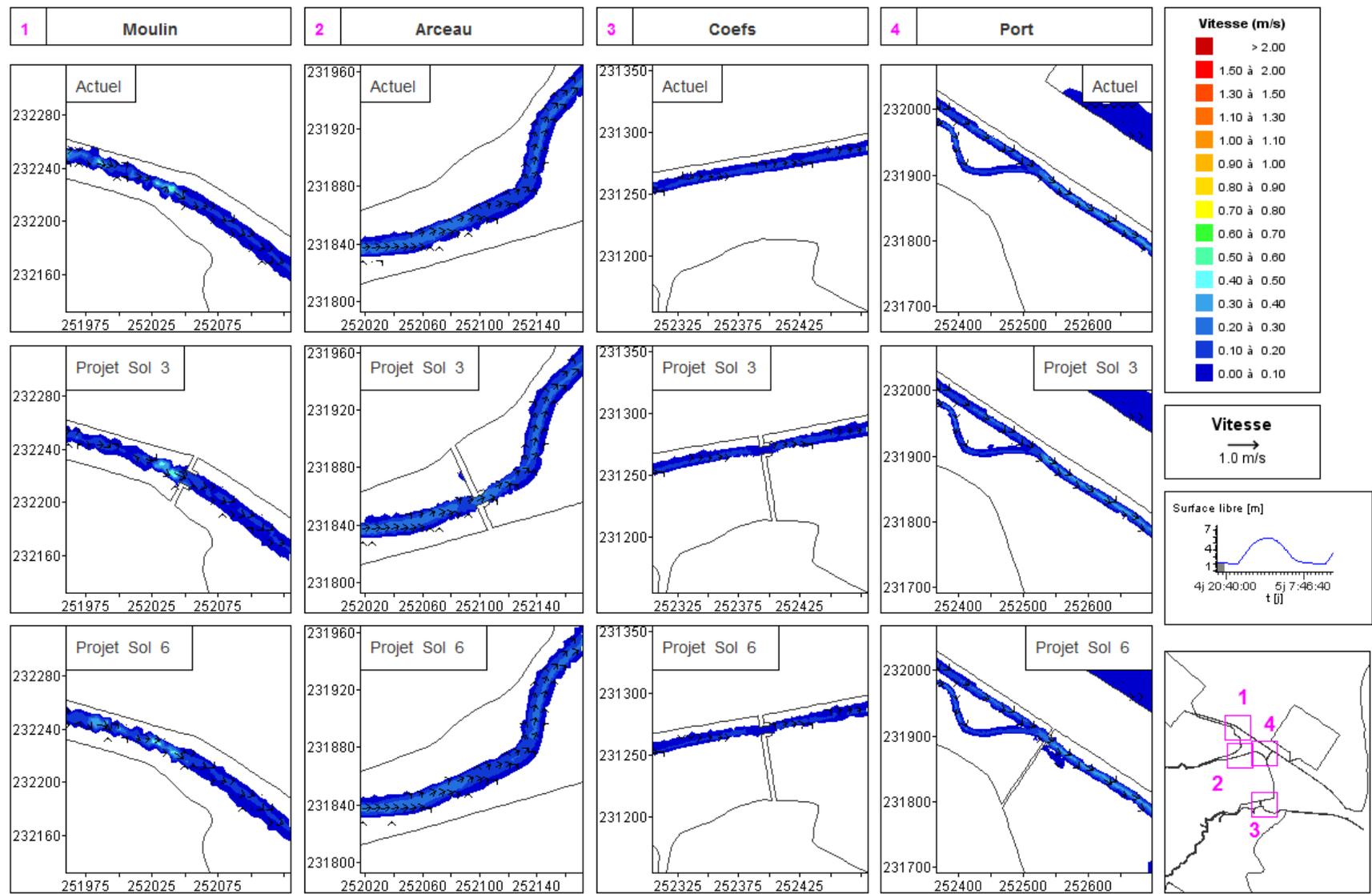
Port de Noirmoutier – PM+4 – Coeff. Marée 88



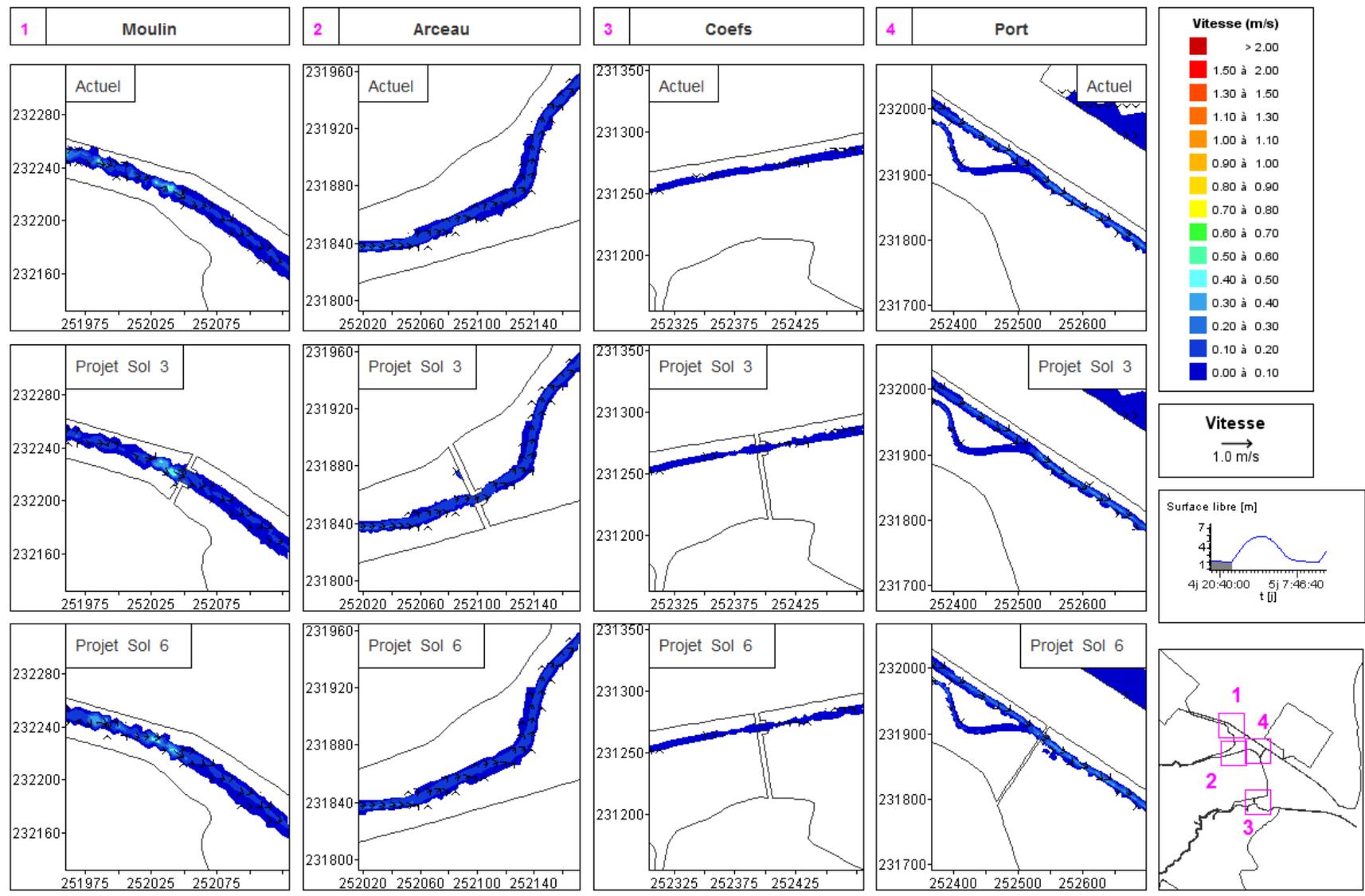
