

REGION LANGUEDOC ROUSSILLON



PORT-LA NOUVELLE

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

MISSION HYDRO

RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDRO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

CONSTRUCTION ET CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE 3D - IMPACT HYDRODYNAMIQUE DU FUTUR PORT - MODELE DE DEPOT DE FINES - IMPACT DU FUTUR PORT SUR L'ENVASEMENT ET LES VOLUMES DE DRAGAGES- CALAGE DU MODELE D'EVOLUTIONS DES FONDS MARINS A COURT ET MOYEN TERME - IMPACT DU FUTUR PORT SUR L'EVOLUTION DES FONDS MARINS A COURT TERME ET MOYEN TERME



N°8410043-HYDRO–R02 : HYDRO 3D - Rapport relatif a ux Modélisations Numériques					
07	Septième version	ALZ	ELC	OME	14/11/2014
06	Sixième version	ALZ	ELC	OME	22/08/2014
05	Cinquième version	ALZ	ELC	OME	16/07/2014
04	Quatrième version	ALZ	ELC	OME	16/06/2014
03	Troisième version	ALZ	ELC	OME	31/03/2014
02	Deuxième version	ALZ	ELC	OME	31/01/2014
01	Première version	ALZ/RWR	ELC	OME	27/09/2013
Version	Description	Rédaction	vérifié	approuvé	Date

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION 1

1.1. CONTEXTE 1

1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT 2

2. LE MODELE HYDRODYNAMIQUE 3

2.1. SYSTEME DE MODELISATION 3

2.1.1. EMPRISE DU MODELE 3

2.1.2. LA BATHYMETRIE UTILISEE 4

2.1.3. LE MAILLAGE DU MODELE ET LE MODELE NUMERIQUE DE TERRAIN (MNT) 5

2.1.3.1. Le maillage et la bathymétrie d'ensemble du modèle 5

2.1.3.2. Description de la représentation de certaines zones 7

3. FORCAGES ET HYPOTHESES 11

3.1. INTRODUCTION 11

3.2. MESURES IN SITU 11

3.3. NIVEAUX ET COURANTS 12

3.3.1. DONNEES 12

3.3.2. FORÇAGE DU MODELE 12

3.3.2.1. Introduction 12

3.3.2.2. Forçage en niveaux à la frontière maritime : 13

3.3.2.3. Forçage en courants à la frontière maritime : 14

3.4. VENTS 16

3.4.1. DONNEES 16

3.4.2. FORÇAGE DU MODELE 16

3.5. APPORTS DU CANAL DE LA ROBINE 17

3.5.1. DONNEES 17

3.5.2. FORÇAGE DU MODELE 17

3.6. APPORTS PLUVIOMETRIQUES ET BASSINS VERSANTS 18

3.6.1. DONNEES 18

3.6.2. FORÇAGE DU MODELE 19

3.7. EVAPORATION 22

3.7.1. DONNEES 22

3.7.2. FORÇAGE DU MODELE 22

3.8. HOULE 24

3.8.1. DONNEES 24

3.8.2. CHOIX DE LA METHODE 24

3.8.3. INTEGRATION DES FORCES MOTRICES DE HOULE DANS L'HYDRODYNAMIQUE 26

3.8.4. FORÇAGE DU MODELE 26

4. CALAGE HYDRODYNAMIQUE – RESULTATS 28

4.1. ECHANGES MER ETANG 28

4.2. HYDRODYNAMIQUE MARITIME 31

4.2.1. COMPARAISON DES RESULTATS DE HOULE 31

4.2.2. COMPARAISON DES RESULTATS DE COURANT 31

4.2.3. OBSERVATIONS DU PROFIL DE COURANT SUR LA VERTICALE EN N2 ET S2 40

4.3. ZOOM SUR DES PERIODES HYDROMETEOROLOGIQUES CARACTERISTIQUES 42

4.3.1. DEFINITION DES PERIODES CARACTERISTIQUES D'ETUDE DE L'HYDRODYNAMIQUE EN CONFIGURATION AMENAGEE 42

4.3.2. ZOOM SUR LE CALAGE DES NIVEAUX PRESIDANT AUX ECHANGES MER ETANG PENDANT LES 5 SCENARII CARACTERISTIQUES 43

4.3.3. ZOOM SUR LE CALAGE DES VITESSES DANS LE DOMAINE MARITIME PENDANT LES 5 SCENARII CARACTERISTIQUES 43

5. CONCLUSIONS SUR LE CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE 44

6. IMPACT HYDRODYNAMIQUE DU PROJET 45

6.1. CONSTRUCTION DU MODELE EN CONFIGURATION AMENAGEE 45

6.1.1. PRESENTATION DE L'AMENAGEMENT 45

6.1.2. BATHYMETRIE ET MAILLAGE DU MODELE EN CONFIGURATION AMENAGEE 46

6.1.3. FORÇAGES HYDRODYNAMIQUES DU MODELE EN CONFIGURATION AMENAGEE 48

6.2. IMPACT DES FUTURS AMENAGEMENTS SUR LES ECHANGES MER-ETANG 49

6.2.1. ECHANGES AVANT-PORT-ETANG EN CONFIGURATION FUTURE 49

6.2.2. IMPACT PENDANT LE SCENARIO « CALME » (N°5) 55

6.2.3. IMPACT PENDANT LE SCENARIO « AGITE » (N°4) 55

6.2.4. IMPACT PENDANT LE SCENARIO « TRES AGITE » (N°3) 55

6.2.5. IMPACT PENDANT LE SCENARIO « TRAMONTANE » (N°1) 55

6.2.6. IMPACT PENDANT LE SCENARIO « TEMPETE » (N°2) 56

6.2.7. IMPACT DU FUTUR PORT SUR LES FLUX SORTANTS ET ENTRANT DANS L'ETANG 62

6.3. HYDRODYNAMIQUE MARITIME EN CONFIGURATION FUTURE 64

6.3.1. HYDRODYNAMIQUE MARITIME PENDANT LE SCENARIO « CALME » (N°5) 64

6.3.2. HYDRODYNAMIQUE MARITIME PENDANT LE SCENARIO « AGITE » (N°4) 65

6.3.3. HYDRODYNAMIQUE MARITIME PENDANT LE SCENARIO « TRES AGITE » (N°3) 67

6.3.4. HYDRODYNAMIQUE MARITIME PENDANT LE SCENARIO DE « TRAMONTANE » (N°1) 69

6.3.5. HYDRODYNAMIQUE MARITIME PENDANT LE SCENARIO DE « TEMPETE » (N°2) 70

6.4. IMPACT SUR L'HYDRODYNAMIQUE MARITIME 72

6.4.1. IMPACTS PENDANT LE SCENARIO « CALME » (N°5) 72

6.4.2. IMPACTS PENDANT LE SCENARIO « AGITE » (N°4) 73

6.4.3. IMPACTS PENDANT LE SCENARIO « TRES AGITE » (N°3) 73

6.4.4. IMPACTS PENDANT LE SCENARIO « TRAMONTANE » (N°1) 73

6.4.5. IMPACTS PENDANT LE SCENARIO «TEMPETE » (N°2)	73
6.5. CONCLUSION QUANT A L'IMPACT HYDRODYNAMIQUE DU FUTUR PORT	79
7. LE MODÈLE DE DEPOT DE FINES	80
7.1. DESCRIPTION DU MODELE DE DEPOTS DE FINES	80
7.1.1. EMPRISE DU MODELE	80
7.1.2. BATHYMETRIE ET MAILLAGE DU MODELE	80
7.2. FORÇAGES OCEANO-METEOROLOGIQUES ET SEDIMENTAIRES ET HYPOTHESES DU MODELE DE DEPOTS DE FINES	82
7.2.1. INTRODUCTION	82
7.2.2. MESURES IN SITU	82
7.2.3. ANALYSE DES MESURES IN SITU	83
7.2.4. FORÇAGES HYDRODYNAMIQUES	83
7.2.5. FORÇAGES SEDIMENTAIRES	84
7.2.6. PROCESSUS PHYSIQUES RESOLUS	84
7.2.7. CARACTERISTIQUES SEDIMENTOLOGIQUES DE LA VASE DE PORT-LA NOUVELLE	85
7.2.8. DONNEES DE CALAGE	86
7.3. RESULTATS DE CALAGE DU DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION ACTUELLE	87
7.3.1. CONCLUSIONS RELATIVES AU CALAGE DU MODELE DE DEPOT DE FINES	89
7.4. MODELISATION DU DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION FUTURE	89
7.4.1. RAPPEL DE L'AMENAGEMENT ET DEFINITION DE NOUVELLES ZONES DE DRAGAGES SEIN DU FUTUR PORT.	89
7.4.2. FORÇAGES HYDRODYNAMIQUES	90
7.4.3. FORÇAGES SEDIMENTAIRES	90
7.4.4. PARAMETRES DE CALCUL	91
7.4.5. RESULTATS DU CALCUL DE DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION FUTURE POUR UNE CONCENTRATION DE MES DU DOMAINE MARITIME DE 0.012 G/L	91
7.4.6. RESULTATS DU CALCUL DE DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION FUTURE POUR UNE CONCENTRATION DE MES DU DOMAINE MARITIME DE 0.040 G/L.	94
7.5. CONCLUSION QUANT AUX IMPACTS DU FUTUR PORT SUR LES VOLUMES DE VASE ANNUELS A DRAGUER	97
8. LE MODÈLE HYDRO-SEDIMENTAIRE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS	99
8.1. DESCRIPTION DU MODELE HYDROSEDIMENTAIRE	100
8.1.1. EMPRISE, BATHYMETRIE ET MAILLAGE DU MODELE	100
8.1.2. TRANSPORT SOLIDE	100
8.1.2.1. Formule de transport solide	100
8.1.2.2. Prise en compte de la granulométrie étendue	101
8.1.3. REMPLISSAGE SEDIMENTAIRE	101
8.1.3.1. Analyse des granulométries	101
8.1.3.2. Choix des diamètres moyens modélisés	103
8.1.3.3. Initialisation de la répartition spatiale de ce mélange granulométrique	104

8.2. FACTEUR D'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE ET PERIODE REPRESENTATIVE	104
8.3. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES POUR LE CALAGE ET LA VALIDATION	105
8.3.1. VOLUME MOYEN ANNUEL DRAGUE DANS LE CHENAL D'ACCES POUR LE CALAGE DU TRANSPORT	106
8.3.2. EVOLUTIONS MORPHODYNAMIQUES NATURE	107
8.3.2.1. Différentiel bathymétrique 1979-2009 pour le calage morphodynamique du modèle	107
8.3.2.2. Evolution moyenne décennale	107
8.3.2.3. Analyse et exploitation	108
8.3.2.4. Différentiel bathymétrique 2009-2012 pour la validation du modèle	110
8.3.2.5. Analyse et exploitation	111
8.4. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS	113
8.4.1. CALAGE DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS A COURT TERME (1 AN) : CALIBRATION DU CALCUL DU TRANSPORT SOLIDE	113
8.4.2. CALAGE DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS A MOYEN TERME (10 ANS)	114
8.4.3. VALIDATION DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS	116
8.4.4. CONCLUSIONS RELATIVES AU CALAGE DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS	117
8.5. MODELISATION DE L'EVOLUTION DES FONDS MARINS, A COURT ET MOYEN TERMES, EN CONFIGURATION FUTURE	118
8.5.1. CALCUL D'EVOLUTION DES FONDS MARINS A COURT TERME (1 AN) EN CONFIGURATION FUTURE	118
8.5.2. CALCUL D'EVOLUTION DES FONDS MARINS A MOYEN TERME (10 ANS) EN CONFIGURATION FUTURE	123
8.5.3. CONCLUSIONS RELATIVES A L'EXPLOITATION DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS	130
REFERENCES	131

FIGURES

Figure 1. Emprise globale du modèle cerclée de jaune.....	4
Figure 2. Les différentes sources bathymétriques utilisées	5
Figure 3. Maillage du modèle – vue globale	6
Figure 4. Bathymétrie du modèle – vue globale.....	6



Figure 5. Localisation des ouvrages limitant la section d'échange étang-mer – orthophotographie de 2011 ..	7
Figure 6. Ouvrages limitant la section d'échange étang-mer – photographies issues de la note concernant le projet d'enlèvement des anciennes piles du pont de la voie ferrée	7
Figure 7. Maillage et bathymétrie au droit du pont de la voie ferrée	8
Figure 8. Plan AUTOCAD de l'actuelle passerelle – anciennement barrage à vannes.....	8
Figure 9. Maillage et bathymétrie au droit de la passerelle	9
Figure 10. Maillage et bathymétrie du Grau.....	9
Figure 11. Maillage et bathymétrie des étangs	10
Figure 12. Maillage et bathymétrie de la frange côtière.....	10
Figure 13. Localisation des appareils déployés pendant la campagne de mesures	12

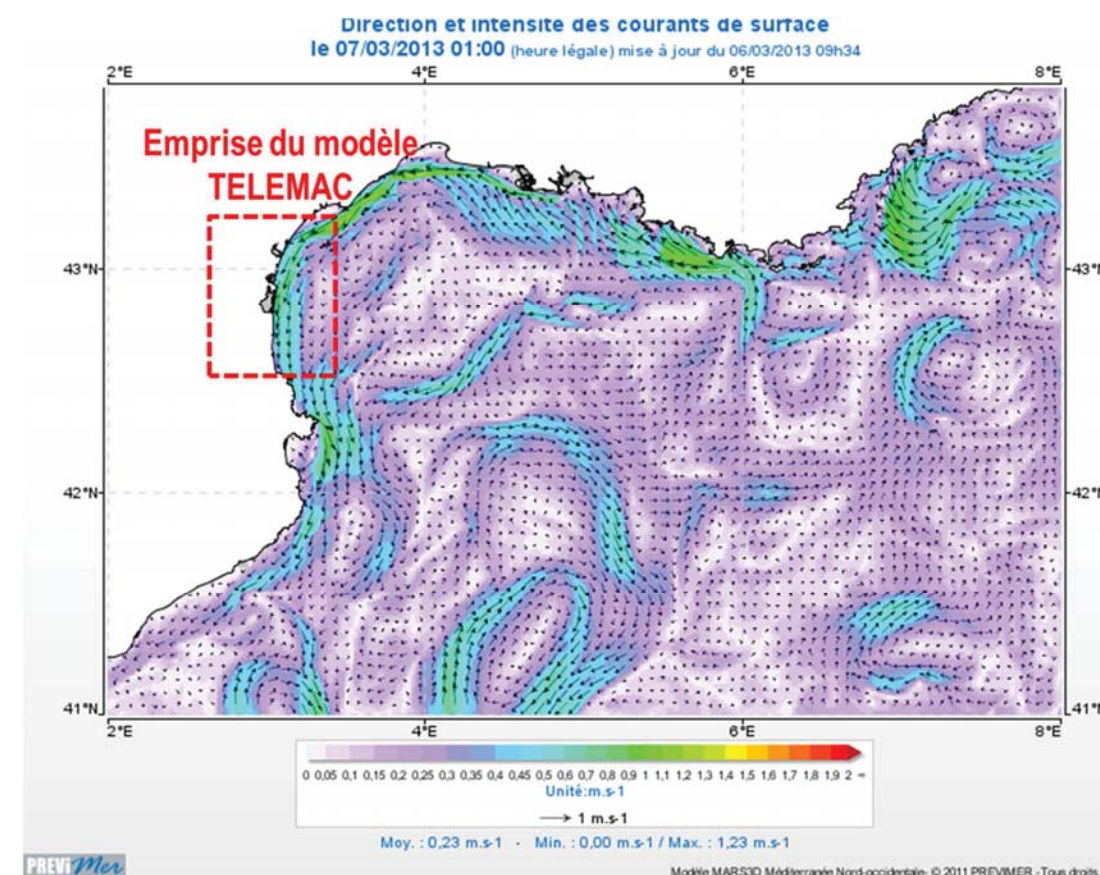
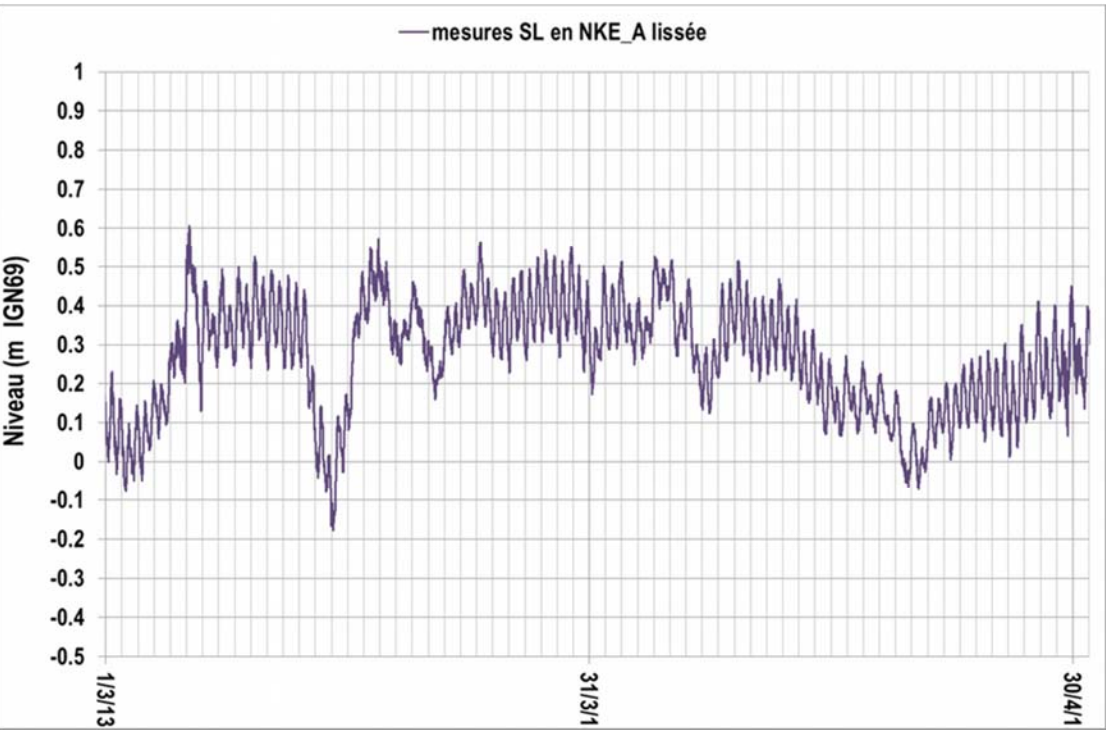


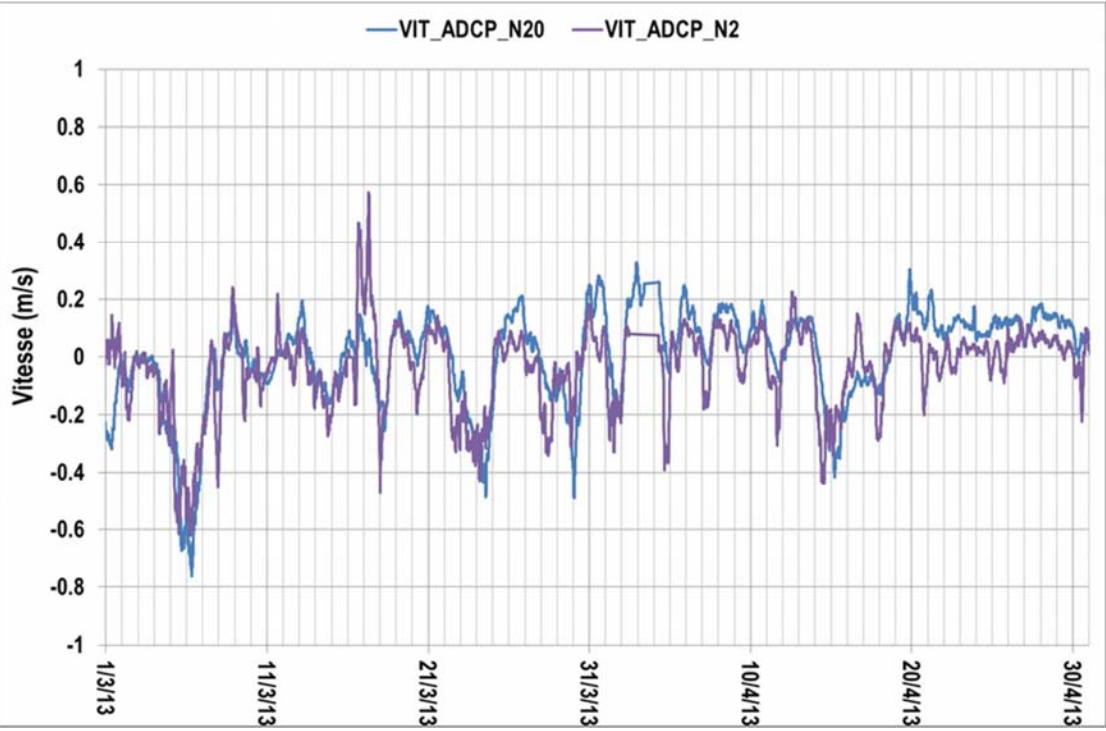
Figure 14. Capture d'écran du site PREVIMER : simulation des courants (MARS3D) pour le 07/03/2013 mettant en évidence un courant général nord-sud au large de Port-La Nouvelle

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



15. Signal du capteur NKE_A et imposé aux frontières maritimes du modèle14



16. Vitesses mesurées par les ADCP N20 et N2 en mars et avril 2013.....15
(une valeur négative indique un courant allant « du Nord vers le Sud »).....15

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



17. Vitesses mesurées par les ADCP N20 et L en mars et avril 201315
(une valeur négative indique un courant allant « du Nord vers le Sud »).....15
Figure 18. Données de vent (Intensité, Direction) en mars et avril 2013.....16
Figure 19. Variation du coefficient de frottement surfacique en fonction de l'intensité du vent17
Figure 20. Localisation des points d'introduction des débits du canal de la Robine18
Figure 21. Carte des principaux cours d'eau (CESMAT, L. 2012) [REF6]19
Figure 22. Localisation des introductions de débit des différents bassins versants.....20
Figure 23. Données de pluie (en hauteur cumulée) et débits introduits dans le modèle de en mars et avril 201321

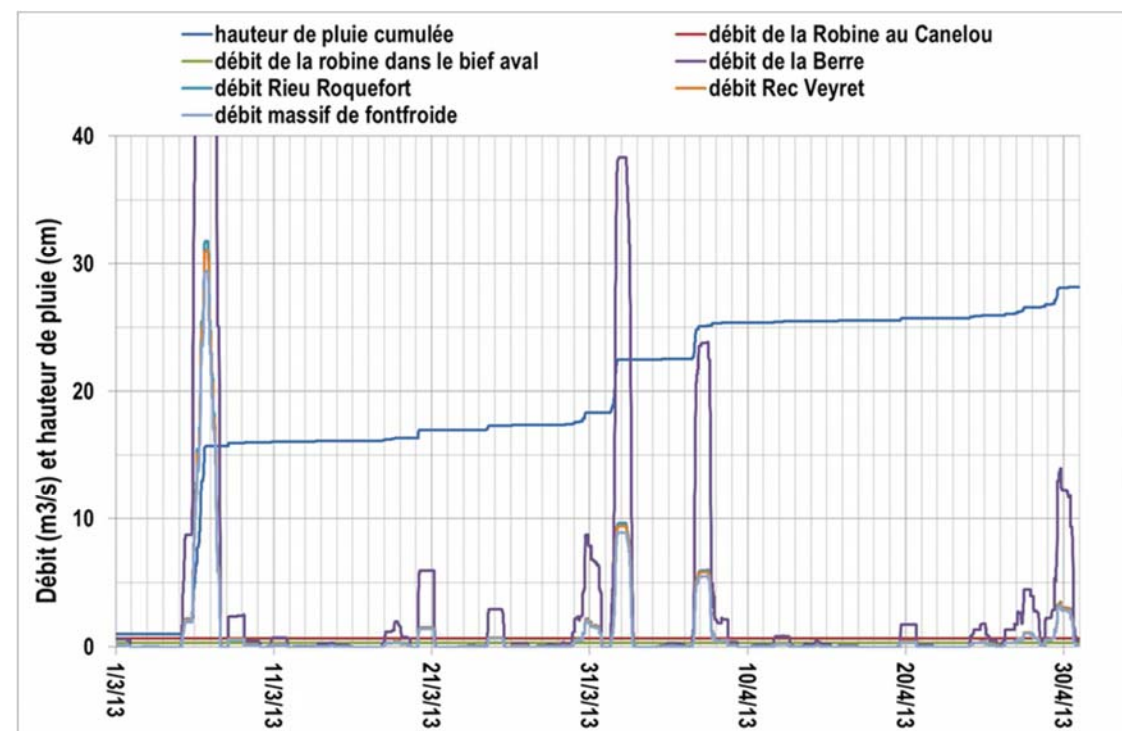


Figure 24. Données de pluie (en hauteur cumulée) et débits introduits dans le modèle en mars et avril 2013 – zoom sur les débits21

Figure 25. Conditions météorologiques (pluie, vent, évaporation) imposées en mars 201322

Figure 26. Conditions météorologiques (pluie, vent, évaporation) imposées en avril 201323

Figure 27. Localisation des mesures de houle24

Figure 28. Epure de la houle de caractéristiques au large : $H_s=8m$ $T_p=13s$ et Direction = 105°N25

La **Figure 28** illustre une épure de houle issue du calcul de propagation de la houle ayant pour caractéristiques $H_s=8m$ $T_p=13s$ et Direction = 105°N au large.25

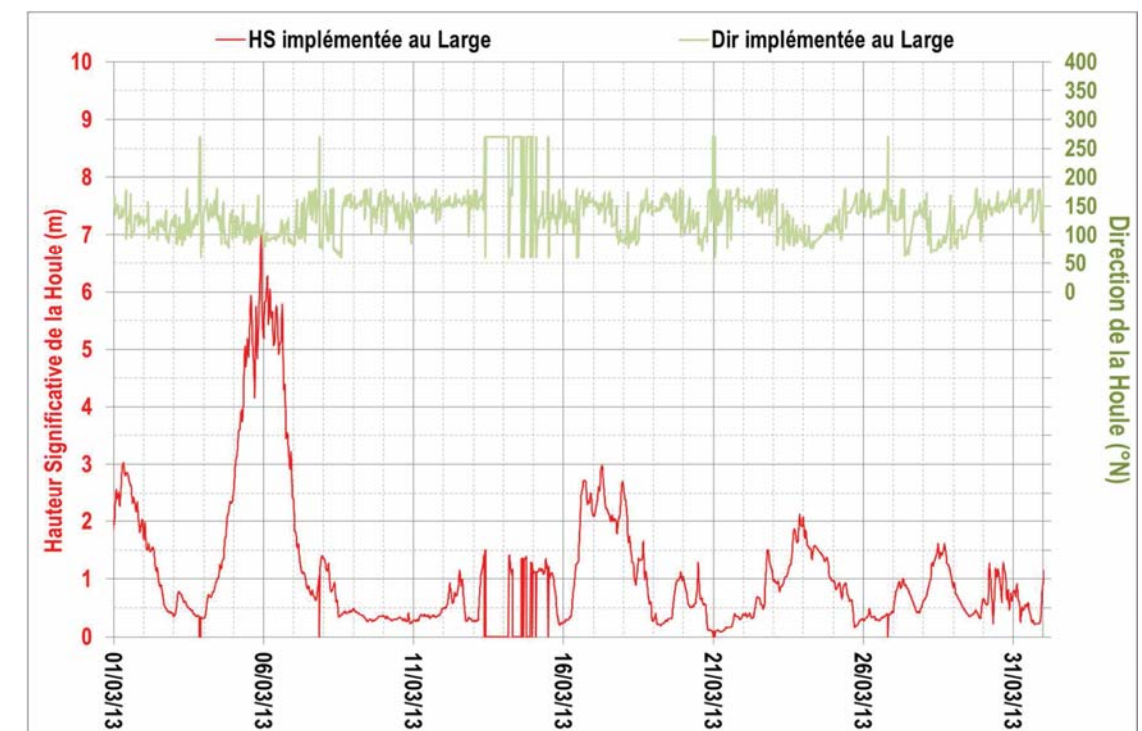


Figure 29. Conditions de houle imposées au large en mars 201326

Figure 31. Mars 2013 - Comparaison modèle - mesure des niveaux (points A et B) et vitesse (point C)29

Figure 32. Avril 2013 - Comparaison modèle - mesure des niveaux (points A et B) et vitesse (point C)30

Figure 33. Point N20 - Mars 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse32

Figure 34. Point N20 - Avril 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse33

Figure 35. Point S20 - Mars 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse34

Figure 36. Point S20 - Avril 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse35

Figure 37. Point N2 - Mars 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse36

Figure 38. Point N2 - Avril 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse37

Figure 39. Point S2 - Mars 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse38

Figure 40. Point S2 - Avril 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houle et vitesse39

Figure 41. Profils verticaux instantanés (intensité et direction) calculés en N2 et S2 le 06/03/201240

Figure 42. Profils verticaux instantanés (intensité et direction) calculés en N2 et S2 le 07/03/201241

Figure 44. Caractérisation des scénarii hydro-météorologiques43

Figure 45. Plan masse du futur port45

Figure 47. Bathymétrie du modèle en configuration future – Zoom sur l'extension du port47

Figure 48. Maillage du modèle en configuration future – Vue globale47

Figure 49 Maillage du modèle en configuration future – Zoom sur l'extension du port48

Figure 50. Scénario n°5 (scénario « calme ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (SL aux points A et B) et vitesse (au point C)50

Figure 51. Scénario n°4 (scénario « agité ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (points A et B) et vitesse (point C)51

Figure 52. Scénario n°3 (scénario « très agité ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (points A et B) et vitesse (point C)52

Figure 53. Scénario n°1 (scénario « Tramontane ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (points A et B) et vitesse (point C)53

Figure 54. Scénario n°2 (scénario « tempête ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (points A et B) et vitesse (point C).....	54
Figure 55. Scénario n°5 (scénario « calme ») – Différentiel de vitesse entre les configurations FUTURE et ACTUELLE – Zoom sur le grau.....	57
Figure 56. Scénario n°4 (scénario « agité ») – Différentiel de vitesse entre les configurations FUTURE et ACTUELLE – Zoom sur le grau.....	58
Figure 57. Scénario n°3 (scénario « très agité ») – Différentiel de vitesse entre les configurations FUTURE et ACTUELLE – Zoom sur le grau.....	59
Figure 58. Scénario n°1 (scénario « tramontane ») – Différentiel de vitesse entre les configurations FUTURE et ACTUELLE – Zoom sur le grau.....	60
Figure 59. Scénario n°2 (scénario « tempête ») – Différentiel de vitesse entre les configurations FUTURE et ACTUELLE – Zoom sur le grau.....	61
Figure 60. Localisation de la section transverse à travers laquelle sont calculées les débits.....	62
Figure 61. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 01/03/2013 au 11/03/2013.....	62
Figure 62. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 11/03/2013 au 21/03/2013.....	63
Figure 63. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 22/03/2013 au 31/03/2013.....	63
Figure 64. Comparaison des débits entrants et sortants de l'étang, en situations actuelle et future, pendant la tempête uniquement, puis sur les 6 mois simulés.....	64
Figure 65. Scénario n°5 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	65
Figure 66. Scénario n°4 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	66
Figure 67. Scénario n°4 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	67
Figure 68. Scénario n°3 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	68
Figure 69. Scénario n°3 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	69
Figure 70. Scénario n°1 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant général fort portant vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	70
Figure 71. Scénario n°2 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral portant vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbe bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	71
Figure 72. Scénario n°2 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral portant vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement.....	72
Figure 73. Scénario n°5 (scénario « calme ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en vitesses.....	74
Figure 74. Scénario n°4 (scénario « agité ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en vitesses.....	75
Figure 75. Scénario n°3 (scénario « très agité ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en vitesses.....	76
Figure 76. Scénario n°1 (scénario « tramontane ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en vitesses.....	77

Figure 77. Scénario n°2 (scénario « tempête ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en vitesses.....	78
Figure 78. Localisation des différentes zones du port.....	81
Figure 79. Superficie et plafonds de dragage des différentes zones du port.....	81
Figure 80. Localisation des turbidimètres déployés pendant la campagne de mesures.....	82
Figure 81. Corrélation entre turbidité et concentration en MES au sein du port.....	83
Figure 82. Illustration des mesures de turbidité effectuées en TC et TM et convertie en concentration en MES (mg/l).....	83

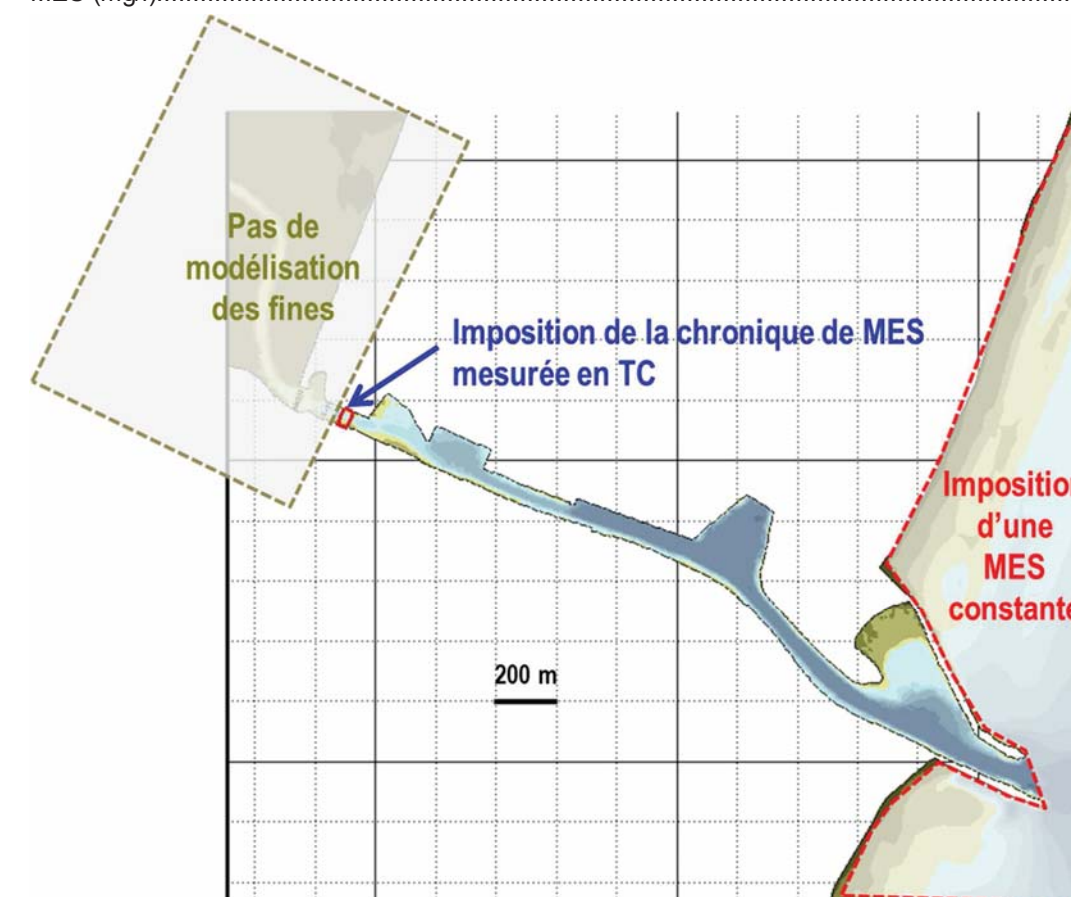


Figure 83. Schéma explicatif des forçages sédimentaires du modèle pour le modèle de dépôt de fines.....84

Volumes dragués		(volumes sont établis à partir de capteurs sur la drague mesurant le poids et le volume du chargement)									
de juillet 2006 à juin 2012		Année						Total	Moyenne	Superficie des zones draguées	Epaisseur moyenne
		06/11/2006	24/09/2007	19/05/2008	23/09/2009	05/10/2010	17/10/2011	06/11/2006			
		14/06/2007	16/04/2008	25/06/2009	17/06/2010	16/06/2011	14/06/2012	14/06/2012		m²	m
Darse aux petits métiers (pêche/plaisance)		31 337	2 981	13 308	31 363	12 429	6 629	98 047	16341	22 000	0,74
Nouvelle darse de pêche (darse de commerce)		8 505	25 434	13 045	25 885	27 324	13 731	113 924	18987	25 000	0,76
Chenal Est 1		16 831	9 535	6 441	13 163	17 770	8 337	72 077	12013	17 500	0,69
Chenal Est 2		20 277	7 439	36 653	24 391	34 463	17 228	140 449	23408	30 000	0,78
Bassin au pétrole		2 874	750	5 502	26 224	9 927	4 192	49 469	8245	55 000	0,15
Chenal aval		4 356	9 762	13 733	24 759	81 549	10 992	145 151	24192	85 000	0,28
Sous-total		84 180	55 901	88 682	145 785	183 462	61 107	619 117	103 186	234 500	0,44
Bassin d'amortissement		0	10 136	46	175	0	12 013	22 370	3728	30 000	0,12
Passe et chenal d'accès		24 123	44 143	34 984	48 841	44 703	99 752	296 546	49424	300 000	0,16
Total		108 303	110 180	123 712	194 801	228 165	172 872	938 033	156 339	564 500	0,28

Figure 84. Récapitulatif des volumes dragués (source : pole dragage de Sète).....86

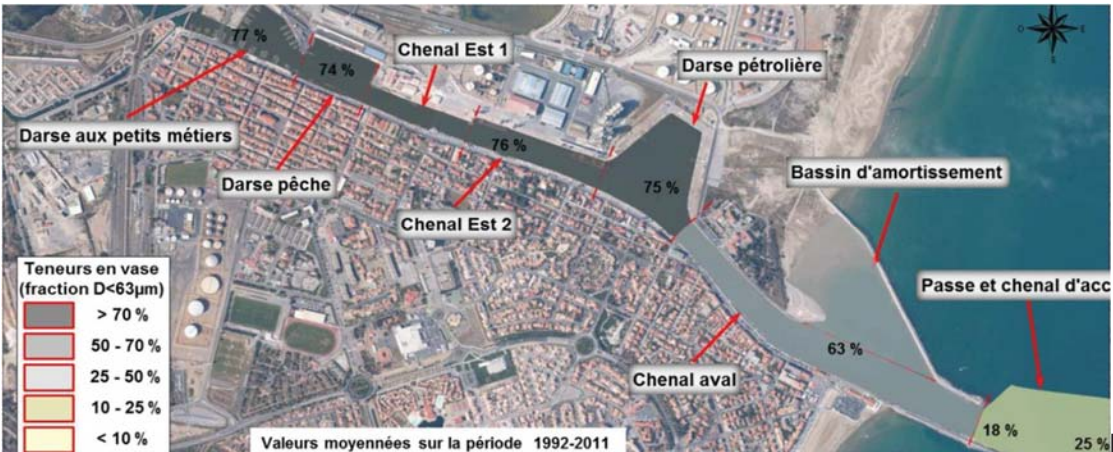


Figure 85. Carte de répartition des teneurs en vase dans les bassins portuaires (Pole dragages, 2012).....86

Figure 86. Récapitulatif des volumes moyens annuels de vase pure dragués dans le port87

Figure 87. Comparaison des volumes déposés, par zone, en nature et par le calcul, sur 6 mois simulés.....88

Figure 88. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation - En marron sont rappelées, par zone, les hauteurs moyennes annuelles de dépôt de vase pure draguées.....88

Figure 89. Localisation des différentes zones de dragages considérées avec le futur port90

Figure 90. Schéma explicatif des forçages sédimentaires pour le modèle de dépôt de fines en configuration future91

Figure 91. Comparaison des volumes de vase pure déposés, calculés sur les 5 zones amont du grau, en situation actuelle et future, sur 6 mois simulés92

Figure 92. Présentation des volumes de vase pure déposés, au sein du grau et du nouveau bassin portuaire, sur 6 mois simulés.....93

Figure 93. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation en configuration future, considérant une relativement faible turbidité du domaine maritime94

Figure 94. Comparaison des volumes de vase pure déposés, calculés sur les 5 zones amont du grau, en situation actuelle et future, sur 6 mois simulés95

Figure 95. Présentation des volumes de vase pure déposés, au sein du grau et du nouveau bassin portuaire, sur 6 mois simulés.....96

Figure 96. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation en configuration future, considérant une forte turbidité du domaine maritime97

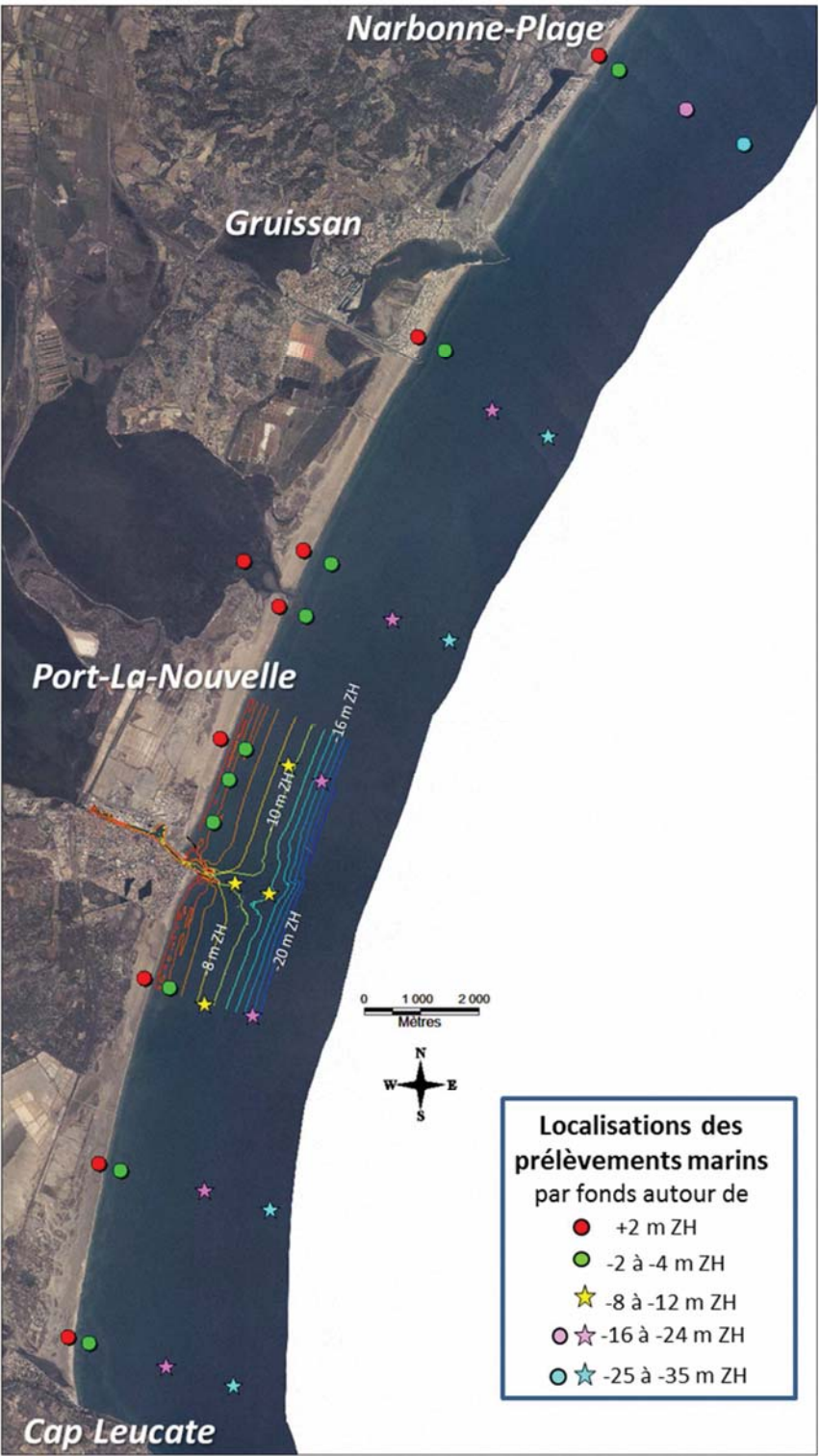


Figure 97. Carte de localisation des prélèvements marins effectués en mai 2013102

Figure 98. Exemple de courbe granulométrique produite à l'issue de l'analyse LASER de l'échantillon prélevé SED104.....103

Figure 99. Résultat de l'initialisation spatiale de la fraction de présence du sédiment de diamètre D1= 94 microns.....	104
Figure 100. Localisation de la zone dite « passe et chenal d'accès » en trait bleu plein, d'après le pôle dragage du port de Sète.....	106
Figure 101. Evolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle.....	107
Figure 102. Evolution moyenne décennale déduite de l'évolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle – les tirets bleus rappellent la zone de dragage de l'accès au port.....	108
Figure 103. Evolution moyenne décennale déduite de l'évolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle.....	109

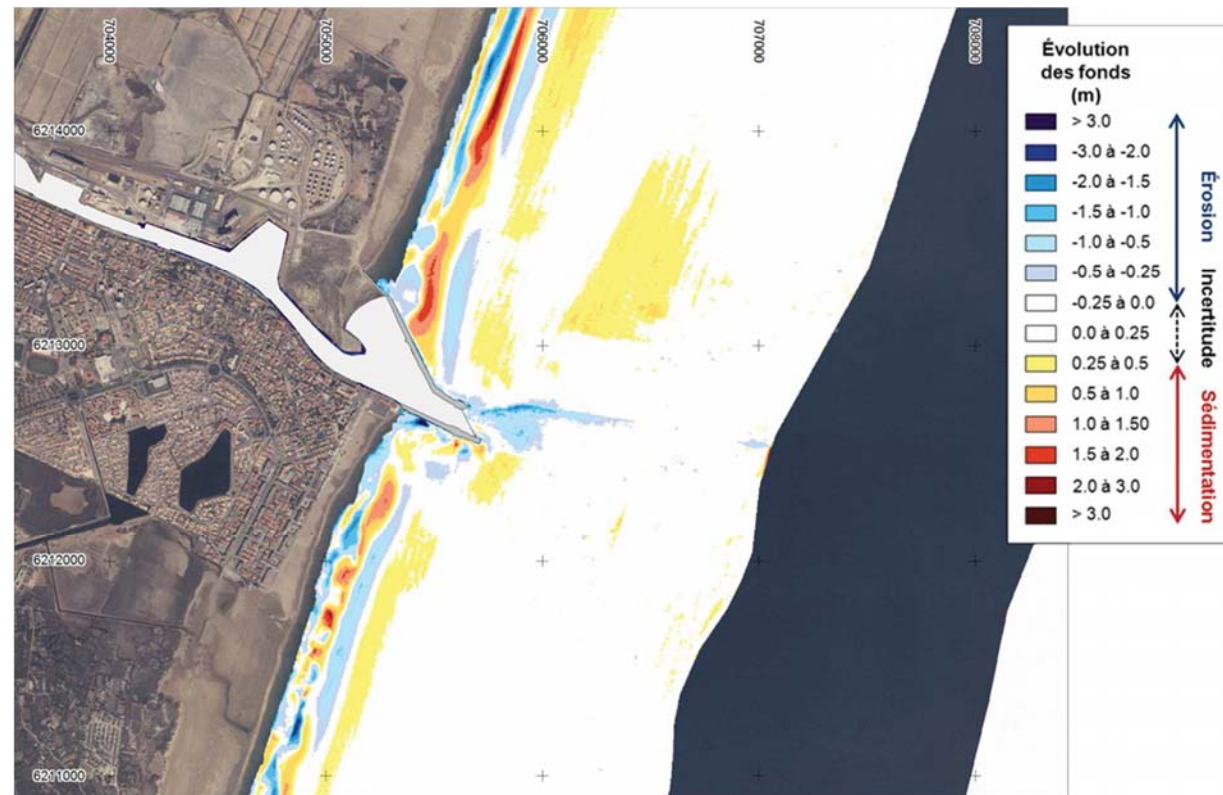


Figure 104. Evolution des fonds de 2009 à 2012 au voisinage du port de Port-La Nouvelle.....	111
Figure 105. Analyse des évolutions à reproduire sur la période 2009 - 2012 par le modèle au voisinage du port de Port-La Nouvelle.....	112
Figure 106. Evolution du volume de dépôt calculé sur 1 an, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années.....	114
Figure 107. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – Zoom sur le voisinage du port.....	115
Figure 108. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – Vue élargie au domaine de calcul.....	116
Figure 109. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 3 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle de 2009 à 2012 – Zoom sur le voisinage du port.....	117
Figure 111. Evolutions obtenues en configuration future à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – vue élargie au domaine de calcul.....	120
Figure 112. Comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, en configuration actuelle (à gauche) et en configuration future (à droite) – Zoom au voisinage du port.....	121

Figure 113. Comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, en configuration actuelle (à gauche) et en configuration future (à droite) - Vue élargie au domaine de calcul.....	122
Figure 115. Comparaison des évolutions obtenues en configuration future à l'issue des calculs morphodynamiques C1 et C2 à 10 ans, sans dragage (à gauche) et avec dragage (à droite) - Zoom sur le voisinage du port.....	125
Figure 116. Comparaison des évolutions obtenues en configuration future à l'issue des calculs morphodynamiques C1 et C2 à 10 ans, sans dragage (à gauche) et avec dragage (à droite) - Vue élargie au domaine de calcul.....	126
Figure 118. Comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans avec dragage, en configuration actuelle (à gauche) et en configuration future (à droite) - Vue élargie au domaine de calcul.....	129

1.INTRODUCTION

1.1. CONTEXTE

La Région Languedoc-Roussillon (le Maître d'Ouvrage – MOA) est devenue propriétaire des ports de Sète et de Port-La Nouvelle en janvier 2007, suite à la loi « Libertés et responsabilités locales » du 13 août 2004. Elle s'est engagée depuis dans une politique volontariste de développement des trafics et de recherche de nouveaux opérateurs économiques permettant l'accroissement des activités portuaires des deux ports régionaux.

Le projet d'agrandissement du port de Port-La Nouvelle dans lequel s'engage la Région consiste donc à répondre aux attentes des futurs opérateurs portuaires et à construire de nouvelles installations, à terre comme en mer, répondant aux standards actuels des ports modernes.

Cet agrandissement passe par la création d'un nouvel avant-port au Nord de la passe d'entrée actuelle, nécessaire au développement de l'activité portuaire de Port-La Nouvelle.

Dans ce cadre, la région a lancé une consultation ayant pour objet de désigner un Maître d'Œuvre dont les missions sont de réaliser les études préliminaires, de concevoir l'avant-projet, d'élaborer le ou les dossier(s) de consultation des entreprises, d'analyser les offres, de viser les études d'exécution, de réaliser la direction de l'exécution des travaux en ordonnant, pilotant et coordonnant les divers prestataires et d'apporter l'assistance au Maître d'Œuvre lors des opérations de réception et pendant la garantie de parfait achèvement des travaux.