Port de Noirmoutier – PM+6 – Coeff. Marée 88



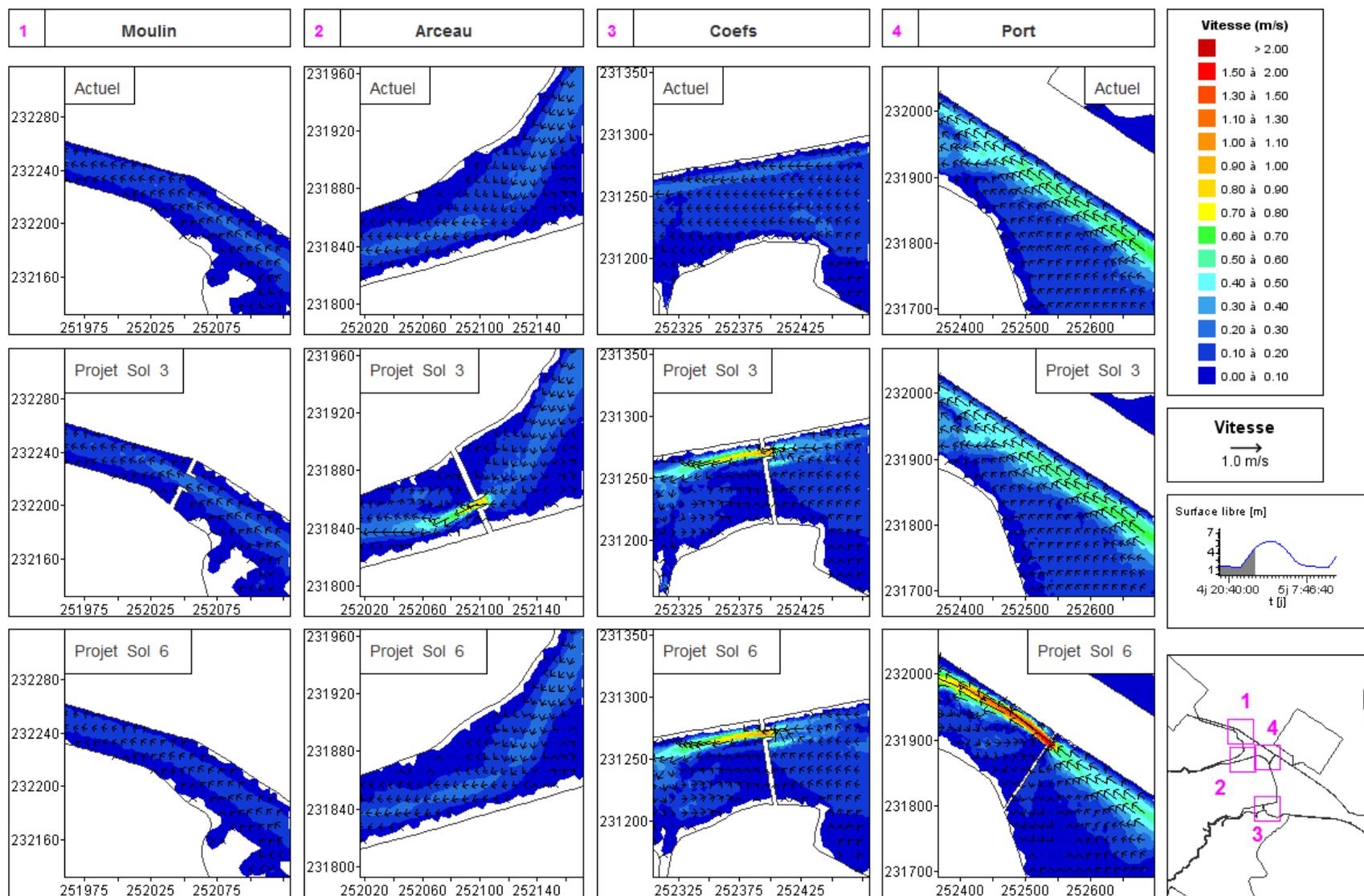
Zooms portes à marée – PM-6 – Coeff. Marée 88



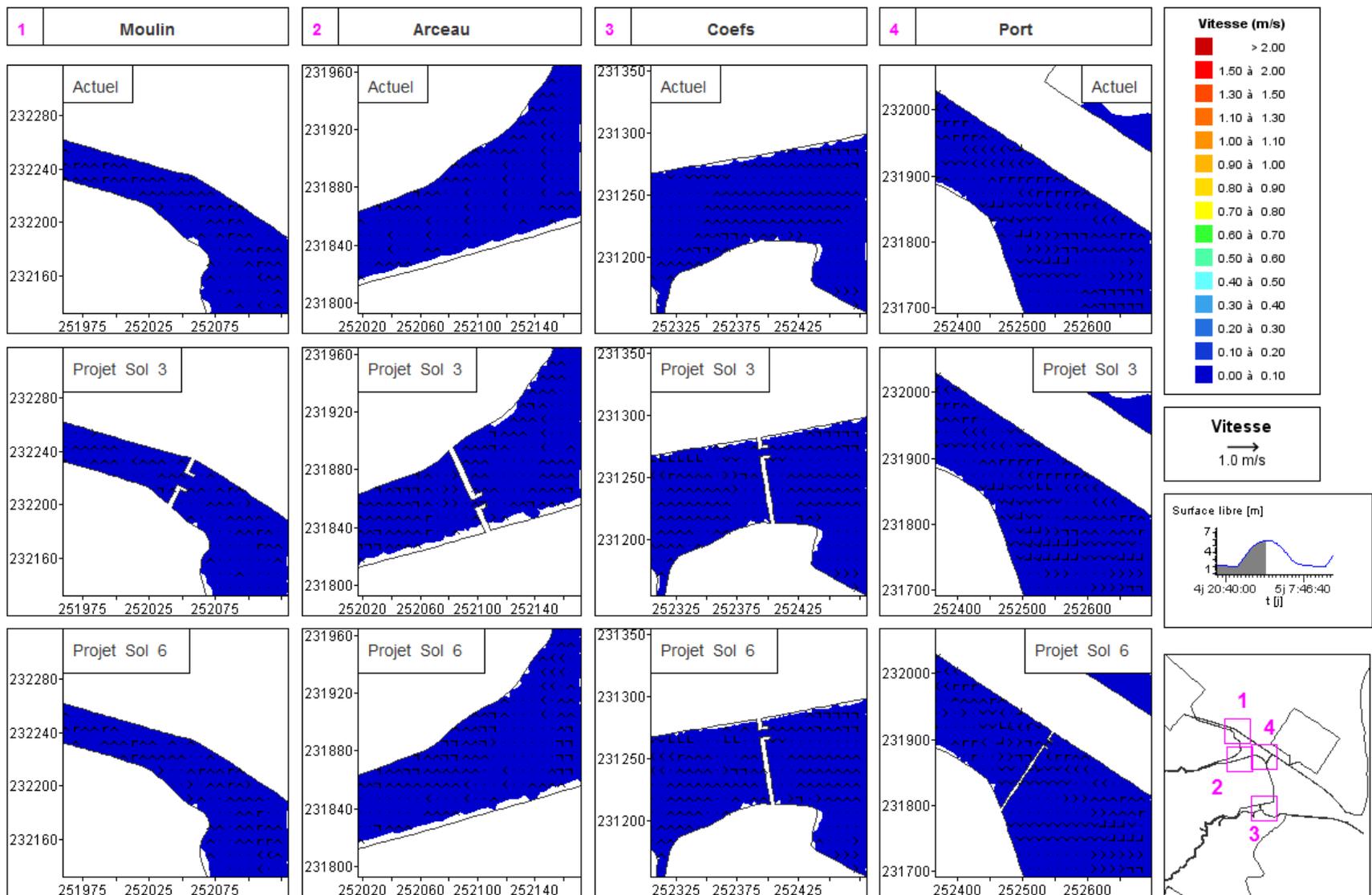
Zooms portes à marée – PM-4 – Coeff. Marée 88



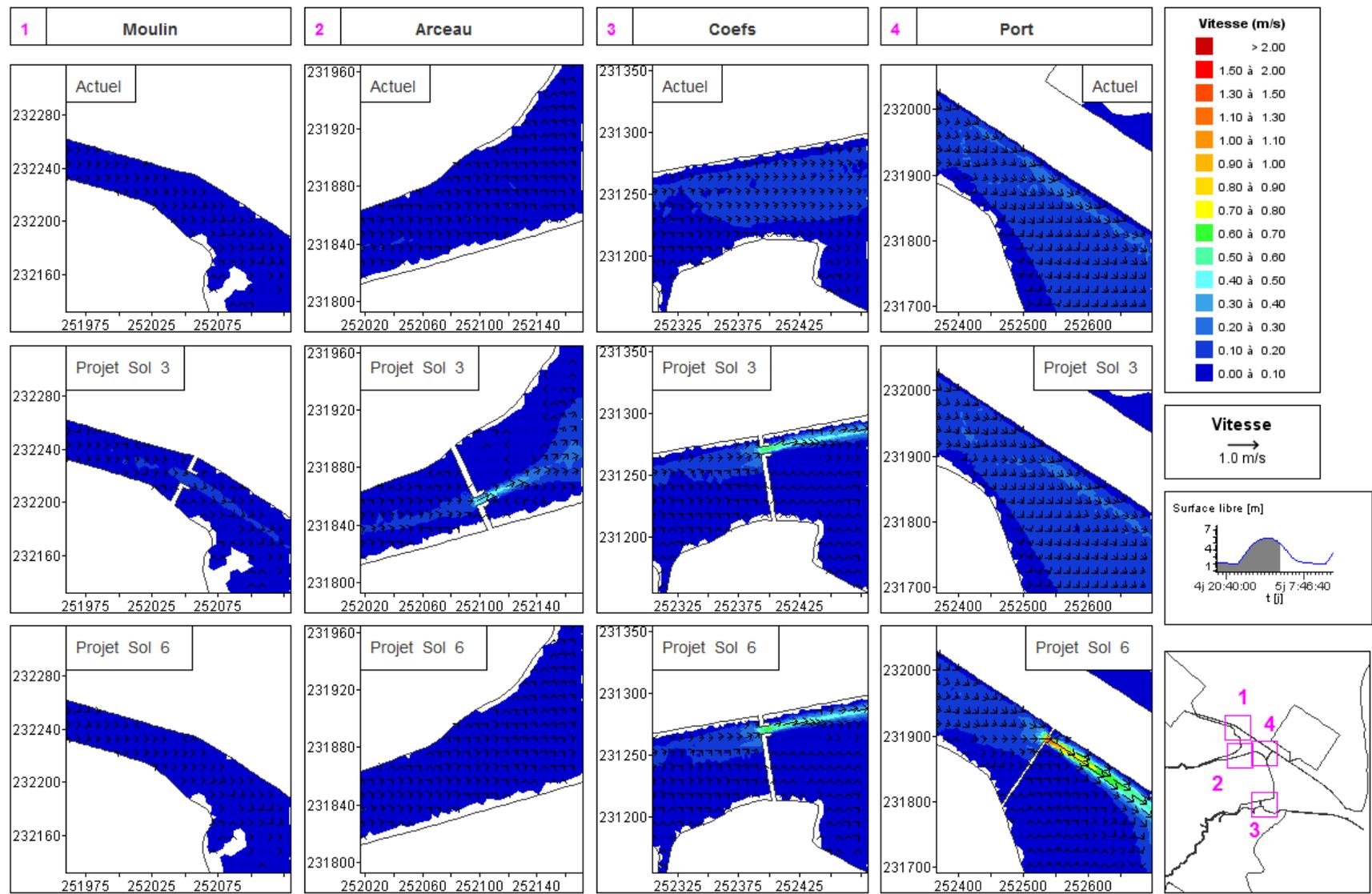
Zooms portes à marée – PM-2 – Coeff. Marée 88