Le groupement ARTELIA, CREOCEAN et Cabinet GAXIEU, dont ARTELIA est le mandataire, est titulaire de ce marché de Maîtrise d'Œuvre pour l'agrandissement du port de Port-La Nouvelle (PLN 2015).

Une des problématiques à laquelle doit répondre la mission de Maîtrise d'Œuvre concerne **l'impact hydro-sédimentaire du projet**. A cette fin, la mission de Maîtrise d'Œuvre comprend une mission complémentaire (mission HYDRO), qui comporte trois volets :

- Un volet relatif au recueil et à l'analyse des données existantes.
Ce volet a fait l'objet d'un rapport spécifique – rapport 8713239-HYDRO-R01 'rapport relatif aux conditions hydro-sédimentaires sur site ».
- Un volet relatif à l'acquisition de données complémentaires de terrain.
Cette campagne de mesures a été conduite sur une durée de six mois (Mars à Août 2013) est a donné lieu au rapport CREOCEAN 1-120631 (Octobre 2013).
- Un volet relatif aux modélisations numériques hydro-sédimentaires comportant :
 - Une modélisation numérique hydro-sédimentaire des fonds marins pour évaluer l'impact du projet sur le littoral et les fonds marins.
 - Une modélisation numérique pour évaluer les échanges entre la mer et l'étang de Bages-Sigean ainsi que les apports, dans le futur port, de sédiments marins et/ou provenant de l'étang.

Ce présent rapport se rapporte au volet relatif aux modélisations numériques hydro-sédimentaires de la mission HYDRO.

1.2. OBJET DU PRESENT RAPPORT

L'objet du présent rapport est de décrire le modèle hydrodynamique 3D qui a été construit pour servir de base aux modélisations hydro-sédimentaires et présenter les résultats des simulations hydrodynamiques, de la modélisation des dépôts de particules fines, de la modélisation de l'évolution des fonds marins et des impacts du projet.

Ce rapport présente successivement :

- Le système de modélisation mis en œuvre,
- L'emprise de la modélisation, les données bathymétriques introduites dans le modèle et les caractéristiques du maillage du modèle,
- Les forçages et conditions aux limites considérés,
- Les résultats du calage hydrodynamique mené sur la période de mesures océano-météorologiques,
- L'analyse des impacts hydrodynamiques du projet (niveaux d'eau, échanges étang / mer champs de courant entre la situation actuelle et la situation de projet pour cinq périodes représentatives,
- La description et le calage du modèle de dépôts de fines,
- Les résultats de la modélisation du dépôt de fines en configuration future,
- La description et le calage du modèle hydro-sédimentaire d'évolution des fonds marins, à court et moyen terme,
- Les résultats du calcul de validation du modèle hydro-sédimentaire d'évolution des fonds marins,
- Les résultats de la modélisation d'évolution des fonds marins en configuration future, à court terme et moyen terme,

o0o

2. LE MODELE HYDRODYNAMIQUE

2.1. SYSTEME DE MODELISATION

Les modèles utilisés dans le cadre de l'étude sont des modèles du système TELEMAC. Ce système est développé par le LNHE (Electricité de France). ARTELIA Eau & Environnement contribue à son développement et a mis au point des modules spécifiques notamment dans le domaine hydro-sédimentaire.

Le « système TELEMAC » comporte un certain nombre de modules/logiciels qui sont mis en œuvre en fonction des besoins et objectifs de l'étude. Les logiciels du système TELEMAC utilisent tous la méthode aux éléments finis sur des maillages horizontaux triangulaires. L'intérêt d'utiliser une technique aux éléments finis est la possibilité de représenter finement le terrain (bathymétrie, côte, ouvrages portuaires, etc.). Ainsi, il est alors possible d'affiner la précision du modèle en fonction des objectifs de l'étude.

Concernant l'étude de Maitrise d'Œuvre de l'agrandissement de Port-La Nouvelle, c'est le module TELEMAC - 3D qui a été mis en œuvre pour l'ensemble des calculs courantologiques. Ce module résout les équations régissant la dynamique des écoulements tridimensionnels à surface libre sous l'hypothèse de pression hydrostatique, calculant en tous points du maillage et sur plusieurs points sur la verticale, les champs de vitesses dans les 3 directions et la valeur des quantités scalaires transportées (température, salinité, sédiment en suspension...); sur les points de surface du maillage l'évolution de la surface libre est calculée.

L'introduction de la houle et sa propagation au sein de l'emprise du modèle courantologie est effectuée par le module TOMAWAC. Ce dernier modélise l'évolution en espace et en temps du spectre d'énergie des vagues de vent et de la houle sur l'emprise du modèle et permet de calculer les forces de radiation qui sont ensuite introduites dans le module TELEMAC-3D pour le calcul des courants induits.

Ultérieurement, pour les aspects hydro-sédimentaires, le module **SISYPHE** du système TELEMAC sera mis en œuvre.

2.1.1. Emprise du modèle

L'emprise du modèle hydrodynamique s'étend de Cap Leucate à Narbonne-Plage, soit sur près de 35 km de linéaire côtier.

Elle inclut l'étang de Bages-Sigean et s'étend en mer sur une bande parallèle au trait de côte d'une dizaine de kilomètres de large.

La **Figure 1** ci-dessous présente l'emprise du modèle.



Figure 1. Emprise globale du modèle cerclée de jaune

2.1.2. La bathymétrie utilisée

Le modèle est construit à partir de données bathymétriques de diverses provenances. Toutes ces données ont été mises dans le même référentiel planimétrique **RGF 93** et le même référentiel altimétrique **IGN 69**.

La bathymétrie utilisée est une combinaison des données suivantes :

- Les levés issus de la campagne bathymétrique menée sur les étangs de Bages et de Sigean de Septembre 2000 à Juillet 2001, fournis par le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée,
- Le levé de l'intérieur du port, datant de décembre 2012 et fourni par le pôle HYDRO de Sète,
- Dans la zone comprise entre le levé de l'étang et celui de l'intérieur du port, au niveau des ouvrages (pont ferroviaire et ancienne écluse), des levés bathymétriques datant de mai 2009 fournis par le Port,
- Le LIDAR de 2011 sur la frange côtière extérieure au port, fourni par la DREAL,
- Les données du SHOM au large : cartes marines SHOM 7434, 7002, 6844.

La **Figure 2** ci-dessous résume l'agencement de cette mosaïque de données bathymétriques.

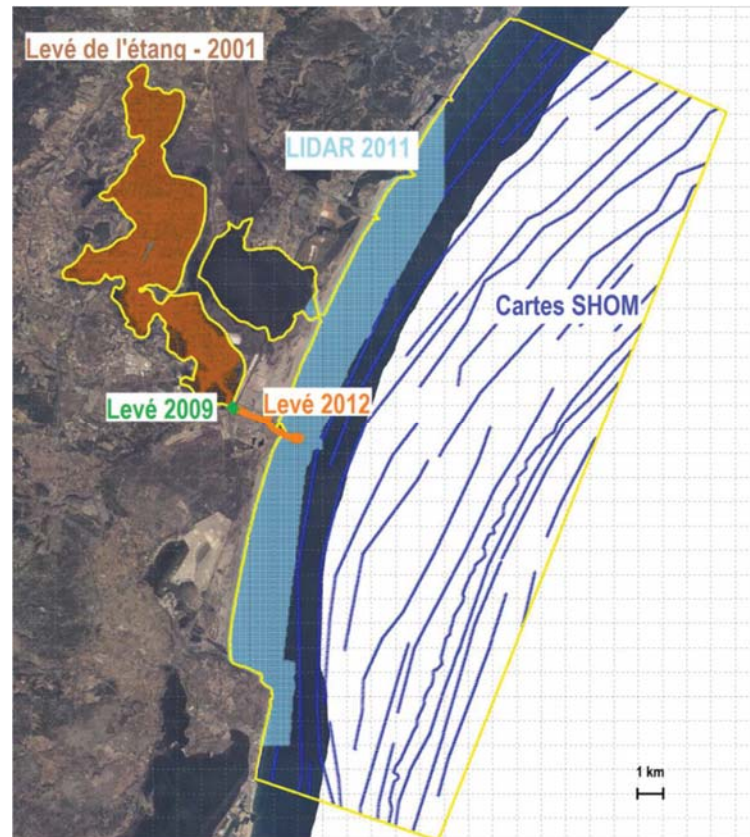


Figure 2. Les différentes sources bathymétriques utilisées

2.1.3. Le maillage du modèle et le modèle numérique de terrain (MNT)

2.1.3.1. Le maillage et la bathymétrie d'ensemble du modèle

L'objectif du modèle hydrodynamique est la reproduction des échanges hydrauliques entre la mer et l'étang de Bages-Sigean et la reproduction des courants dans les fonds marins.

Pour sa composante tridimensionnelle, le modèle est doté de 6 plans sur la verticale.

La stratégie de définition du maillage a consisté à décrire finement certaines zones comme celles du grau et du port de la géométrie desquelles dépendent les échanges mer – étang, ainsi que la zone de la frange côtière où l'hydrodynamique est spatialement très variable, cela tout en cherchant à optimiser le temps de calcul de simulation, donc le nombre de nœuds du maillage.

Au final le modèle comporte 54 000 nœuds de calcul sur chacun de ses 6 plans horizontaux. Le maillage et la bathymétrie du modèle global font l'objet des **Figure 3** et **Figure 4**.

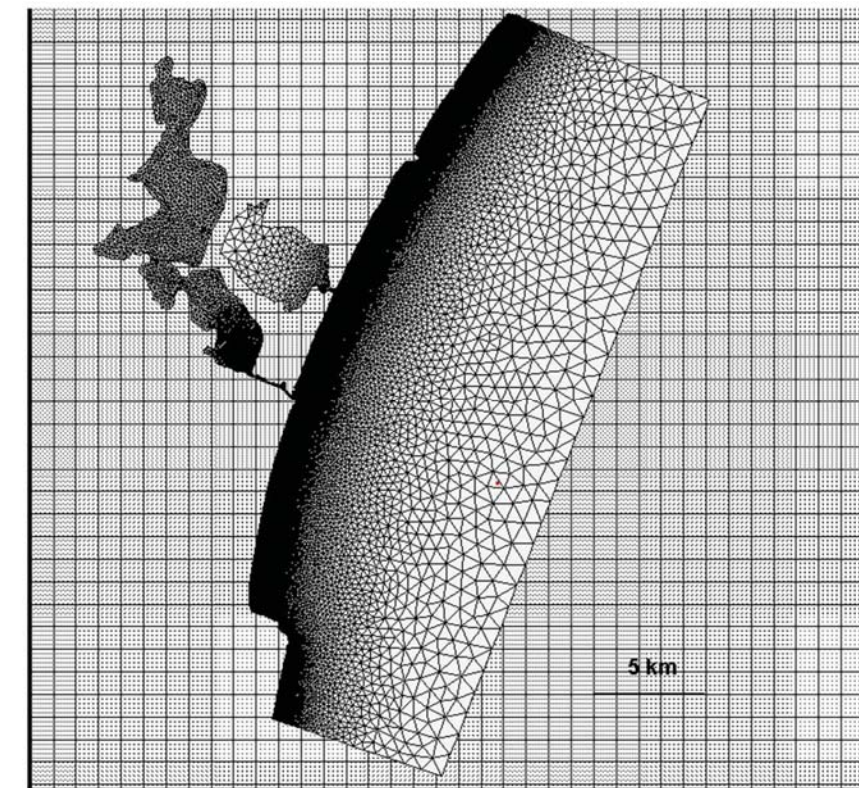


Figure 3. Maillage du modèle - vue globale

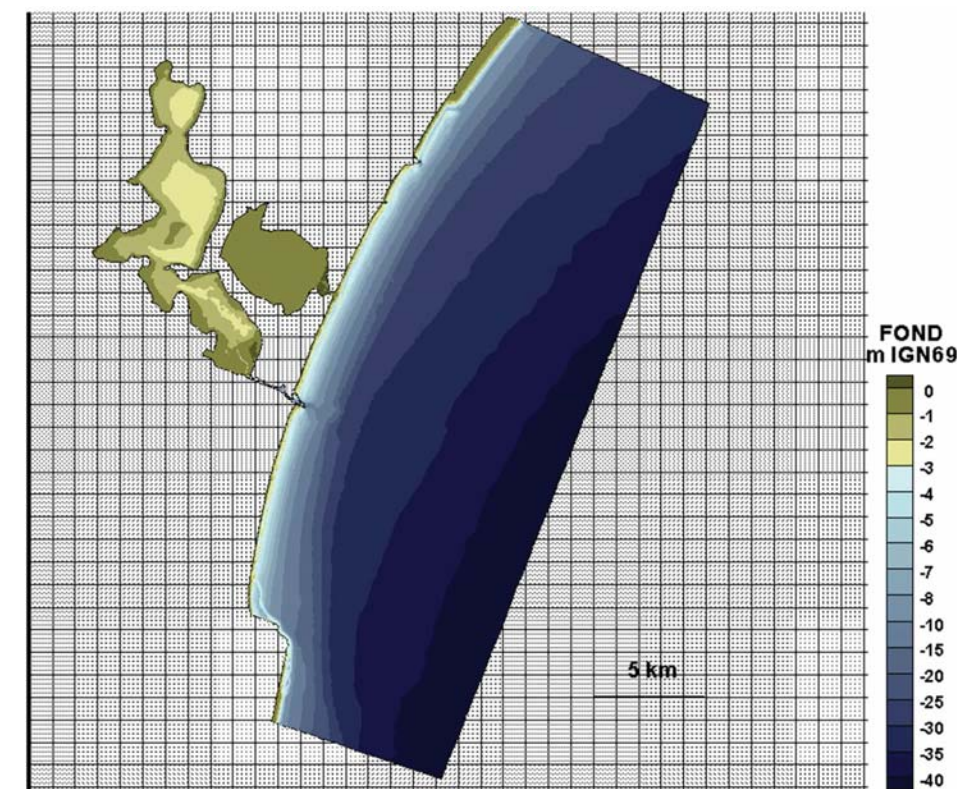


Figure 4. Bathymétrie du modèle - vue globale

2.1.3.2. Description de la représentation de certaines zones

2.1.3.2.1. Maillage du Grau

Les échanges étang-mer sont fortement contraints par la géométrie du grau. Il faut donc représenter le plus précisément possible la section de passage du chenal reliant l'étang à la mer ainsi que les ouvrages réduisant la section de circulation des eaux, à savoir l'ancien barrage à vannes et le pont de la voie ferrée.



Figure 5. Localisation des ouvrages limitant la section d'échange étang-mer – orthophotographie de 2011



Figure 6. Ouvrages limitant la section d'échange étang-mer – photographies issues de la note concernant le projet d'enlèvement des anciennes piles du pont de la voie ferrée

Concernant le pont SNCF, situé au débouché immédiat du grau dans la lagune, le plan de l'ouvrage n'a pu être obtenu. Sa représentation a été effectuée à l'aide d'images satellites et de photographies (Figure 6 – droite) et de la note « Projet d'enlèvement des anciennes piles du pont de la voie ferrée dans le grau de Port-La Nouvelle : impact attendu sur le fonctionnement hydrologique et écologique de l'étang de Bages-Sigean » [REF1] pour estimer la largeur des piles et donc l'encombrement de la section hydraulique.

Afin de bien estimer les sections de passage entre les piles, la zone est maillée extrêmement finement, présentant de mailles de 1 m environ. Le maillage et la bathymétrie du modèle au droit du pont ferroviaire sont présentés à la Figure 7.

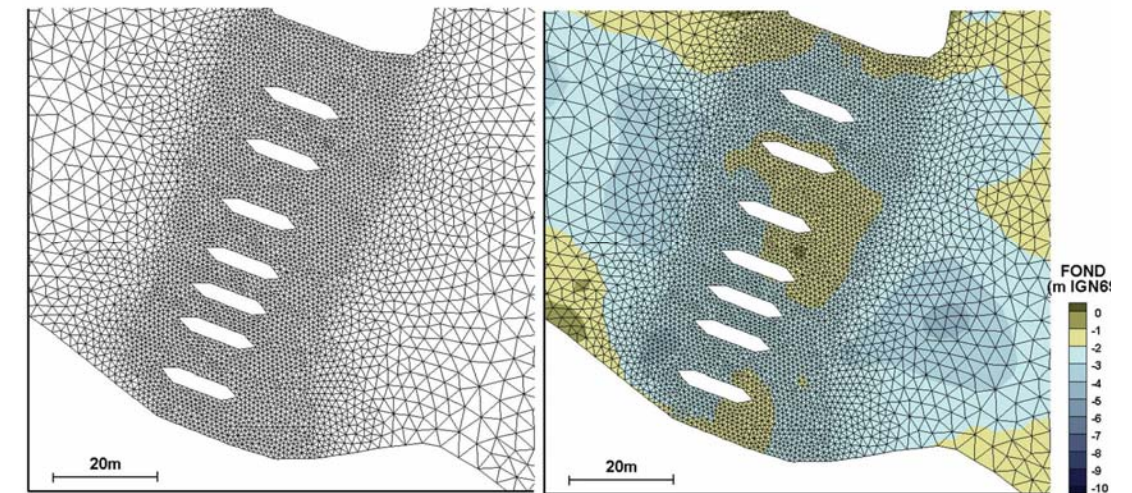


Figure 7. Maillage et bathymétrie au droit du pont de la voie ferrée

Au droit de la passerelle (cf. photographie Figure 6 – gauche), un plan AUTOCAD (Figure 8), fourni par la Direction du Port, renseigne plus précisément l'occupation de la section hydraulique de l'ancien barrage à vannes : seules trois piles subsistent mais des palplanches ont été disposées de part et d'autre de ces trois piles centrales. Les palplanches obstruent la section de passage près des berges, entre la cote -0,29 m IGN69 et le fond mais laissent passer les écoulements au-dessus de la cote -0,29 m IGN69.

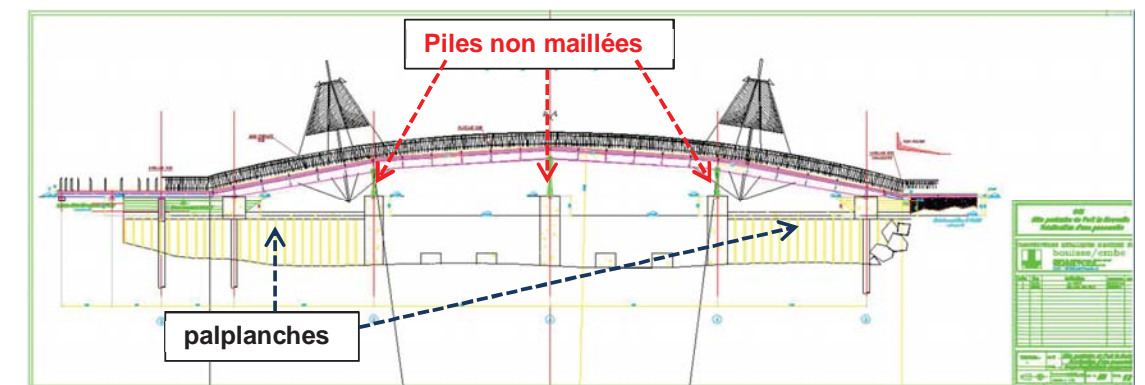


Figure 8. Plan AUTOCAD de l'actuelle passerelle – anciennement barrage à vannes

Pour la prise en compte de ces palplanches dans le maillage 3D, on recourt à une schématisation sous forme de seuil à pente forte, dont la crête est calée à -0,29 m IGN69 : cela permet un effet hydraulique équivalent en terme de débitance. En effet, reproduire une variation abrupte et verticale de bathymétrie, telle qu'en réalité entre le pied de la palplanche et son sommet, induirait un très fort gradient de bathymétrie sur une maille, ce qui ne serait pas acceptable numériquement.

Afin de bien estimer les sections de passage entre les piles soutenant la passerelle, la zone est maillée extrêmement finement, présentant des mailles de 0,5 à 1 m. Le maillage et la bathymétrie du modèle au droit de la passerelle sont présentés Figure 9.

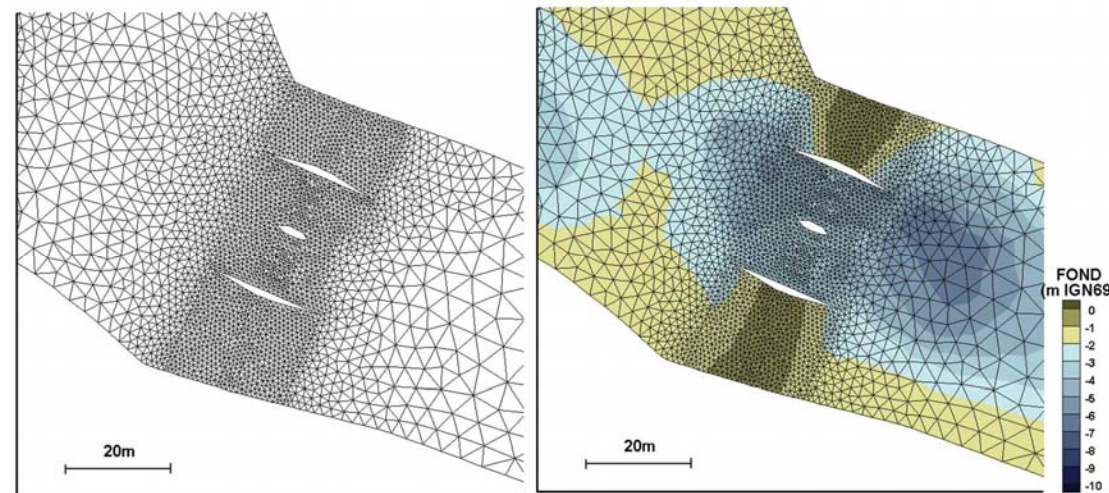


Figure 9. Maillage et bathymétrie au droit de la passerelle

Dans le reste du Grau, de la passerelle à l'avant-port, le maillage est uniforme, la taille de maille n'excède pas 10 m de sorte que la section hydraulique soit bien représentée. Le maillage et la bathymétrie du modèle dans le grau sont présentés **Figure 10**.

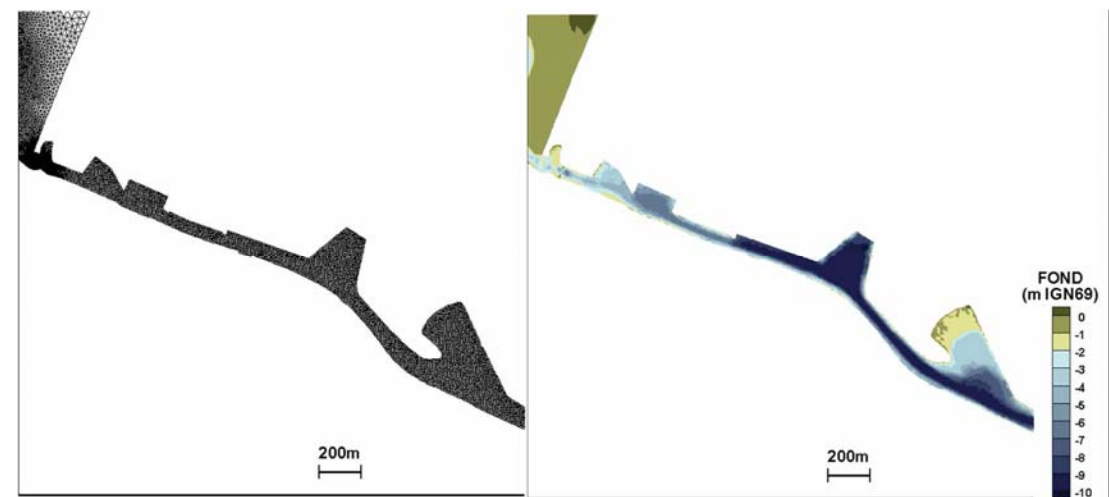


Figure 10. Maillage et bathymétrie du Grau

2.1.3.2.2. Maillage des étangs de Bages-Sigean et de l'Ayrolle

On s'attache à modéliser précisément le chenal exutoire de l'étang de Bages car sa section conditionne les échanges étang-mer. Dans ce chenal, la taille de maille est de 5 m. Mais plus au nord, compte tenu de l'homogénéité des fonds, une taille de maille de 150 m est appliquée.

Dans l'Ayrolle où les données bathymétriques sont inexistantes, une cote de fond moyenne est fixée à -0,4m IGN69 [REF2] et la taille de maille est de 35 m dans le grau, 250 m à l'intérieur de l'étang.

Le maillage et la bathymétrie du modèle dans les étangs sont présentés **Figure 11**.

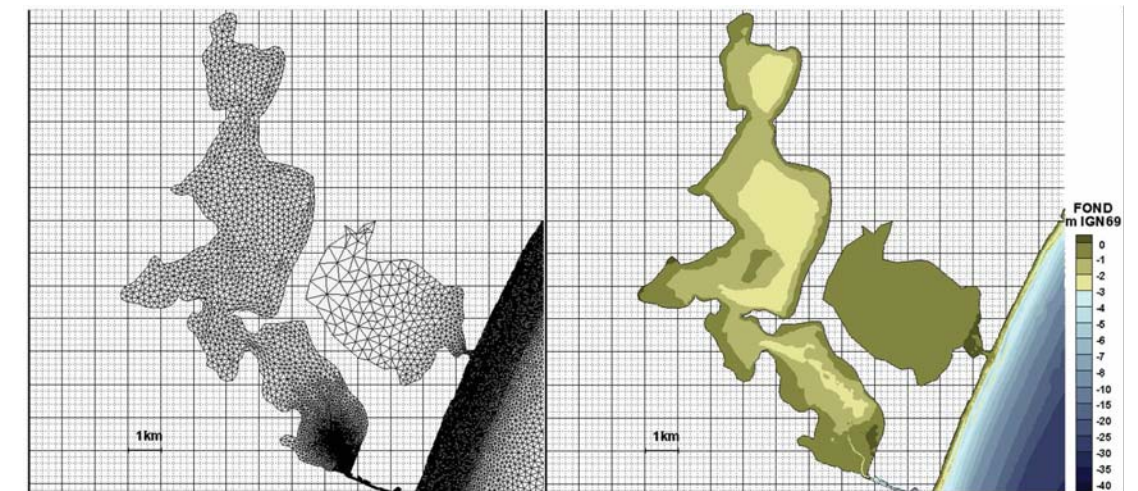


Figure 11. Maillage et bathymétrie des étangs

2.1.3.2.3. Maillage de la frange littorale

Etant donné les hauteurs de houles estimées sur le site, les courants induits par la houle entre le rivage et le point de déferlement peuvent être importants. Une attention particulière doit être portée à la modélisation de la zone afin de ne pas manquer la reproduction des phénomènes dont elle est le siège.

Cette zone est d'une part caractérisée par la présence de barres sableuses sous-marines et d'autre part correspond à la zone de déferlement de la houle. Afin de modéliser correctement le courant littoral induit par la houle et la bathymétrie la taille des mailles entre les isobathes 0 m IGN69 et -10 m IGN69 n'excède pas 50 m.

Le maillage et la bathymétrie du modèle dans la frange côtière au voisinage du port de Port-La Nouvelle sont présentés **Figure 12**.

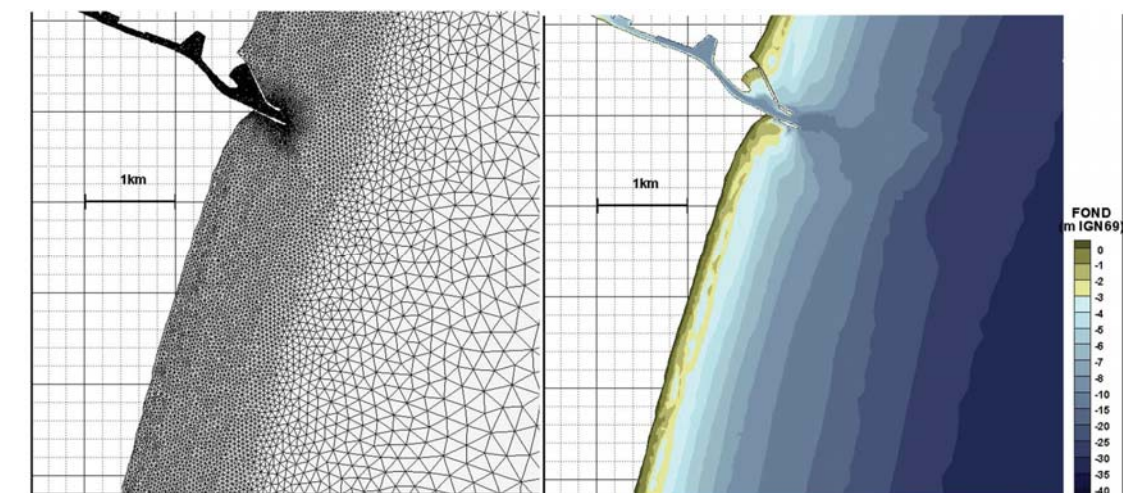


Figure 12. Maillage et bathymétrie de la frange côtière

2.1.3.2.4. Maillage au large

La résolution du maillage s'accroît progressivement vers le large pour atteindre une taille typique d'environ 800 m à la frontière externe qui est jugée suffisante pour reproduire les phénomènes hydrodynamiques.

3. FORCAGES ET HYPOTHESES

3.1. INTRODUCTION

Au stade de la proposition méthodologique, il était envisagé, conformément au CCTP, de déterminer les éléments de forçage (conditions aux limites) et de caler le modèle hydrodynamique pour 5 conditions caractéristiques (houles, vent, etc.) issues des résultats de la campagne de mesures.

Au lieu de se limiter à ces cinq conditions caractéristiques, compte tenu de la disponibilité des mesures en continu sur les deux mois de mars et avril 2013 pendant lesquelles il y a eu une très grande variété de conditions hydrométéorologiques et notamment une tempête importante, il a été choisi de prendre ces deux mois en continu (60 jours au total) pour déterminer les éléments de forçage et le calage du modèle.

Ce chapitre présente les données utilisées et les méthodologies adoptées pour les différents forçages océano-météorologiques appliqués au modèle.

3.2. MESURES IN SITU

La **Figure 13** localise les différents appareils de mesures déployés pour la campagne de mesures débutée fin février 2013 et qui s'est achevée début septembre 2013.

Sont disposés :

- 6 ADCP, 5 implantés dans le domaine maritime aux points L, N20, S20, N2, S2 et un autre au point C dans la partie amont du Grau (positions données par les points rouges sur la Figure 13). Ils mesurent la cote de la surface libre, la vitesse et direction des courants et houle (spectre énergétique),
- 3 capteurs de pression NKE A, NKE B, NKE C (positions données par points de couleur orange sur la Figure 13). Ils mesurent la cote de la surface libre,
- 2 turbidimètres (voir points verts sur la Figure 13). Ils mesurent la turbidité de l'eau. Cinq mesures ponctuelles de Matières En Suspension (MES) ont également été réalisées le long du Grau de Port-La Nouvelle.

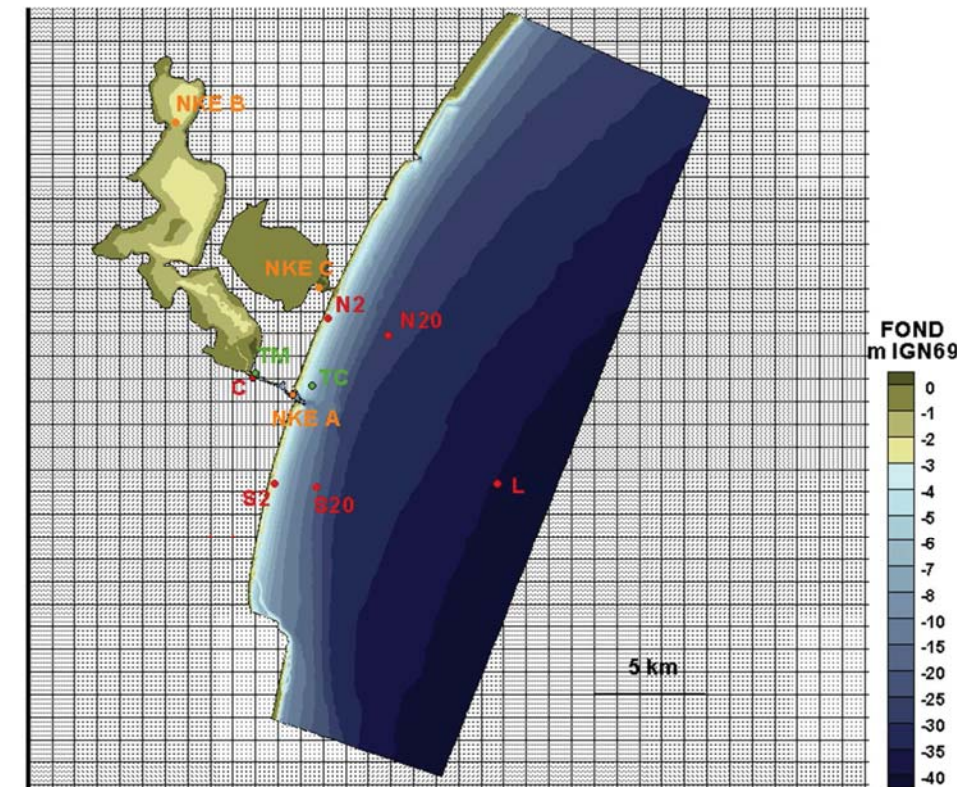


Figure 13. Localisation des appareils déployés pendant la campagne de mesures

3.3. NIVEAUX ET COURANTS

3.3.1. Données

Le forçage du modèle en courants et en niveaux s'est effectué sur la base des mesures réalisées. Cela concerne :

- Les données niveaux et courants aux ADCP L, N20, S20, N2, S2, C,
- Les données niveaux aux postes NKE A, NKE B et NKE C.

3.3.2. Forçage du modèle

3.3.2.1. Introduction

L'analyse des mesures montre que le courant de circulation général est largement prépondérant sur l'effet de la marée astronomique. Ainsi en mars 2013 des vitesses au large (ADCP implanté au point L par environ -40 m), et aux points S20 et N20 (par -20 m de profondeur) d'intensité non négligeable (0,5 m/s) et de même sens pendant plusieurs jours ont été observées. Ceci traduit la présence d'un courant général. D'après l'analyse des 3 ADCP, ce courant provenant du Nord et orienté parallèlement à la côte est occasionnel mais n'est pas rare. Un tel courant général est effectivement observable aux mêmes dates sur les animations issues du modèle Méditerranée du projet PREVIMER (cf. **Figure 14**).

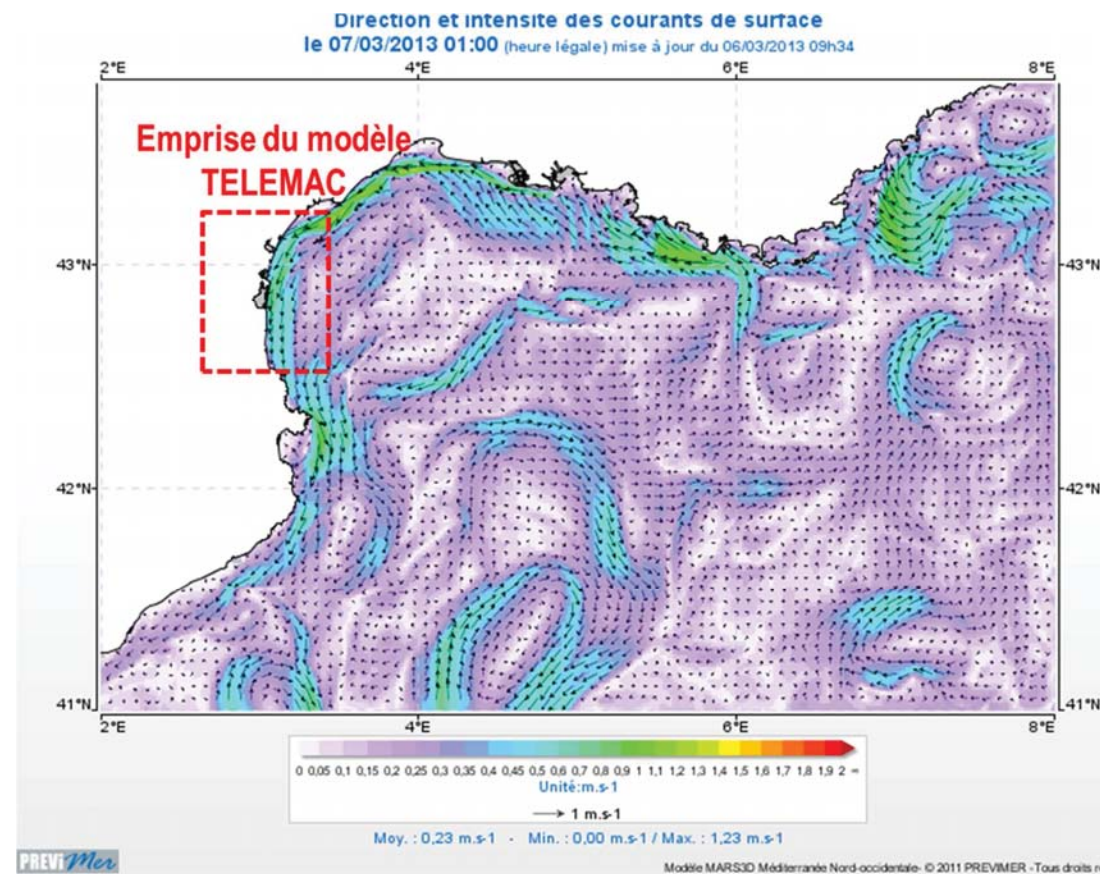


Figure 14. Capture d'écran du site PREVIMER : simulation des courants (MARS3D) pour le 07/03/2013 mettant en évidence un courant général nord-sud au large de Port-La Nouvelle

Ce courant général et les variations de niveau ont été forcés aux frontières maritimes du modèle en utilisant les données issues des mesures comme indiqué ci-après.

3.3.2.2. Forçage en niveaux à la frontière maritime :

L'analyse des mesures de niveau issues des ADCP met en évidence des phénomènes d'enfoncements des appareils dans le sol. Le signal en valeur relative est bon mais pas en valeur absolue. Seul le capteur de pression NKE A, situé dans l'avant-port, fixé sur un socle de béton (pas d'enfoncement) a permis une mesure en valeur absolue. Le signal de ce capteur a été choisi pour forcer le modèle en niveaux. La valeur introduite dans le modèle est la moyenne mobile sur une heure. La Figure 15 présente le signal qui force le modèle en niveaux à ses conditions limites.

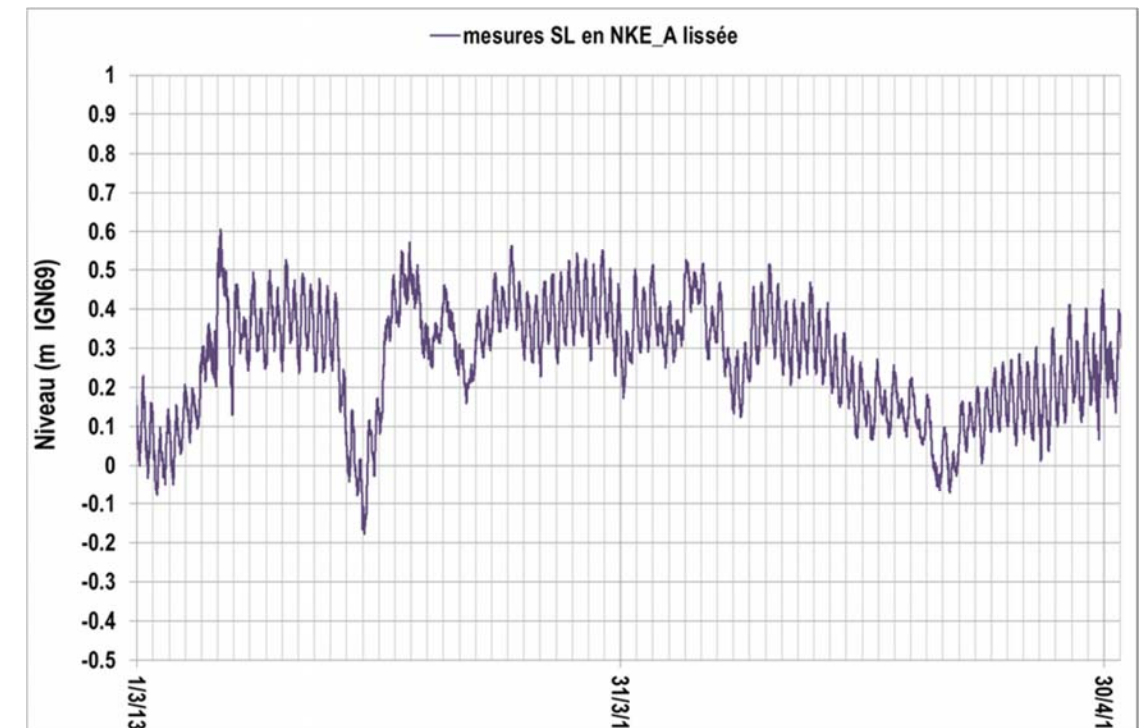


Figure 15. Signal du capteur NKE_A et imposé aux frontières maritimes du modèle

3.3.2.3. Forçage en courants à la frontière maritime :

Le but est d'imposer, aux frontières latérales Nord et Sud du modèle, un flux entrant ou sortant représentant les courants de circulation générale et de marée.

L'analyse des courants mesurés par les 5 ADCP montre que :

- entre -2 m (ADCP N2 et S2) et -20 m (ADCP N20 et S20) – cf. Figure 16 – la composante du courant parallèle à la côte est quasi constante,
- entre -20 et -40 m c'est le flux (débit) qui est conservé, ainsi l'augmentation de profondeur a pour effet de diminuer l'intensité du courant (cf. Figure 17).

Le calcul des flux imposés sur chaque frontière résulte de la moyenne mobile du signal de courant mesuré à l'ADCP N20 et de la projection de cette vitesse selon la normale aux frontières latérales Nord et Sud.

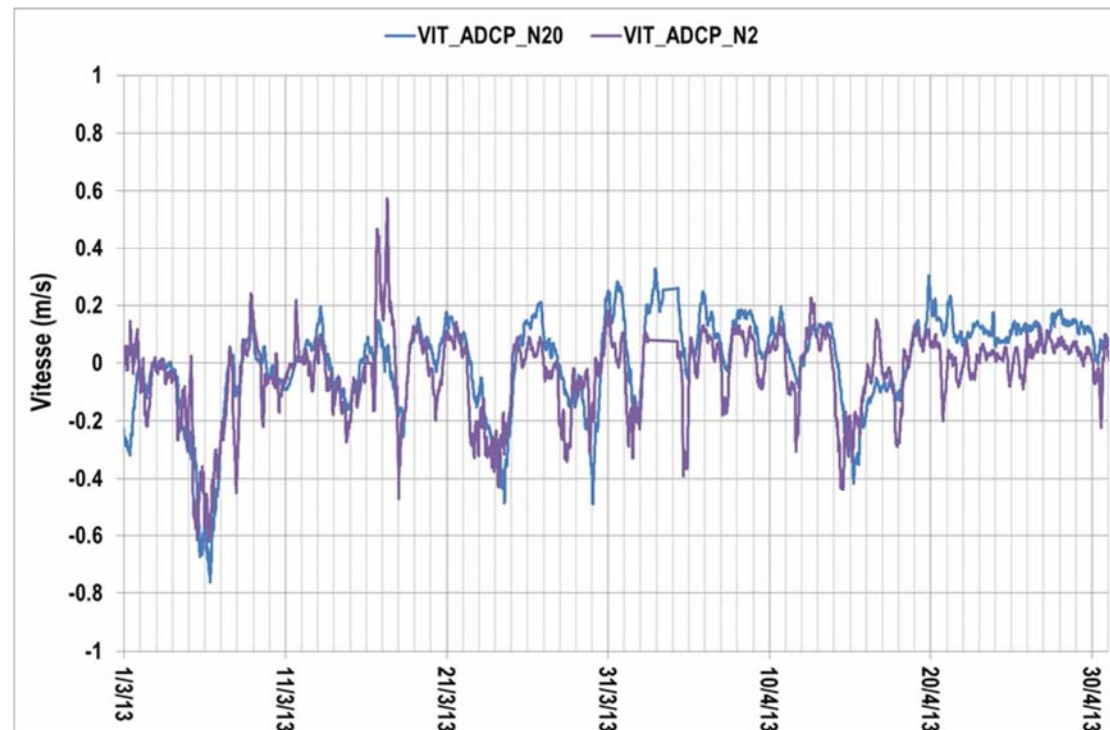


Figure 16. Vitesses mesurées par les ADCP N20 et N2 en mars et avril 2013
(une valeur négative indique un courant allant « du Nord vers le Sud »)

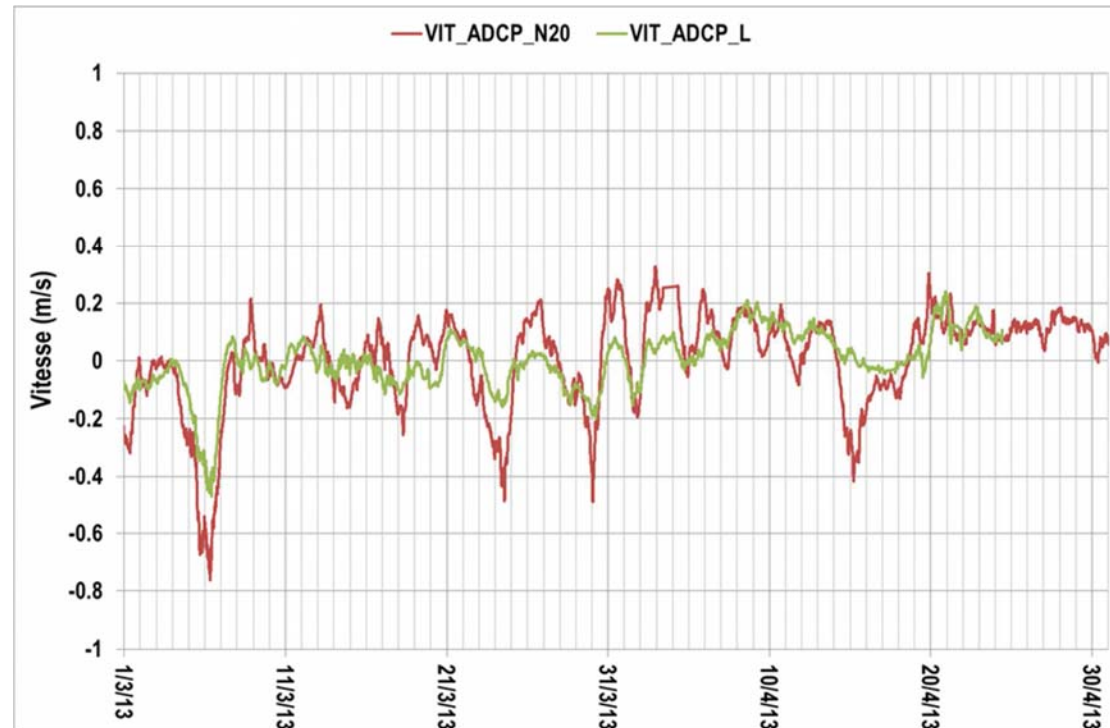


Figure 17. Vitesses mesurées par les ADCP N20 et L en mars et avril 2013
(une valeur négative indique un courant allant « du Nord vers le Sud »)

3.4. VENTS

3.4.1. Données

Les données sont issues du modèle AROME de METEO France à Port-La Nouvelle.

Une donnée de vent (vitesse moyennée sur dix minutes, direction) est fournie toutes les heures à 10 m au-dessus du sol.

La **Figure 18** présente les variations en intensités et directions du vent, en mars et avril 2013.

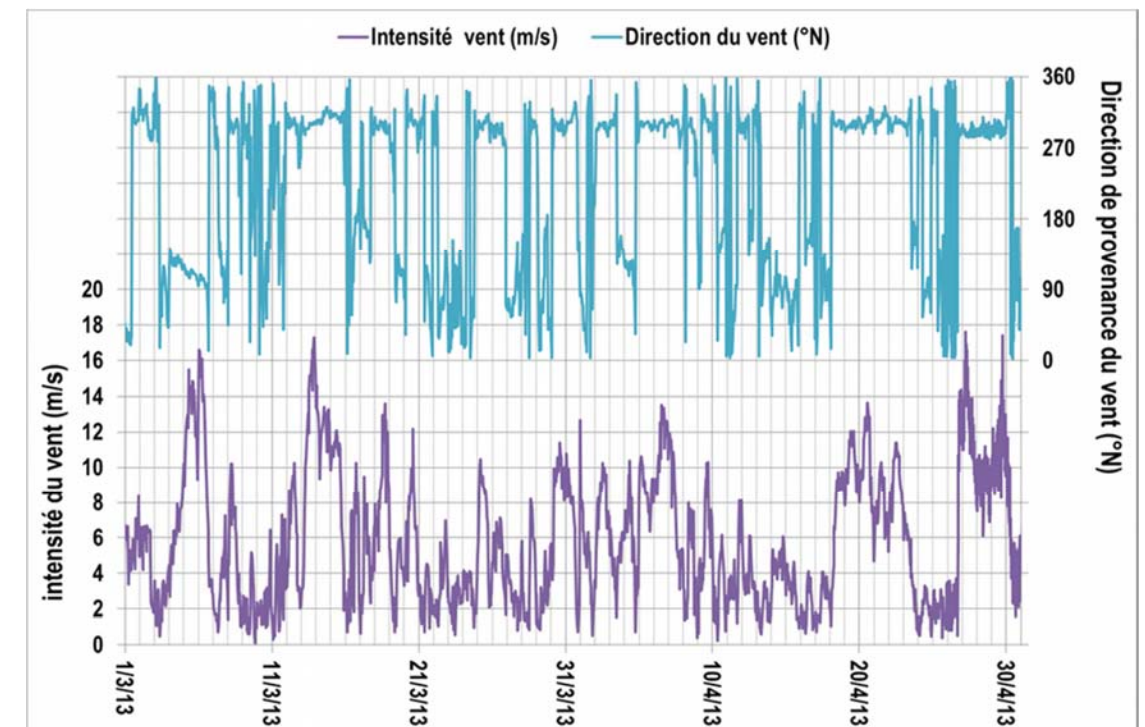


Figure 18. Données de vent (Intensité, Direction) en mars et avril 2013

3.4.2. Forçage du modèle

Le vent est appliqué sur toute la surface du modèle. Le calage du coefficient de frottement surfacique en fonction de l'intensité du vent a été effectué en cherchant à retrouver au mieux les pentes de surface libre mesurées entre le capteur NKE B (Nord de l'étang de Bages) et le capteur NKE A (grau) les jours de vent. La loi retenue est celle indiquée sur la **Figure 19** :

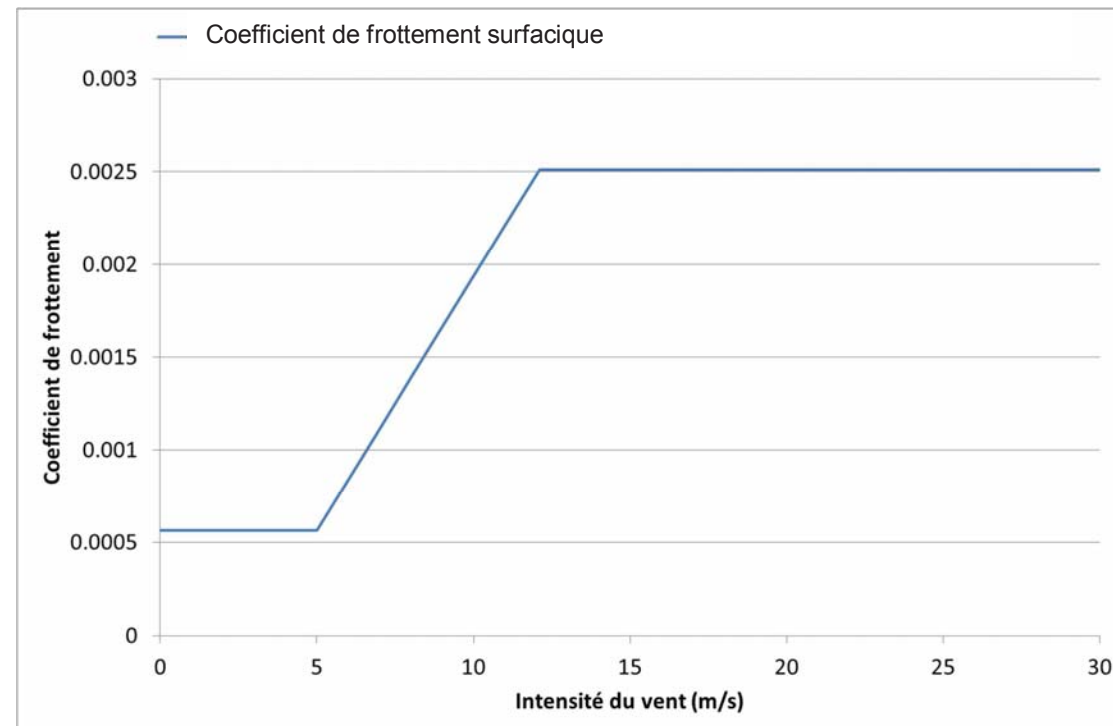


Figure 19. Variation du coefficient de frottement surfacique en fonction de l'intensité du vent

3.5. APPORTS DU CANAL DE LA ROBINE

3.5.1. Données

Les données disponibles concernant les apports d'eau douce du canal de la Robine dans la lagune sont peu nombreuses. Elles indiquent [REF3] que des débits journaliers (valeurs moyennes) ont été collectés au déversoir du Canelou entre 2000 et 2005 (voir rapport R01). Ces débits sont en général inférieurs à 1 m³/s avec des pointes pouvant dépasser 5 m³/s lors des très fortes pluies.

D'après le rapport d'Iframer « Développement d'une méthode d'estimation des débits dans les graus de lagunes, application sur la lagune de Bages-Sigean » [REF4], le débit moyen est estimé à 0,98 m³/s à l'écluse de Mandirac. Ce débit se répartit selon les proportions de 2/3 et 1/3 entre respectivement le Canelou et le bief aval.

3.5.2. Forçage du modèle

Le débit moyen de 0,98 m³/s à l'écluse de Mandirac est introduit pour 2/3 au niveau du Canelou (0,65 m³/s) et pour 1/3 au niveau de l'exutoire du bief aval (0,33 m³/s). La localisation des points d'introduction de ces débits dans le modèle est présentée Figure 20.

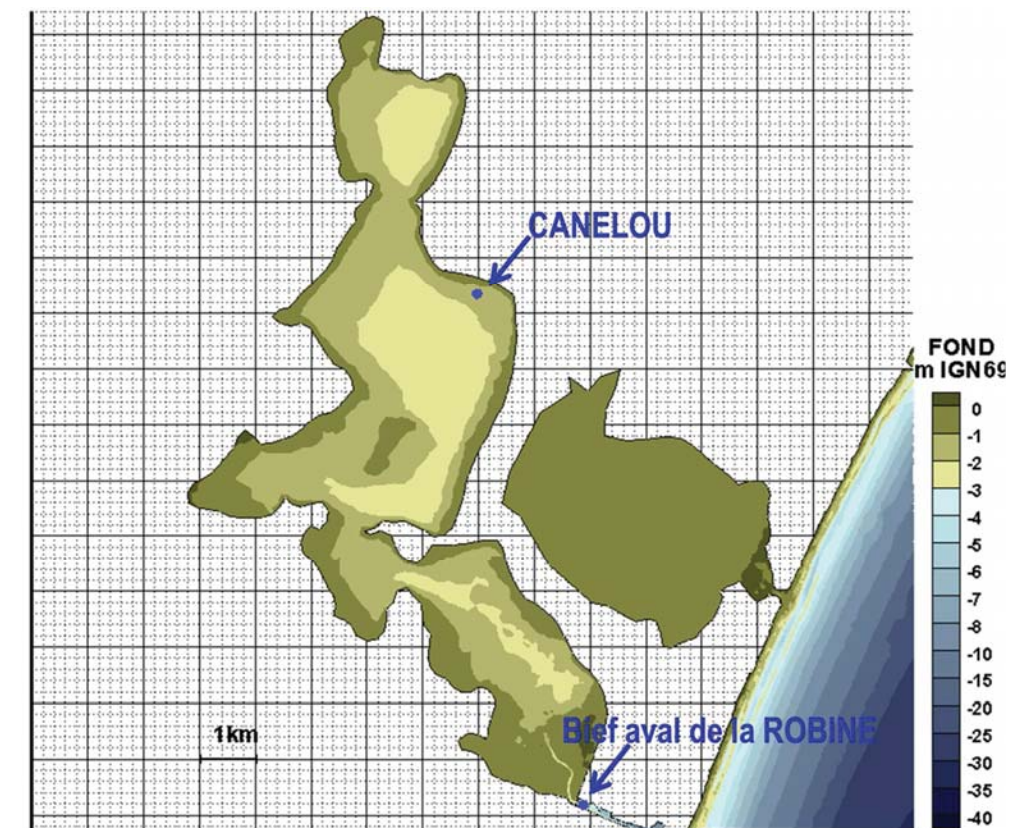


Figure 20. Localisation des points d'introduction des débits du canal de la Robine

3.6. APPORTS PLUVIOMETRIQUES ET BASSINS VERSANTS

3.6.1. Données

Outre le canal de la Robine au nord-est, les autres sources d'alimentation en eau douce de l'étang de Bages-Sigean sont principalement [REF5] :

- la Berre à l'ouest, qui recueille les eaux des bassins versants de Corbières et de la vallée de la Berre, soit une superficie de 236 km². L'apport de la Berre est estimé à environ 35 Mm³ d'eau par an, se déversant dans la partie centrale de l'étang,
- de façon temporaire le Rec de Veyret au nord, le Rieu au sud, ainsi que plusieurs autres ruisseaux à l'ouest qui apportent à l'étang 6 à 12 Mm³/an provenant de trois bassins versants suivants :
 - le Talweg de Rec Veyret (57,84 km²),
 - le Massif de Fontfroide (54,77 km²),
 - le Rieu de Roquefort (59,24 km²).

D'après des mesures effectuées sur la Berre entre janvier 2005 et novembre 2005, il est estimé que 34% des pluies aboutissent à l'étang.

La Figure 21 situe le bassin versant et les cours d'eau alimentant l'étang.

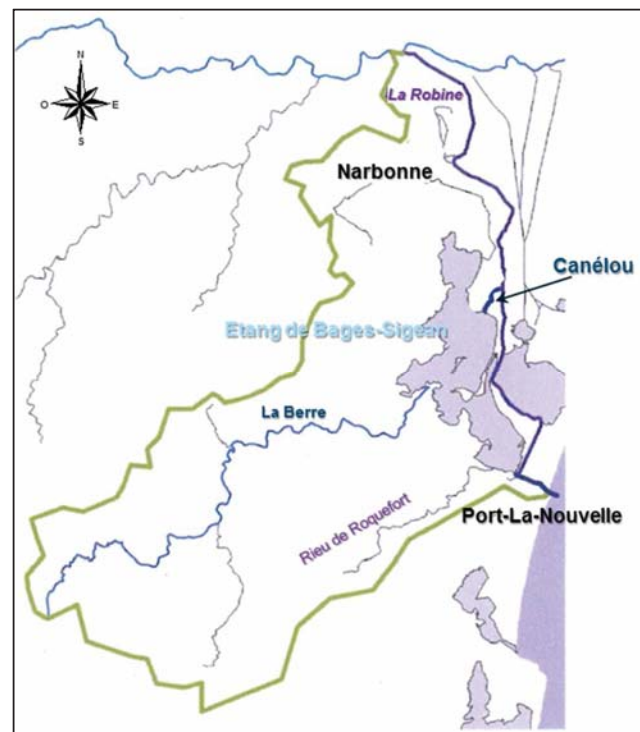


Figure 21. Carte des principaux cours d'eau (CESMAT, L. 2012) [REF6]

3.6.2. Forçage du modèle

Il comprend :

- La pluie tombant dans l'emprise du modèle ; la hauteur de pluie mesurée est reportée instantanément sur toute la surface du modèle en chaque nœud et à chaque pas de temps,
- la pluie mesurée à la station et moyennée sur la journée précédente qui est injectée à l'exutoire de chaque bassin versant en calculant le volume d'eau récupéré sur chaque bassin versant. Le coefficient de transfert de 34% calculé sur la Berre a été conservé pour les 3 autres bassins versant en première approche. La Figure 22 localise les points d'introduction de débit en provenance des différents bassins versants se déversant l'étang.

Les Figure 23 et Figure 24 présentent les hauteurs de pluie cumulées et les débits qui sont introduits dans le modèle hydrodynamique.

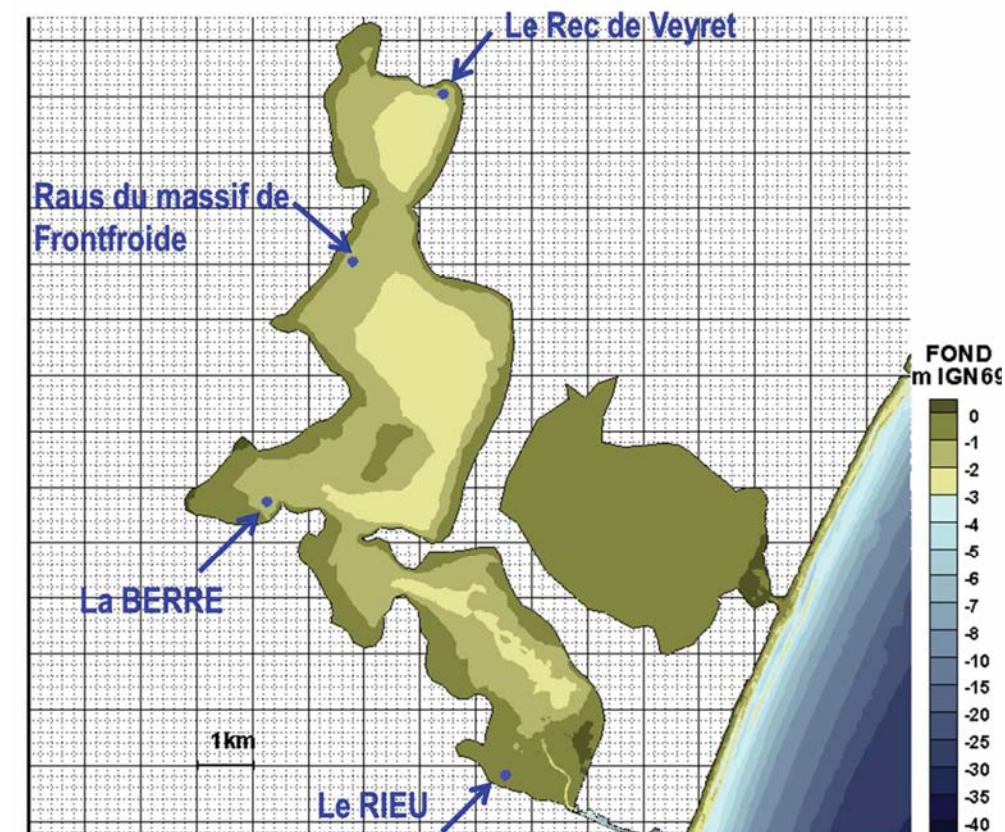


Figure 22. Localisation des introductions de débit des différents bassins versants

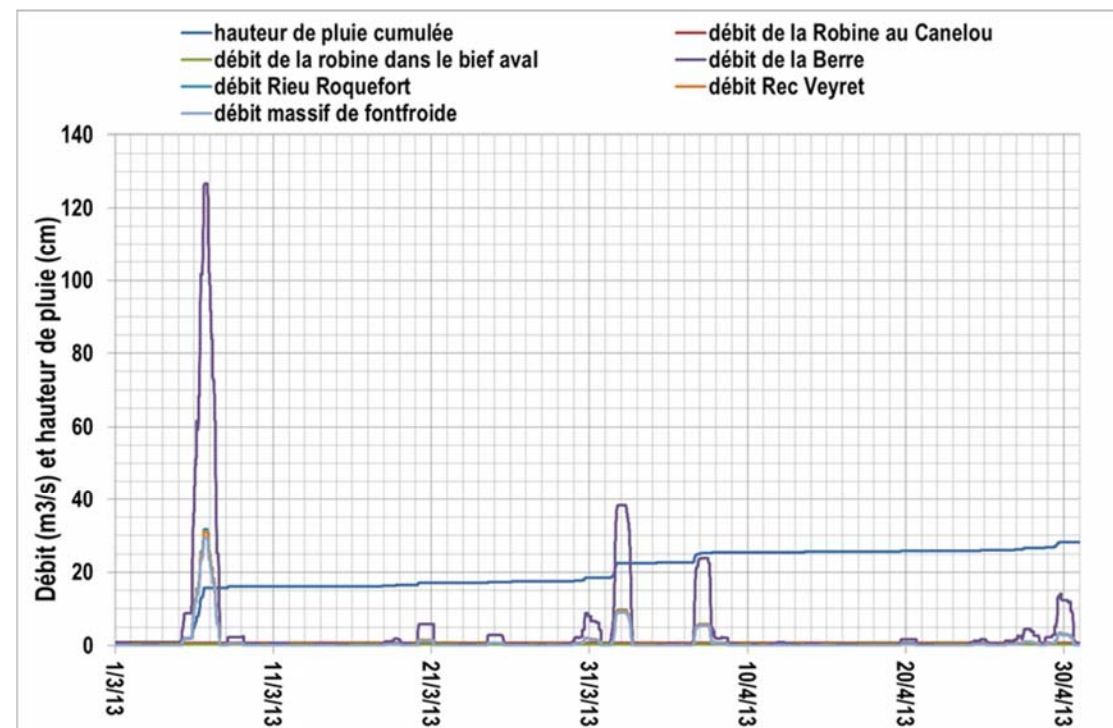


Figure 23. Données de pluie (en hauteur cumulée) et débits introduits dans le modèle de en mars et avril 2013

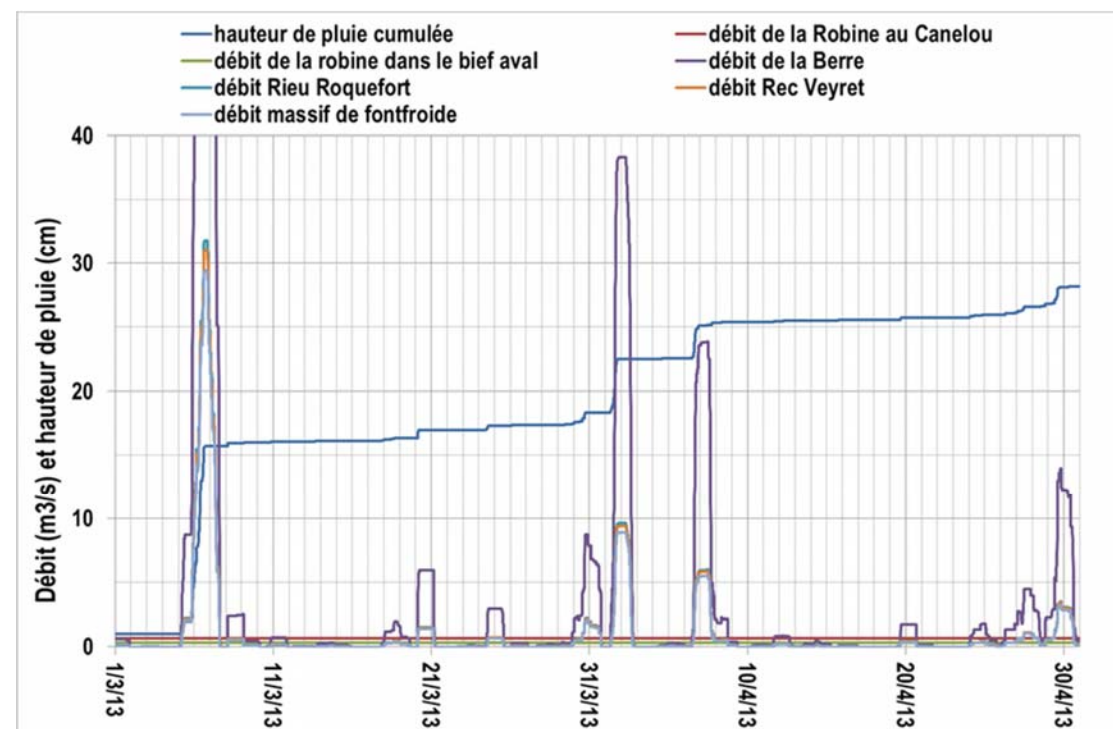


Figure 24. Données de pluie (en hauteur cumulée) et débits introduits dans le modèle en mars et avril 2013 – zoom sur les débits

3.7. EVAPORATION

3.7.1. Données

Le phénomène d'évaporation n'est pas négligeable, notamment l'été en présence de vent. Il dépend de la température de l'air, du taux d'humidité et de l'intensité du vent, données disponibles à Port-La Nouvelle sur toute la période de campagne de mesures.

3.7.2. Forçage du modèle

L'évaporation peut s'exprimer en fonction de la température de l'air, de l'humidité relative de l'air et du vent. La formule de Dalton exprime l'évaporation E en mm/jour comme suit :

$$E = 0,484(1 + 0,6U) \exp(17,27 T / (237,3 + T)) \cdot (1 - Hr/100)$$

avec :

U (m/s) la vitesse du vent

T (°C) la température ambiante

Hr (%) l'humidité relative de l'air

E (mm/jour) l'évaporation.

Disposant de données de température, vent et taux d'humidité, il est possible d'appliquer la formule de Dalton et de calculer, en chaque nœud du modèle, la hauteur d'eau évaporée.

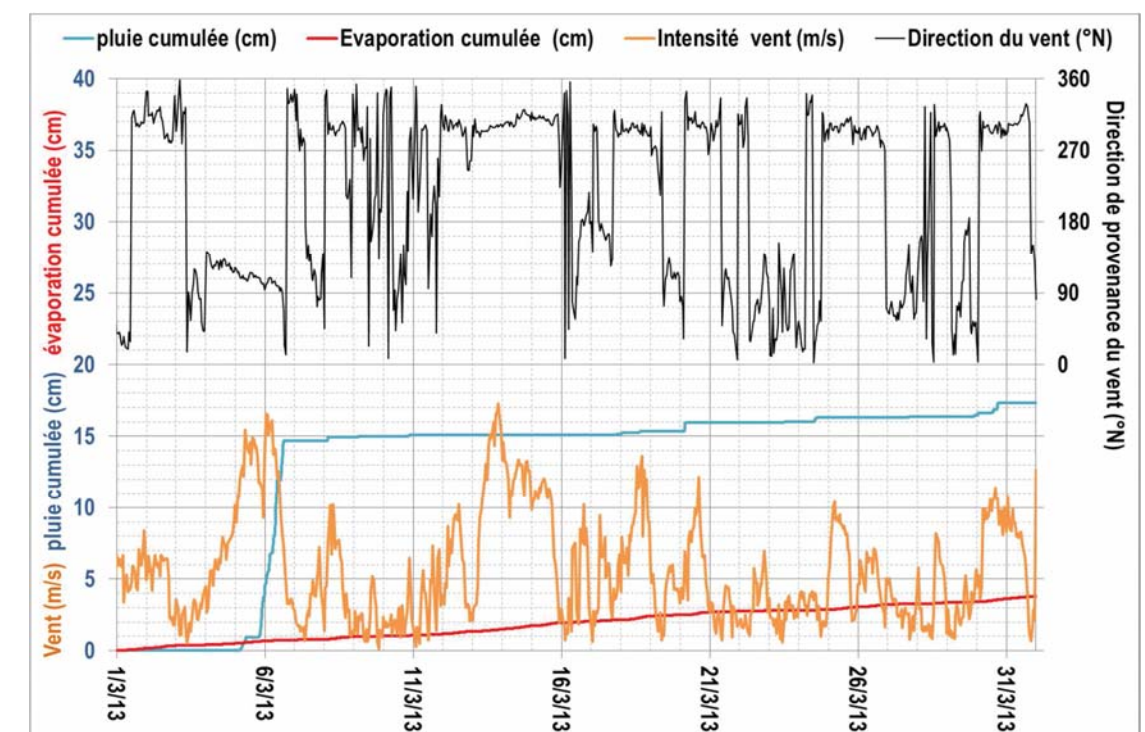


Figure 25. Conditions météorologiques (pluie, vent, évaporation) imposées en mars 2013

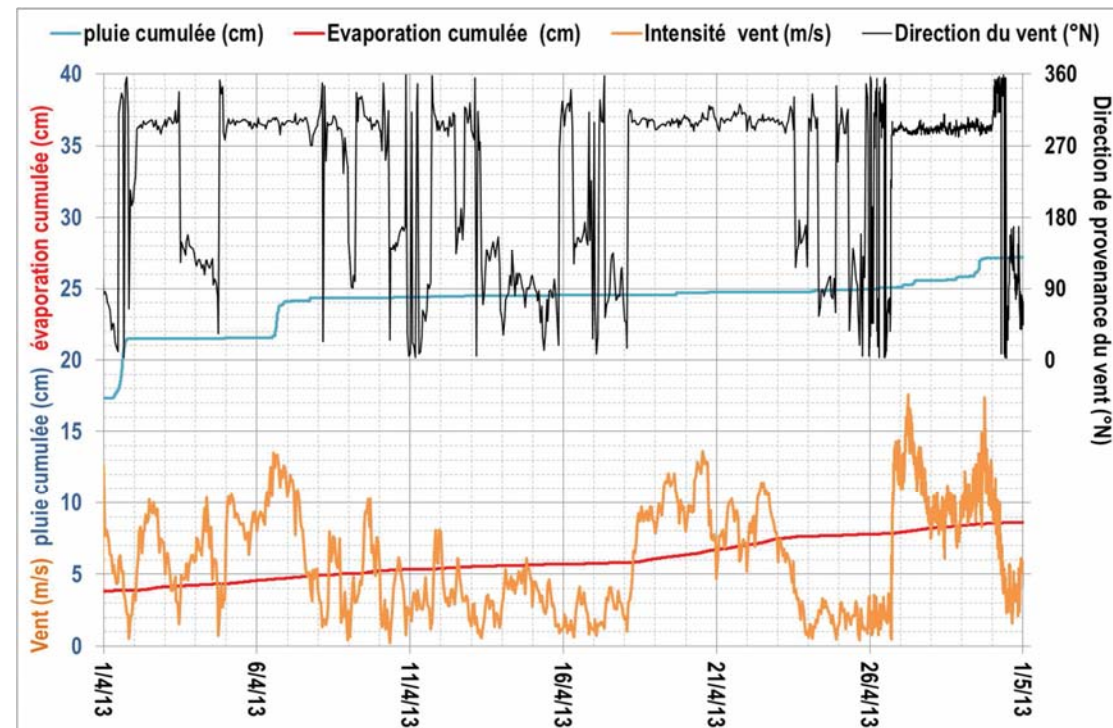


Figure 26. Conditions météorologiques (pluie, vent, évaporation) imposées en avril 2013

Les Figure 25 et Figure 26 mettent en évidence que le phénomène d'évaporation, sur les mois de mars et avril, peut être du même ordre de grandeur que les apports pluviaux (hors événement exceptionnel du 5 au 6 mars).

3.8. HOULE

3.8.1. Données

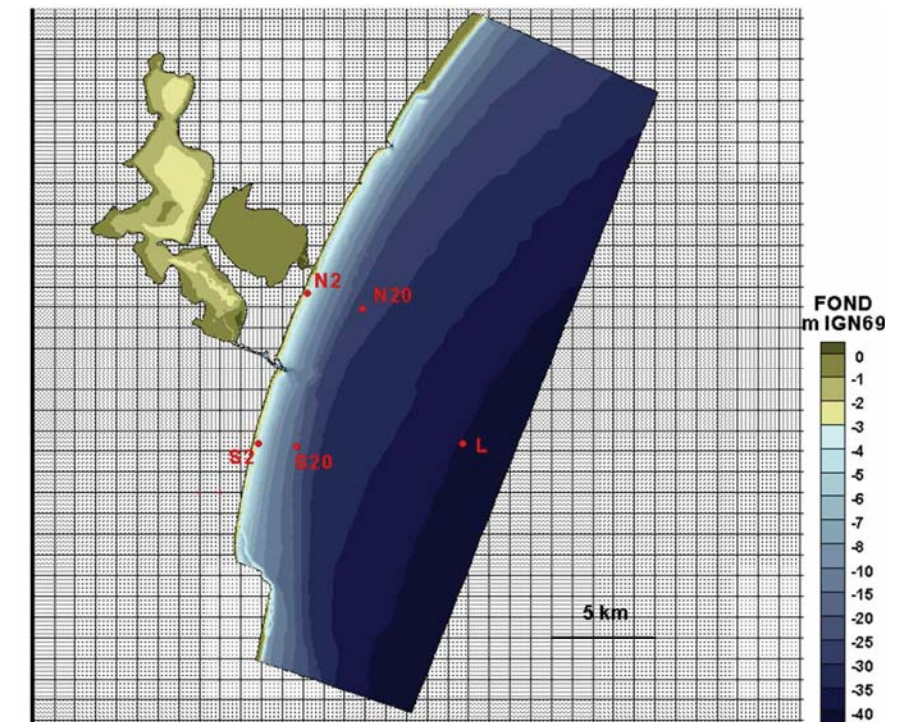


Figure 27. Localisation des mesures de houle

Une valeur du triplet (hauteur significative, direction, période de pic) est donnée toutes les heures aux ADCP L, N20 et S20 et toutes les 30 minutes aux ADCP N2 et S2.

3.8.2. Choix de la méthode

La méthode choisie pour intégrer les courants littoraux consiste à passer par une bibliothèque de houle pré-établie et de développer un calcul des forces motrices après interpolation du champ de houle.

Il a été créé, par des calculs de propagation à l'aide du modèle TOMAWAC une bibliothèque qui en tous les points du maillage donne les caractéristiques de la houle et du niveau de la mer pour différentes conditions au large couvrant l'ensemble des conditions. A chaque pas de temps du calcul hydrodynamique et en chaque nœud du domaine, le modèle vient interpoler la houle et les forces motrices associées dans la bibliothèque, à partir du niveau d'eau calculé au temps et au point concerné et pour la condition de houle mesurée au large (au point incident – ADCP L) à ce même pas de temps.

La bibliothèque est à 4 dimensions variables : Hs, Tp, Direction et niveau d'eau. Après l'analyse des fréquences d'occurrence de houle (cf. Rapport Relatif aux Conditions Océano-météorologiques sur site), il a été défini :

- un secteur de direction de provenance : 60°N à 180° N,
- 6 périodes de houle : Tp= 3, 5, 7, 9, 11 et 13 s,
- 8 hauteurs de houle : Hs= 0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6 et 8 m.

Au total, pour constituer la bibliothèque, 3159 calculs de propagation de houle ont été effectués pour les conditions suivantes :

- niveau de la mer variant de -0,4 à +1,2 m IGN69 avec un pas de 0,2 m.
- directions de provenance : 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180 °N
- couples périodes T_p - hauteurs H_s ci-après :
 - $T_p = 3s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5$ et 2.0 m
 - $T_p = 5s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0$ et 3.0 m
 - $T_p = 7s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0$ et 6.0 m
 - $T_p = 9s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0$ et 6.0 m
 - $T_p = 11s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0$ et 8.0 m
 - $T_p = 13s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0$ et 8.0 m

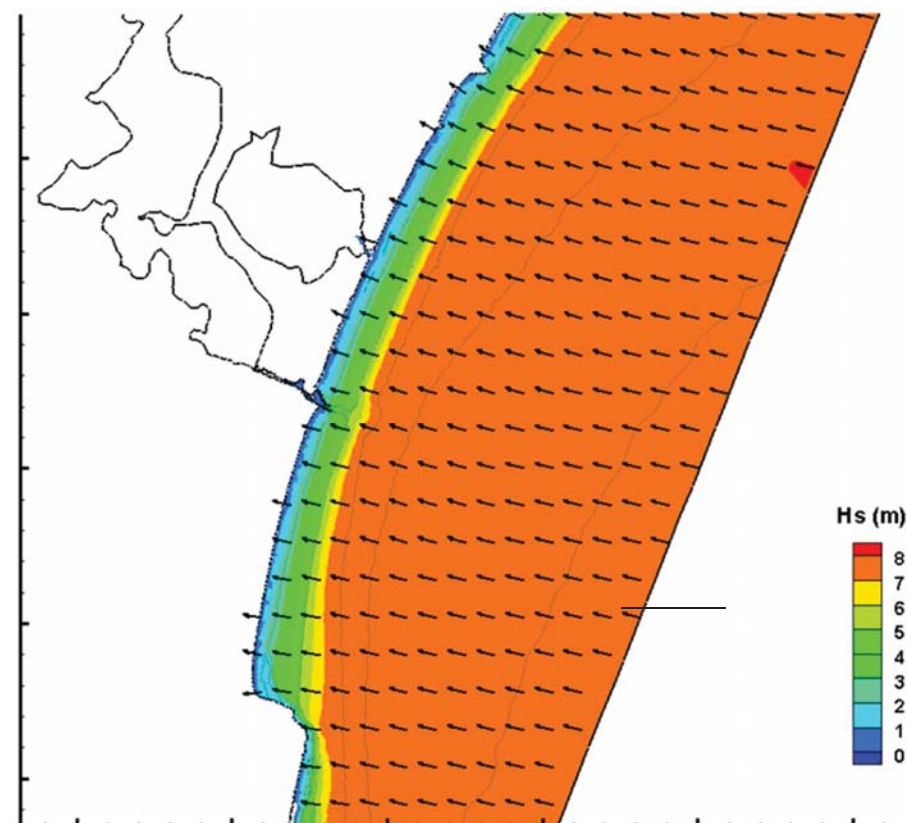


Figure 28. Epure de la houle de caractéristiques au large : $H_s=8m$ $T_p=13s$ et Direction = $105^\circ N$

La **Figure 28** illustre une épure de houle issue du calcul de propagation de la houle ayant pour caractéristiques $H_s=8m$ $T_p=13s$ et Direction = $105^\circ N$ au large.

3.8.3. Intégration des forces motrices de houle dans l'hydrodynamique

Longuet-Higgins et Stewart (1964) ont montré que les forces motrices du courant de houle étaient dues aux variations du flux des quantités de mouvement induites par la houle. Ces forces motrices sont calculées dans TOMAWAC pour chaque plan de houle et sont intégrées à chaque pas de temps dans les équations de quantité de mouvement de TELEMAC-3D.

3.8.4. Forçage du modèle

Les séquences de houle considérées au large du modèle pour les mois de mars et avril 2013 sont représentées **Figure 29** et **Figure 30** respectivement et sont issues des mesures à l'ADCP L.

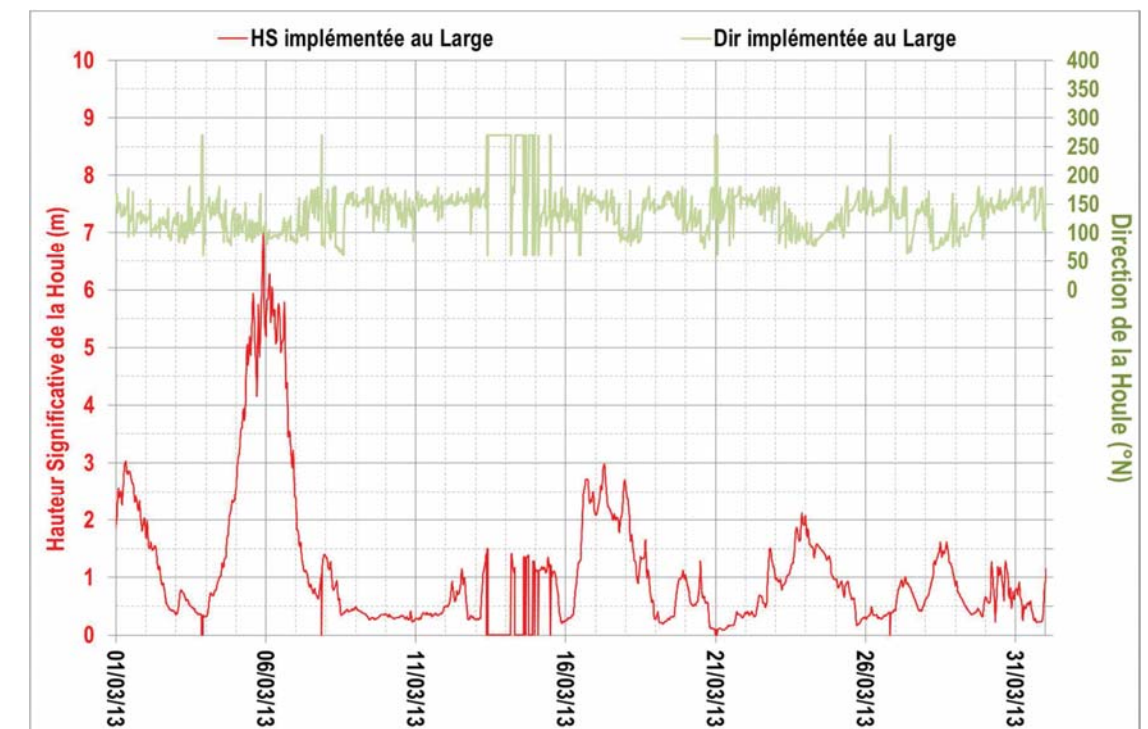


Figure 29. Conditions de houle imposées au large en mars 2013

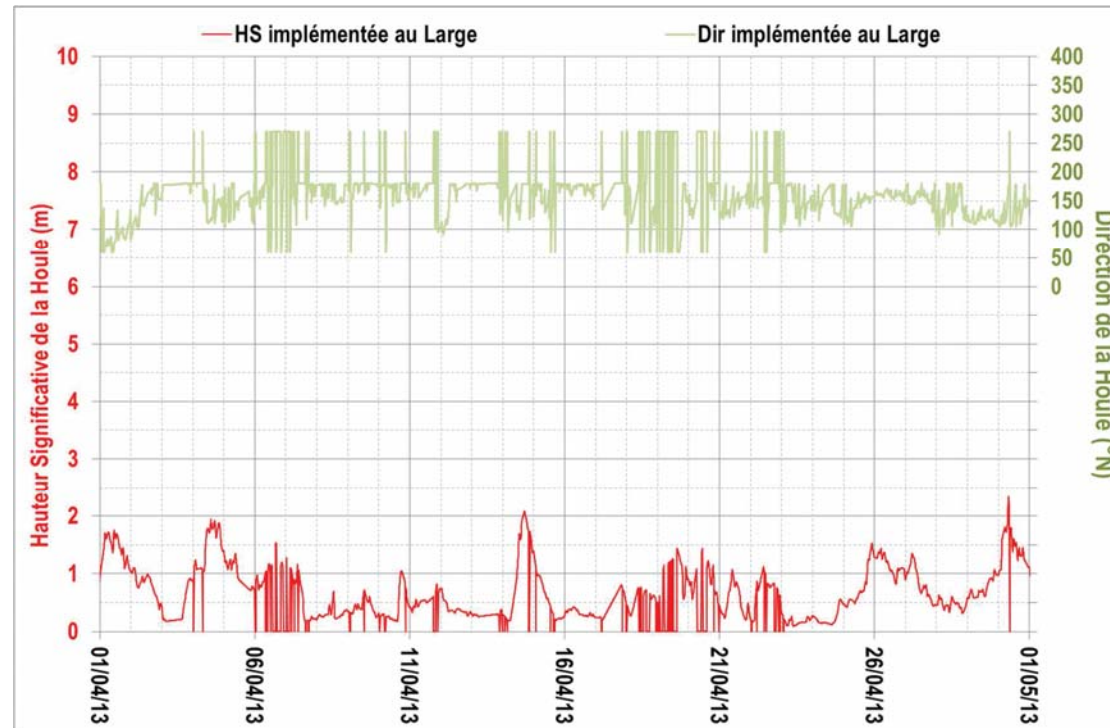


Figure 30. Conditions de houle imposées au large en avril 2013

4. CALAGE HYDRODYNAMIQUE – RESULTATS

Dans cette partie, sont présentés les résultats du calage hydrodynamique du modèle sur les mois de mars et avril 2013. Les résultats obtenus par le modèle sont présentés, en vitesse et niveau d'eau, aussi bien dans l'étang, le canal, à la côte ou à 15 m de profondeur. Ces résultats issus des simulations numériques sont comparés aux mesures effectuées en mars et avril 2013 afin de juger de la validité du modèle et sa capacité à reproduire les échanges étang-mer ainsi que l'hydrodynamique littorale au voisinage de Port-La Nouvelle.

4.1. ECHANGES MER ETANG

Les niveaux d'eau calculés aux points NKE_A (avant-port) et NKE_B (fond d'étang) et la vitesse des échanges calculée au point C (amont du canal) sont comparés aux mesures réalisées par ces aux capteurs de pressions NKE_A et NKE_B et à l'ADCP, cela pour Mars et pour Avril. Ces comparaisons sont présentées respectivement Figure 31 et Figure 32.

Comme le montre la Figure 31, la reproduction des changements de directions et de la variation des niveaux dans l'avant-port et dans l'étang est particulièrement bonne en mars, lors d'évènement tempétueux (6/03/2013) comme par temps plus calme (11/03/2013). On note notamment la bonne reproduction des bascules d'échange mer-étang à l'échelle de la marée par temps calme (du 26/03/13 au 29/03/13), ainsi que des échanges unidirectionnels installés sur plusieurs jours lors d'épisodes de vent ou de pluie ou de dépression (du 06/03/13 au 09/03/13). Cette adéquation en niveaux et bascules de direction d'échange garantit une bonne reproduction des échanges.

La comparaison des intensités de vitesse au point C montre des écarts entre mesures et calcul, imputables à une bathymétrie modélisée très certainement différente de la bathymétrie réelle au point C lors des mesures. Les données bathymétriques utilisées pour la construction du modèle sont, dans la zone fortement mobile concernée, de sources diverses et datées, avec une forte probabilité de ne pas être identiques aux fonds de la zone lors de la campagne. Or, des points ayant une bathymétrie différente et donc une hauteur d'eau différente, connaîtront, pour un même débit transitant, des vitesses différentes. C'est le débit transitant dans la section qui serait exploitable, l'intensité d'une vitesse ponctuelle ne l'est pas. Il est donc important de s'attacher à reproduire le sens des courants mesurés par l'ADCP C, non leur intensité.

On observe sur la figure 32 que le modèle surestime la SL en fond d'étang en avril (delta systématique de 10 à 13 cm) ; cependant on notera qu'à partir du 04/04/13, les capteurs de pressions ne sont plus corrigés par la pression atmosphérique du modèle meteoFrance (pression différente entre NKE_A et NKE_B) mais par la pression de la station Total (point unique).

. Nous pensons que sur avril, le capteur NKE B sous-estime le niveau d'eau : pour preuve, les niveaux mesurés en fond d'étang apparaissent, du 8/04/13 au 10/04/13, toujours en deçà de ceux mesurés dans le port. Or pendant cette période, l'ADCP C enregistre des échanges alternativement de l'étang vers la mer et de la mer vers l'étang, ce qui nous amène à penser qu'en réalité pendant cette période du 8/04/13 au 10/04/13, les niveaux en fond d'étang et dans l'avant-port, sont très proches, tantôt l'un dominant l'autre tantôt l'inverse, permettant ainsi les échanges alternatifs mesurés par l'ADCP C.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

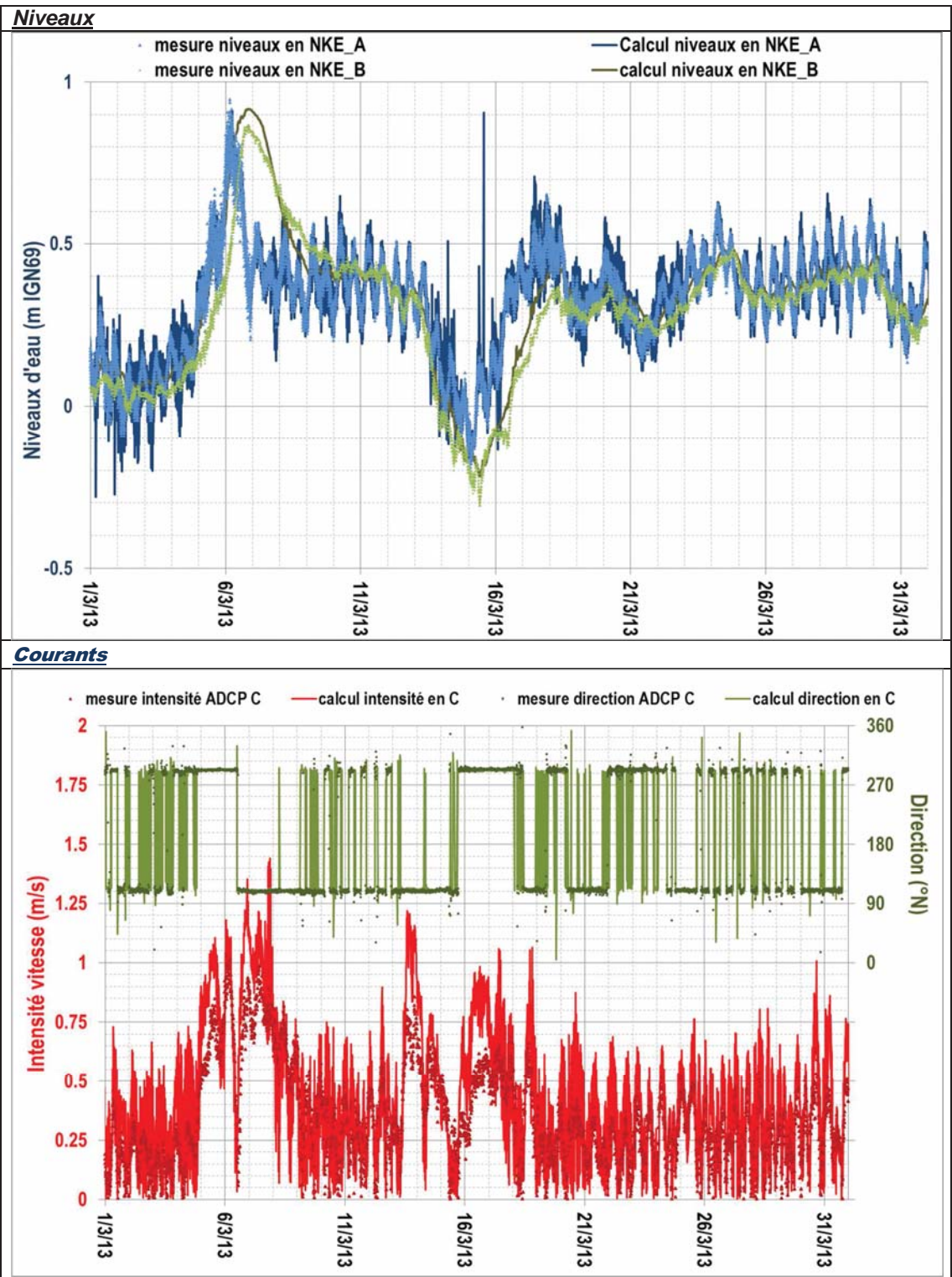


Figure 31. Mars 2013 - Comparaison modèle - mesure des niveaux (points A et B) et vitesse (point C)

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

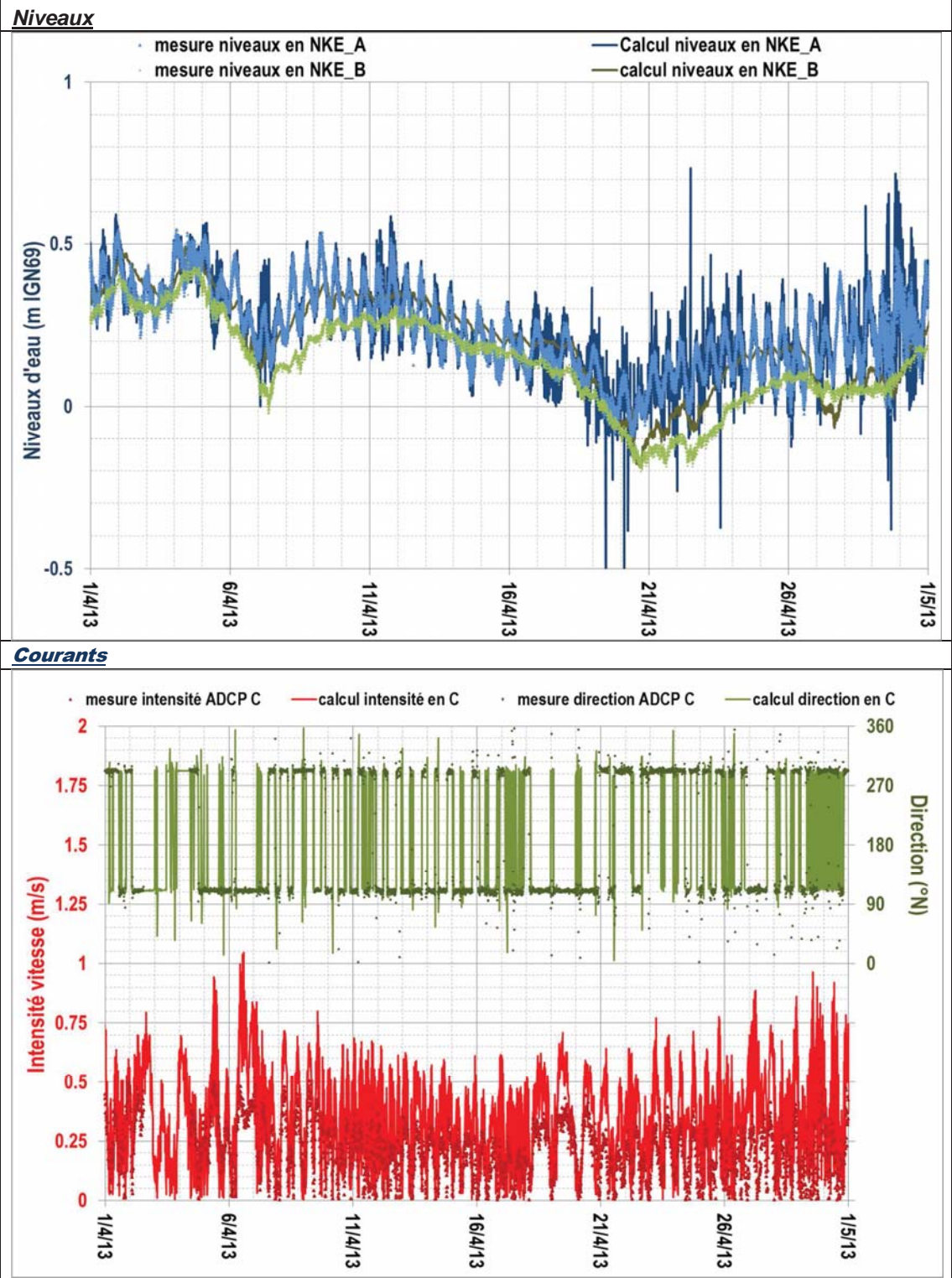


Figure 32. Avril 2013 - Comparaison modèle - mesure des niveaux (points A et B) et vitesse (point C)

4.2. HYDRODYNAMIQUE MARITIME

4.2.1. Comparaison des résultats de houle

Les hauteurs significatives (Hs) et directions (DIR) de houle calculées sur mars et avril aux points N20, S20, N2 et S2 sont comparées aux mesures de ces quatre ADCP déployés lors de la campagne de 2013. Cette comparaison est présentée sur les **Figure 33** à **Figure 40**.

Les houles au large de direction de provenance Nord (hors du secteur de la bibliothèque) ne sont pas reproduites, d'où les différences observées du 13 au 15 mars 2013 notamment. Ces houles se lèvent au large : de Hs faibles par petits fonds, leur contribution hydrosédimentaire est négligée.

Hors ces épisodes de houle de nord peu fréquents, les **Figure 33** à **Figure 40** montrent que la modélisation de la houle par TOMAWAC reproduit remarquablement les houles de Hs supérieures à 0.25m, soient les houles énergétiques. Cette bonne adéquation entre calcul et mesures est observable par -20 de fond comme à la côte.

Un écart de l'ordre de 2m entre la mesure de Hs et sa prédiction par TOMAWAC est observable en N20 pendant la tempête du 6/03/2013. Le calcul de propagation de la houle prédit des Hs de l'ordre de 5.5m ; les mesures enregistrent des Hs n'excédant pas 3.5m. Cet écart n'est pas observable en S20 (Hs mesurée et calculée de l'ordre de 5.5m) ce qui met en question la mesure en N20 durant la tempête.

4.2.2. Comparaison des résultats de courant

Les courants (intensité et direction) calculés sur mars et avril aux points N20, S20, N2 et S2 sont comparés aux mesures de ces quatre ADCP déployés lors de la campagne de 2013. Cette comparaison est présentée par les **Figure 33** à **Figure 40**.

Ces **Figure 33** à **Figure 36** montrent que les courants principaux mesurés à -20m de fond sont parallèles à la côte, alternativement de directions 200°N (orientés vers le sud) ou 20°N (orientés vers le nord), suivant la circulation générale. Cette alternance est très bien reproduite par le calcul, ainsi que l'intensité des courants, notamment pendant la tempête du mars 2013.

A la côte, aux point N2 et S2 présentés **Figure 37** à **Figure 40**, les directions des courants sont bien reproduites¹ et la tendance des variations des intensités aussi. Il est notamment remarquable que lors de périodes caractérisées par la présence d'un courant général au large, orienté vers le sud, et un courant littoral orienté vers le nord (du 28/03/13 au 30/03/13), le modèle reproduit parfaitement cette bascule de direction de courant entre le large et la cote. Cependant le pic de vitesse est surestimé en N2 lors de la tempête du 6 mars 2013, et celui de l'évènement du 18 mars 2013 est surestimé en S2. A ces dates, la houle est fortement énergétique et capable de remanier drastiquement les fonds dans la zone de déferlement où se situent les appareils. Une forte interaction entre le courant et la bathymétrie existe alors, ce que ne reproduit pas le modèle hydrodynamique (à fond fixe) ; ceci peut expliquer les différences entre mesures et les résultats du calcul. Hormis ces deux dates, les intensités sont bien reproduites.