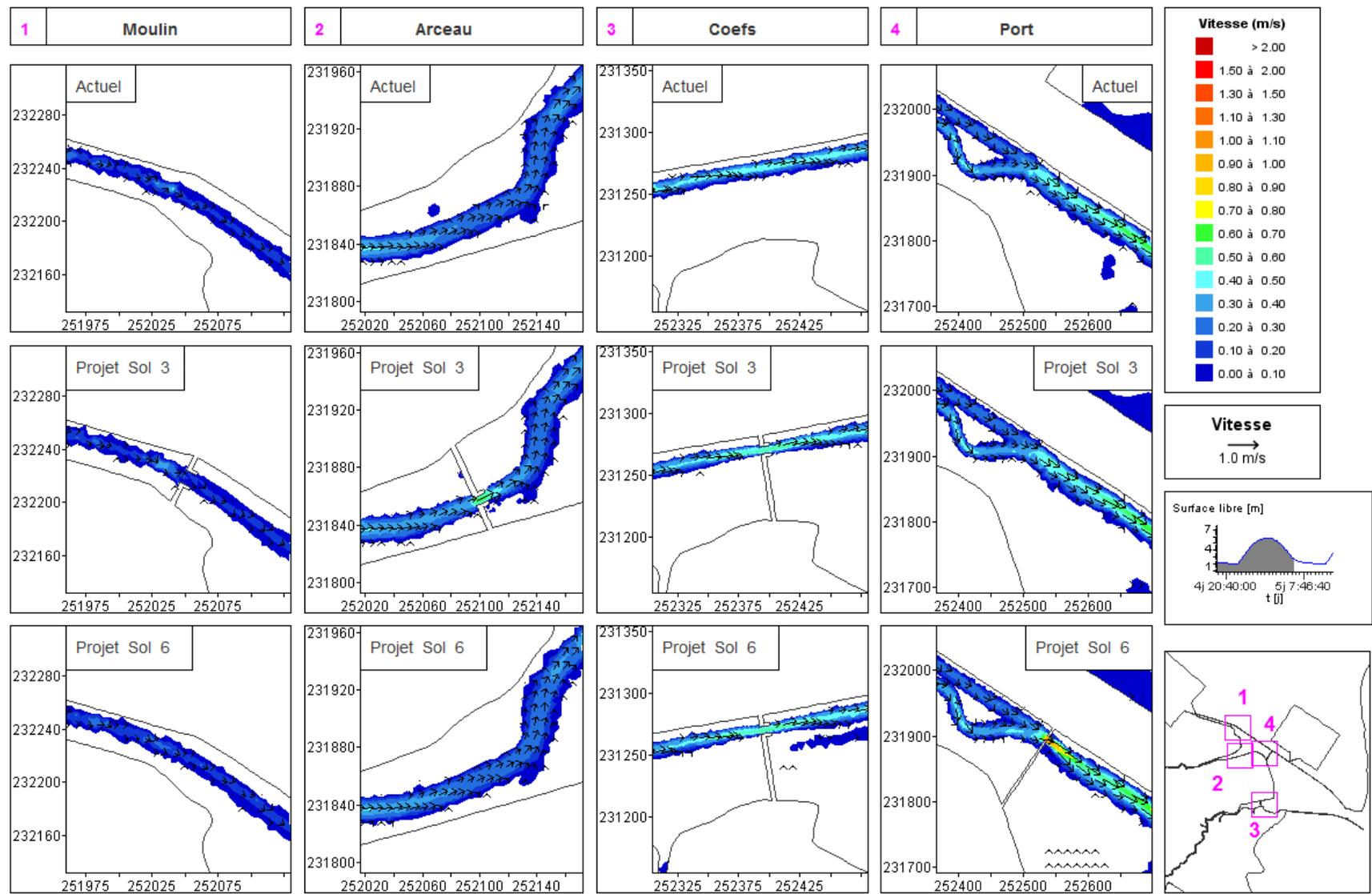
Zooms portes à marée – PM – Coeff. Marée 88



Zooms portes à marée – PM+2 – Coeff. Marée 88



Zooms portes à marée – PM+4 – Coeff. Marée 88



Zooms portes à marée – PM+6 – Coeff. Marée 88