¹ Les écarts entre directions mesurées et calculées sont forts pour des vitesses très faibles de l'ordre de 10 cm/s. A cette magnitude, la direction des courants mesurée est peu significative. Par des fonds de -15 m, de telles magnitudes ne sont pas significatives en terme de transport sédimentaire.

A la côte, la direction des courants de magnitude supérieure à 15 cm/s, soient les courants responsables du transport littoral, est bien reproduite. Les bascules nord-sud des courants significatifs sont reproduites.

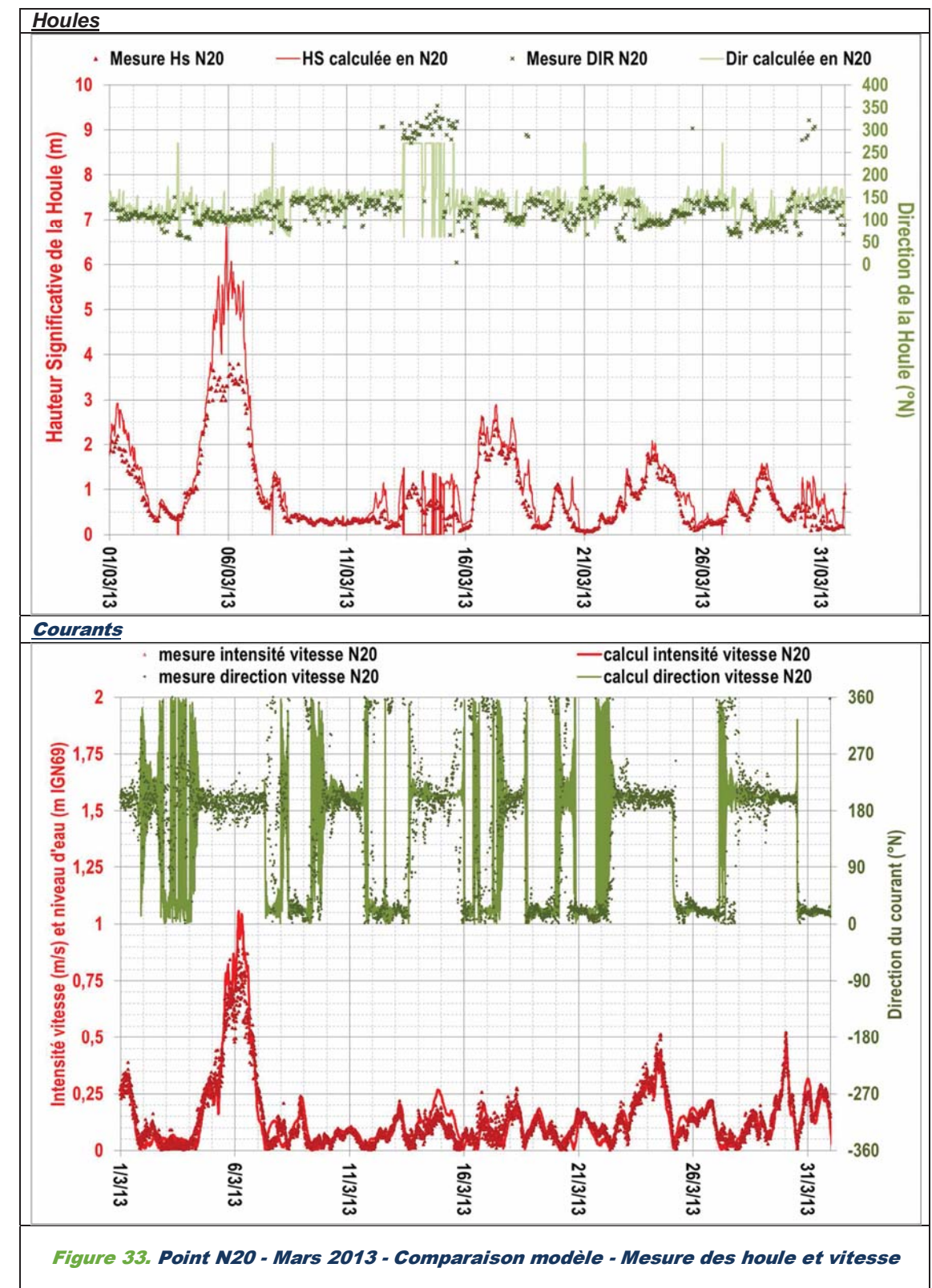
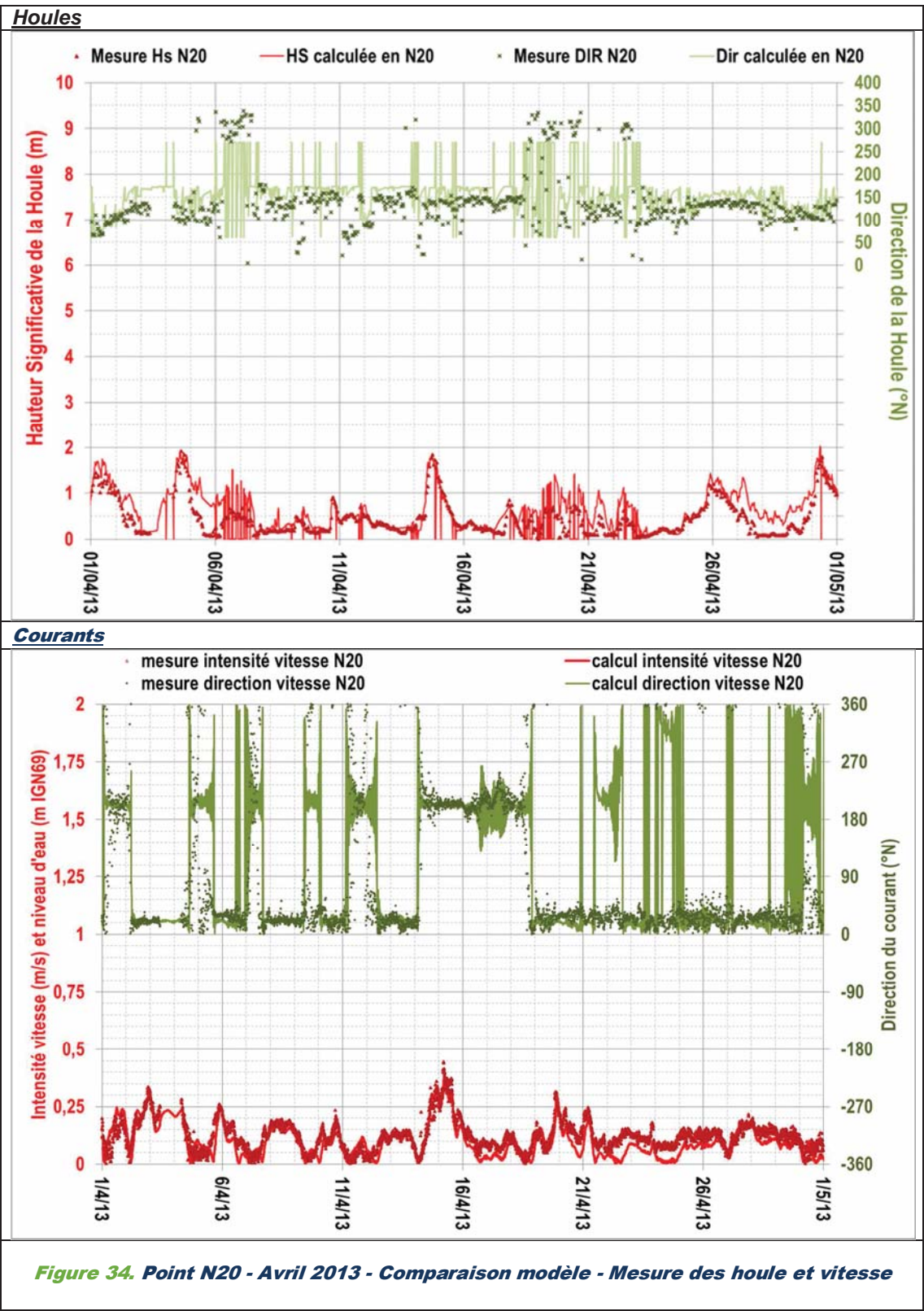


Figure 33. Point N20 - Mars 2013 - Comparaison modèle - Mesure des houles et vitesse

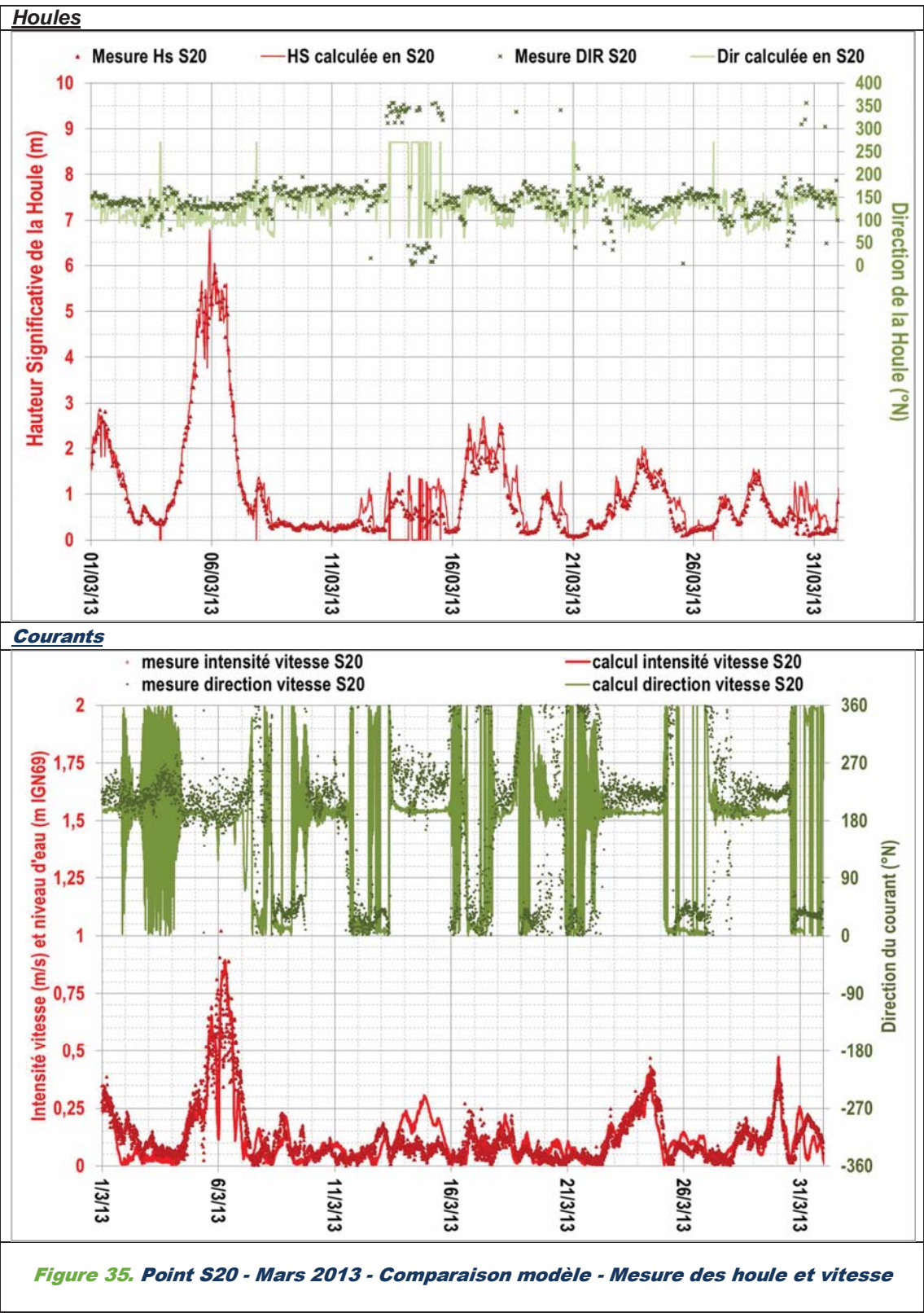
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



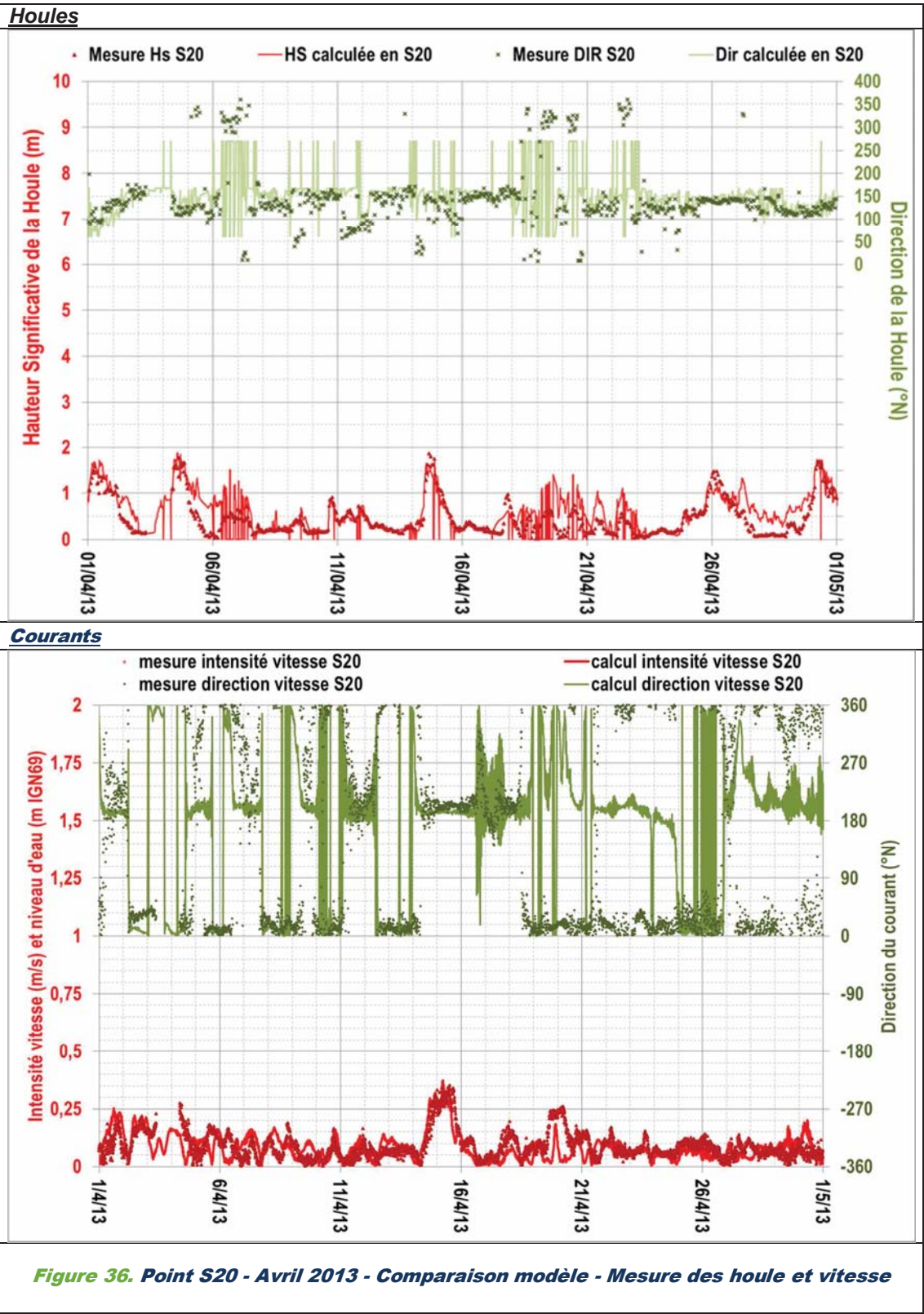
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



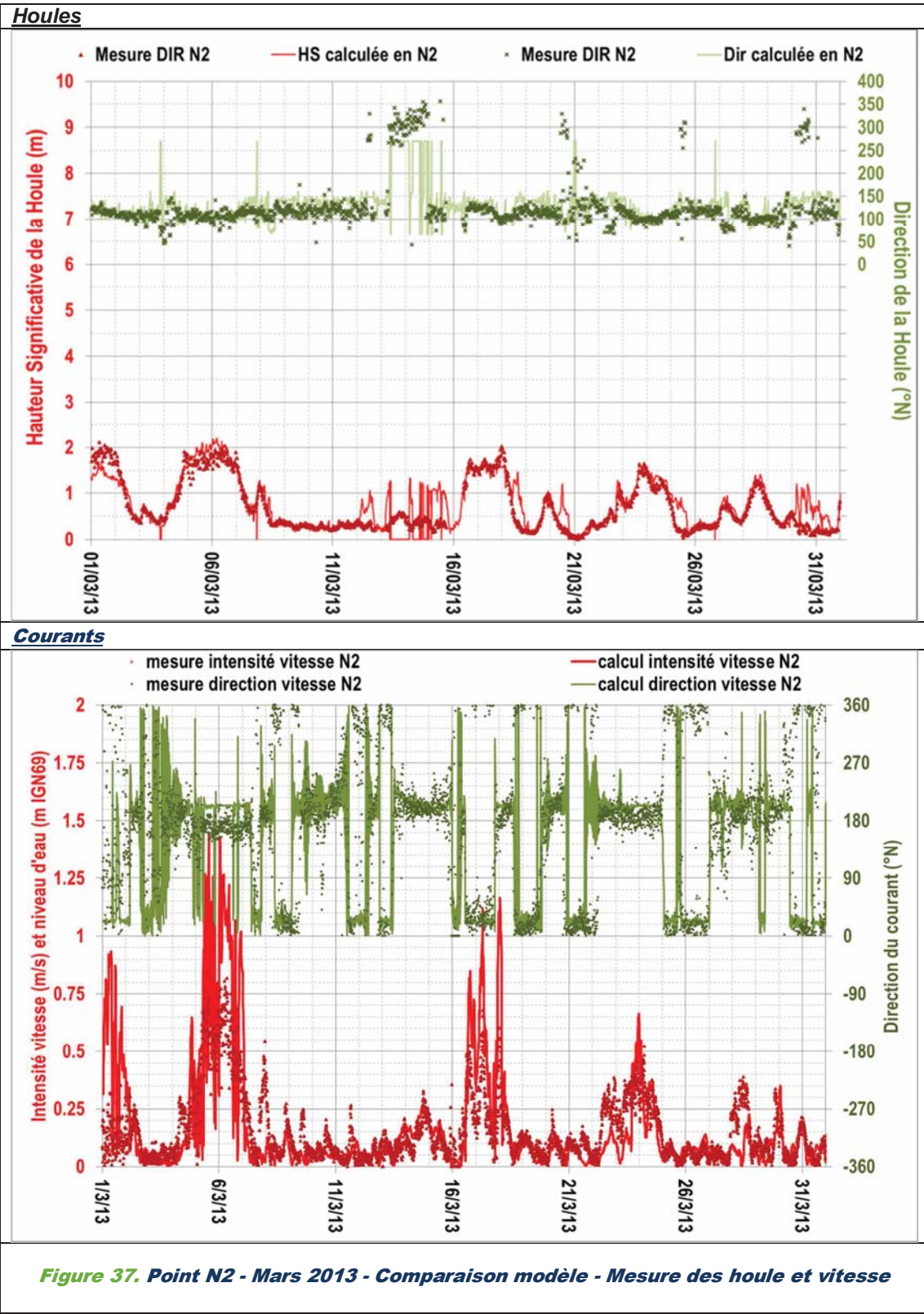
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



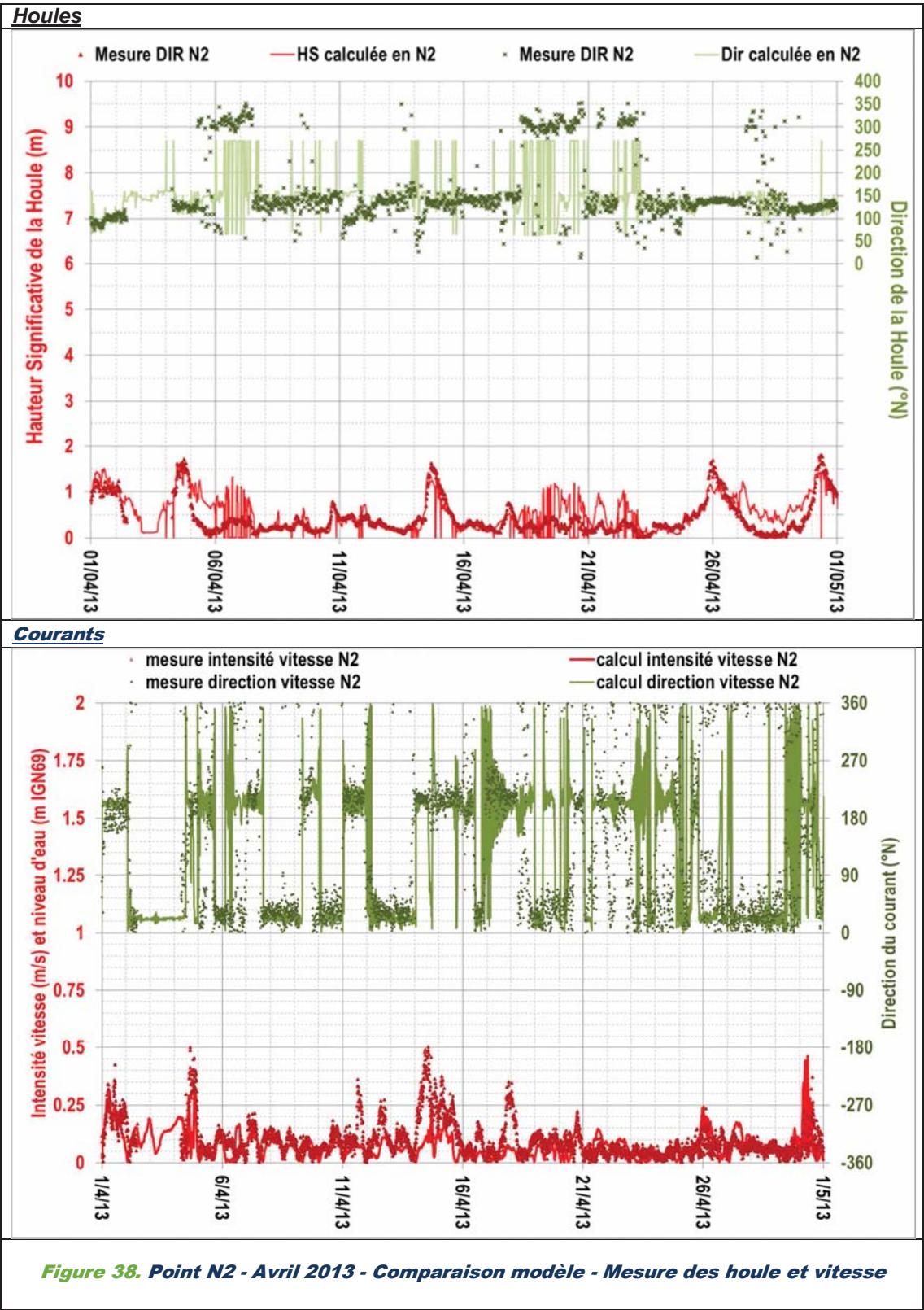
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



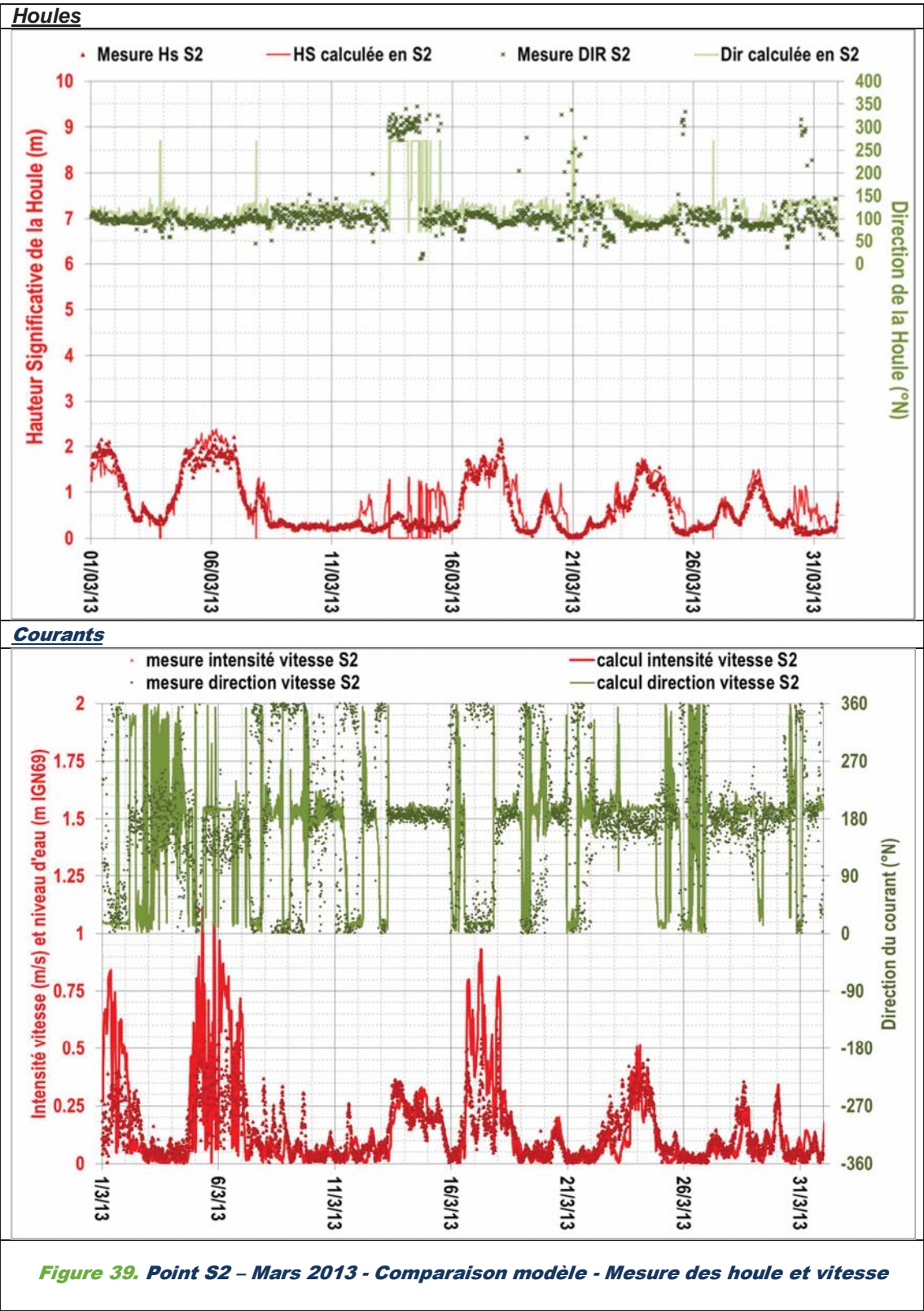
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

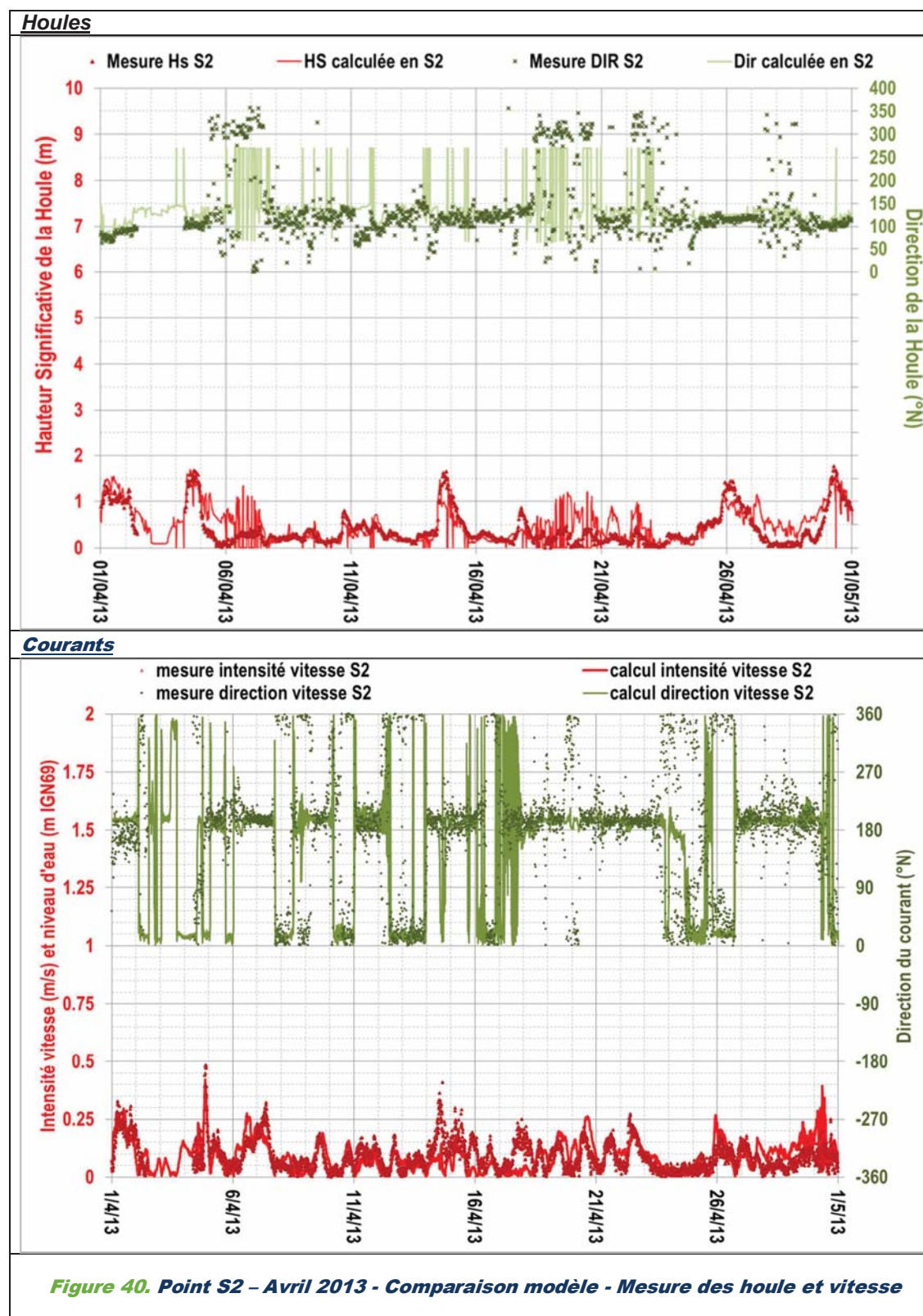
HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET





4.2.3. Observations du profil de courant sur la verticale en N2 et S2

Quelques profils de courants instantanés (intensité et direction) calculés aux points N2 et S2 ont été tracés, notamment pour différents instants de la tempête de mars 2012.

Ces profils permettent de vérifier la juste reproduction du comportement tridimensionnel de l'écoulement : l'influence du frottement (affaiblissement de la vitesse calculée sur les plans proches du fonds), du vent, des courants dus à la houle.

La figure 41 présente des courants instantanés calculés dans la zone de déferlement pendant la journée du 6 mars 2014 : en N2 comme en S2, les courants portent vers le sud, avec une intensité de 0.2 à 0.25 m/s en surface.

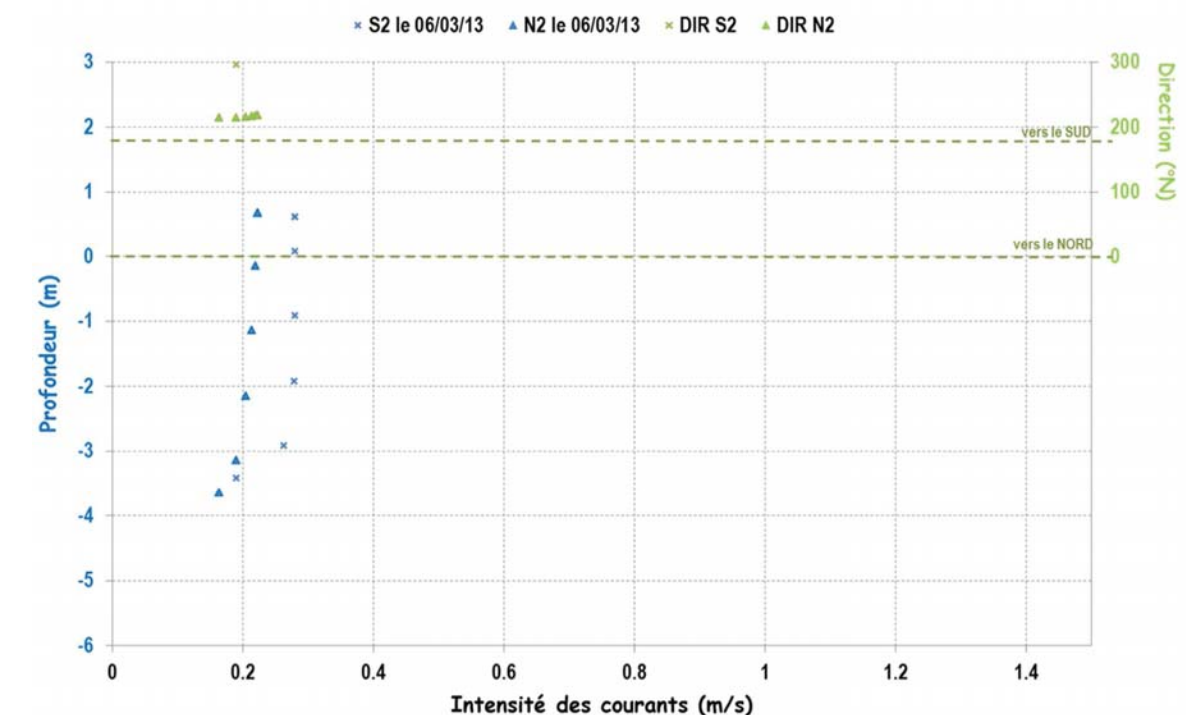


Figure 41. Profils verticaux instantanés (intensité et direction) calculés en N2 et S2 le 06/03/2012

La figure 42 présente des courants instantanés calculés dans la zone de déferlement pendant la journée du 7 mars 2014 pour laquelle, cette fois, les courants portent vers le sud en N2 et vers le nord en S2, avec une intensité de 0.95 m/s en surface en N2 et de 0.85 m/s en surface en S2.

La figure 43 présente des courants instantanés calculés dans la zone de déferlement pendant la journée du 17 mars 2014 pour laquelle, les courants en N2 et S2 sont en revanche très similaires, de mêmes intensité et direction sur la colonne d'eau. En N2 comme en S2, les directions en surface sont sensiblement différentes du reste de la colonne d'eau, ce qui est un effet de la contrainte surfacique due au vent appliquée sur tous le domaine, et fonction des caractéristiques météorologiques issues du modèle AROME de METEO France.

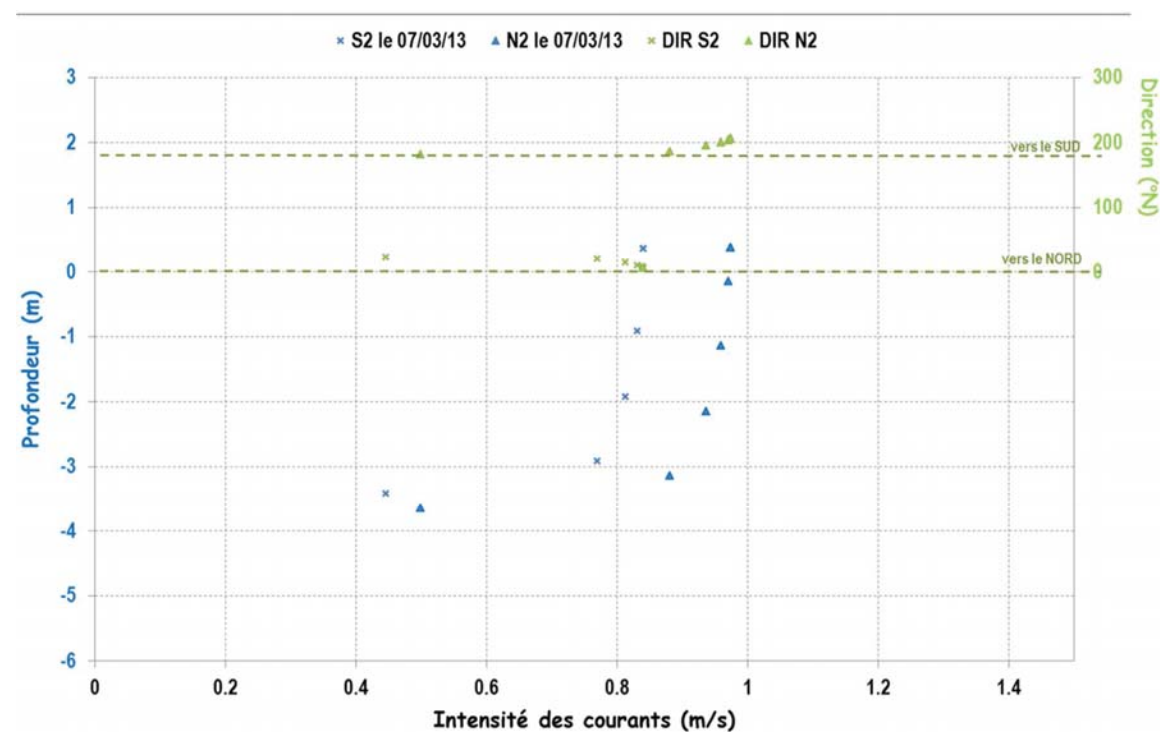


Figure 42. Profils verticaux instantanés (intensité et direction) calculés en N2 et S2 le 07/03/2012

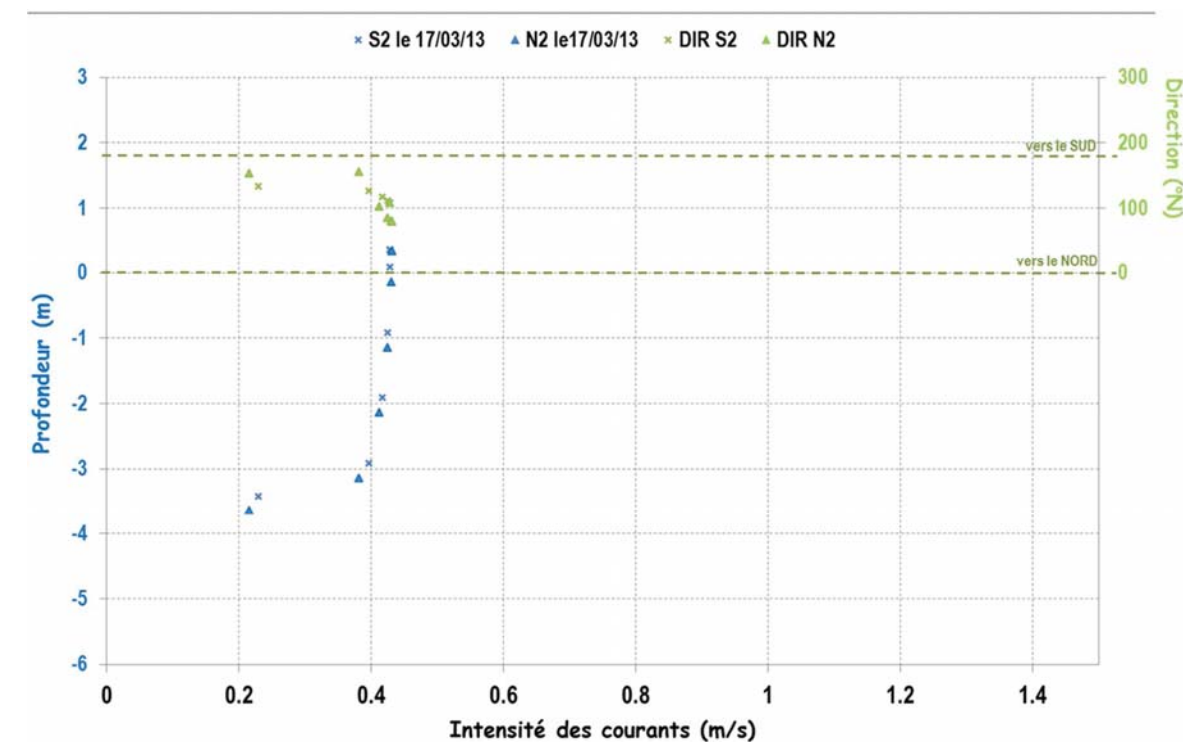


Figure 43. Profils verticaux instantanés (intensité et direction) calculés en N2 et S2 le 17/03/2012

4.3. ZOOM SUR DES PERIODES HYDROMETEOROLOGIQUES CARACTERISTIQUES

4.3.1. Définition des périodes caractéristiques d'étude de l'hydrodynamique en configuration aménagée

Cinq scénarii hydro-météorologiques correspondant à cinq périodes caractéristiques et différenciées, observées pendant la campagne de mesures, sont définis.

Ces cinq périodes de 6 jours chacune (détaillées dans le tableau ci-après) sont :

- une période dite « calme » (observée entre le 18 et le 24 avril 2013 – n°5), caractérisée par un faible vent, une pluviométrie nulle et une hauteur significative de la houle inférieure à 0.5 m au large,
- une période caractéristique d'un temps faiblement « agité » (observée entre le 31 mars et le 06 avril 2013 – n°4), caractérisée par un vent moyen et une hauteur significative de la houle inférieure à 2 m au large,
- une période caractéristique d'un temps très agité (observée entre le 16 et le 22 mars 2013 – n°3), caractérisée par un vent moyen et une hauteur significative de la houle atteignant 3 m au large,

- une période caractéristique d'un épisode de tramontane (observée entre le 22 et le 27 février 2013 – n°1), caractérisée par un vent fort et une faible houle (hauteur significative de la houle inférieure à 2 m au large),
- une période caractéristique d'une (forte) tempête (celle observée entre le 04 et le 10 mars 2013 – n°2), caractérisée par un vent fort, une pluviométrie et des débits fluviaux significatifs et une forte houle pouvant atteindre 6 m de hauteur significative au large.

SCENARIOS	N°1 TRAMONTANE	N°2 TEMPETE	N°3 TRES AGITE	N°4 AGITE	N°5 CALME
PERIODE D'OBSERVATION	Du 22/02 au 27/02/2013	Du 04/03 au 10/03/2013	Du 16/03 au 22/03/2013	Du 31/03 au 06/04/2013	Du 18/04 au 24/04/2013
VENT	Tramontane Vent fort : max. 15 à 20 m/s	Marin Vent fort : max. 15 à 20 m/s	Marin puis Tramontane Vent moyen : max. 10 à 15 m/s	Alternance Marin et Tramontane Vent moyen : max. 10 à 15 m/s	Tramontane Vent faible : max. 5 à 10 m/s
HOULE	Faible Direction : 300 à 360°N H _{s max} : 1.5 à 2.0 m au large Occurrence : typiquement 1 jour/an	Très agité Direction : 100 à 140°N H _{s max} : 5 à 6 m au large Occurrence : Tempête annuelle (12h/an)	Agité Direction : 145 à 180°N H _{s max} : 2.5 à 3 m au large Occurrence : typiquement 1 semaine par an	Faiblement agité Direction : 90 à 145°N H _{s max} : 1.5 à 2.0 m au large Occurrence : Typ. 2 à 4 semaines par an	Calme Direction : 90 à 180°N H _{s max} : 0.2 à 0.5 m au large Occurrence : Typ. 3 à 4 mois par an
PLUIE	Faible h _{max} env. 10 mm/jour pdt 2/3 jours	Forte h _{max} env. 140 mm/jour pdt 2/3 jours	Faible 	moyenne	nulle
COURANT	Typiquement 0.2 m/s vers le Sud	Typiquement 0.5 à 1.0 m/s vers le Sud	Typiquement 0.1 à 0.2 m/s, alternance Nord / Sud	Typiquement 0.1 à 0.2 m/s, alternance Nord / Sud	Env. 0.2 m/s vers le Nord
DEBIT (Berre uniquement)	Typiquement max. 5 m³/s pendant 2/3 jours	Typiquement max. 120 m³/s pendant 2/3 jours	Typiquement max. 5 m³/s pendant 2/3 jours	Typiquement max. 40 m³/s pendant 3/ 4 jours	0 m³/s
MES	Etang : env. 300 mg/l Mer : env. 5 mg/L	Etang : env. 50 mg/l Mer : env. 5 mg/l	Etang : env. 200 mg/l Mer : env. 0 mg/l	Etang : env. 50 mg/l Mer : env. 0 mg/l	Etang : env. 10 mg/l Mer : env. 0 mg/l

Figure 44. Caractérisation des scénarii hydro-météorologiques

4.3.2. Zoom sur le calage des niveaux présidant aux échanges mer étang pendant les 5 scénarii caractéristiques

Pour chacun des scénarii précédemment définis, sont réalisés de nouveaux graphiques comparant, sur la durée du scénario, les niveaux d'eau calculés aux points NKE_A (avant-port) et NKE_B (fond d'étang) avec les mesures réalisées par ces capteurs de pressions NKE_A et NKE_B.

L'ANNEXE 1 présente ces comparaisons de niveaux pour les cinq scénarii.

4.3.3. Zoom sur le calage des vitesses dans le domaine maritime pendant les 5 scénarii caractéristiques

Pour chacun des scénarii précédemment définis, sont réalisés de nouveaux graphiques comparant, sur la durée du scénario, les vitesses calculées aux points N20, S20, N2 et S2 avec les mesures réalisées par les ADCP N20, S20, N2 et S2.

L'ANNEXE 2 présente ces comparaisons de vitesses, aux 4 points, pour les cinq scénarii.

5.CONCLUSIONS SUR LE CALAGE DU MODELE HYDRODYNAMIQUE

Sur la base du travail présenté dans ce rapport intermédiaire, nous pouvons conclure à :

- Une reproduction très satisfaisante par le modèle des échanges étang-mer, notamment sur mars, mois pour lequel les mesures des niveaux dans l'étang et dans l'avant-port sont fiables. Les variations de niveau et les bascules de direction des échanges sont bien reproduites, ce qui garantit une bonne reproduction des échanges mer-étang par tempête comme par temps calme.

Le tableau récapitulatif suivant atteste de la précision de la reproduction des niveaux d'eau :

	NKE A	NKE B
	hauteur (m)	hauteur (m)
Mars à Avril		
niveau maximal	0.90	0.86
niveau minimal	-0.23	-0.33
niveau moyen	0.21	0.11
écart moyen	0.04	0.08
écart-type mesures-modèle	0.05	0.08

- Une bonne reproduction des caractéristiques (Hs et DIR) de la houle par TOMAWAC pour des houles de hauteur Hs supérieure à 0.25m ;
- Une très bonne représentation en intensité et direction des courants dans le domaine maritime par des fonds de -20m. Une bonne tendance est reproduite dans la frange littorale peu profonde. L'alternance des directions de courant est très bien reproduite par le modèle, cela aux quatre points de mesures, à 20m de fond comme à la côte. Il est notamment remarquable que le modèle puisse reproduire la bascule de direction de courant entre le large et la côte lorsque cette situation se produit.

Le tableau récapitulatif suivant atteste de la précision de la reproduction de vitesses :

	N2	S2	N20	S20
	m/s	m/s	m/s	m/s
Mars à Avril				
intensité maximale	1.42	0.74	0.89	0.79
intensité minimale	0.00	0.00	0.00	0.00
intensité moyenne	0.08	0.10	0.12	0.07
écart moyen	0.07	0.06	0.04	0.05
écart-type mesures-modèle	0.11	0.09	0.05	0.07

6. IMPACT HYDRODYNAMIQUE DU PROJET

A ce stade, le modèle hydrodynamique peut être exploité pour simuler l'hydrodynamique en configuration future (en présence du futur port).

Ainsi, le maillage et la bathymétrie du modèle de la situation actuelle sont adaptés localement de sorte à intégrer la géométrie future du port (digues et zones draguées).

La construction du modèle en configuration future est présentée dans cette partie, paragraphe 6.1.

Sur chacune des cinq périodes caractéristiques définies précédemment (**Figure 44**), un calcul de l'hydrodynamique en configuration future est réalisé et comparé aux résultats en situation actuelle.

Les impacts de la future configuration sur les échanges mer-étang et l'hydrodynamique maritime sont analysés, période par période, aux paragraphes 6.2 et 6.4 et une description de l'hydrodynamique maritime en configuration future est décrite, période par période, au paragraphe 6.3.

6.1. CONSTRUCTION DU MODELE EN CONFIGURATION AMENAGEE

6.1.1. Présentation de l'aménagement

La figure ci-dessous présente le plan masse du port qui est modélisé.

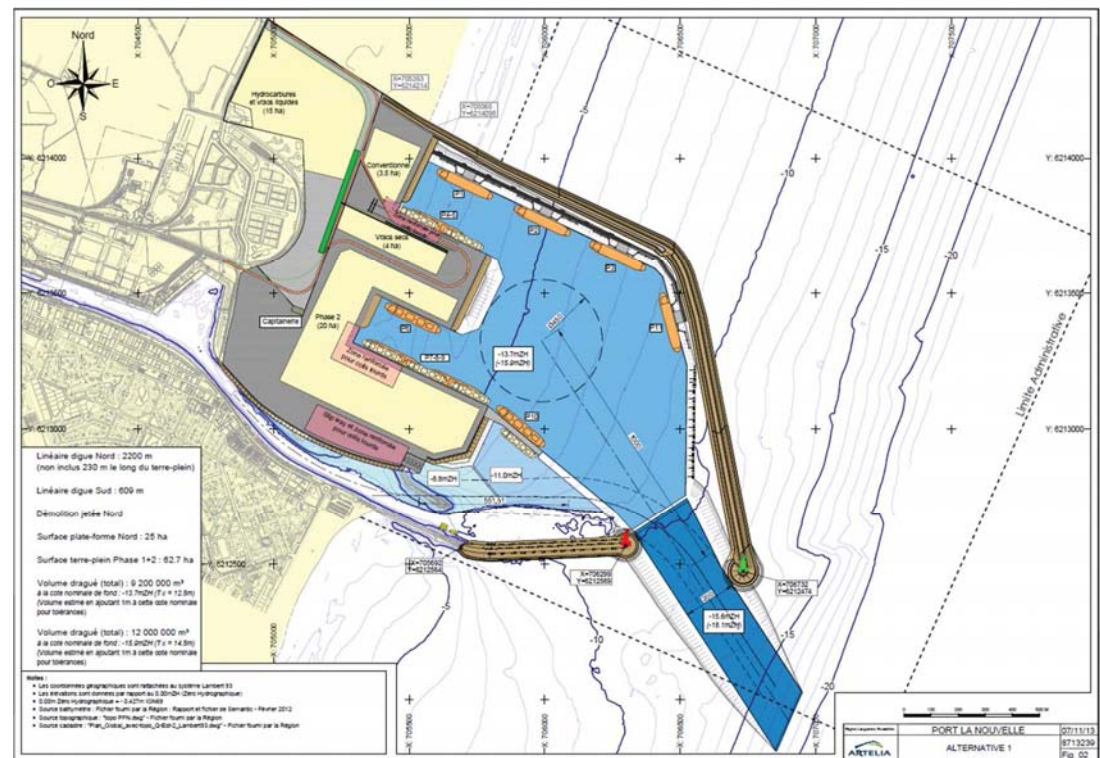


Figure 45. Plan masse du futur port

Pour rappel, il est caractérisé par les **aménagements** suivants :

- La création d'un nouveau bassin situé au Nord de la passe d'entrée actuelle;
- La construction d'une nouvelle digue délimitant ce bassin au nord d'environ 2 200m de long (non inclus quelques 230m le long du terre-plein) ; cette digue Nord s'étend depuis la côte (plage Nord actuelle) jusqu'à la cote de -13.0 m ZH environ ;
- La construction du prolongement de l'actuelle digue sud sur environ 600m de long ; ce prolongement est situé par des fonds variant de -9 m ZH à son enracinement (musoir de la digue sud actuelle) à -10.5 m ZH au nouveau musoir.
- La cote de fonds dans le chenal d'entrée est maintenue à -18.53 m IGN69 (-18.1 m ZH);
- La cote des fonds du nouveau bassin Nord est maintenue à -16.33 m IGN69 (-15.9 m ZH).

6.1.2. Bathymétrie et maillage du modèle en configuration aménagée

Pour prendre en compte la géométrie et les différentes cotes des bassins créés, le maillage et la bathymétrie du modèle en configuration actuelle doivent être localement adaptés.

L'emprise du modèle reste la même et la bathymétrie du modèle en configuration future reste identique au précédent modèle excepté dans l'enceinte de l'extension portuaire. La bathymétrie adaptée à la configuration future est présentée sur les **Figure 46** (emprise globale) et **Figure 47** (zoom sur l'extension portuaire). De même, le maillage du modèle en configuration future reste identique au précédent modèle, excepté dans l'enceinte de l'extension où la géométrie à représenter est fortement remaniée. Le maillage adapté à la configuration future est présenté sur les **Figure 48** (emprise globale) et **Figure 49** (zoom sur l'extension portuaire).

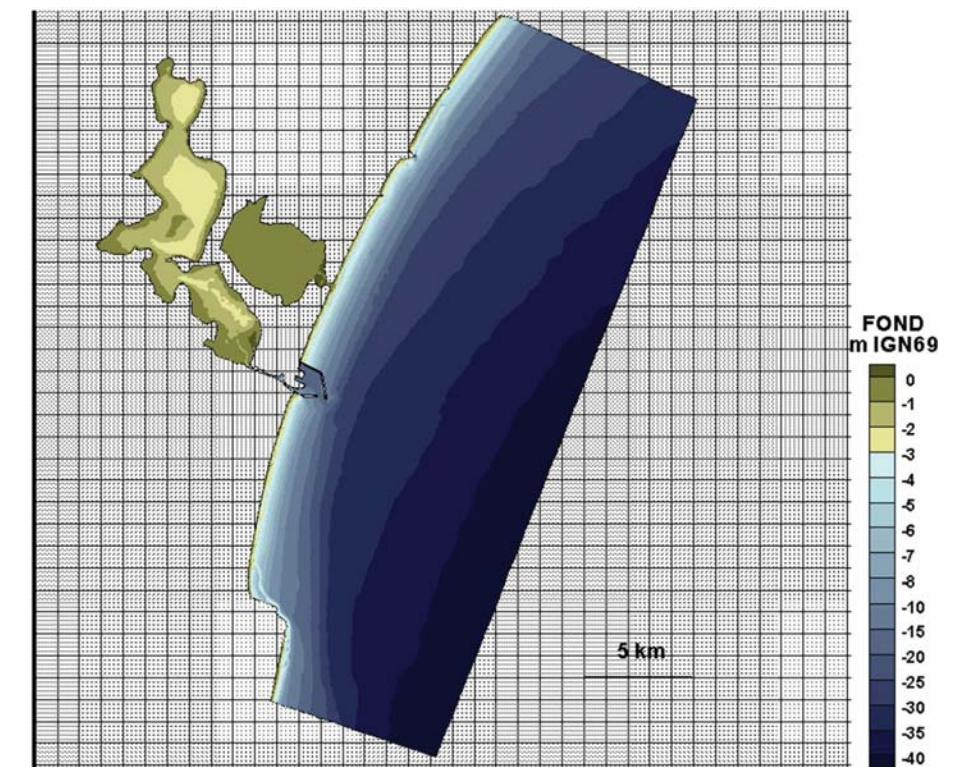


Figure 46. Bathymétrie du modèle en configuration future – Vue globale

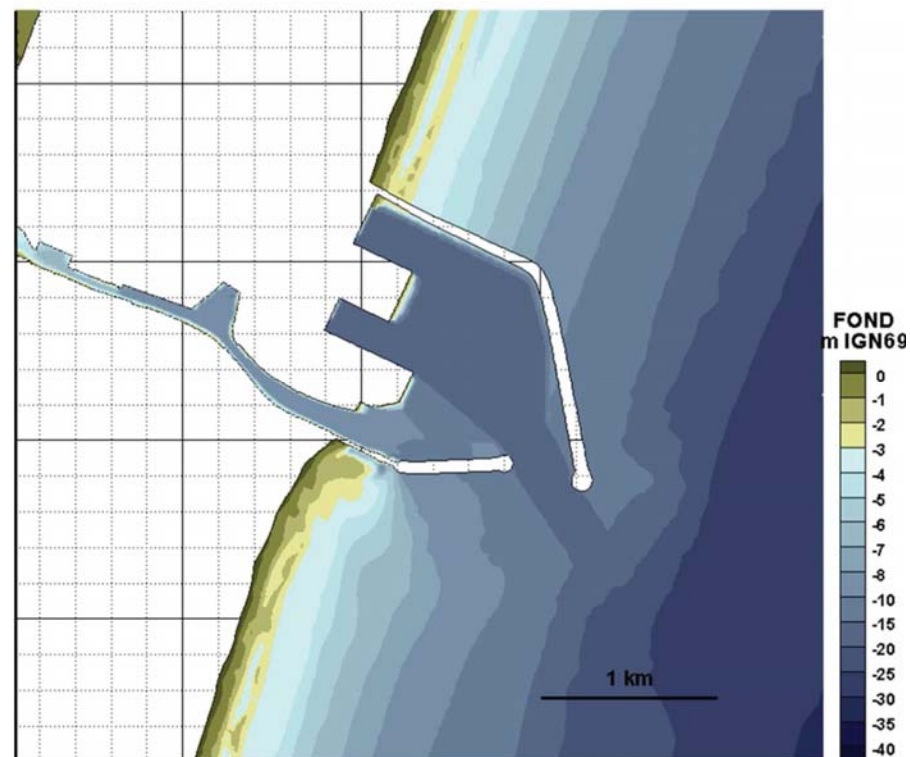


Figure 47. Bathymétrie du modèle en configuration future – Zoom sur l'extension du port

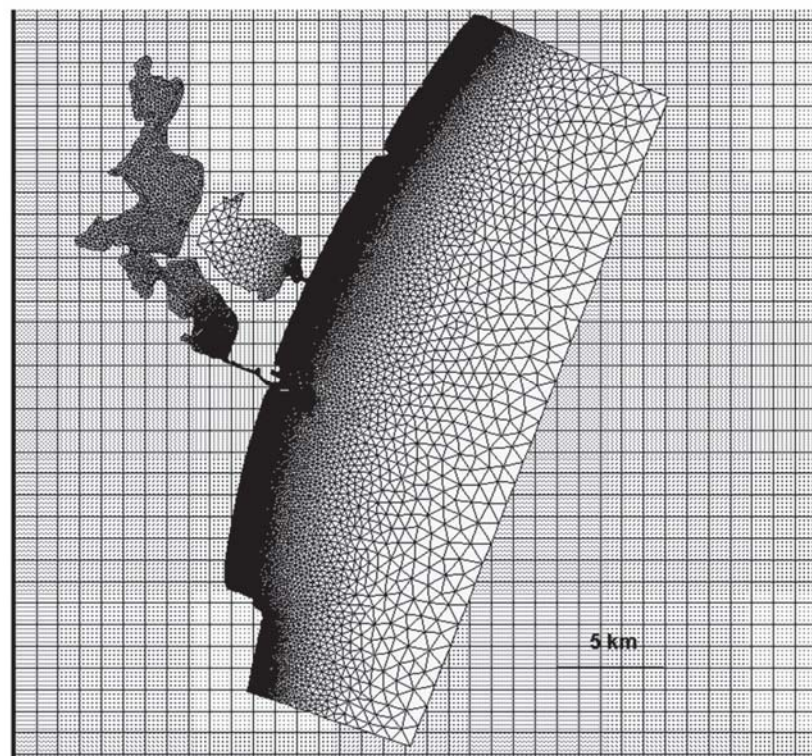


Figure 48. Maillage du modèle en configuration future – Vue globale

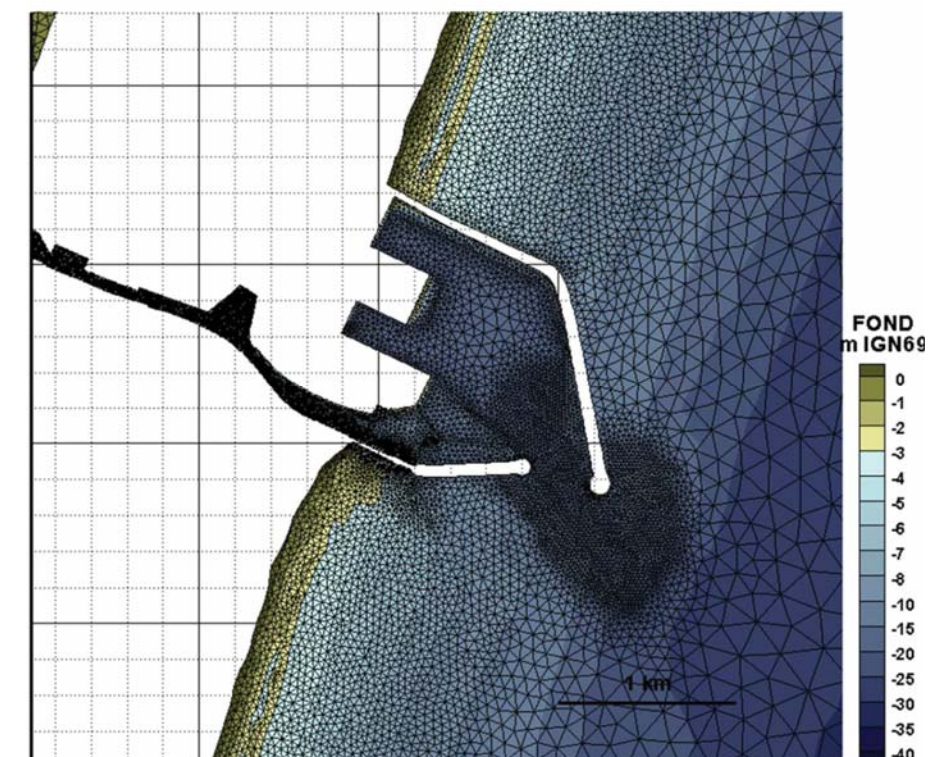


Figure 49 Maillage du modèle en configuration future – Zoom sur l'extension du port

Au final, le nombre total de mailles composant le nouveau maillage est de 55 500 (contre 54 000 dans le précédent modèle « situation actuelle »).

6.1.3. Forçages hydrodynamiques du modèle en configuration aménagée

Les adaptations du maillage et de la bathymétrie étant très localisées, les frontières du modèle en configuration future sont identiques en tous nœuds de calcul à celles du modèle actuel. A ces frontières, sont imposés les forçages en niveaux et courants, tels que présentés §3.3.

Ainsi, le forçage du vent est tel que présenté §3.4.

Les apports de la Robine, les apports pluviométriques ainsi que les apports des bassins versants sont pris en compte à l'identique du modèle de la configuration actuelle (cf. §3.5 et §3.6).

De même, l'évaporation est prise en compte telle que présentée §3.7.

Selon la même méthodologie que présentée §3.8.2, une bibliothèque de houles est constituée à la suite de 3159 calculs de propagation de houle, mais cette fois sur la configuration portuaire future.

Sur le maillage de la configuration future, sont propagées les conditions suivantes, identiques à celle du modèle en configuration actuelle :

- niveau de la mer variant de -0,4 à +1,2 m IGN69 avec un pas de 0,2 m.
- directions de provenance : 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150, 165, 180°N
- couples périodes T_p - hauteurs H_s ci-après :
 - $T_p = 3s$ avec $H_s = 0.5, 1.0, 1.5$ et 2.0 m

- Tp =5s avec Hs= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 et 3.0 m
- Tp =7s avec Hs= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 et 6.0 m
- Tp =9s avec Hs= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0 et 6.0 m
- Tp =11s avec Hs= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0 et 8.0 m
- Tp =13s avec Hs= 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, 6.0 et 8.0 m.

6.2. IMPACT DES FUTURS AMENAGEMENTS SUR LES ECHANGES MER-ETANG

6.2.1. Echanges avant-port-étang en configuration future

Pour évaluer l'impact du futur port sur les échanges étang-avant-port, les niveaux d'eau aux points NKE_A (avant-port) et NKE_B (fond d'étang) et la vitesse des échanges au point C (amont du canal) calculés par le modèle de la configuration FUTURE, d'une part, et par le modèle de la configuration ACTUELLE, d'autre part, sont comparés, cela pour les cinq périodes caractéristiques définies au § 4.3.1. Ces comparaisons sont présentées Figure 50 à Figure 54.

Des cartes d'impact du projet en termes de vitesse (différentiel maximum et différentiel moyen) ont été établies, pour chaque scénario, en calculant le différentiel de vitesse en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle. Ces cartes d'impact font l'objet des Figure 55 à Figure 58.

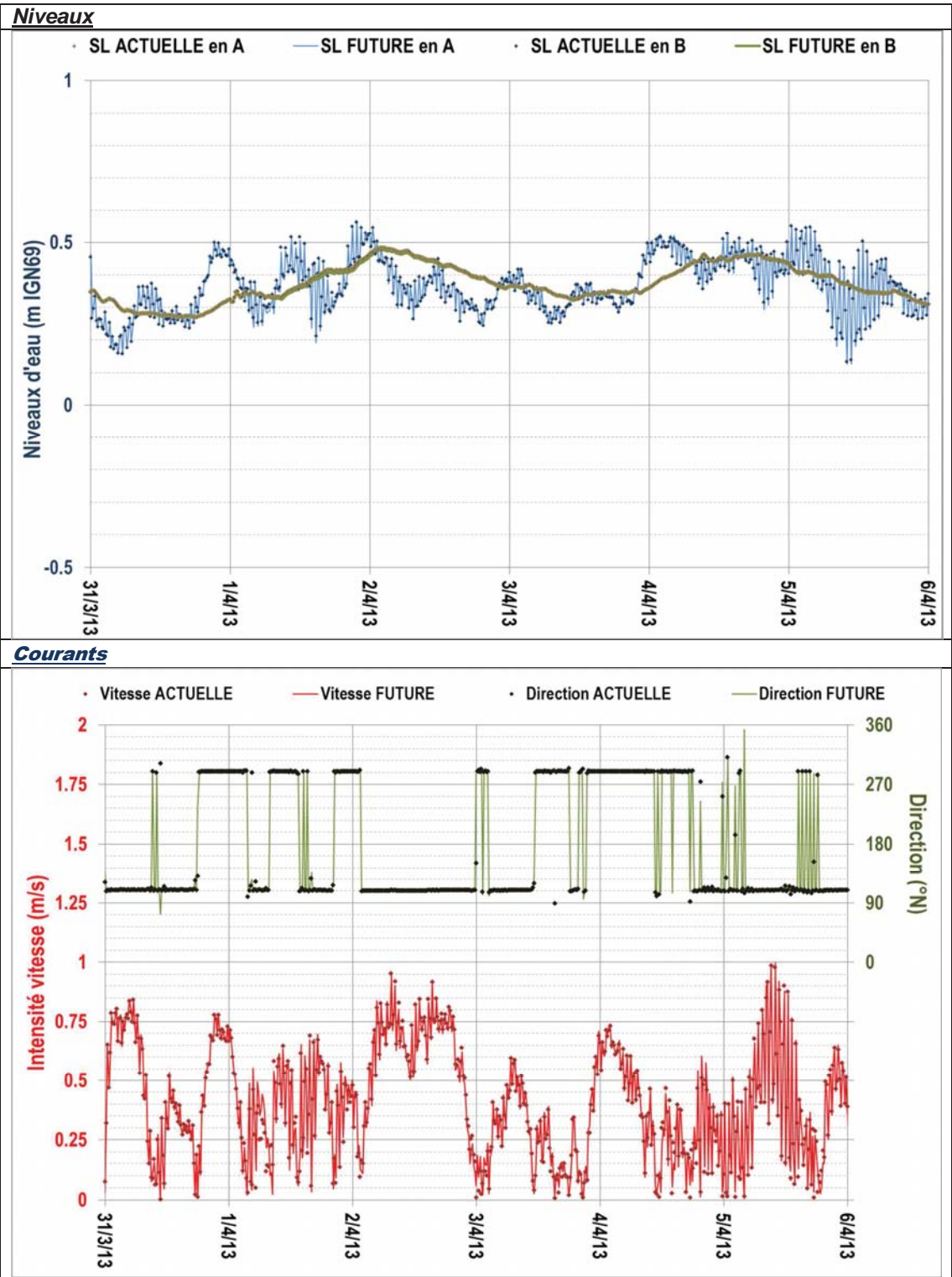
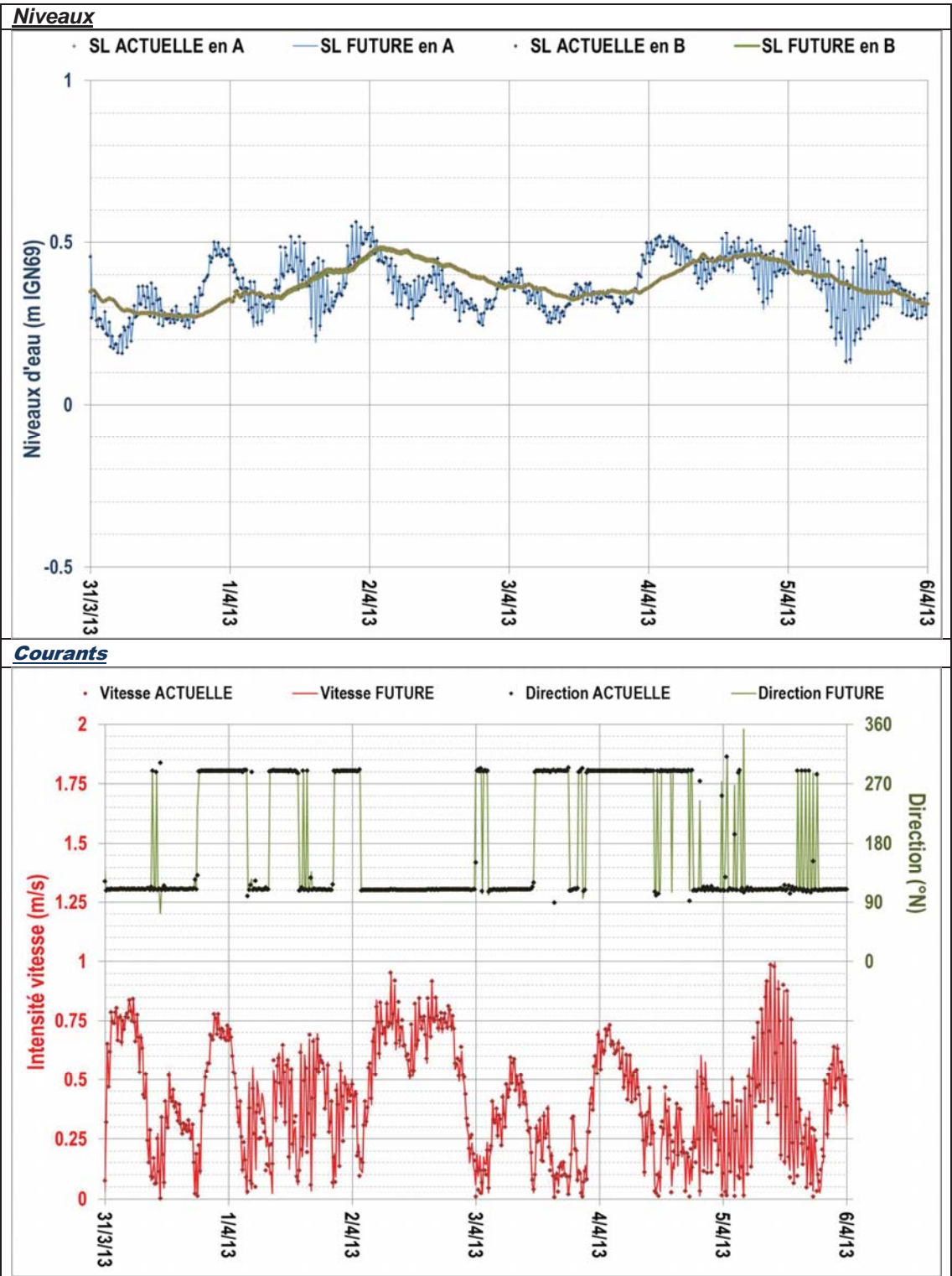


Figure 50. Scénario n°5 (scénario « calme ») - Comparaison des modèles FUTUR et ACTUEL en niveaux (SL aux points A et B) et vitesse (au point C)

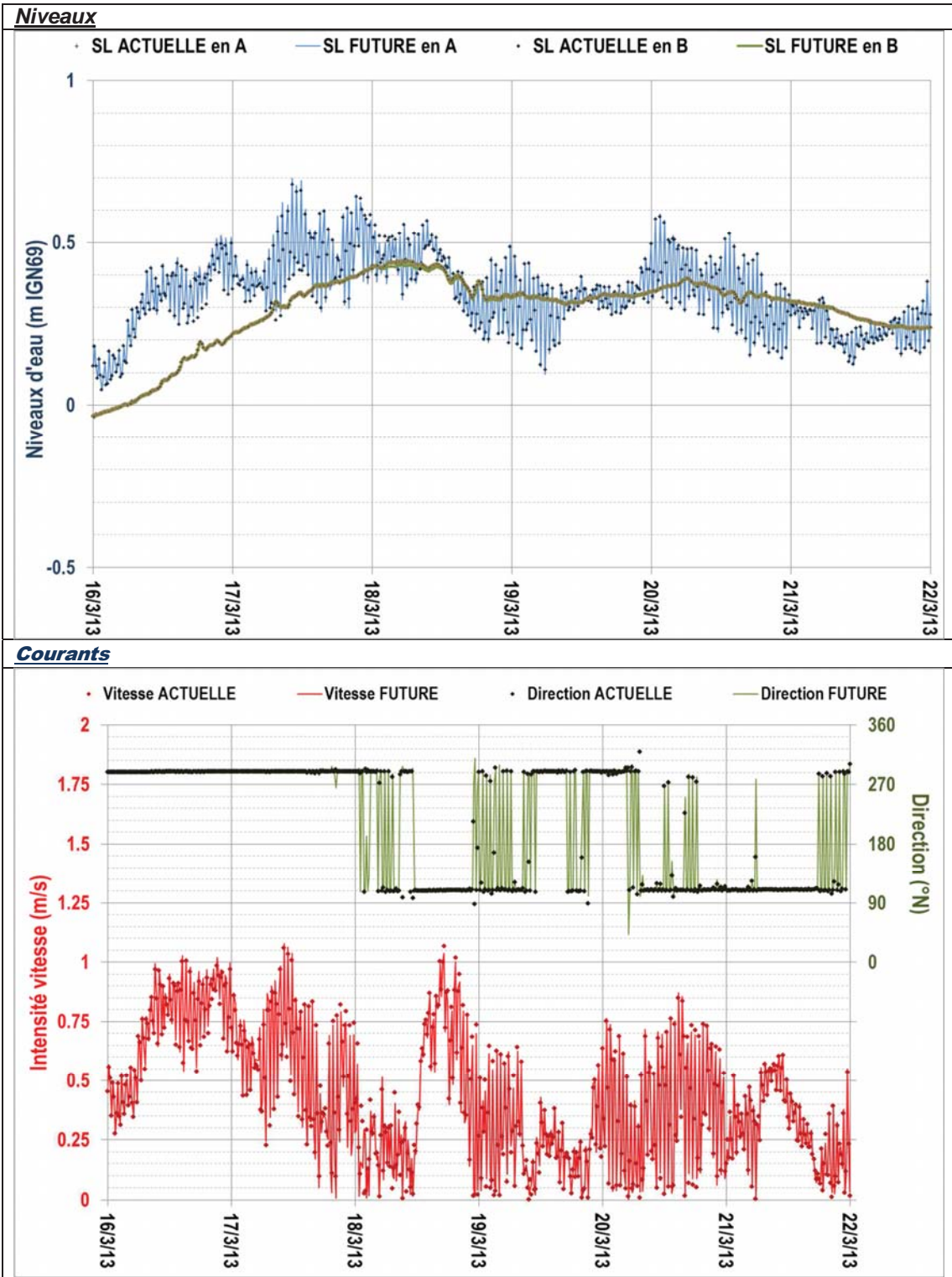
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



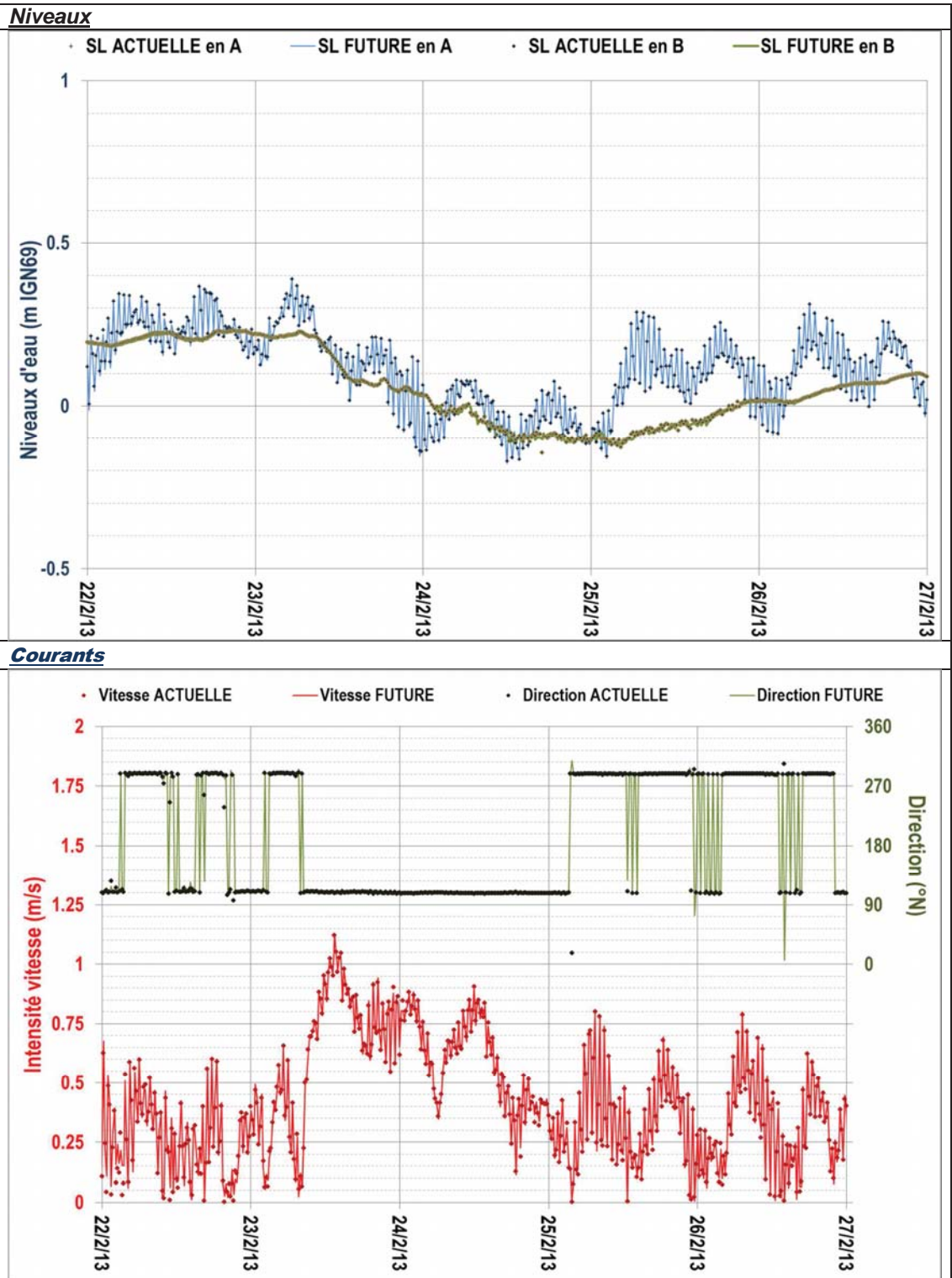
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



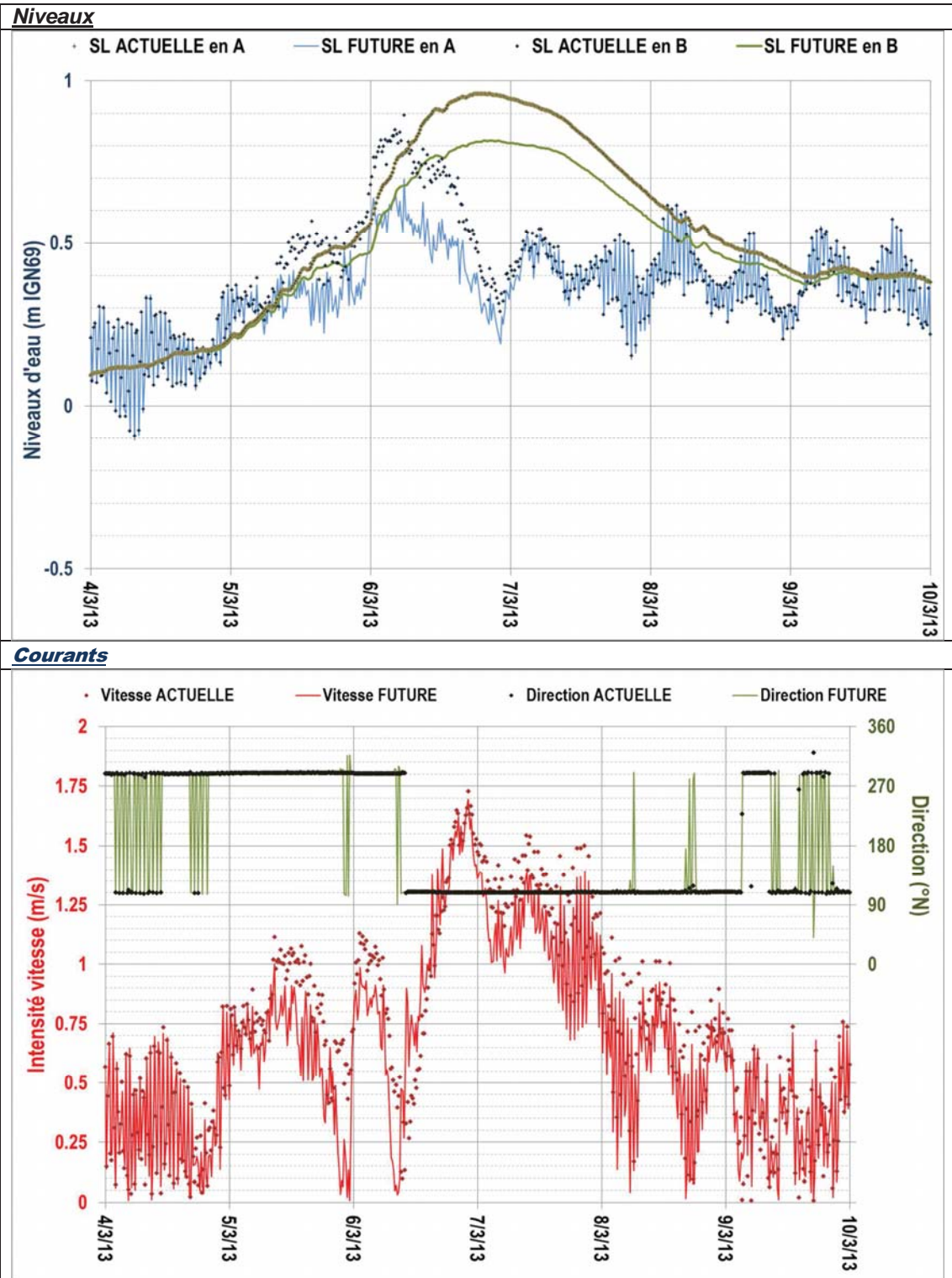
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



6.2.2. Impact pendant le scénario « calme » (n°5)

Les graphiques de la **Figure 50** montrent une adéquation quasiment parfaite entre les deux calculs sur la période calme, cela pour les niveaux de surface libre aux points NKE_A (actuel avant-port) et NKE_B (fond d'étang), et pour l'intensité et la direction de la vitesse dans le canal (point C).

Les cartes d'impact de la **Figure 55** montrent que, pendant la période dite calme, le différentiel maximum est, en valeur absolue, inférieur à 0.1m/s dans le grau et l'étang, excepté au voisinage des ouvrages en amont du grau, où le maximum atteint 0.1m/s, et très localement en pied des fondations. Mais cette valeur est ponctuelle dans le temps puisque l'impact moyen sur la période atteste d'un différentiel moyen inférieur à 0.1m/s en valeur absolue sur l'étang et le grau.

Ainsi, en période calme, les échanges étang-avant-port ne sont nullement modifiés par l'extension du port.

6.2.3. Impact pendant le scénario « agité » (n°4)

Les graphiques de la **Figure 51** montrent cette fois encore une remarquable adéquation entre les deux calculs sur la période dite « agitée », cela pour les niveaux de surface libre, l'intensité et la direction de la vitesse dans le canal.

D'après les cartes d'impact de la **Figure 56**, le différentiel de vitesse maximum est, en valeur absolue, inférieur à 0.1m/s dans le grau et l'étang, excepté au voisinage des ouvrages en amont du grau, où le maximum atteint 0.1m/s, et très localement en pied de pile de pont, où le maximum atteint 0.3m/s. Mais cette dernière valeur est très ponctuelle dans le temps puisque l'impact moyen sur la période atteste d'un différentiel moyen inférieur à 0.1m/s en valeur absolue sur l'étang et le grau.

Ainsi, en période « agitée », les échanges étang-avant-port ne sont nullement modifiés par l'extension du port.

6.2.4. Impact pendant le scénario « très agité » (n°3)

Les graphiques de la **Figure 52** montrent cette fois encore une bonne adéquation entre les deux calculs sur la période dite « très agitée », tant pour les niveaux de surface libre, que pour l'intensité et la direction de la vitesse dans le canal.

Cependant, comme le montre la **Figure 57**, le différentiel de vitesse maximum obtenu en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration peut atteindre ponctuellement 0.3m/s au voisinage des ouvrages en amont du canal. Ces valeurs sont atteintes très ponctuellement puisque, moyenné sur la période, l'impact est inférieur à 0.1m/s en valeur absolue sur l'étang et le grau.

Ainsi, même en période « très agitée », les impacts de l'extension du port sur les échanges étang-avant-port sont faibles et peu durables.

6.2.5. Impact pendant le scénario « tramontane » (n°1)

Les graphiques de la **Figure 53** montrent, une nouvelle fois, une remarquable adéquation entre les deux calculs sur la période dite « de tramontane », cela pour les niveaux de surface libre, l'intensité et la direction de la vitesse dans le canal.

La **Figure 58**, qui cartographie le différentiel de vitesse (maximum et moyen) obtenu en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle pendant la période de tramontane, met en évidence que le différentiel maximum est, en valeur absolue, inférieur à 0.1m/s dans le grau et l'étang, excepté au voisinage des ouvrages en amont du grau, où le maximum atteint 0.1m/s, et très localement, au droit des piles de pont, où le maximum atteint

0.3m/s. Mais cette valeur est très ponctuelle dans le temps puisque l'impact moyenné sur la période atteste d'un différentiel moyen inférieur à 0.1m/s en valeur absolue sur l'étang et le grau.

Ainsi, en période de tramontane, les échanges étang-avant-port sont très faiblement modifiés par l'extension du port.

6.2.6. Impact pendant le scénario « tempête » (n°2)

Pour le scénario « tempête », les résultats des deux calculs diffèrent plus nettement que pour les précédents scénarii.

Sur toute la durée du scénario (6 jours), le sens des échanges modélisés est identique entre la configuration future et la configuration actuelle (cf. **Figure 54**).

Cependant, à partir du 05/03/2013 en fin de journée et jusqu'au 07/03/2013 au matin, le niveau de surface libre au point NKE_A (situé dans l'actuel avant-port) calculé pour la configuration future est constamment inférieur au niveau de surface libre calculé pour la configuration actuelle. Or, du 05/03/2013 au 06/03/2013 en mi-journée, les échanges sont principalement orientés de la mer vers l'étang, quelle que soit la configuration considérée. Ainsi, les nouvelles digues semblent agir, en situation de forte tempête (et de forte surcote associée), comme un frein au remplissage du grau par le domaine maritime.

Par voie de conséquence, du 05/03/2013 en fin de journée au 06/03/2013 en mi-journée, le niveau de surface libre au point NKE_B (fond d'étang) calculé pour la configuration future est lui aussi constamment inférieur au niveau de surface libre au point NKE_B calculé pour la configuration actuelle. Sur cette période, les échanges s'établissent unilatéralement de la mer vers l'étang, et le grau alimente le remplissage de l'étang. En configuration future, ce remplissage se trouve freiné du fait de la moindre augmentation des niveaux d'eau dans le Grau par rapport à la configuration actuelle.

Le 06/03/2013 en seconde partie de journée, l'échange bascule de l'étang vers la mer. Le niveau en NKE_A calculé en configuration future rejoint alors très rapidement le niveau en NKE_A calculé en configuration actuelle : à partir du 07/03/2013, les niveaux calculés en NKE_A pour les deux configurations sont de nouveau confondus. Le niveau en NKE_B calculé en configuration future met deux jours de plus pour rejoindre le niveau en NKE_B calculé en configuration actuelle : à partir du 09/03/2013, les niveaux calculés en NKE_B pour les deux configurations sont de nouveau confondus.

Durant ces 3 jours et demi, la vitesse des échanges calculée au point C est généralement plus faible en configuration future qu'en configuration actuelle. Notamment du 07/03/2013 au 09/03/2013, lors de la vidange de l'étang vers la mer, la différence de niveau entre l'étang et le grau est moins forte en configuration future qu'en configuration actuelle, ce qui induit des vitesses de vidange moins fortes en configuration future qu'en configuration actuelle.

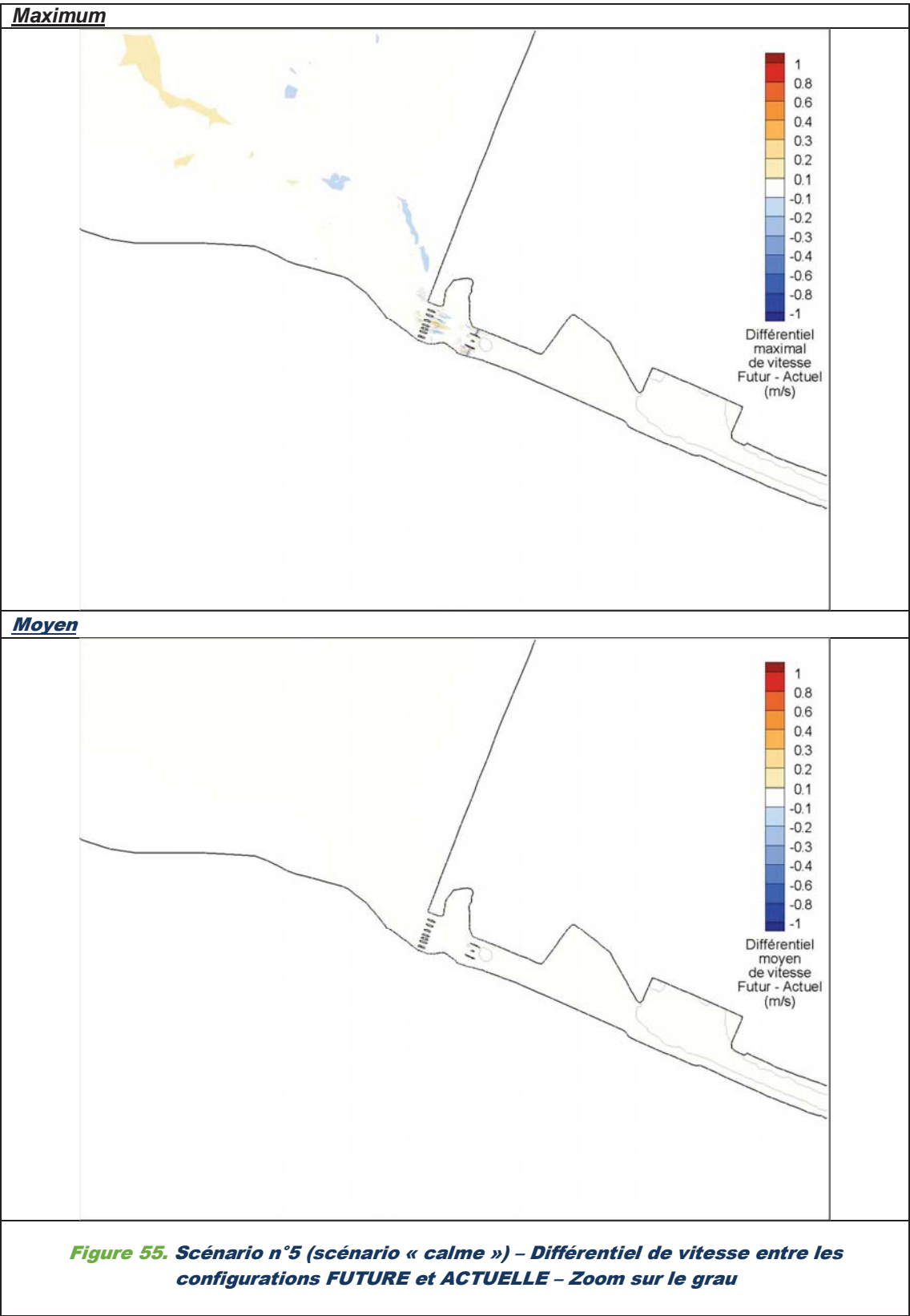
La **Figure 59** cartographie le différentiel de vitesse (maximum et moyen) obtenu en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle pendant la période de tempête. Le différentiel maximum atteint, en valeur absolue, 0.4 m/s dans le grau et l'étang, excepté au voisinage direct des ouvrages, où le maximum atteint localement 0.8 m/s. Mais cette valeur est très ponctuelle dans le temps puisque l'impact moyenné sur la période atteste d'un différentiel moyen inférieur à 0.1 m/s en valeur absolue sur l'étang et le grau, excepté au voisinage immédiat des ouvrages.

La carte de différentiel de vitesse maximal traduit à nouveau l'atténuation des vitesses de vidange de l'étang (prédominance de différentiel négatif dans la veine de courant).

En conclusion, les échanges étang-mer ne sont impactés par l'extension du port qu'en période de forte tempête. Le futur port a alors tendance à freiner les surcotes dans le grau et l'étang et les vitesses d'échange dans le canal.

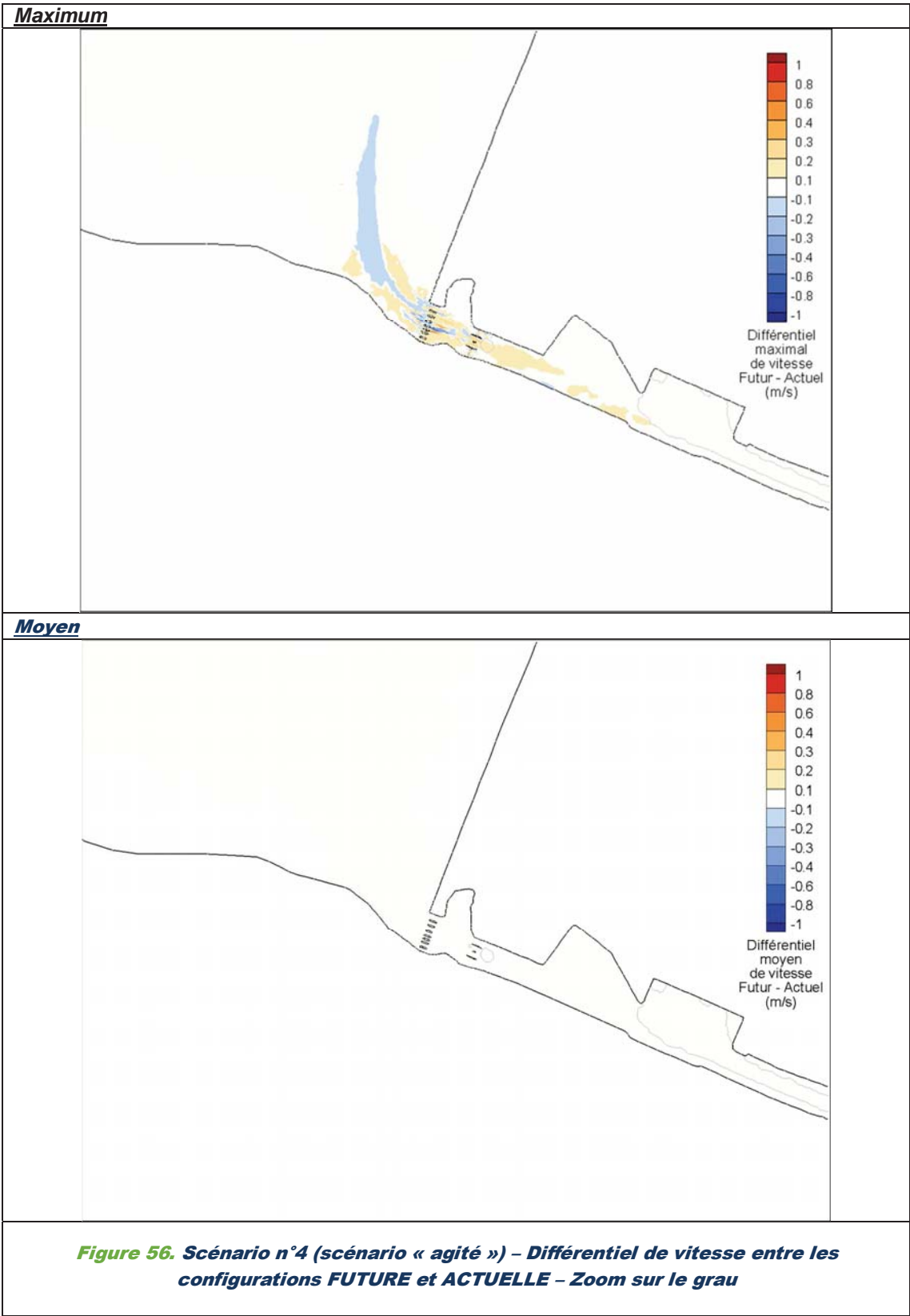
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



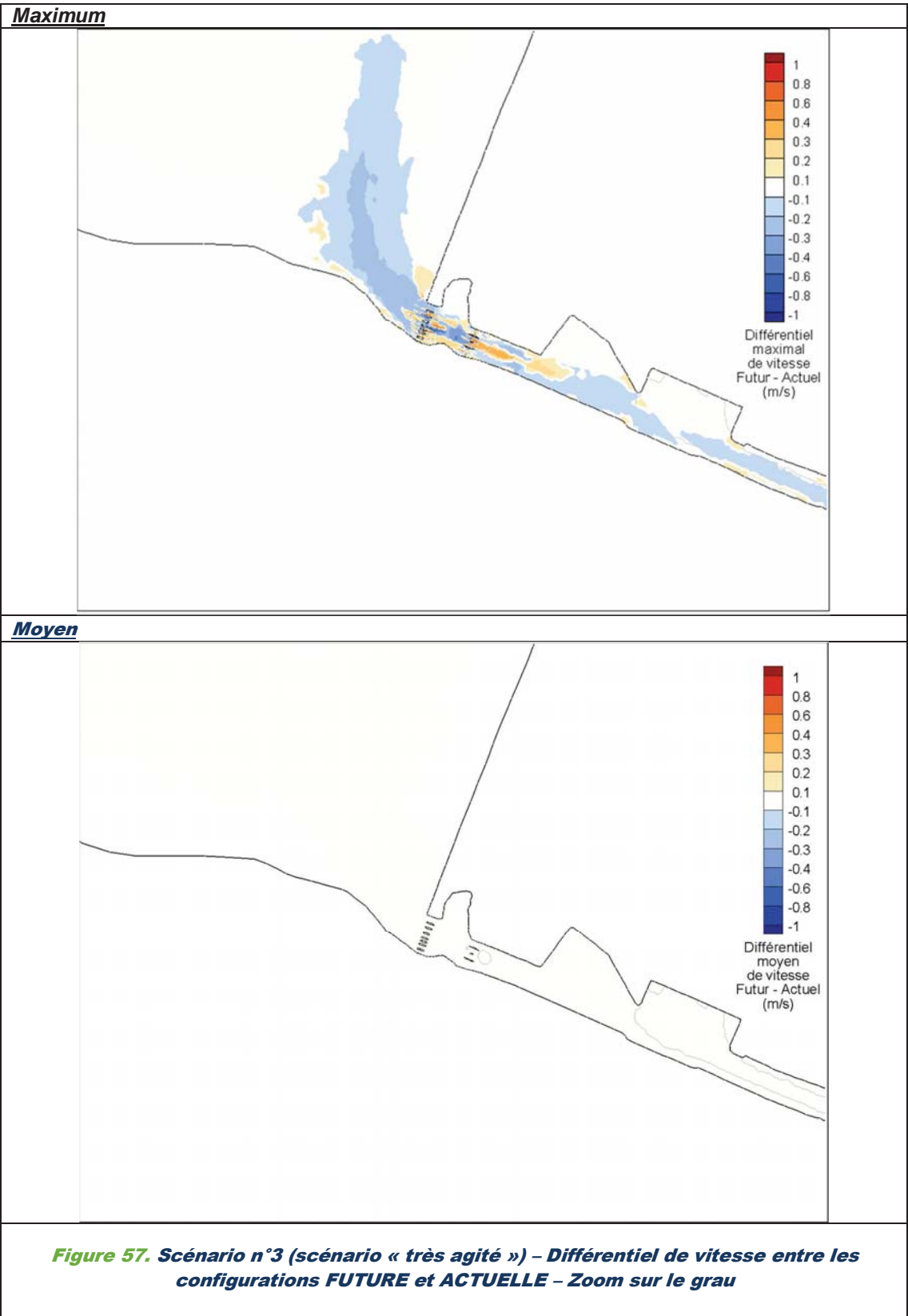
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



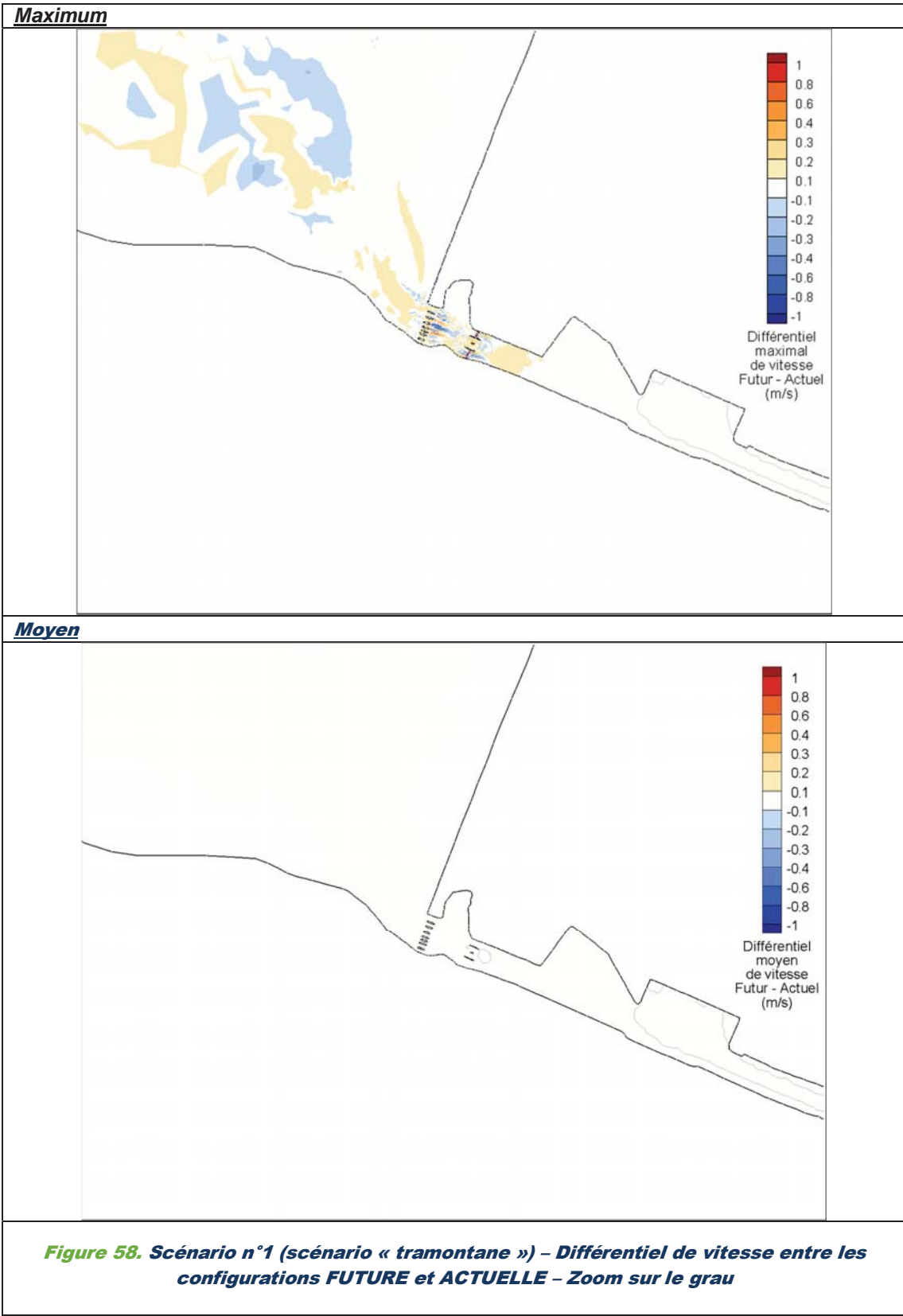
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

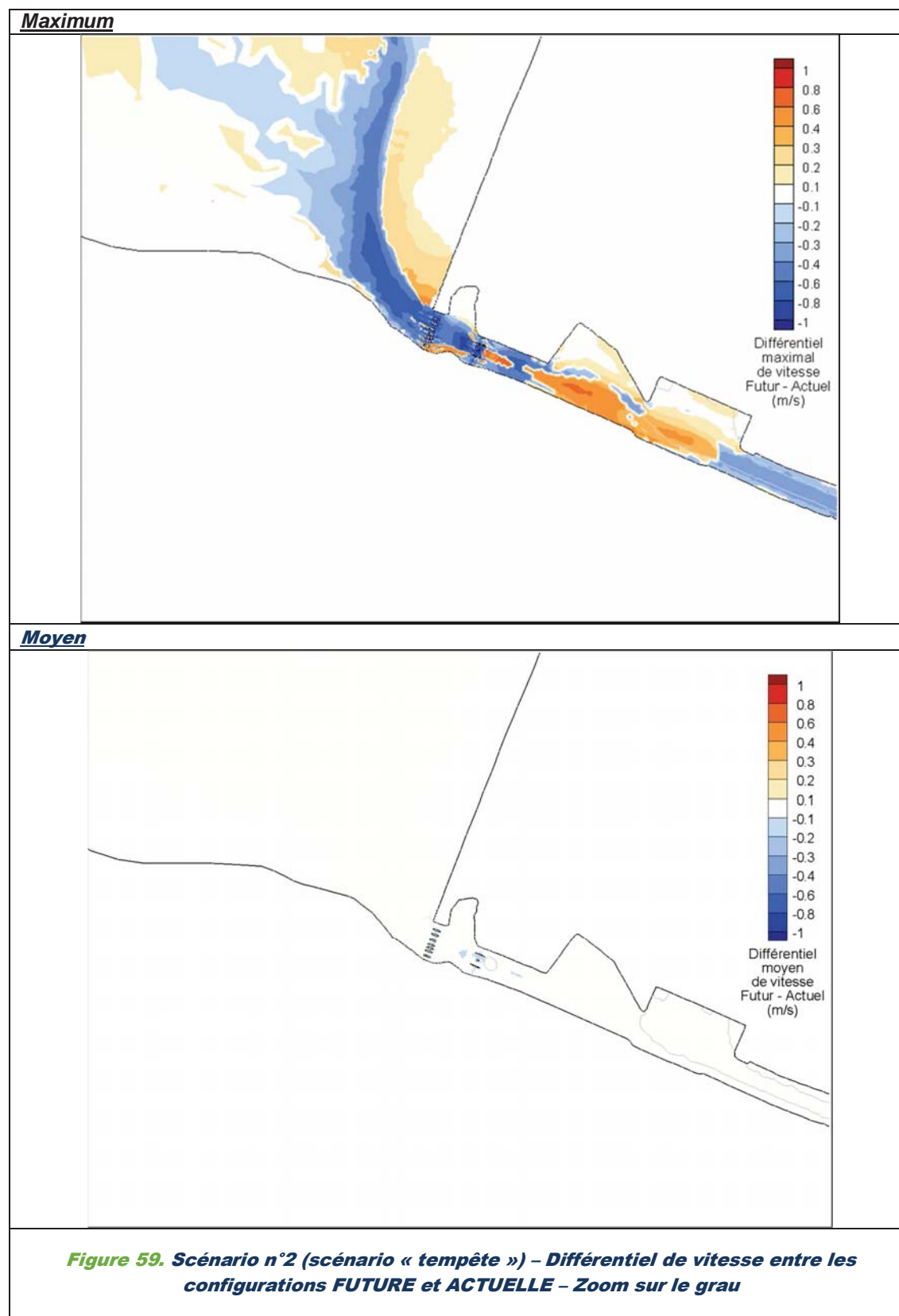
HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET





6.2.7. Impact du futur port sur les flux sortants et entrant dans l'étang

Une étude spécifique des flux entrants et sortants de l'étang a été menée : les débits transitant par la section transverse située au niveau de l'ADCP C sont calculés, pour la situation actuelle, comme pour la situation aménagée. La section de calcul est localisée **Figure 60**.

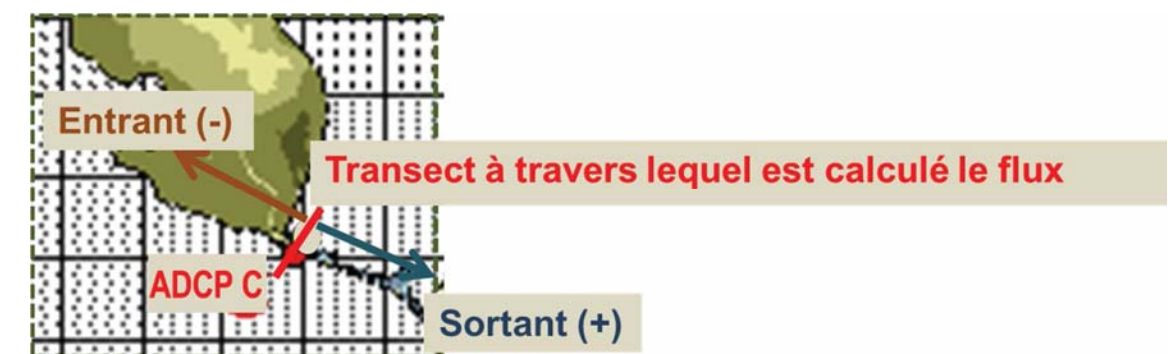


Figure 60. Localisation de la section transverse à travers laquelle sont calculées les débits

Comme le montrent les graphiques **Figure 61**, **Figure 62**, **Figure 63**, les flux calculés en situations actuelle et aménagée sont identiques sur le mois de mars et plus généralement toute la période (non présentée dans sa totalité) simulée, excepté pendant la tempête du 5 au 9 mars 2013.

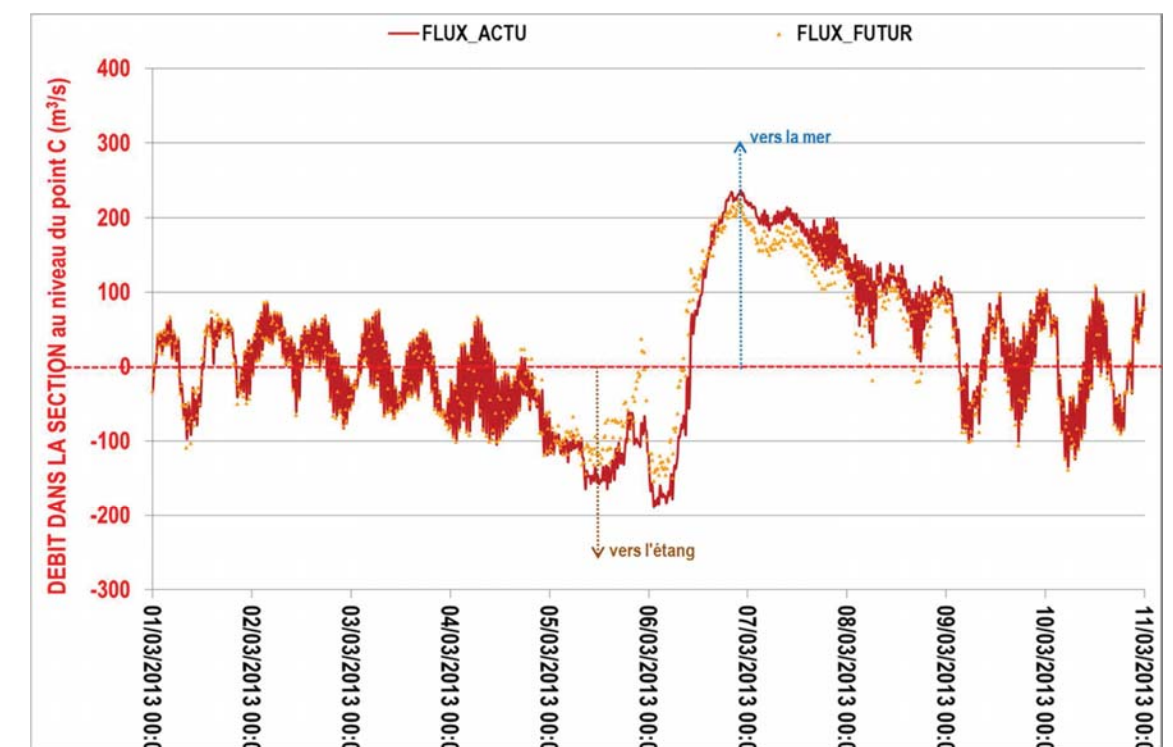


Figure 61. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 01/03/2013 au 11/03/2013

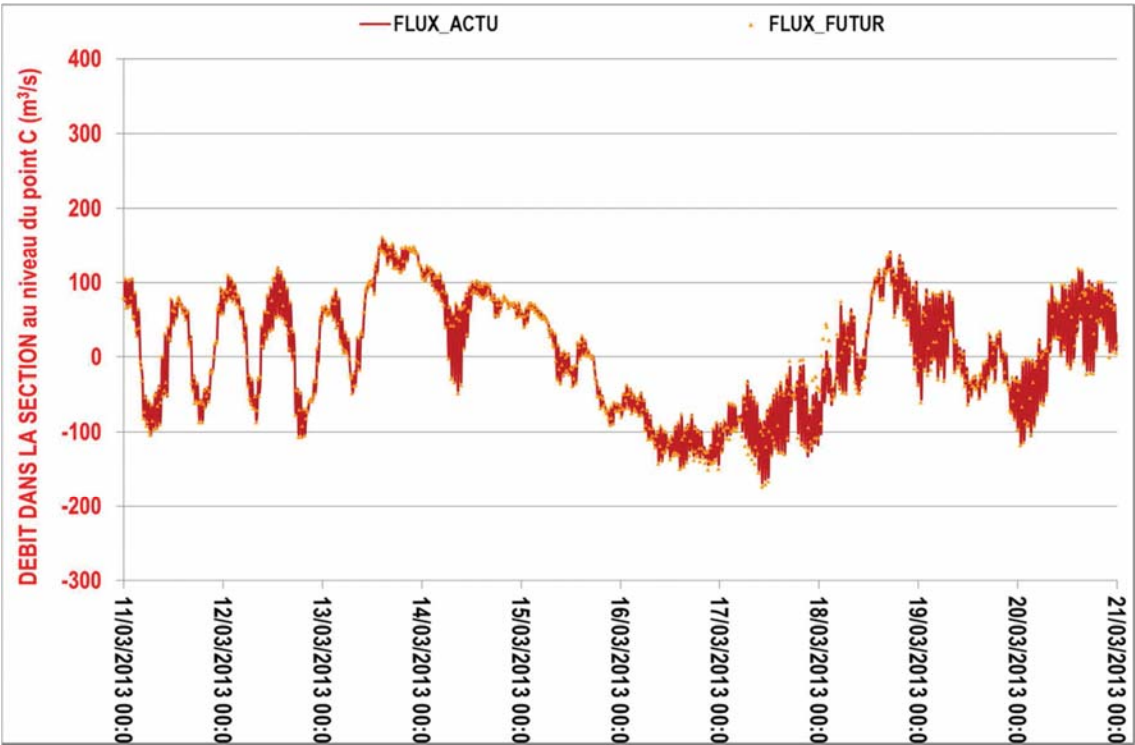


Figure 62. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 11/03/2013 au 21/03/2013

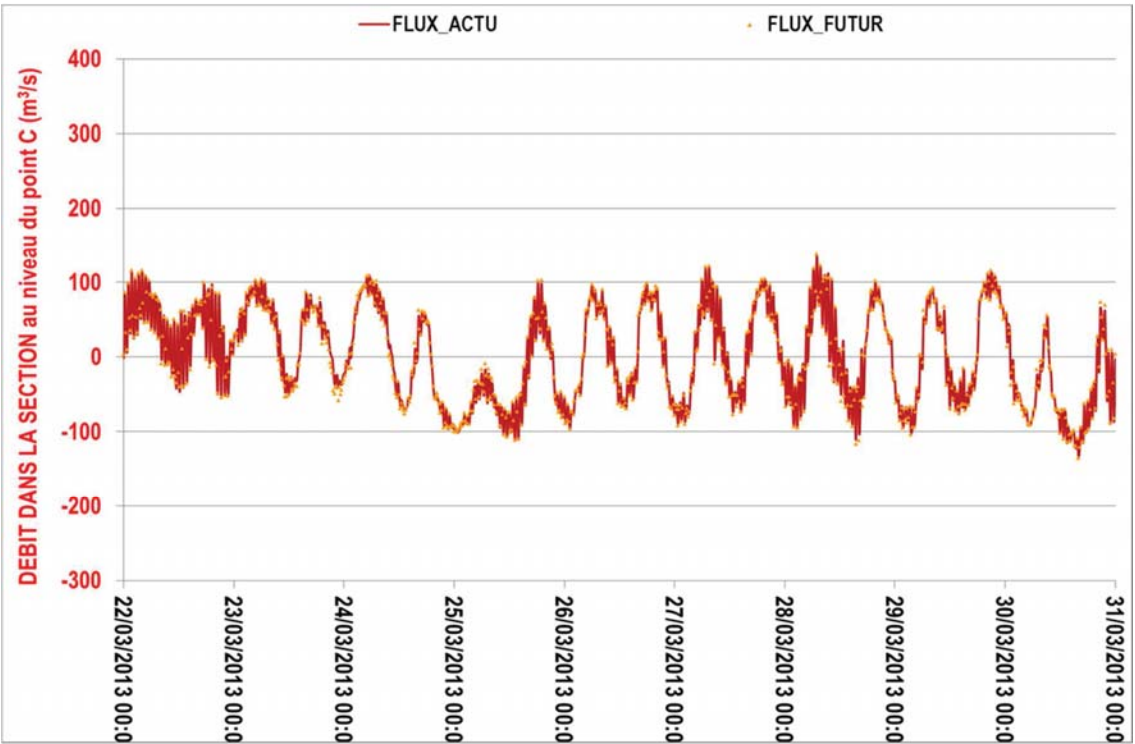


Figure 63. Comparaison des débits transitant par la section, en situations actuelle et aménagée, du 22/03/2013 au 31/03/2013

Le tableau **Figure 64** synthétise, pour la situation actuelle et la situation aménagée, les débits, entrants et sortants de l'étang, cela pendant la tempête, puis sur les 6 mois simulés.

	FLUX tempête sortant (d'étang vers mer)	FLUX tempête entrant (de mer vers étang)
ACTUEL :	40618.0	-22368.7
FUTUR :	36222.8 (-10.8%)	-18010.9 (-19.5%)

	FLUX total sortant (d'étang vers mer)	FLUX total entrant (de mer vers étang)
ACTUEL :	459673.9	-378916.2
FUTUR :	457081.9 (-0.56 %)	-376778.6 (-0.56%)

Figure 64. Comparaison des débits entrants et sortants de l'étang, en situations actuelle et future, pendant la tempête uniquement, puis sur les 6 mois simulés

Ainsi, pendant la tempête exceptionnelle, les chasses hydrauliques de l'étang vers la mer sont atténuées d'à peine 10 % sur 1 jour par l'extension du port ; cumulé sur les 6 mois simulés, le volume expulsé de l'étang vers la mer est très peu impacté par l'extension portuaire et atténué de seulement 0.56%.

Bien que la modélisation de l'envasement de l'étang ne soit pas envisagée dans le cadre des modélisations numériques des impacts hydro-sédimentaires du projet, il est possible, sur la base des résultats, de déduire que les flux sédimentaires au sein de la lagune ne seront que très minoritairement impactés par l'extension du port de Port-La Nouvelle.

6.3. HYDRODYNAMIQUE MARITIME EN CONFIGURATION FUTURE

L'emprise du futur port pénètre plus avant dans le domaine maritime, par rapport à la situation actuelle.

Il est donc intéressant d'analyser l'hydrodynamique développée au voisinage des (futures) digues principale et secondaire, selon les cinq scénarii hydrométéorologiques caractéristiques définis précédemment.

Des cartes de champs de vitesse instantanée sont produites heure par heure pour les 5 scénarii, complétées de la hauteur de houle au large correspondante (courbe rouge), ainsi que des niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau (courbes bleue et marron superposées).

L'ANNEXE 3 présente la chronique complète, heure par heure, des champs de vitesse pendant les 6 jours du scénario de tempête (scénario n°2).

6.3.1. Hydrodynamique maritime pendant le scénario « calme » (n°5)

Par temps calme, caractérisé par un faible vent et une hauteur significative de la houle inférieure à 0.5 m au large, les courants générés dans le domaine maritime, au voisinage du port, sont très faibles.

La **Figure 65** illustre bien cette faible dynamique, les courants n'excédant pas 0.2 m/s aux abords des digues principale et secondaire, et 0.1 m/s dans la passe d'entrée.

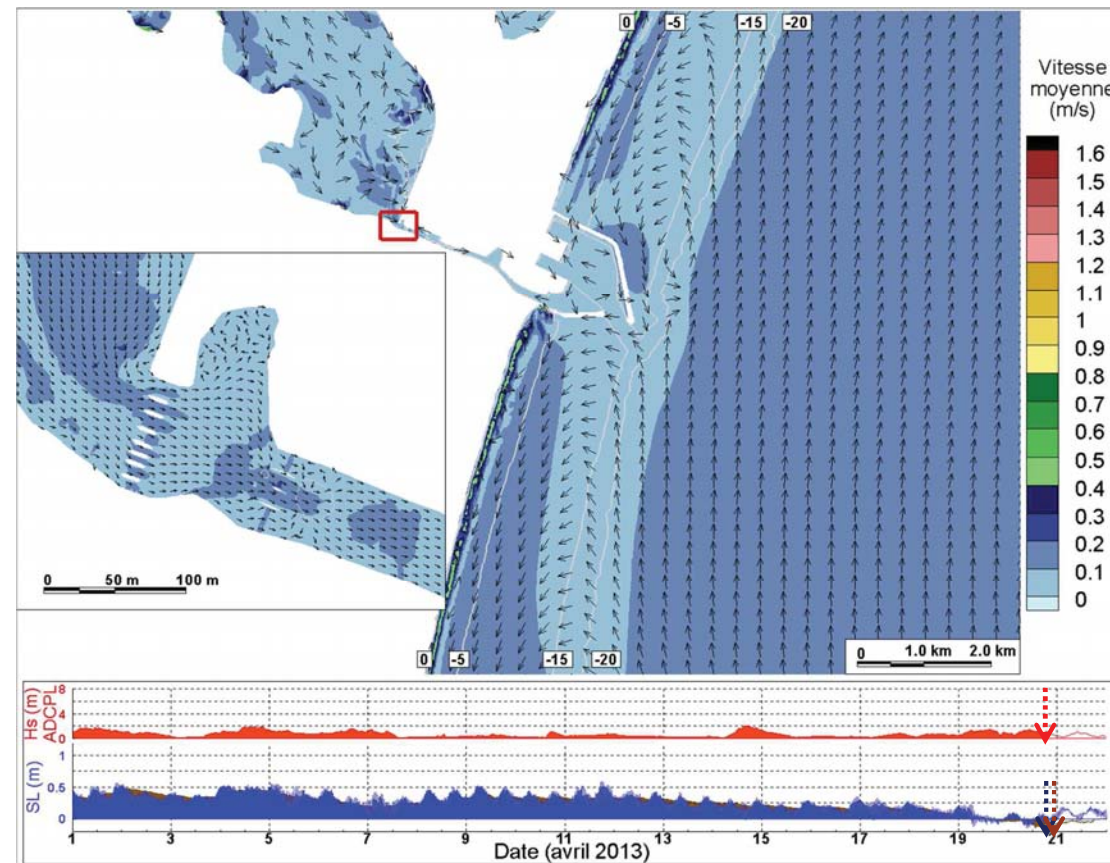


Figure 65. Scénario n°5 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

6.3.2. Hydrodynamique maritime pendant le scénario « agité » (n°4)

Par temps faiblement agité, caractérisé par un vent moyen et une hauteur significative de la houle inférieure à 2 m au large, les courants générés dans le domaine maritime, au voisinage du port, sont généralement faibles.

La Figure 66 illustre le courant littoral maximal portant vers le sud, survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°4 : les courants déviés par la nouvelle digue portuaire sont accélérés et la vitesse le long de la digue principale atteint ponctuellement 0.6 m/s.

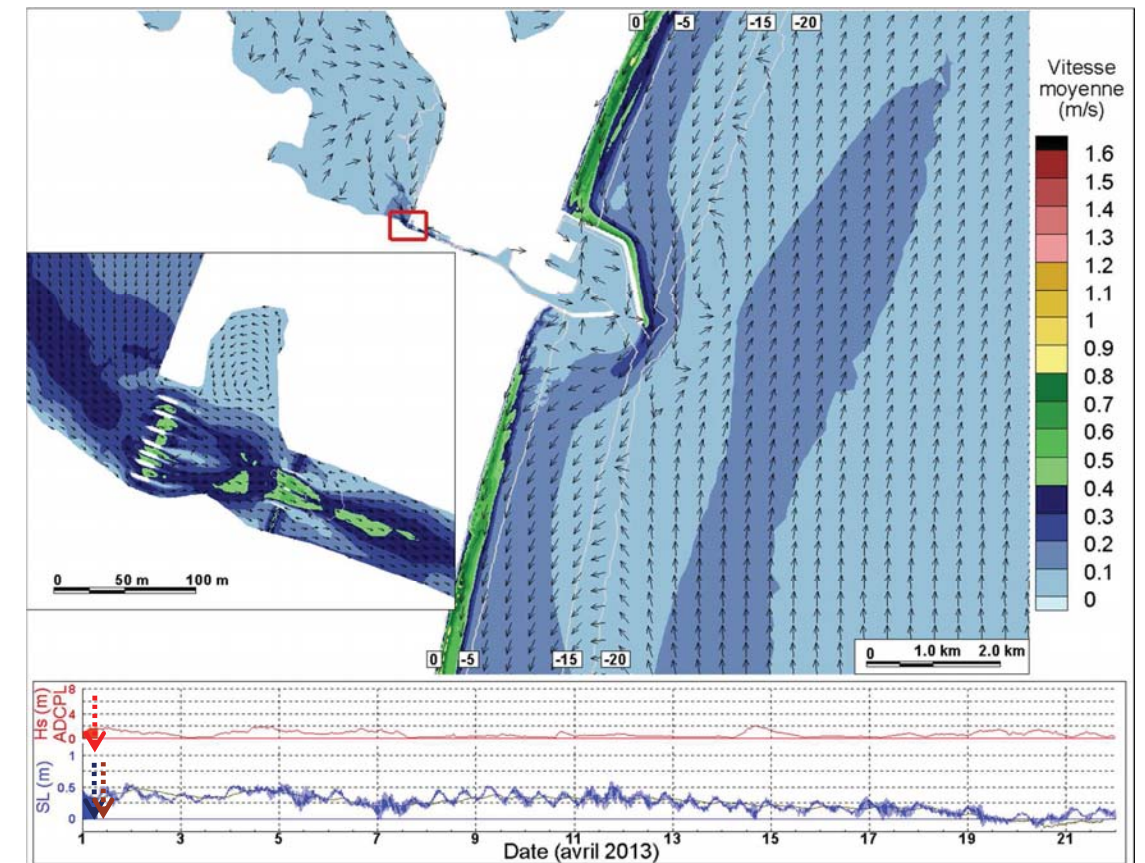


Figure 66. Scénario n°4 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

La Figure 67 illustre quant à elle le courant littoral maximal portant vers le nord, survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°4 : la vitesse le long de la digue secondaire n'excède pas 0.4 m/s, et, dans la passe d'entrée, le courant transverse n'excède pas 0.3 m/s.

A noter le développement de courants giratoires « dans l'ombre » de la digue principale (intensité inférieure à 1.0 m/s), effet du décollement de la veine liquide au niveau du musoir de la digue.

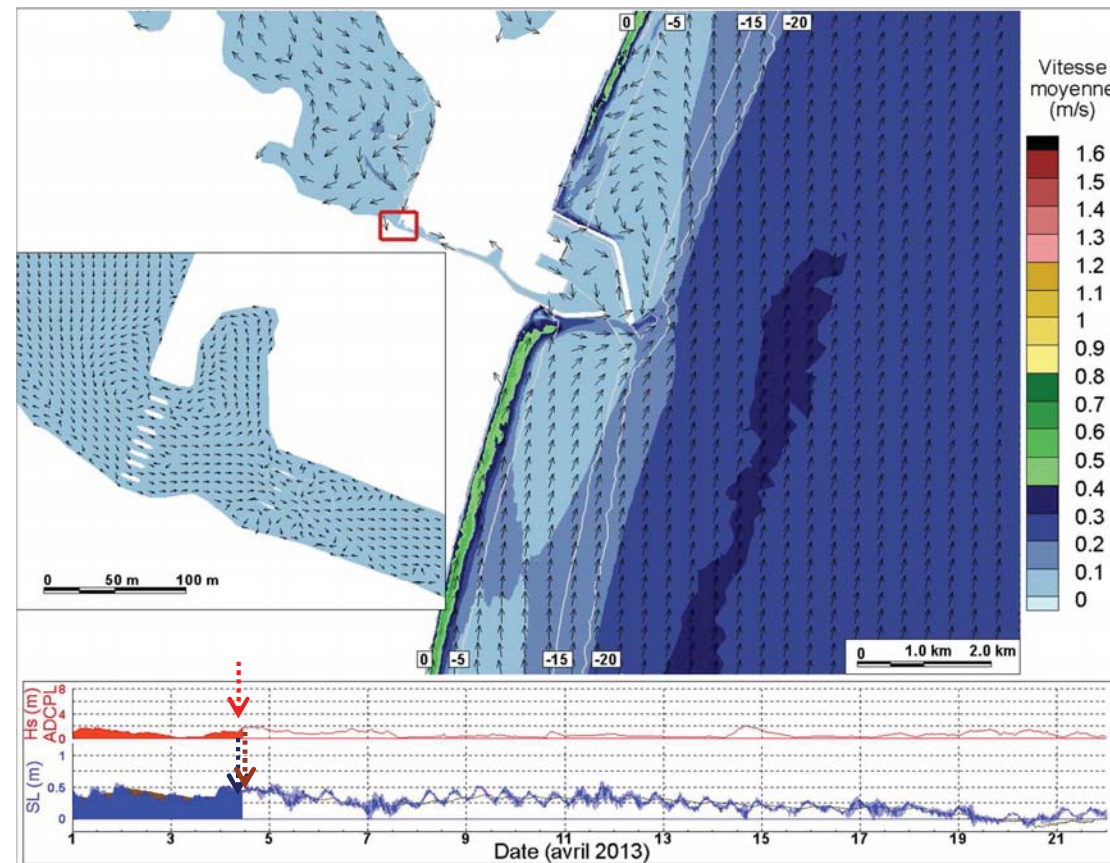


Figure 67. Scénario n°4 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

6.3.3. Hydrodynamique maritime pendant le scénario « très agité » (n°3)

Par temps très agité, caractérisé par un vent moyen et une hauteur significative de la houle atteignant 3m au large, les courants générés dans le domaine maritime, au voisinage du port, se renforcent.

La **Figure 68** illustre le courant littoral maximal portant vers le nord, survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°3 : la vitesse le long de la digue secondaire atteint ponctuellement 0.8 m/s. Au niveau du chenal d'entrée, plus profond, le courant transverse généré est atténué et n'excède plus 0.6 m/s.

La **Figure 69** illustre le courant littoral maximal portant vers le sud, survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°3 : la vitesse le long de la digue principale atteint ponctuellement 1m/s au coude de la digue et 0.8 m/s au musoir.

Les courants tourbillonnaires que se développent à l'aval des musoirs des digues sont particulièrement marqués.

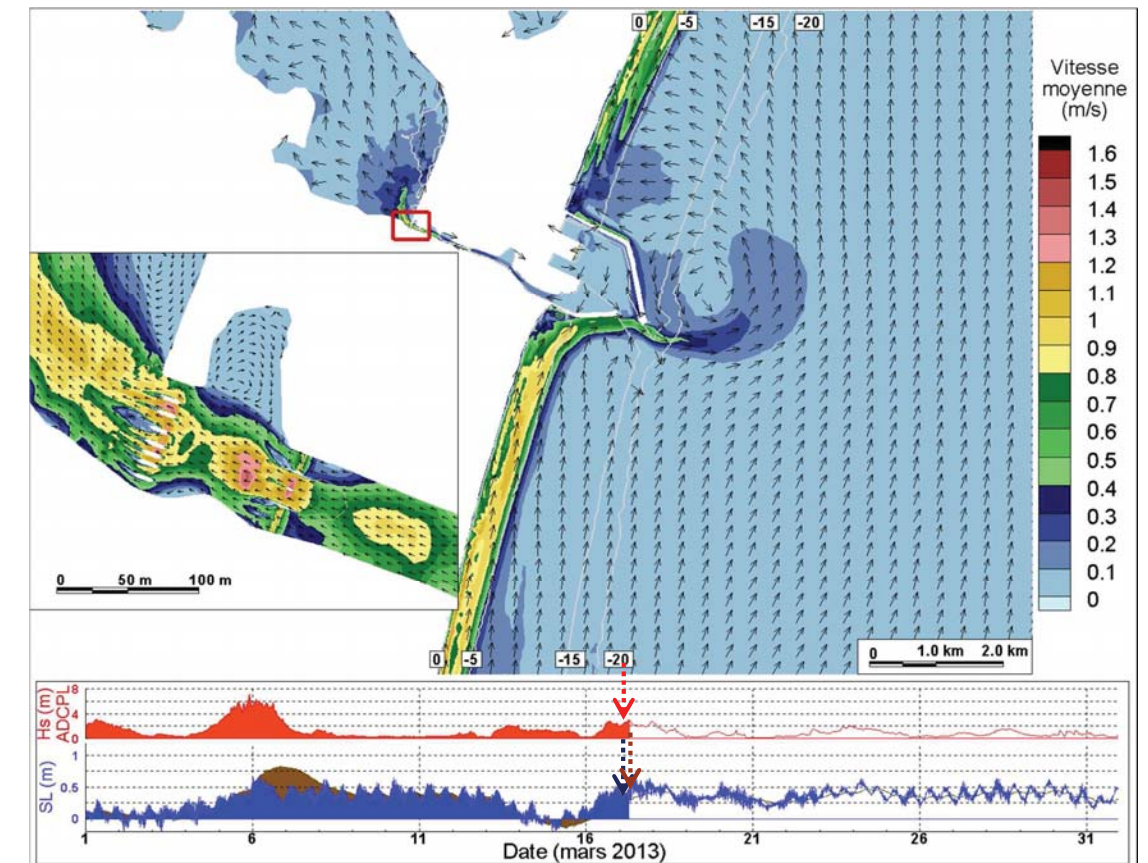


Figure 68. Scénario n°3 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

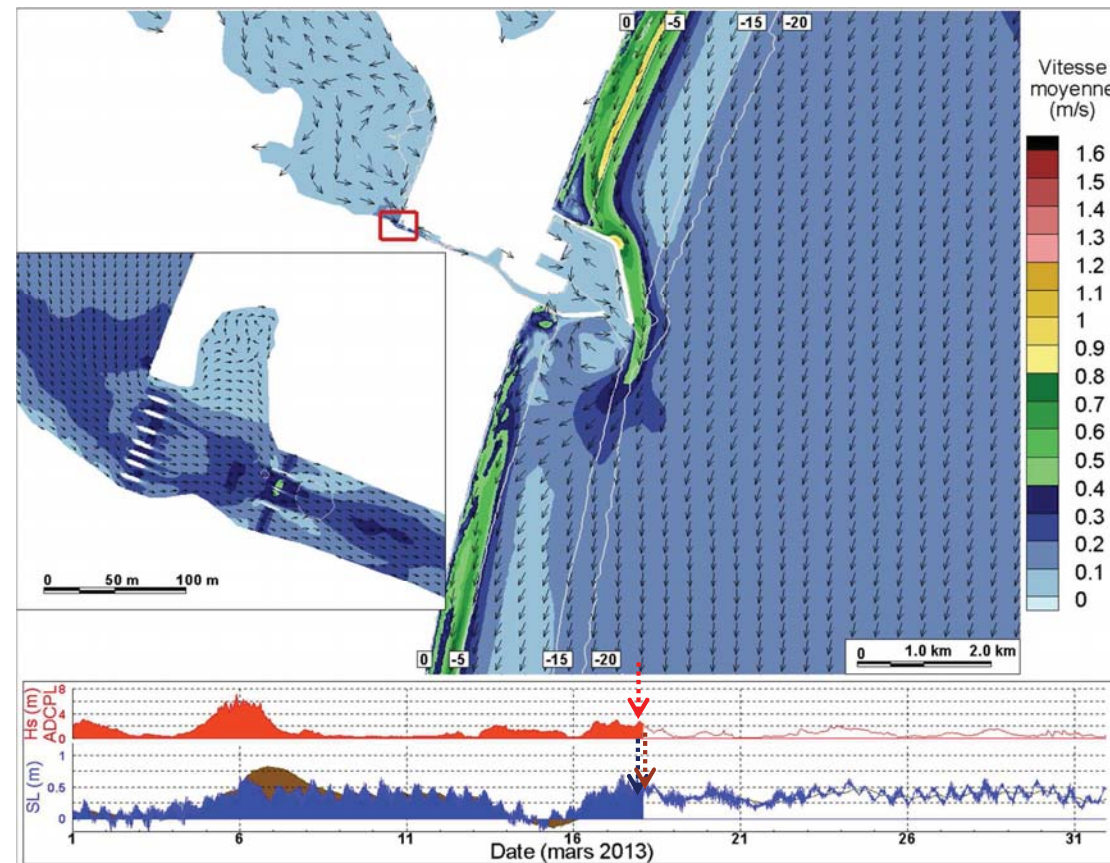


Figure 69. Scénario n°3 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

6.3.4. Hydrodynamique maritime pendant le scénario de « tramontane » (n°1)

Lors d'un épisode de tramontane, caractérisé par un vent fort et une faible houle, les courants générés dans le domaine maritime, au voisinage du port, sont faibles, aucun courant littoral ne se développant durant la période.

Cependant, la **Figure 70** illustre le courant général maximal portant vers le sud, survenu pendant les 5 jours que dure le scénario n°1, et qui s'approche fortement de la côte de sorte qu'une accélération des vitesses se crée ponctuellement au musoir de la digue principale. La vitesse alors générée atteint très ponctuellement 0.6 m/s.

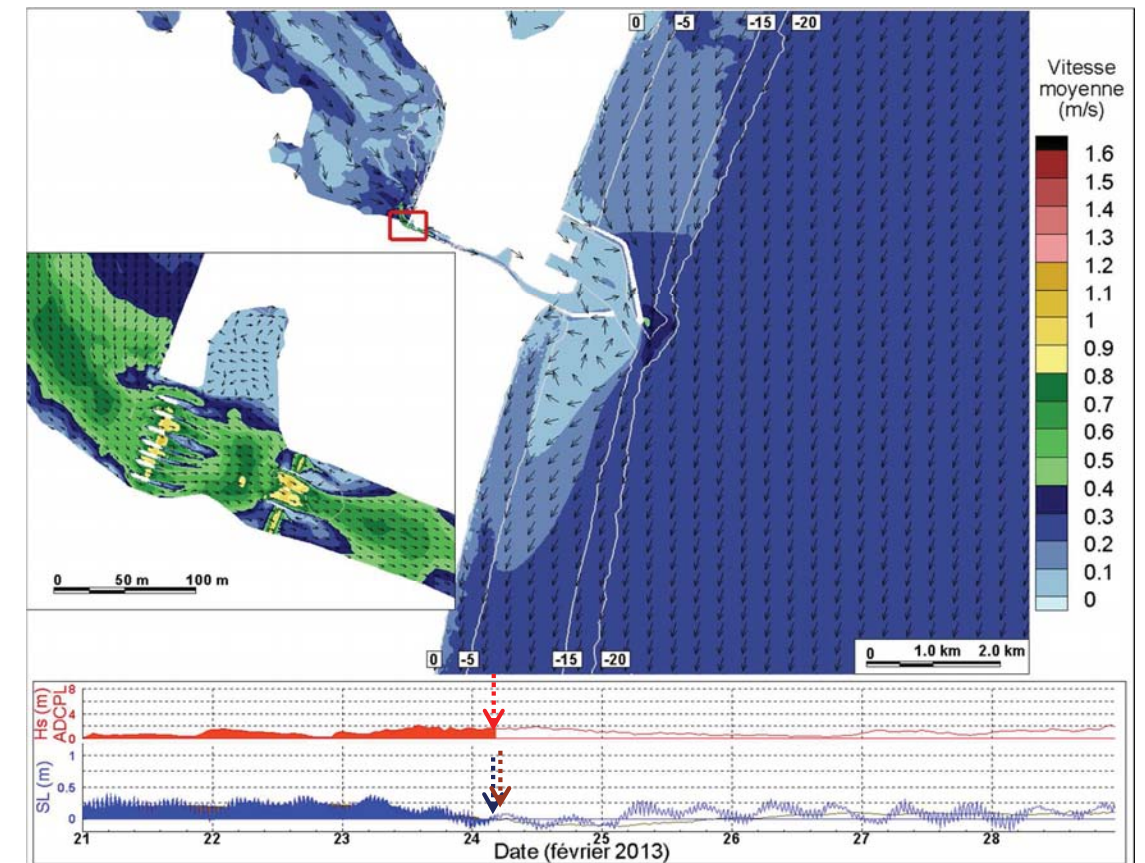


Figure 70. Scénario n°1 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant général fort portant vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

6.3.5. Hydrodynamique maritime pendant le scénario de « tempête » (n°2)

Lors d'un épisode de tempête, l'hydrodynamique maritime est très chaotique : les houles fortes au large génèrent sur les petits fonds des courants littoraux intenses qui basculent fréquemment du nord vers le sud et inversement. Parallèlement, un courant général portant vers le sud s'établit durablement et son intensité peut atteindre 1m/s par des fonds de -30 m IGN69.

L'ANNEXE1 présente la chronique complète, heure par heure, des champs de vitesse calculés pendant les 6 jours du scénario de tempête (n°2).

Issue de cette chronique, la **Figure 71** illustre le courant littoral maximal portant vers le nord (établi zone de déferlement), survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°2, qui est intercepté par la digue secondaire. La vitesse générée le long de la digue atteint 1.1 m/s et traverse le chenal d'entrée avec une intensité de 1 m/s.

Les courants tourbillonnaires qui se développent au Sud de la passe d'entrée sont importants (intensité de 0.5 m/s).

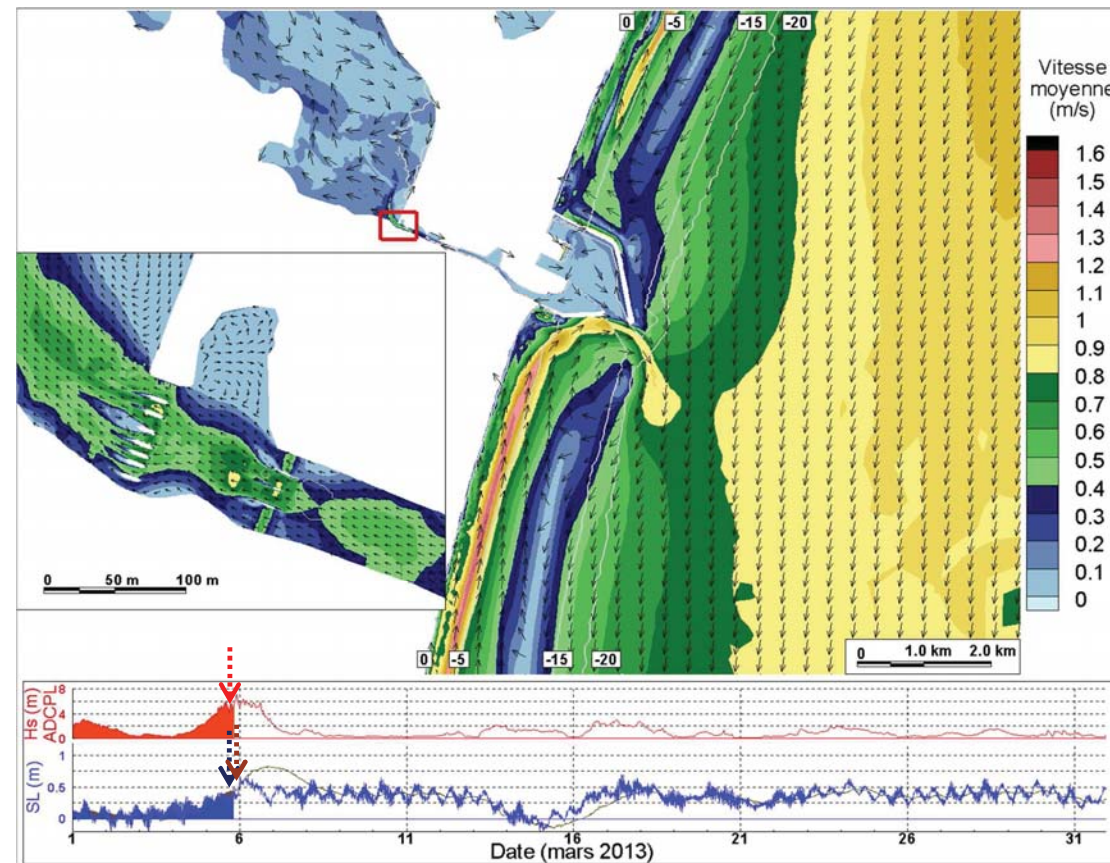


Figure 71. Scénario n°2 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral portant vers le nord, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbe bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

Egalement issue de la chronique des champs de vitesse présentés en ANNEXE 3, la **Figure 72** illustre le courant littoral maximal portant vers le sud, survenu pendant les 6 jours que dure le scénario n°2 : ce courant est intercepté par la digue principale et se renforce au coude de la digue et au musoir, atteignant ponctuellement 1.6 m/s.

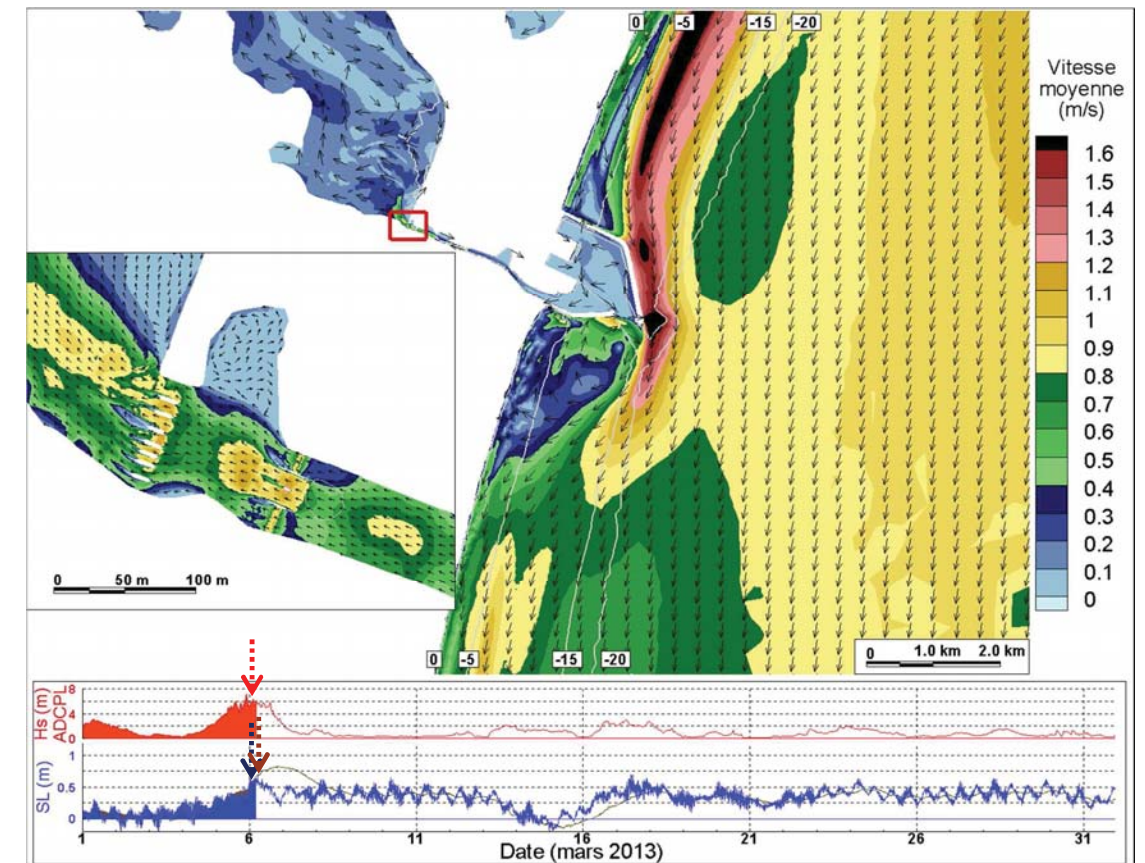


Figure 72. Scénario n°2 – Champ de vitesse instantanée en configuration FUTURE – Courant littoral portant vers le sud, courbe rouge, hauteur de houle au large correspondante, courbes bleue et marron, niveaux de surface libre correspondants dans le nouveau bassin et en amont du grau respectivement

6.4. IMPACT SUR L'HYDRODYNAMIQUE MARITIME

Pour évaluer l'impact du futur port sur l'hydrodynamique maritime, des cartes d'impact du projet en termes de vitesse (différentiel maximum et différentiel moyen) ont été établies, pour chaque scénario, en calculant le différentiel de vitesse en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle. Ces cartes d'impact font l'objet des **Figure 73** à **Figure 77**.²

6.4.1. Impacts pendant le scénario « calme » (n°5)

Par temps calme, les impacts de la future configuration portuaire sur l'hydrodynamique maritime sont faibles. La **Figure 73** présente le maximum d'impact sur la vitesse survenu pour chaque nœud du domaine de calcul maritime : l'impact est d'emprise et de magnitude faibles. Très localement à l'ombre des digues principale et secondaire, par très faibles profondeurs, les vitesses sont ponctuellement réduites de 0.1 m/s.

² Dans un premier temps est réalisée la soustraction des résultats des calculs FUTUR-ACTUEL, pas de temps par pas de temps. Ensuite cette chronique temporelle d'impacts instantanés est analysée: en chaque nœud du domaine, est retenu l'écart maximum instantané FUTUR-ACTUEL obtenu à ce nœud durant la chronique considérée (période 1 à 5). De fait, un léger déphasage temporel peut avoir une forte influence sur ce différentiel.

L'impact moyenné sur la période de 6 jours est, quant à lui, quasi-nul.

6.4.2. Impacts pendant le scénario « agité » (n°4)

Par temps faiblement agité, l'emprise des impacts maximaux de la future configuration portuaire sur l'hydrodynamique maritime s'étend et atteint près de 2 km de part et d'autre du futur port, comme l'illustre la **Figure 74**.

La magnitude des impacts augmente également. L'atténuation des vitesses, à l'ombre des digues de part et d'autre du futur port, atteint ponctuellement 0.6 m/s pour des profondeurs inférieures à 5 m ; elle est de 0.1 m/s pour des profondeurs comprises entre 5 et 15 m. Consécutivement, les courants sont accélérés le long de la digue principale, de près de 0.6 m/s.

L'impact moyenné sur la période de 6 jours est quant à lui quasi-nul.

6.4.3. Impacts pendant le scénario « très agité » (n°3)

Par temps très agité, la magnitude des impacts augmente par rapport au scénario précédent. Comme l'illustre la **Figure 75**, l'emprise reste, quant à elle, quasiment identique, hormis une étendue de la zone d'ombre par petits fonds au nord du futur port.

Pour ce scénario, prédominé par des courants littoraux portant vers le sud, l'accélération des courants le long de la digue principale est ponctuellement forte, de près de 0.6 m/s sur le linéaire extérieur de la digue et de 0.8 m/s au niveau du coude. Une accélération des courants le long de la digue secondaire est générée également, engendrant des courants traversiers dans le chenal d'entrée du futur port.

Cependant, l'impact moyenné sur la période de 6 jours est quant à lui quasi-nul.

6.4.4. Impacts pendant le scénario « tramontane » (n°1)

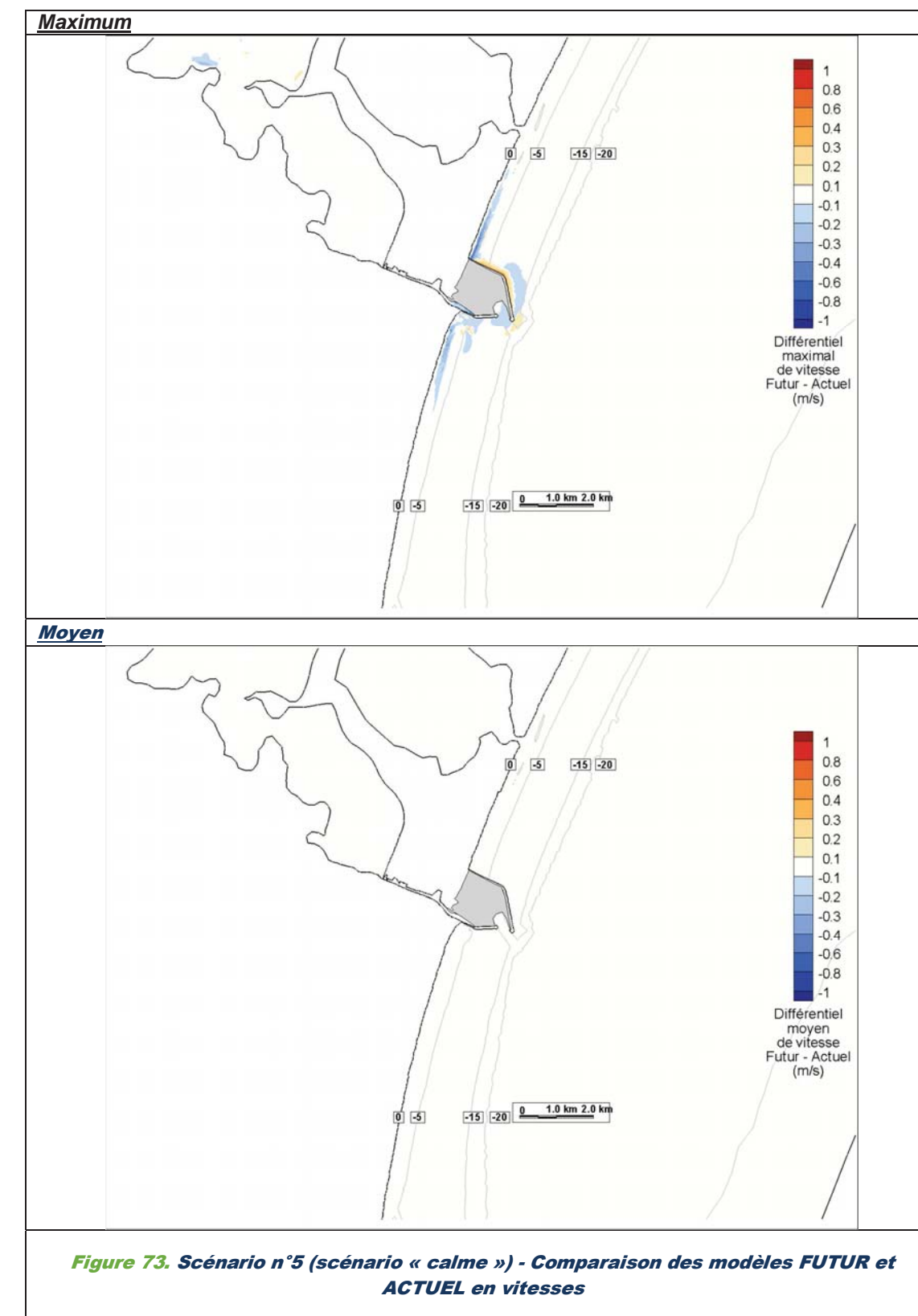
Par épisode de tramontane, l'impact illustré sur la **Figure 76** est faible et présente les mêmes caractéristiques que celui du scénario n°5.

6.4.5. Impacts pendant le scénario « tempête » (n°2)

Lors de l'épisode de tempête (d'occurrence décennale), l'impact maximal du futur port est potentiellement fort, en emprise et magnitude. Comme l'illustre la **Figure 77**, une accélération des vitesses se produit depuis le coude de la digue principale jusqu'au musoir. Les courants traversiers dans le chenal d'entrée sont amplifiés. Les zones d'ombre sont plus étendues et traduisent la déviation de courant littoraux qui, au pic de la tempête, sont particulièrement intenses. Au pic de la tempête, ces forts courants sont décollés de la côte par les digues et n'empruntent plus la même veine hydraulique qu'en configuration actuelle.

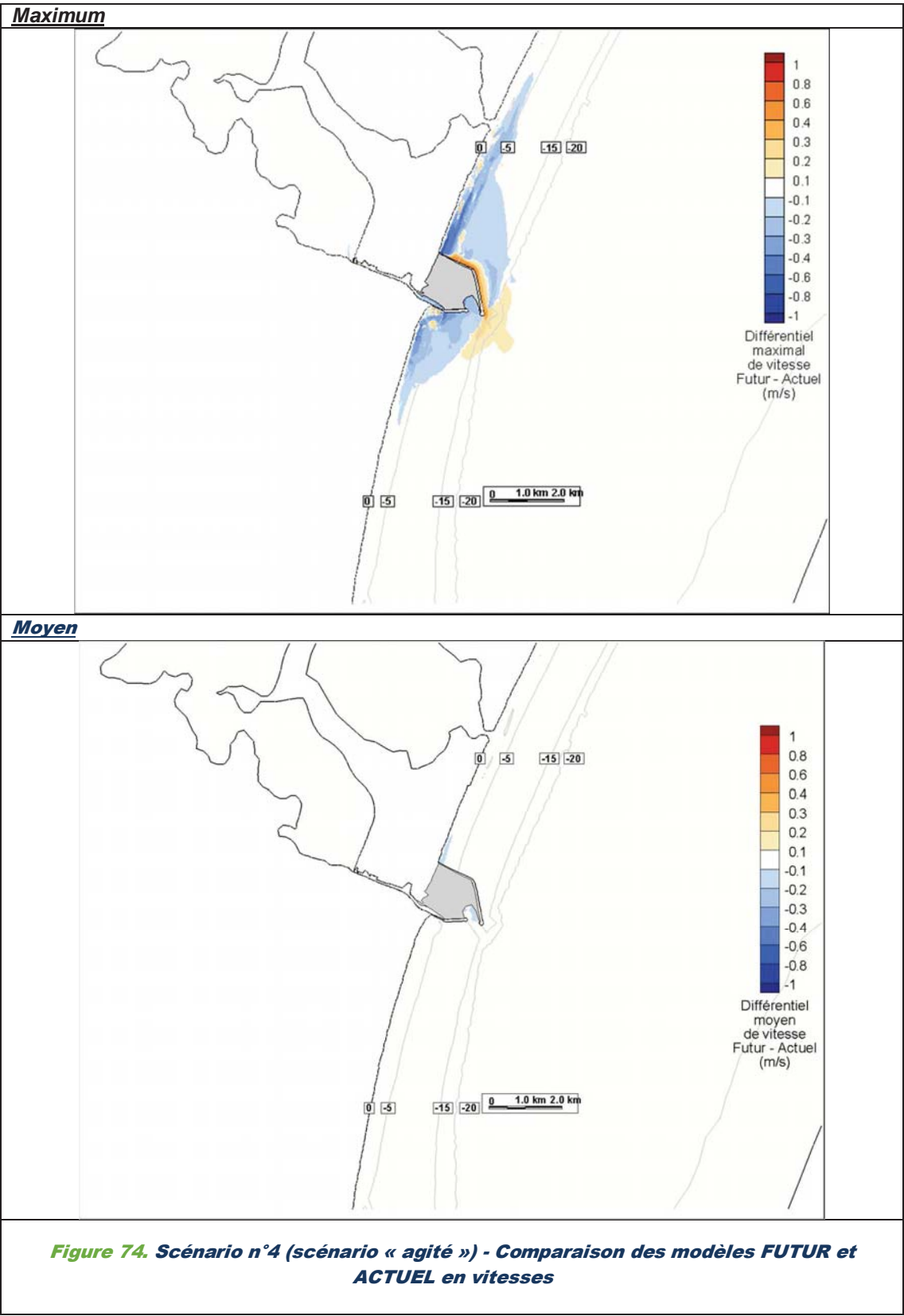
L'impact cartographié est à pondérer par le caractère exceptionnel de l'évènement. Du plus, le différentiel de vitesse en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle, se fait à dates identiques. Cela a pour conséquence qu'un léger décalage temporel des maximums futurs par rapport aux maximums actuels entrainera un différentiel semble important quand bien même les maximums futur et actuel seraient équivalents.

Cependant, moyenné sur la période de 6 jours, l'impact est très faible.



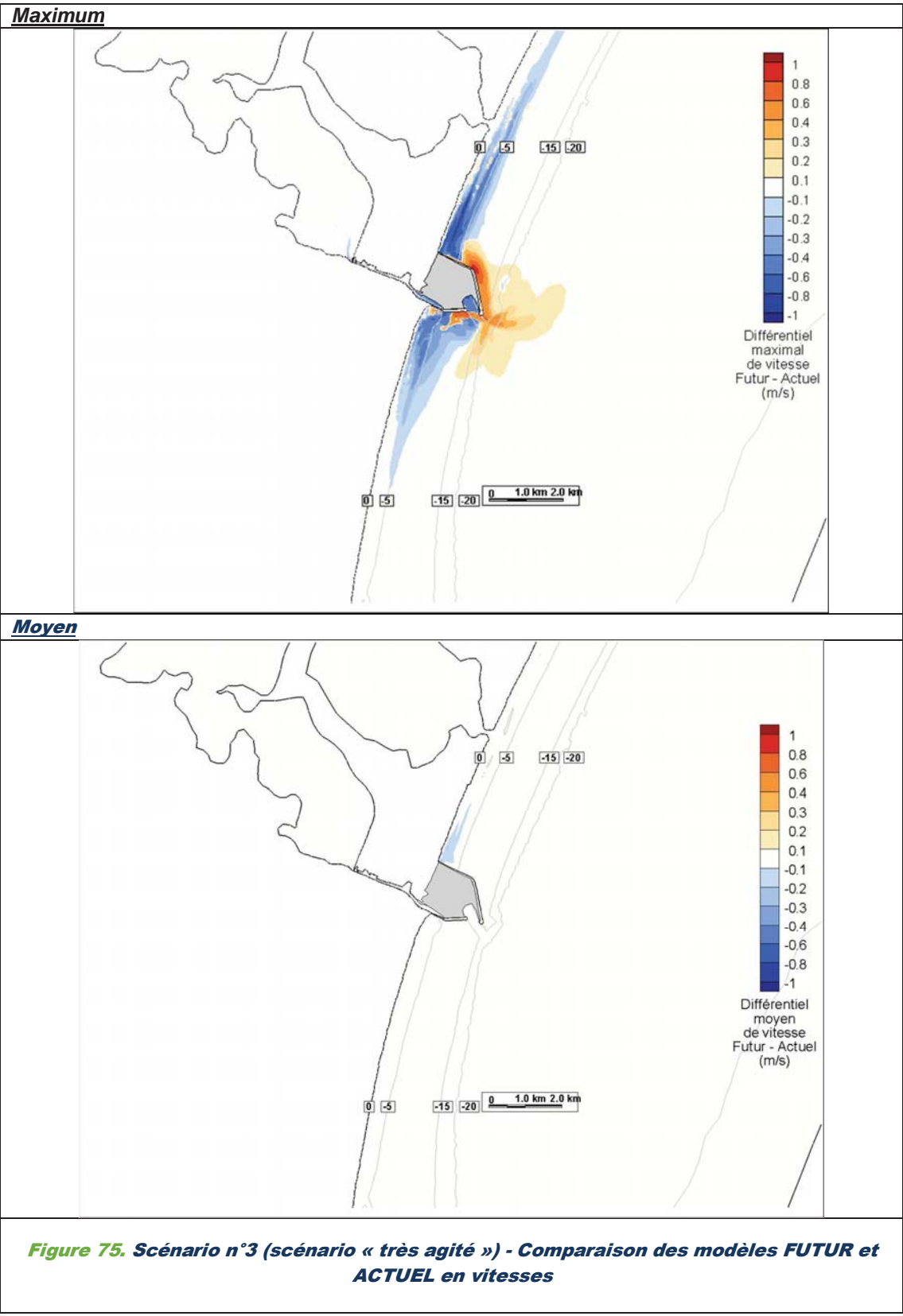
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



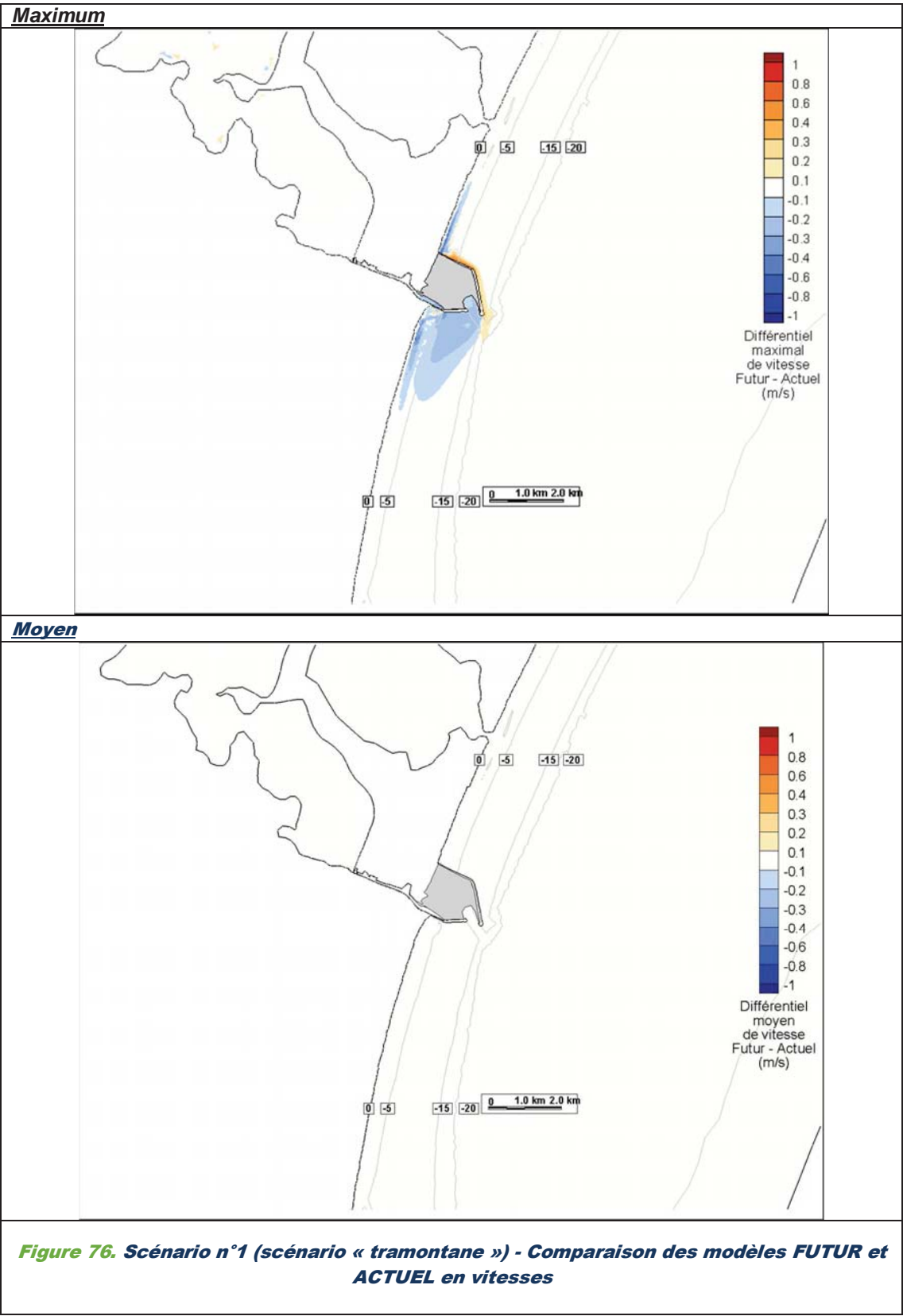
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



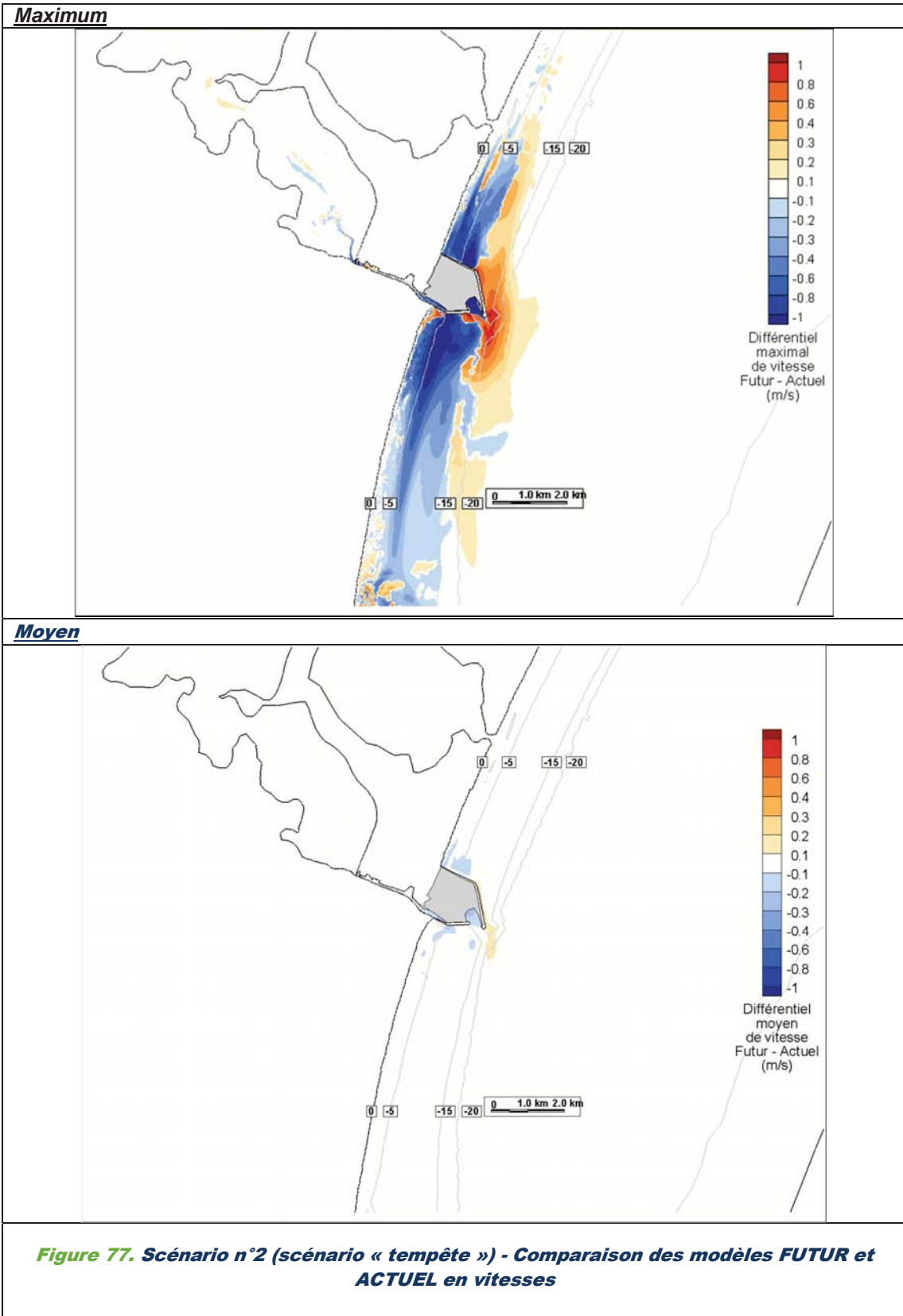
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET



6.5. CONCLUSION QUANT A L'IMPACT HYDRODYNAMIQUE DU FUTUR PORT

En conclusion, lors des épisodes de Tramontane ou lors d'épisodes agités à très agités, l'impact du port sur les échanges mer-étang sera faible, de même pour ce qui concerne l'hydrodynamique dans le domaine maritime, sauf bien sûr localement, au droit des futures digues en mer.

Des cinq périodes caractéristiques étudiées, seule celle qui correspond à la forte tempête de début Mars 2013 (scénario n°2) montre quelques impacts.

Lors de la tempête, le futur port engendre :

- Une limitation des entrées d'eaux marines dans l'étang (par rapport à la situation actuelle), une réduction du remplissage de l'étang, des niveaux plus bas qu'en configuration actuelle, et des vitesses d'écoulement réduites pour le système étang-grau ;
- Des effets des digues extérieures, notamment le développement de zones d'ombre, de courants tourbillonnaires et de zones d'accélération des courants marins le long des digues et dans le chenal (courants traversiers).

Des impacts, lors de cette tempête, le long du littoral au sud et au nord du port sont aussi observés. Ces impacts, engendrés par des conditions hydrométéorologiques rares (scénario n°2 - tempête très forte – période de retour annuelle, voire décennale), s'avèrent très peu durables dans le temps **et sont à pondérer par le caractère exceptionnel de l'évènement. Du plus, le différentiel de vitesse en chaque nœud entre les résultats de la configuration future et ceux de la configuration actuelle, se fait à dates identiques. Cela a pour conséquence qu'un léger décalage temporel des maximums futurs par rapport aux maximums actuels entrainera un différentiel qui semble important quand bien même les maximums futur et actuel seraient équivalents.**

7. LE MODÈLE DE DEPOT DE FINES

Le modèle hydrodynamique tridimensionnel de Port-La Nouvelle a été calé sur l'ensemble des mesures de courant et de niveau couvrant la partie maritime, le grau et l'étang de Bages-Sigean.

Ce modèle hydrodynamique reproduit de façon très satisfaisante les échanges hydrauliques mer-étang, de sorte que la modélisation hydro-sédimentaire des fines dans le grau peut maintenant être entreprise.

Il va s'agir de simuler les 6 mois de la campagne de mesures (du 21/02/2013 au 15/08/2013) **et de caler** les paramètres sédimentologiques de sorte à ce que les volumes de vase pure déposés par le modèle soit équivalents à la moitié des volumes moyens annuels de vase pure dragués, fournis par le pôle dragages de Port-La Nouvelle, cela au niveau de sept zones distinctes du grau.

7.1. DESCRIPTION DU MODELE DE DEPOTS DE FINES

Comme énoncé au paragraphe 2.2, les modèles utilisés dans le cadre de l'étude sont des modèles du système TELEMAC au développement duquel ARTELIA Eau & Environnement contribue par la mise au point, notamment, de modules spécifiques dans le domaine hydro-sédimentaire.

La partie sédimentaire du modèle numérique de dépôt de fines (transport en suspension, dépôt, érosion, évolution et tassement du lit éventuel) est résolue directement dans TELEMAC 3D. Le modèle résout le transport d'une seule classe de sédiment fin.

La résolution de l'équation de transport du sédiment en suspension est tridimensionnelle : ainsi la stratification du sédiment dans la colonne d'eau est représentée.

7.1.1. Emprise du modèle

L'emprise du modèle de dépôt de fines est la même que celle du modèle hydrodynamique et s'étend, pour rappel, de Cap Leucate à Narbonne-Plage, soit sur près de 35 km de linéaire côtier.

La **Figure 1** page 4 présente l'emprise du modèle.

7.1.2. Bathymétrie et maillage du modèle

La bathymétrie et le maillage du modèle de dépôt de fines sont identiques à ceux du modèle hydrodynamique.

Pour rappel, afin de bien estimer les sections de passage au niveau des ouvrages en amont du grau et reproduire au mieux l'hydrodynamique du grau dans son ensemble:

- la zone au pied du pont ferroviaire a été maillée extrêmement finement, par des mailles de 1 m environ (le maillage et la bathymétrie du modèle au droit du pont ferroviaire sont présentés à la **Figure 7** de la page 7),
- la zone voisine de la passerelle a été maillée encore plus finement, recourant à des mailles de 0,5 à 1 m (le maillage et la bathymétrie du modèle au droit de la passerelle sont présentés à la **Figure 9** de la page 7),
- dans le reste du Grau, de la passerelle à l'avant-port, le maillage est uniforme, la taille de maille n'excède pas 10 m de sorte que la section hydraulique soit bien représentée (le maillage et la bathymétrie du modèle dans le grau sont présentés à la **Figure 10** de la page 8).

Les bathymétries intégrées dans le modèle sont conformes aux plafonds de dragages rappelés tableau 3 de la page 25 du rapport HYDRO-R01 « rapport relatif aux conditions hydro-sédimentaires sur site ».



Figure 78. Localisation des différentes zones du port

Zone	Superficie en eau (m²)	Linéaire de chenal (m)	Plafond (m ZH)
Zone des Petits Métiers	22 000	250	-4,0
Bassin de Pêche et plaisance	25 000	210	-6,6
Chenal et les Quais Est 1	17 500	320	-7,1
Chenal et les Quais Est 2	30 000	410	-8,6
Chenal et le Bassin à Pétrole	55 000	280	-8,7
Chenal aval	85 000	1 050	-8,7

Figure 79. Superficie et plafonds de dragage des différentes zones du port

7.2. FORCAGES OCEANO-METEOROLOGIQUES ET SEDIMENTAIRES ET HYPOTHESES DU MODELE DE DEPOTS DE FINES

7.2.1. Introduction

Ce chapitre présente les données utilisées et les méthodologies adoptées pour les différents forçages océano-météorologiques et sédimentaires appliqués au modèle de dépôts de fines.

7.2.2. Mesures in situ

La Figure 80 localise les turbidimètres installés pendant la campagne de mesures qui a débutée fin février 2013 et qui s'est achevée mi-août 2013.

Sont disposés :

- 1 turbidimètre en amont du grau, installé le 19 février 2013 (position donnée par le point vert TC sur la Figure 80). Il mesure en continu la turbidité (en NTU) d'origine majoritairement fluviale,
- 1 turbidimètre en mer, installé le 4 mars 2013 (position donnée par le point vert TM sur la Figure 80). Il mesure en continu la turbidité NTU dans le domaine maritime au voisinage du chenal d'entrée du port.

Parallèlement, cinq mesures ponctuelles de Matières En Suspension (MES) ont également été réalisées le long du Grau de Port-La Nouvelle.

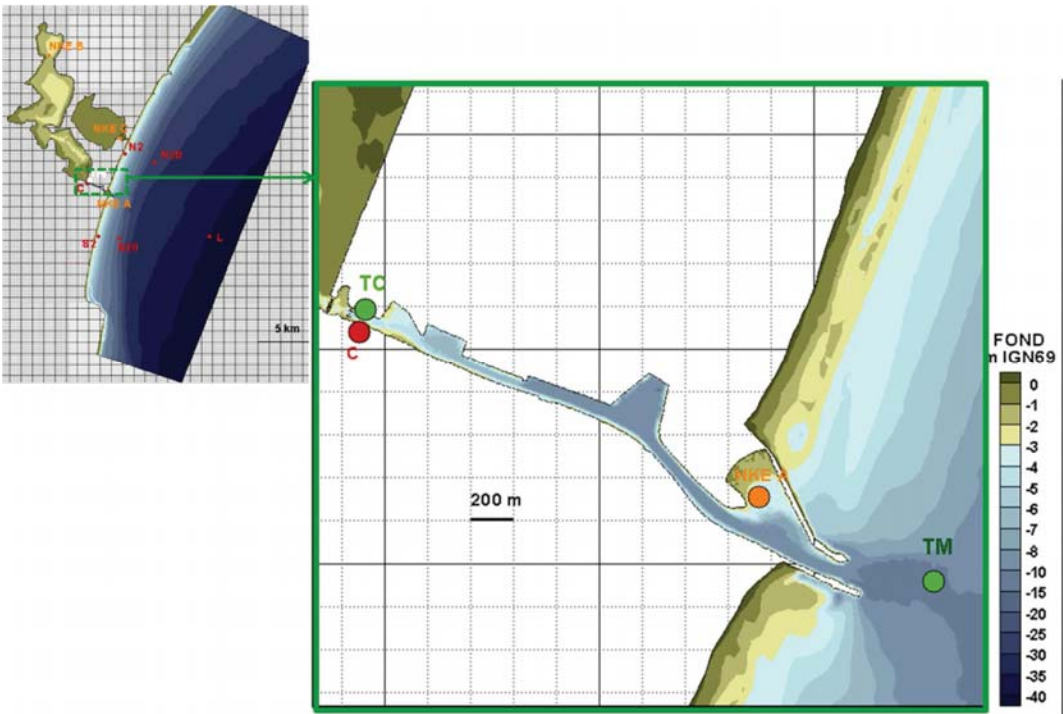


Figure 80. Localisation des turbidimètres déployés pendant la campagne de mesures

7.2.3. Analyse des mesures in situ

Les mesures ponctuelles de MES ont permis à CREOCEAN d'établir une loi de corrélation entre turbidité et concentration en MES. Cette étape est décrite dans le rapport de février 2014 présentant les résultats de la campagne de mesures hydrodynamiques [8].

La loi établie qui permet de convertir les mesures de turbidité des deux turbidimètres en chroniques de concentration de MES est rappelée ici.

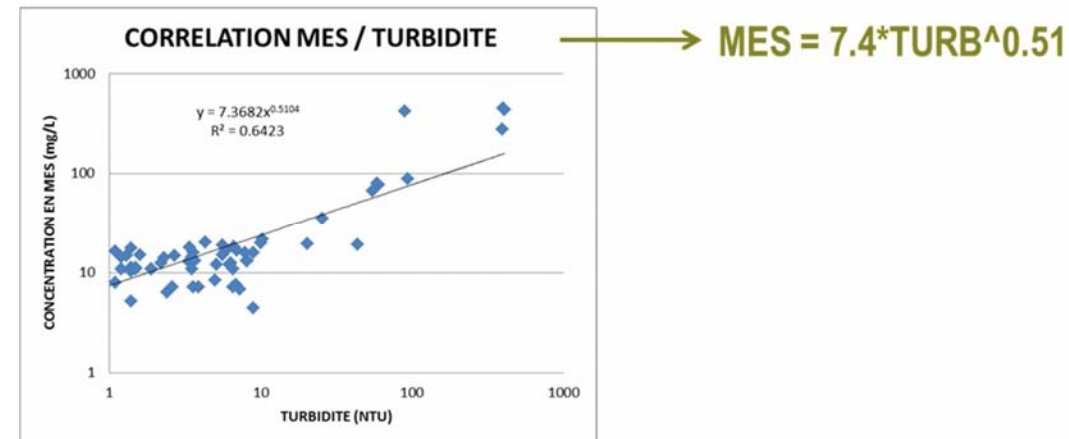


Figure 81. Corrélation entre turbidité et concentration en MES au sein du port

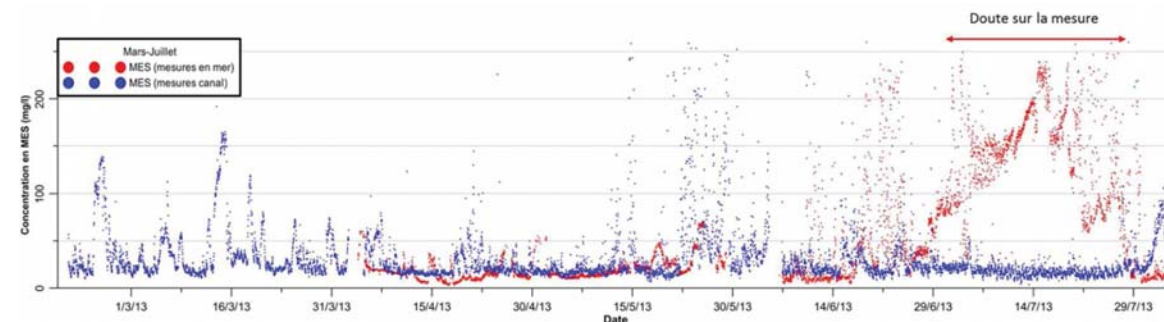


Figure 82. Illustration des mesures de turbidité effectuées en TC et TM et convertie en concentration en MES (mg/l)

Plus d'éléments relatifs à la campagne de mesure de turbidité sont disponibles dans le rapport « Campagne de mesures hydrodynamiques » rédigé par CREOCEAN, 2014 [8].

7.2.4. Forçages hydrodynamiques

Les forçages hydrodynamiques sont tels que décrits lors de la présentation du calage hydrodynamique, en niveaux et courants, vent, apports pluviométriques de la Robine et des bassins versants, évaporation, houle, à la différence près que la période concernée n'est plus les mois de mars et avril 2013 mais la période du 21/02/2013 au 15/08/2013. Ainsi, seront considérés les 6 mois de chronique de niveau, courant, vent, pluie, houle en forçage hydrodynamique du modèle.

7.2.5. Forçages sédimentaires

En amont du grau, est imposée la concentration en MES issue des mesures en continu du turbidimètre, du 21/02/2013 au 15/08/2013.

Dans le domaine maritime, est imposée une concentration en MES ambiante constante, qui sera fixée par le calage en volume des dépôts de vase pure.

Le dépôt de fines n'est pas calculé au sein de l'étang. Un schéma explicatif image la méthodologie Figure 83.

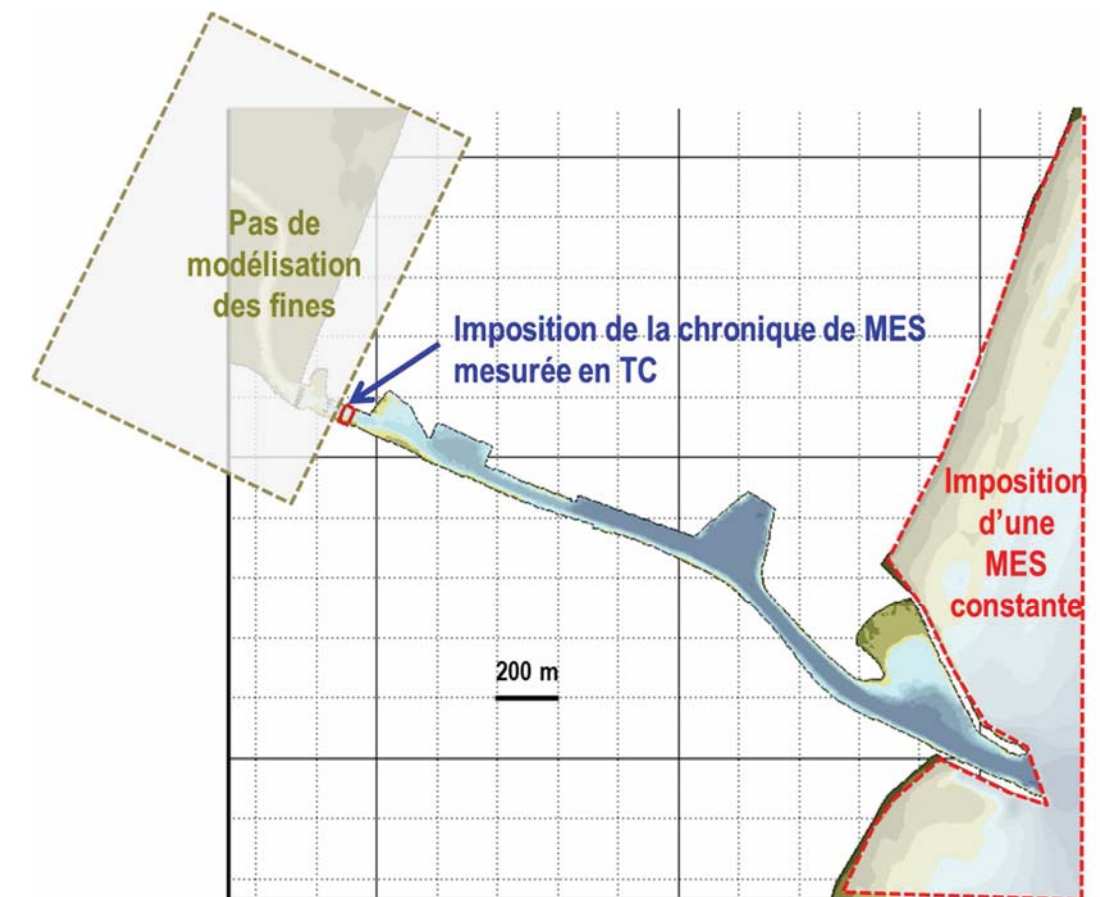


Figure 83. Schéma explicatif des forçages sédimentaires du modèle pour le modèle de dépôt de fines

7.2.6. Processus physiques résolus

Les termes d'échange de sédiments entre la colonne d'eau et le fond sont modélisés par les lois de dépôt et érosion.

Le terme de dépôt est égal à la concentration en sédiment dans l'eau au niveau du fond multipliée par la vitesse de chute du sédiment.

Pour l'érosion, une loi adaptée aux sédiments cohésifs est utilisée (Parthéniadès, 1965) :

$$E = M \left[\frac{\tau}{\tau_c} - 1 \right] \quad \text{pour } \tau > \tau_c, E = 0 \text{ sinon.}$$

avec : E : taux d'érosion ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

τ : contrainte hydrodynamique (N/m^2)

τ_c : contrainte critique d'érosion (N/m^2)

M : coefficient d'érosion ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

Les paramètres de la loi d'érosion sont donc le coefficient d'érosion et la contrainte critique d'érosion. Cette dernière est très variable selon le type de sédiment et peut aussi dépendre de la densité du sédiment du lit.

Le terme de dépôt est égal à la concentration en sédiment dans l'eau au niveau du fond multipliée par la vitesse de chute du sédiment.

$$D = W_c \cdot C_b$$

avec :

D le taux de dépôts ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

W_c la vitesse de chute des sédiments (m/s)

C_b la concentration des sédiments au pied de la colonne d'eau (kg/m^3)

A partir des érosions et dépôts ainsi calculés est déduite une évolution (en m) : $\text{évolution} = (D+E)/C_b$

Cette évolution est ensuite intégrée à la bathymétrie, ceci à chaque itération, ce qui permet d'actualiser les fonds du modèle à chaque pas de temps de la simulation.

7.2.7. Caractéristiques sédimentologiques de la vase de Port-La Nouvelle

Les paramètres de calage du modèle de dépôt de fines sont :

- M : coefficient d'érosion, qui est la constante de Parthéniadès
- La concentration moyenne du lit de vase consolidé
- La contrainte critique d'érosion
- La vitesse de chute
- La concentration de MES aval.

Une revue bibliographique, notamment l'article « Évolution de la turbidité des eaux du complexe lagunaire de Bages-Sigean-Port-La Nouvelle (Aude, France) », D. Cataliotti-V aldina, OCEANOLOGICA ACTA 1982 -VOL. 5 - No 4 [9], indique une concentration moyenne comprise entre 200 et 300 g/l pour une consolidation du lit de quelques jours, ainsi qu'une contrainte critique d'érosion comprise entre 0.3 et 0.5 Pa.

Ce dernier point permet, dans le modèle de dépôt de fines, de fixer la concentration du lit à 350 g/l, puis d'engager le calage qui consiste à ajuster la valeur de la vitesse de chute, de la contrainte critique d'érosion et de la concentration de MES aval (zone maritime) de sorte à approcher, par le calcul, les volumes moyens annuels de vase pure dragués dans le port.

7.2.8. Données de calage

Au § 5.3 du rapport relatif aux conditions hydro-sédimentaire du site (rapport HYDRO-R001), une analyse des dragages dans le port de Port-La Nouvelle est menée. Elle aboutit à l'établissement, zone par zone, d'un volume moyen annuel dragué. Cependant, ces volumes sont des volumes de mixture sable et vase.

Volumes dragués							(volumes sont établis à partir de capteurs sur la drague mesurant le poids et le volume du chargement)			
de juillet 2006 à juin 2012	Année						Total	Moyenne	Superficie des zones draguées	Epaisseur moyenne
	06/11/2006	24/09/2007	19/05/2008	23/09/2009	05/10/2010	17/10/2011	06/11/2006			
	14/06/2007	16/04/2008	25/06/2009	17/06/2010	16/06/2011	14/06/2012	14/06/2012		m²	m
Darse aux petits métiers (pêche/plaisance)	31 337	2 981	13 308	31 363	12 429	6 629	98 047	16341	22 000	0,74
Nouvelle darse de pêche (darse de commerce)	8 505	25 434	13 045	25 885	27 324	13 731	113 924	18987	25 000	0,76
Chenal Est 1	16 831	9 535	6 441	13 163	17 770	8 337	72 077	12013	17 500	0,69
Chenal Est 2	20 277	7 439	36 653	24 391	34 463	17 226	140 449	23408	30 000	0,78
Bassin au pétrole	2 874	750	5 502	26 224	9 927	4 192	49 469	8245	55 000	0,15
Chenal aval	4 356	9 782	13 733	24 759	81 549	10 992	145 151	24192	85 000	0,28
Sous-total	84 180	55 901	88 682	145 785	183 462	61 107	619 117	103 186	234 500	0,44
Bassin d'amortissement	0	10 136	46	175	0	12 013	22 370	3728	30 000	0,12
Passe et chenal d'accès	24 123	44 143	34 984	48 841	44 703	99 752	296 546	49424	300 000	0,16
Total	108 303	110 180	123 712	194 801	228 165	172 872	938 033	156 339	564 500	0,28

Figure 84. Récapitulatif des volumes dragués (source : pole dragage de Sète)

Par ailleurs, une analyse de la nature des sédiments présents est menée par zone. Elle aboutit à la caractérisation de la teneur massique en vase pure de la mixture. Le résultat est cartographié Figure 85.

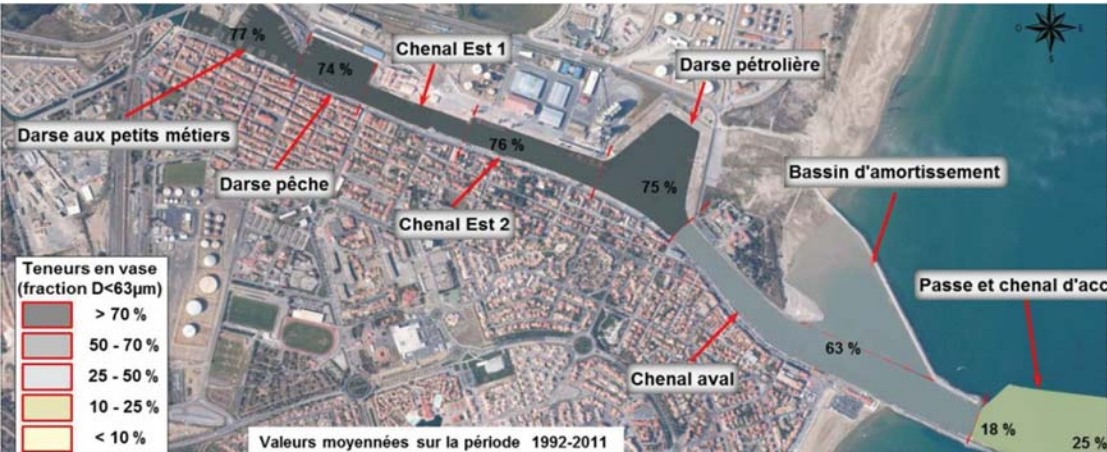


Figure 85. Carte de répartition des teneurs en vase dans les bassins portuaires (Pole dragages, 2012)

Faisant l'hypothèse standard d'une masse volumique du sable de 2650 kg/m^3 , d'une masse volumique du sable avec porosité de 1580 kg/m^3 , et d'une concentration du lit de vase de 350 kg/m^3 , est déduit, à partir du pourcentage massique de vase, le pourcentage volumique de vase présent dans les mixtures des différentes zones du port.

Ainsi, du volume moyen annuel dragué de mixture, est ensuite déduit le volume moyen annuel dragué de vase pure. Les résultats de cette analyse sont récapitulés dans le tableau suivant :

ZONE	Volume moyen dragué/an	% massique de VASE	% volumique de VASE	Volume moyen de VASE PURE dragué/an
Darse aux PM	16341	77	96.0	15687
Darse de pêche	18987	74	95.5	18133
Chenal_Est_1	12013	74	95.5	11472
Chenal_Est_2	23408	76	96.0	22472
Chenal_est_2+bassin petrolier				30362
Bassin Petrolier	8245	75	95.7	7890
Chenal Aval	24192	63	92.0	22257
Bassin d'amortissement	3728	63	92.0	3430

Figure 86. Récapitulatif des volumes moyens annuels de vase pure dragués dans le port

7.3. RESULTATS DE CALAGE DU DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION ACTUELLE

Après une trentaine de calculs et tests de sensibilité, les paramètres de calage sont fixés tels que :

- Constante de Parthéniadès = 2.10^{-3} (kg/m²/s)
- Concentration moyenne du lit de vase consolidée = 350 kg/m³
- Contrainte critique d'érosion = 0.5 Pa
- Vitesse de chute = 0.00085 m/s
- Concentration de MES moyenne aval = 0.012g/l.

Considérant de telles valeurs, le volume de fines déposé dans l'ensemble du port à l'issue des 6 mois de simulation représente 97% du volume moyen de vase pure dragué sur 6 mois dans l'ensemble du port.

La Figure 87 présente la comparaison des volumes dragués et mesurés sur 6 mois, zone par zone. Le graphique montre :

- Une reproduction très satisfaisante par le calcul des volumes de vase pure dragués dans les trois premières zones en amont du port.
- La somme des volumes déposés calculés dans le chenal Est 2 et la darse pétrolière est très proche du cumul des volumes dragués sur ces deux zones. Cependant la répartition sur les deux zones telle qu'en nature a été difficile à approcher plus exactement. Les deux zones présentant le même plafond de dragage, leurs fonctionnements sont similaires, et sommer leurs contributions reste logique pour une analyse du comportement global du port.
- En aval du bassin pétrolier, les volumes déposés deviennent faibles et d'origine maritime. Le calcul reproduit les mêmes tendances, avec une même décroissance en termes de volumes de dépôt entre les 5 premières zones et les deux dernières. Les volumes reproduits à l'aval sont très semblables aux volumes moyens dragués.

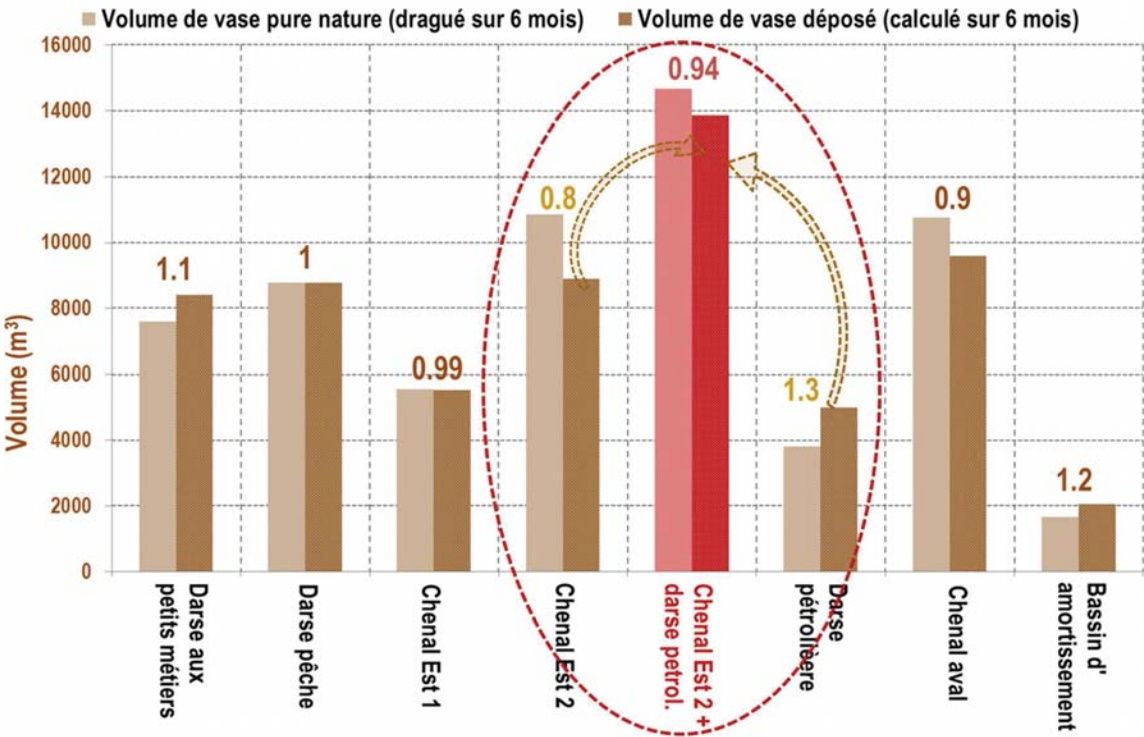


Figure 87. Comparaison des volumes déposés, par zone, en nature et par le calcul, sur 6 mois simulés.

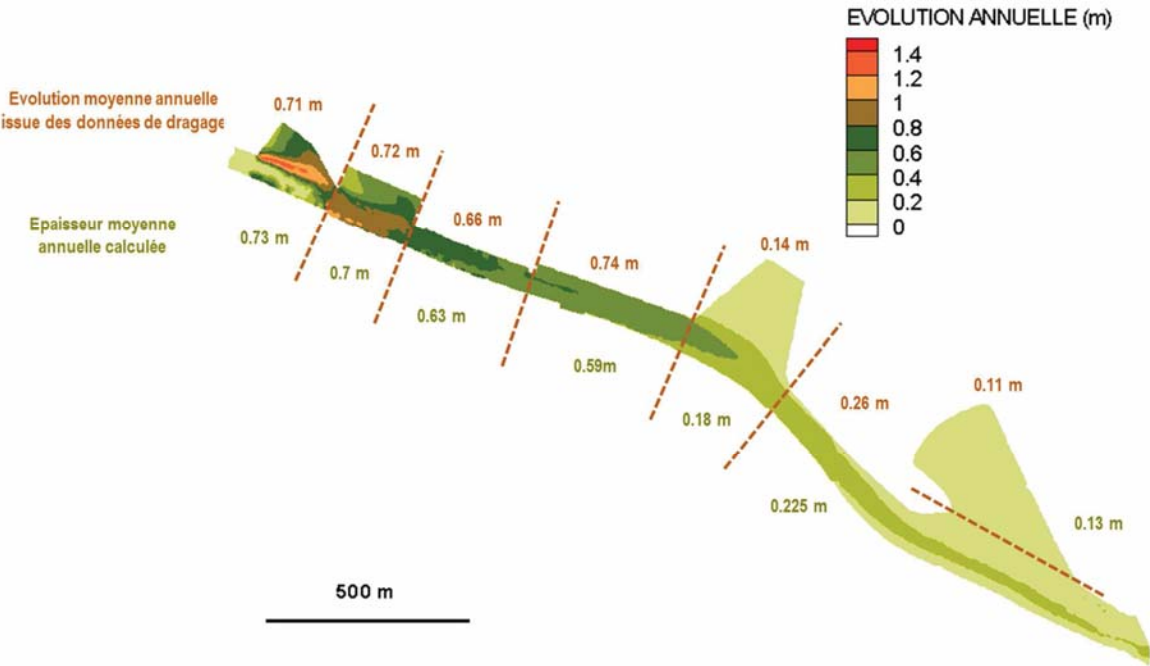


Figure 88. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation - En marron sont rappelées, par zone, les hauteurs moyennes annuelles de dépôt de vase pure draguées

7.3.1. Conclusions relatives au calage du modèle de dépôt de fines

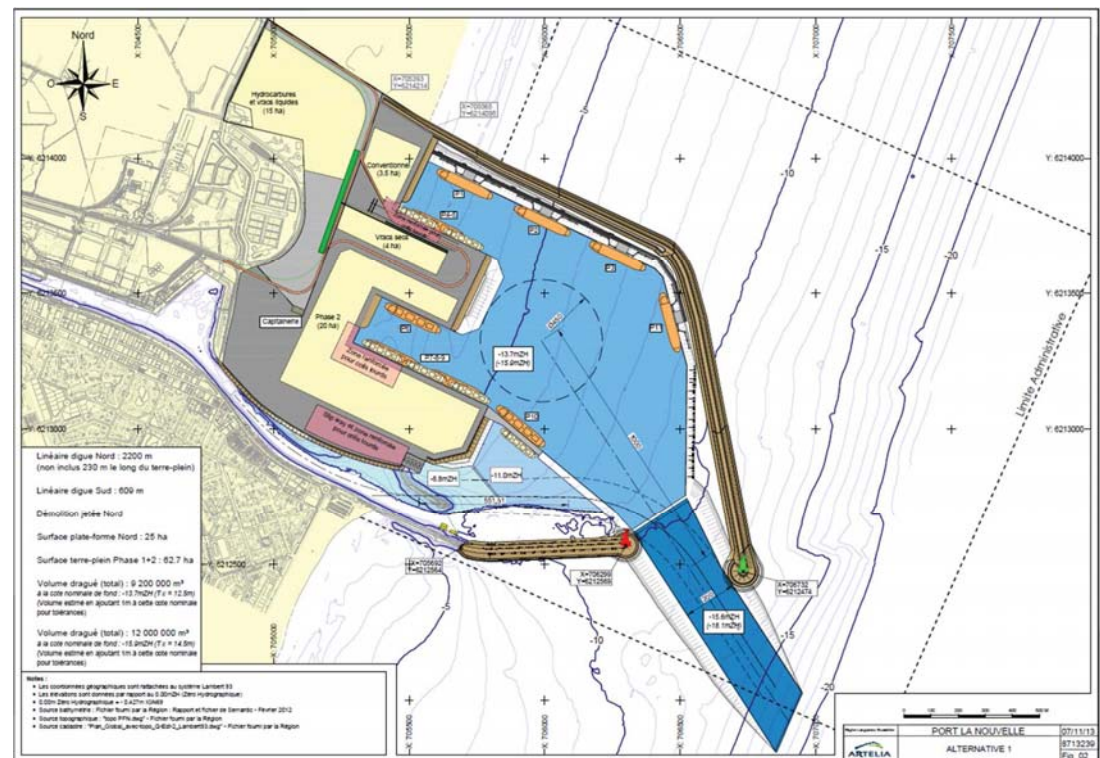
Ainsi le modèle de dépôt de fines au sein du port de Port-La Nouvelle réussit à reproduire le dépôt d'un volume de vase pure équivalent au volume moyen global de vase pure dragué sur la totalité du port. Le modèle réussit de surcroît à reproduire la répartition de ce volume entre les différentes zones constituant le port. A ce stade, le calage de dépôt de fines est jugé très satisfaisant.

7.4. MODELISATION DU DEPOT DE FINES EN CONFIGURATION FUTURE

A l'issue de ce calage, le modèle simule le dépôt de fines au sein du port dans sa configuration future, ceci afin de calculer le volume déposé dans le nouveau port et quantifier son impact sur l'envasement et les campagnes de dragage.

7.4.1. Rappel de l'aménagement et définition de nouvelles zones de dragages sein du futur port.

Un rappel de la **figure 42** présente le plan masse du port modélisé :



Le futur port est principalement caractérisé par la création d'un nouveau bassin situé au Nord de la passe d'entrée actuelle, délimité au nord par une nouvelle digue d'environ 2 200m de long.

Les zones de dragage considérées pour les calculs de volumes de vase pure déposés restent, en configuration future, identiques à celles de la configuration actuelle depuis la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval. Le bassin d'amortissement, en revanche, est supprimé et deux nouvelles zones sont créées : le bassin du nouveau port I, de superficie 206 000 m², et le bassin du nouveau port II, de superficie 1 010 000 m², tels que présentés sur la **figure 89**.



Figure 89. Localisation des différentes zones de dragages considérées avec le futur port

La superficie totale est ainsi augmentée de 1 180 000m².

7.4.2. Forçages hydrodynamiques

Identiques à ceux du modèle de dépôt de fines en configuration actuelle, les forçages hydrodynamiques du modèle de dépôt de fines en configuration future sont tels que décrits lors de la présentation du calage hydrodynamique (en niveaux et courants, vent, apports pluviométriques de la Robine et des bassins versants, évaporation, houle), à la différence près que la période concernée n'est plus les mois de mars et avril 2013 mais la période du 21/02/2013 au 15/08/2013. Ainsi, seront considérés les 6 mois de chronique de niveau, courant, vent, pluie, houle en forçage hydrodynamique du modèle.

7.4.3. Forçages sédimentaires

En amont du grau est imposée la même concentration en MES qu'imposée au modèle de dépôt de fines en configuration actuelle, celle issue des mesures en continu du turbidimètre TC, du 21/02/2013 au 15/08/2013.

Dans le domaine maritime, est imposée une concentration en MES ambiante constante, qui a été fixée par le calage en volume des dépôts de vase pure.

Le dépôt de fines n'est pas calculé au sein de l'étang. Un schéma explicatif image la méthodologie **Figure 90**.

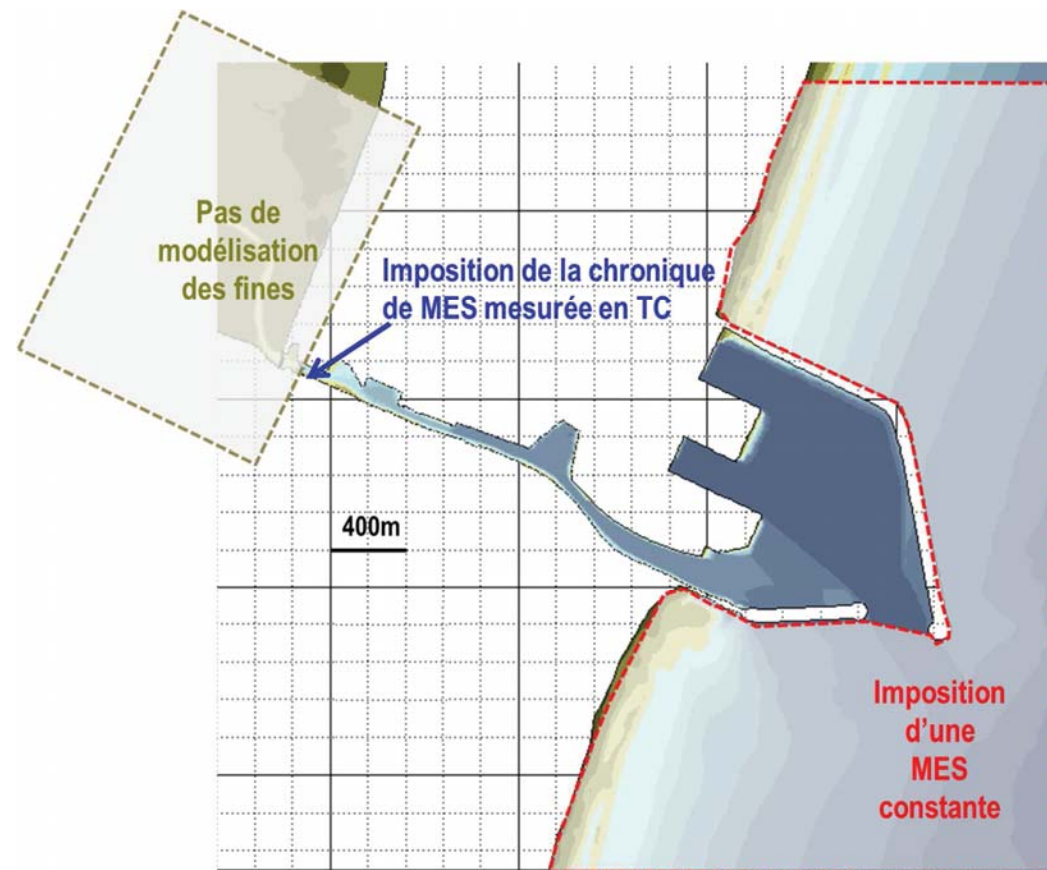


Figure 90. Schéma explicatif des forçages sédimentaires pour le modèle de dépôt de fines en configuration future

7.4.4. Paramètres de calcul

Les valeurs des paramètres de calcul fixées par le calage précédent sont reprises, rappelées ci-après :

- Constante de Parthéniadès = 2.10^{-3} (kg/m²/s)
- Concentration moyenne du lit de vase consolidée = 350 kg/m³
- Contrainte critique d'érosion = 0.5 Pa
- Vitesse de chute = 0.00085 m/s
- Concentration de MES moyenne aval = 0.012 g/l (avec une sensibilité à 0.04 g/l)

7.4.5. Résultats du calcul de dépôt de fines en configuration future pour une concentration de MES du domaine maritime de 0.012 g/l

Considérant ces valeurs, le volume de fines déposé dans l'ensemble du futur port à l'issue des 6 mois de simulation est de 53 820 m³, contre 48 950 m³ en situation actuelle.

Au sein de la partie du grau qui demeure inchangée, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval, les volumes déposés en configuration future sont plus faibles qu'en configuration actuelle. C'est ce que montre le graphique **Figure 91** comparant, zone par zone, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval, les volumes de vase pure déposés en 6 mois en configurations actuelle et future.

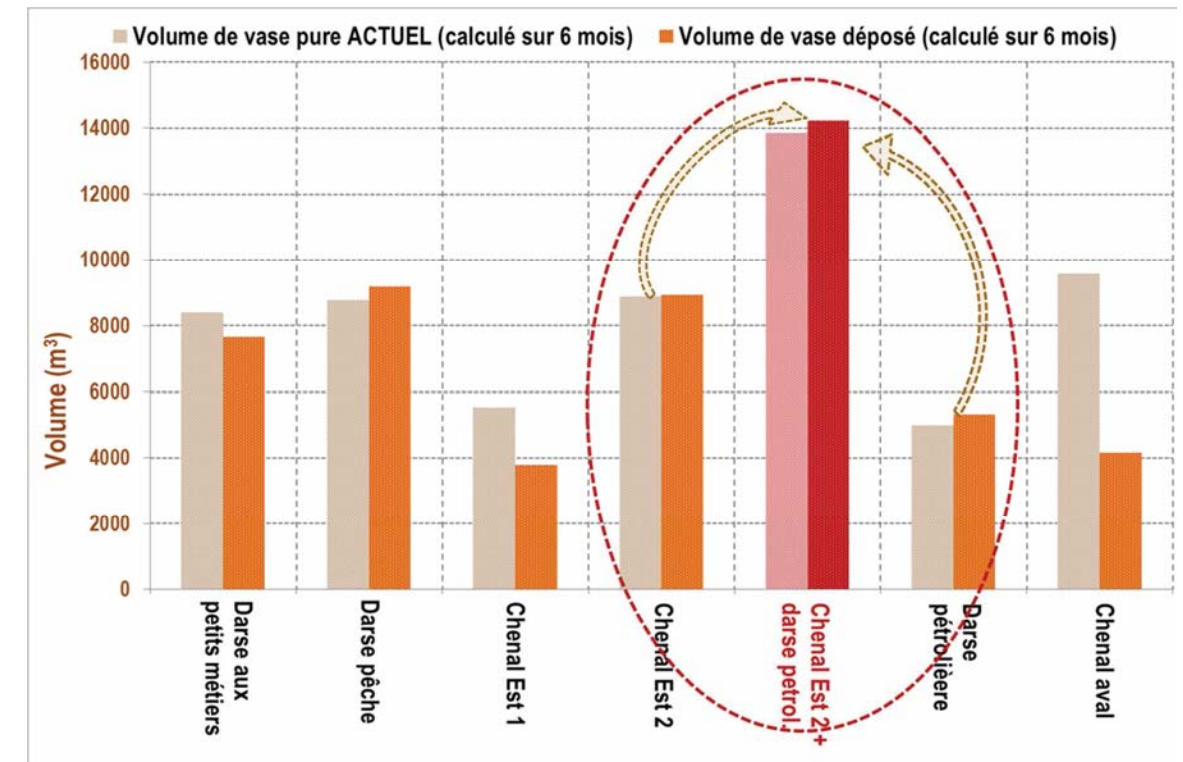


Figure 91. Comparaison des volumes de vase pure déposés, calculés sur les 5 zones amont du grau, en situation actuelle et future, sur 6 mois simulés

Le volume de vase pure déposée en 6 mois sur l'ensemble de ces 5 zones de dragage situées en amont du nouveau bassin portuaire passe de 43 700 m³ en situation actuelle à 39 000 m³ en situation future.

Deux zones sont particulièrement représentatives de cette diminution des volumes de vase pure déposés dans le grau après aménagement du port :

- le chenal Est 1, dont les volumes de vase pure déposés en situation future ne représentent plus que 70% des volumes déposés en situation actuelle. Cela est vraisemblablement la conséquence des observations faites quant à l'impact du nouveau port sur les échanges étang-mer : un ralentissement de la vidange de l'étang après tempête en situation aménagée diminue l'apport de turbidité de provenance fluviale dans cette zone de dragage.
- Le chenal aval, dont les volumes de vase pure déposés en situation future ne représentent plus que 40% des volumes déposés en situation actuelle. Cela est la conséquence directe :
 - de la « disparition » du bassin d'amortissement, lequel, par effet de divergent, contribuait à ralentir les écoulements en période de vidange de la lagune,

- de la présence du nouveau bassin : au sein de celui-ci, décante une partie des fines de provenance maritime qui de fait n'atteignent plus le chenal aval.

Le graphique de **Figure 92** complète le graphique précédent en y ajoutant les volumes de vase pure déposés dans le nouveau bassin en 6 mois de simulation.

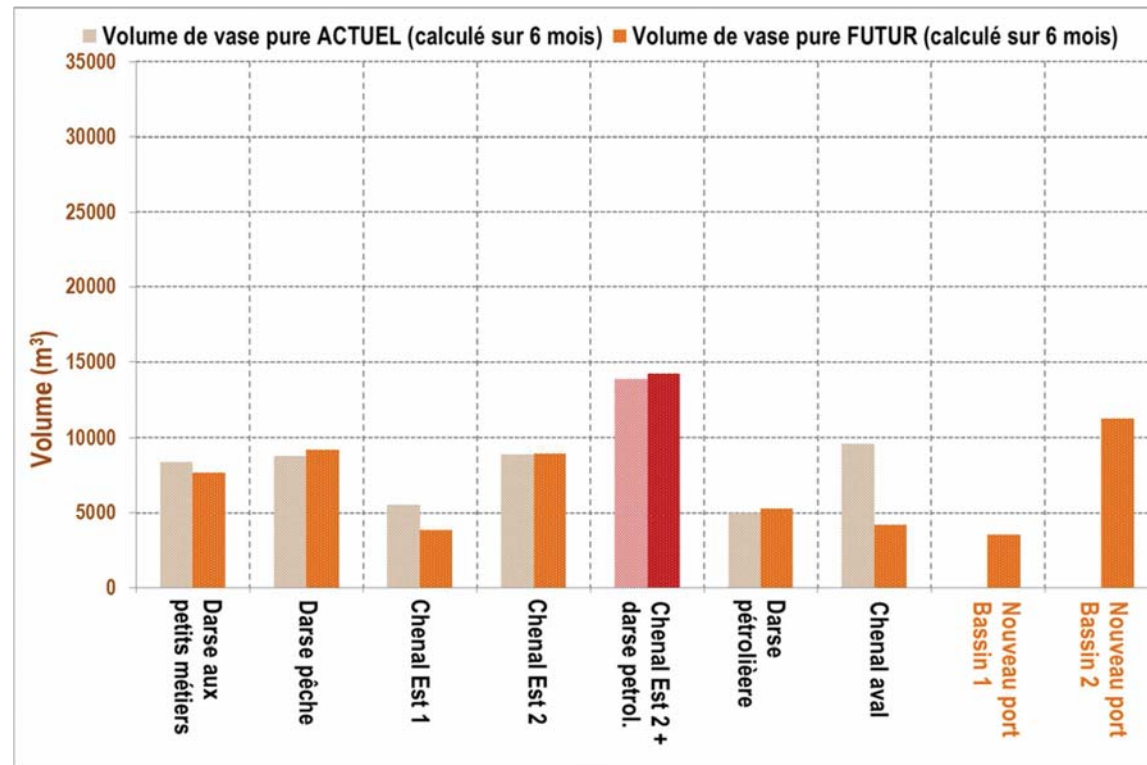


Figure 92. Présentation des volumes de vase pure déposés, au sein du grau et du nouveau bassin portuaire, sur 6 mois simulés

Comme attendu, l'apport turbide d'origine maritime est rapidement décanté dès le bassin 2 du futur port. Le volume de vase pure annuel déposé est de 22 540 m³ sur une superficie de 1 010 000 m², soit une épaisseur moyenne annuelle de dépôt de 2.2 cm. Le volume de vase pure annuel déposé dans le bassin 1 du nouveau port est de 7 040 m³ sur une superficie de 206 000 m², soit une épaisseur moyenne annuelle de dépôt de 3.4 cm.

La carte des répartitions des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation sur la situation aménagée est présentée **figure 93**. Cette carte est très similaire à celle présentée **figure 88** pour la situation actuelle, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval.

Au sein du nouveau bassin portuaire, le dépôt est localisé en entrée du port, et ne dépasse pas une épaisseur annuelle de 35 cm. Dans l'ensemble des nouveaux bassins portuaires, les dépôts de vase pure n'excèderaient pas 5 cm/an.

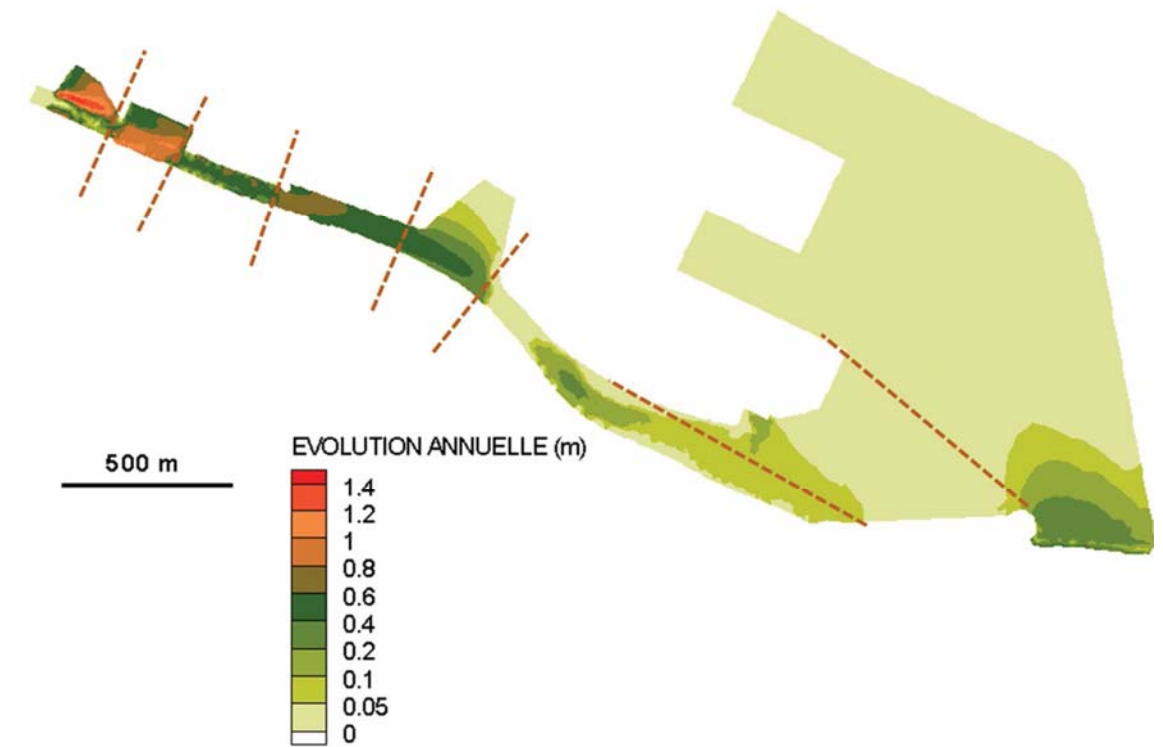


Figure 93. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation en configuration future, considérant une relativement faible turbidité du domaine maritime

7.4.6. Résultats du calcul de dépôt de fines en configuration future pour une concentration de MES du domaine maritime de 0.040 g/l.

La concentration maritime de MES considérée pour le calage du modèle de dépôt de fine, déduite de la campagne de mesures menée au turbidimètre TM, est plutôt représentative de la fourchette basse de la gamme des turbidités ambiantes locales.

Afin d'étudier la sensibilité du calcul de dépôt de vase pure vis-à-vis de la turbidité ambiante du domaine maritime, une seconde simulation est menée considérant cette fois une concentration en MES aval de 0.04 g/l (fourchette haute de la gamme de turbidité locale), tout autre paramètre étant inchangé par rapport à la simulation précédente.

Outre l'étude de la sensibilité du site à la turbidité du domaine maritime, ce second calcul de dépôt de vase pure va permettre d'encadrer les volumes de dépôts annuels occasionnés par le nouveau port, par une condition de turbidité maritime faible et une condition de turbidité maritime forte.

Au sein de la partie du grau qui demeure inchangée, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval, les volumes déposés en configuration future pour une concentration de aval de 0.04 g/l sont quasiment identiques à ceux calculés pour une concentration en MES aval de 0.012 g/l. Le graphique **Figure 94** comparant, zone par zone, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval, les volumes de vase pure déposés en 6 mois en configurations actuelle et future, est très similaire au graphique produit **Figure 91**.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

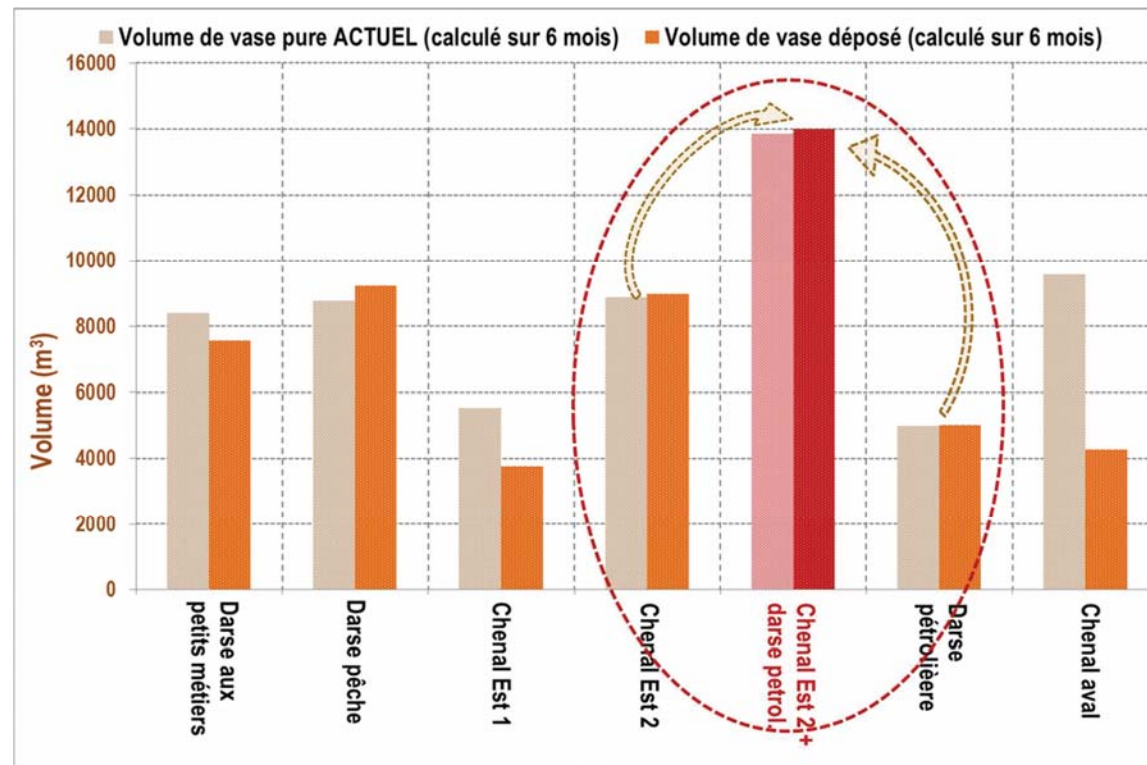


Figure 94. Comparaison des volumes de vase pure déposés, calculés sur les 5 zones amont du grau, en situation actuelle et future, sur 6 mois simulés

Ainsi, cette partie amont du grau est très faiblement influencée par le taux de turbidité ambiante du domaine maritime, ce qui confirme les analyses faites au cours des multiples tests de calage du modèle de dépôt de fines.

Le graphique **Figure 95** complète le graphique précédent en y ajoutant les volumes de vase pure déposés dans le nouveau bassin en 6 mois de simulation.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

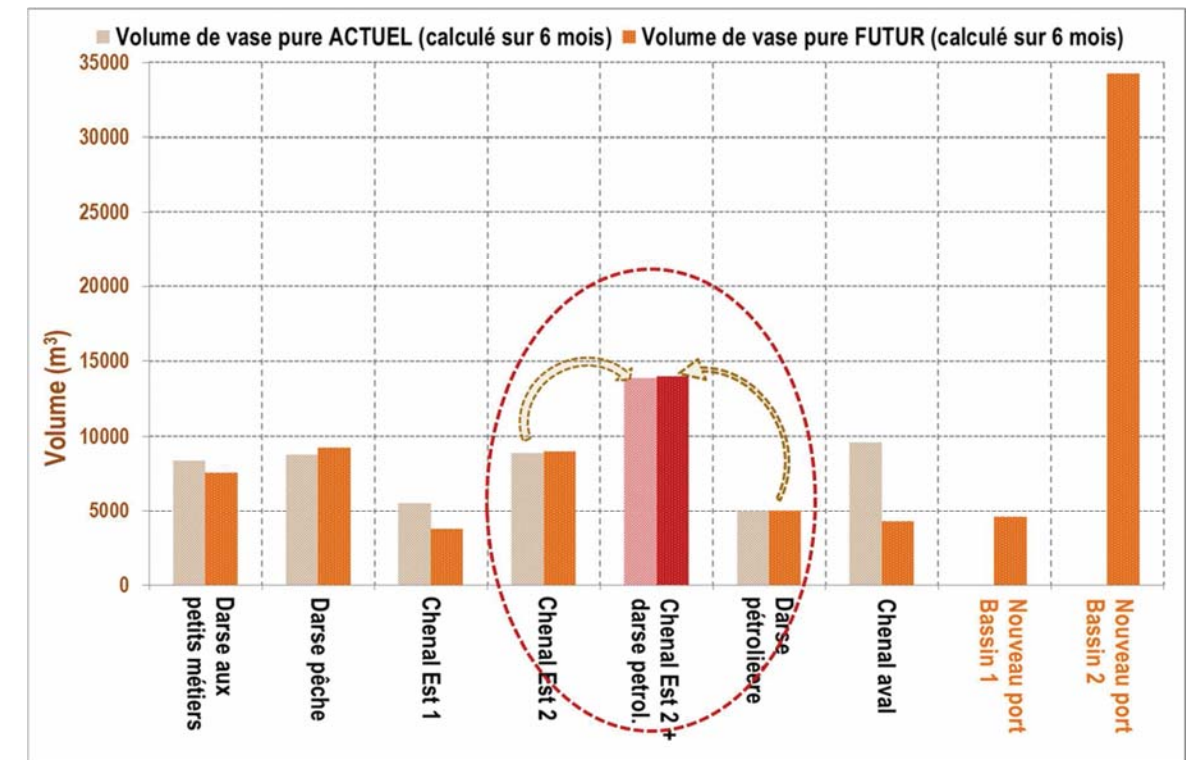


Figure 95. Présentation des volumes de vase pure déposés, au sein du grau et du nouveau bassin portuaire, sur 6 mois simulés

A nouveau, l'apport turbide d'origine maritime est rapidement décanté dès le bassin 2 du futur port. Mais le volume de vase pure déposé est plus important lorsque la concentration en MES est de 0.04 g/l : il s'y dépose annuellement 68 480 m³ de vase pure contre 22 540 m³ pour une concentration de MES aval de 0.012 g/l. Ce volume rapporté à la superficie du bassin 2 de 1 010 000 m², induit une épaisseur moyenne annuelle de dépôt de 6.8 cm contre 2.2 cm pour une concentration de MES aval de 0.012 g/l.

Le volume de vase pure annuellement déposé dans le bassin 1 du nouveau port est de 9 170 m³ contre 7 040 m³ pour une concentration de MES aval de 0.012 g/l. Ce volume rapporté à la superficie du bassin 1 de 206 000 m², induit une épaisseur moyenne annuelle de dépôt de vase pure de 4.4 cm contre 3.4 cm pour une concentration de MES aval de 0.012 g/l.

La carte des répartitions des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation sur la situation aménagée est présentée **figure 96**. Cette carte est très similaire à celle présentée **figure 93**, de la darse aux petits métiers jusqu'au chenal aval. En revanche, une concentration de MES aval de 0.04 g/l engendre des épaisseurs de dépôt supérieures dans les bassins 1 et 2, atteignant jusqu'à 1 m/an très localement à l'entrée du nouveau port.

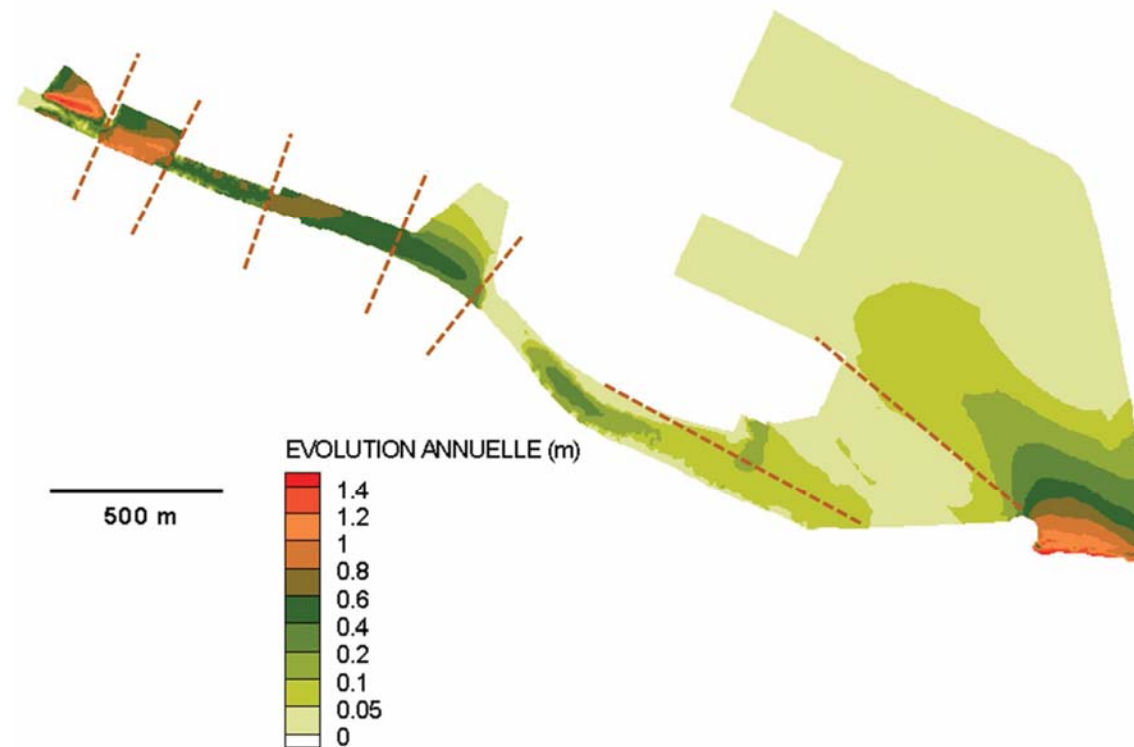


Figure 96. Carte des dépôts de vase pure calculés à l'issue d'un an de simulation en configuration future, considérant une forte turbidité du domaine maritime

7.5. CONCLUSION QUANT AUX IMPACTS DU FUTUR PORT SUR LES VOLUMES DE VASE ANNUELS A DRAGUER

Deux calculs de dépôt de vase pure en configuration future sont menés :

- le premier considérant la concentration de MES du domaine maritime telle que pour le calage, soit de 0.012 g/l ;
- le second considérant une concentration de MES du domaine maritime plus forte, de 0.04 g/l.

Ces deux calculs reproduisent deux conditions aval caractéristiques, l'une représentative de la moyenne basse de la turbidité maritime locale, l'autre représentative de la fourchette haute de la gamme de turbidité maritime locale.

Une comparaison des dépôts de vase pure annuels obtenus sous ces deux conditions montrent l'influence quasi nulle d'une forte variation de la turbidité maritime sur les dépôts dans le grau, en amont des bassins 1 et 2 du futur port.

La vase pure provenant du domaine maritime décante très rapidement dès l'entrée de nouveau port, les forts dépôts supérieurs à 20 cm/an étant uniquement localisés dans l'entrée du port.

Par faibles turbidités, les épaisseurs maximales annuelles sont de 35 cm, pour des turbidités fortes elles atteignent le mètre, mais les épaisseurs moyennes sur les futurs bassins restent faibles, inférieures à 7 cm/an.

Ainsi, le maintien des profondeurs en configuration portuaire future :

- ne nécessitera pas plus de volumes/campagnes de dragage qu'en configuration actuelle dans le grau en amont des nouveaux bassins, Les volumes déposés y seront même légèrement moindres, et peu influencés par une variation de la turbidité ambiante du domaine maritime,
- requerra une maintenance régulière localisée à l'entrée du port, où l'essentiel des dépôts des futurs bassins 1 et 2 se confinent.

8. LE MODÈLE HYDRO-SEDIMENTAIRE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS

Le modèle hydrodynamique tridimensionnel de Port-La Nouvelle a été calé sur l'ensemble des mesures de courant et de niveau couvrant la partie maritime, le grau et l'étang de Bages-Sigean.

Notamment, le modèle reproduit de façon très satisfaisante, en intensité et direction des courants dans le domaine maritime par des fonds de -20m, ainsi que la bonne tendance dans la frange littorale peu profonde. Dès lors, la modélisation hydro-sédimentaire de l'évolution de fonds marins sableux peut être entreprise.

Ce nouveau modèle hydro-sédimentaire a pour objectif d'étudier les évolutions des fonds marins sur la durée d'un an (court terme), puis 10 ans (moyen terme) afin de dégager une tendance sur une période significative. En effet suite à la construction du port, et par expérience sur des projets similaires, dans un premier temps (3 à 5 ans) les fonds pourraient évoluer rapidement pour s'adapter au nouvel aménagement puis ensuite reprendre une évolution plus lente qui correspond à la tendance évolutive dans le futur.

A noter que le modèle d'évolution des fonds marins s'attache à **reproduire la morphodynamique des fonds situés en deçà de la zone de déferlement, c'est-à-dire pour des bathymétries inférieures à la cote de -5m IGN69**. Le modèle dit « de trait de côte » (UNIBEST) se charge de modéliser l'évolution des fonds supérieurs, de la zone de surf jusqu'à la plage. Les résultats du modèle de trait de côte sont présentés en détail dans un rapport spécifique HYDRO-R003.

Dans un premier temps, il va s'agir de **construire ce nouveau modèle et de caler, pour 1 an et 10 ans**, les paramètres sédimentologiques de sorte à reproduire :

- le volume moyen annuel de sable dragué dans le chenal d'accès extérieur de l'actuel port, ainsi que les tendances morphodynamiques en nature observées sur 1 an,
- Au bout de 10 ans, les tendances morphodynamiques en nature observées sur une longue période de l'ordre de la décennie.

Le modèle sera ensuite validé sur les évolutions mesurées les plus récentes, soit sur l'évolution morphologique mesurée entre 2009 et 2012.

Ces données de calage et de validation sont présentées au [paragraphe 8.1](#)

En entrée du module TELEMAC3D, sont appliqués les mêmes forçages hydrodynamiques que décrits lors de la présentation du calage hydrodynamique, en niveaux et courants, vent, apports pluviométriques de la Robine et des bassins versants, évaporation, sur la période du 21/02/2013 au 15/08/2013. Sont considérés **les 6 mois de chronique** de niveau, courant, vent, pluie, houle en forçage hydrodynamique du modèle.

Afin de rendre cette série de forçage chronologique de 6 mois la plus représentative des conditions observées sur le site à plus long terme, les évolutions simulées à chaque pas de temps ont été pondérées par les statistiques observées sur le forçage.

Le forçage prédominant sur le site pour la morphologie côtière, étant la houle, la pondération des évolutions a été calculée à partir des statistiques de houle observées. Le détail de la méthodologie est présenté au [paragraphe.8.5](#).

Le module **SISYPHE** (voir ci-après) résout le transport pour une granulométrie étendue, c'est-à-dire pour plusieurs classes de sédiment sableux (4 diamètres dans notre cas) dont le mélange est représentatif du site et déduit des prélèvements granulométriques effectués en mai 2013 dans le

cadre de la mission. La campagne et l'exploitation des prélèvements granulométriques faites en mai 2013, sont rappelées au [paragraphe.8.4](#).

L'équation de transport choisie ainsi que la méthodologie développée pour son application à la granulométrie étendue sont respectivement présentées aux [paragaphes.8.6 et 8.7](#).

8.1. DESCRIPTION DU MODELE HYDROSEDIMENTAIRE

Comme énoncé au paragraphe 2.2, les modèles utilisés dans le cadre de l'étude sont des modèles du système TELEMAC au développement duquel ARTELIA Eau & Environnement contribue par la mise au point, notamment, de modules spécifiques dans le domaine hydro-sédimentaire.

La partie sédimentaire du modèle numérique d'évolution des fonds marins (transport sableux par charriage et suspension) est résolue par le module SISYPHE, couplé à TELEMAC3D.

Le principe schématique de ce couplage est le suivant :

- A l'itération t , en chaque nœud i du domaine de calcul, la bathymétrie est $Z_{f,t}$;
- Sur ces fonds, le module TELEMAC-3D calcule l'hydrodynamique telle que décrite dans le paragraphe 2 avec notamment la prise en compte de la houle. Ainsi, sont calculées au temps t et en chaque nœud du domaine, les vitesses, combinant houle et courants, u , v , w , la contrainte de cisaillement, la hauteur d'eau.
- Ces variables actualisées sont transmises à SISYPHE qui calcule en chaque nœud du domaine le transport induit par ces courants, traduit en termes de hauteur de sédiment déposé ou érodé.
- A la fin de l'itération, cette hauteur, positive ou négative, est intégrée à la bathymétrie en chaque nœud du domaine.
- Et c'est sur ce nouvel état des fonds que l'hydrodynamique sera calculée par TELEMAC-3D pour l'itération suivante $t+1$ (cette actualisation est donc faite à chaque pas de temps, soit toutes les 5 secondes).

8.1.1. Emprise, bathymétrie et maillage du modèle

L'emprise du modèle hydro-sédimentaire d'évolution des fonds marins est la même que celle du modèle hydrodynamique et s'étend, pour rappel, de Cap Leucate à Narbonne-Plage, soit sur près de 35 km de linéaire côtier. La Figure 1 page 4 présente l'emprise du modèle.

La bathymétrie et le maillage du modèle de dépôt de fines sont identiques à ceux du modèle hydrodynamique.

8.1.2. Transport solide

8.1.2.1. Formule de transport solide

La formule de transport choisie pour la modélisation de l'évolution des fonds marins est la formule de Soulsby - Van Rijn. [REF10]

Le taux de transport Q_s dû à l'action combinée des vagues et du courant est calculé selon l'équation suivante :

$$Q_{b,s} = A_{b,s} U \left[\left(U^2 + 2 \frac{0.018}{C_D} U_0^2 \right)^{0.5} - U_{cr} \right]^{2.4} \times \alpha$$

Cette formule estime la contribution du transport par charriage et celle du transport par suspension, selon qu'est appliqué le coefficient A_b ou le coefficient A_s .

Alpha est un facteur de calage de l'intensité du transport solide.

$A_{b,s}$ sont les coefficients de transport par charriage/suspension, calculés comme suit :

$$A_b = \frac{0.005 h (D_{50} / h)^{1.2}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}}$$

$$A_s = \frac{0.012 D_{50} D_*^{-0.6}}{[(s-1)gD_{50}]^{1.2}}$$

Où:

U , est la vitesse moyennée du courant sur la colonne d'eau,

U_0 , est la vitesse orbitale de la vague,

C_D est le coefficient de frottement quadratique dû au courant seul.

8.1.2.2. Prise en compte de la granulométrie étendue

Le taux de transport par charriage Q_{ci} de la classe i est calculé en fonction de son diamètre moyen D_i et des caractéristiques du mélange en utilisant une formule de transport solide.

La formule de transport solide utilisée en granulométrie étendue est la même que pour une granulométrie uniforme. Le taux de transport Q_{ci} de la classe i est affecté du taux de présence π_i de la classe i pour tenir compte de la disponibilité du matériel.

8.1.3. Remplissage sédimentaire

Il est proposé la prise en compte d'une granulométrie dans la modélisation hydro-sédimentaire des fonds sableux : pour ce faire, une analyse préliminaire du sédiment in situ est nécessaire.

8.1.3.1. Analyse des granulométries

27 prélèvements (et analyses) de sédiments superficiels tels que prévus au Marché ont été réalisés, complétés par une campagne complémentaire de prélèvements et d'analyses granulométriques : ils fournissent aux études hydro-sédimentaires les principales caractéristiques granulométriques (D_{50} , teneur en vase, ...) dans la zone d'étude,

En effet les 35 stations de prélèvements sont déployées de façon à avoir une bonne couverture sédimentaire de la zone d'étude entre Cap Leucate et Narbonne-Plage, tant au niveau de la plage, que des petits fonds, les fonds entre -15 et -20 m ZH et les grands fonds autour de -30 m ZH et dans les étangs de Bages et l'Ayrolle.

Le plan d'implantation proposé est présenté à la **figure 97** ci-après.

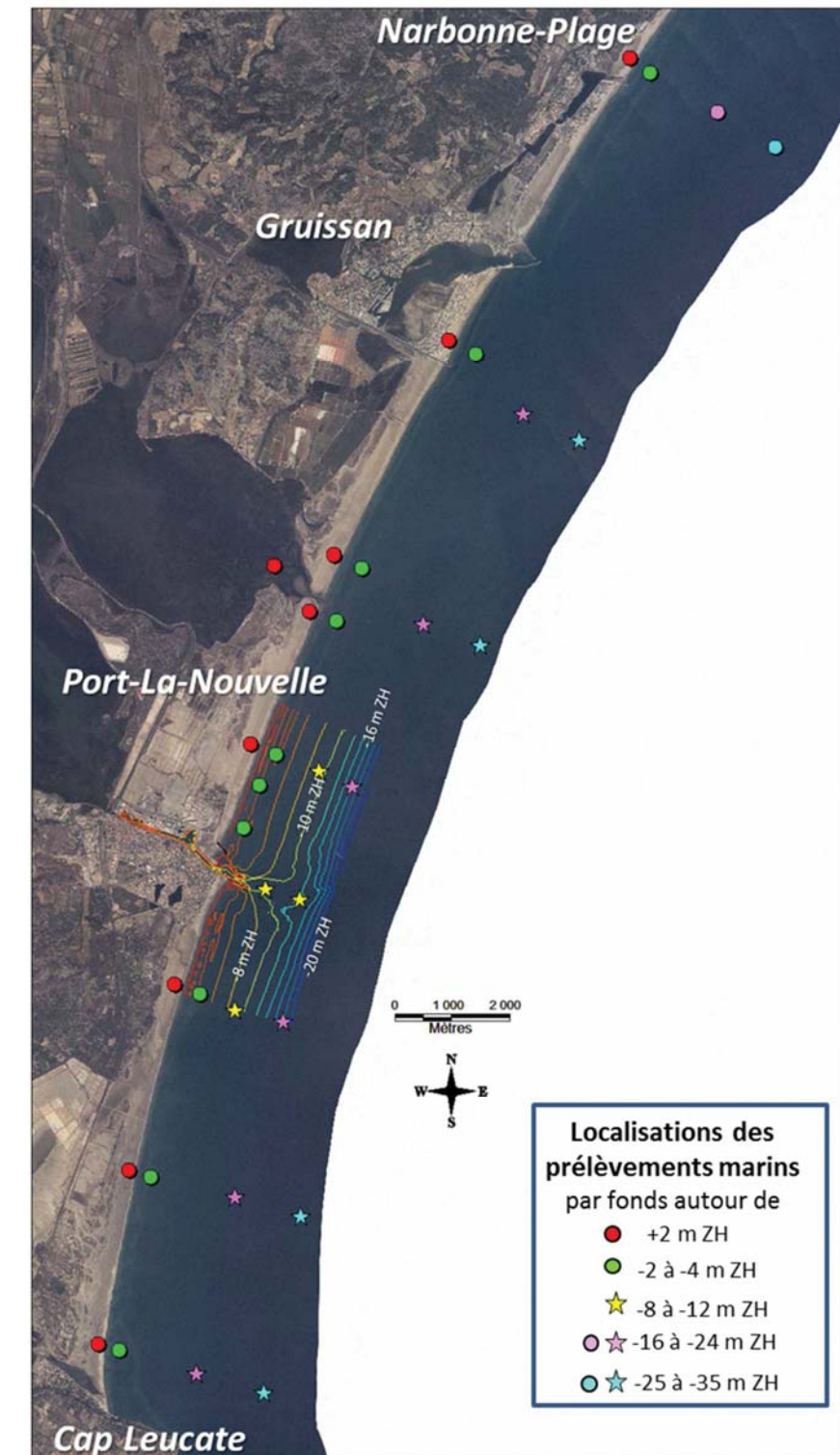


Figure 97. Carte de localisation des prélèvements marins effectués en mai 2013

Chaque échantillon prélevé fait l'objet d'une analyse de granulométrie LASER qui donne lieu à la production d'une courbe granulométrique telle que présentée **figure 98**, et disponible dans le « Rapport d'analyse de GRANULOMETRIE LASER », produit par Créocéan en mai 2013.

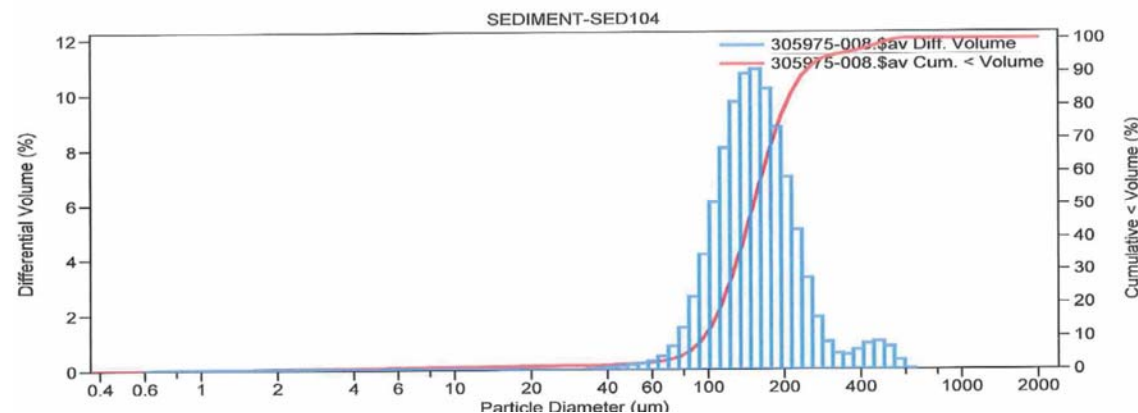


Figure 98. Exemple de courbe granulométrique produite à l'issue de l'analyse LASER de l'échantillon prélevé SED104

L'analyse granulométrique des échantillons prélevés fournit de plus les pourcentages volumiques pour les 4 classes granulométriques standard qui composent les sédiments prélevés :

- de 63 µm à 125 µm ;
- de 125 µm à 250 µm ;
- de 250 µm à 500 µm ;
- supérieure à 500 µm.

8.1.3.2. Choix des diamètres moyens modélisés

Afin de recomposer un mélange granulométrique représentatif pour le modèle, sont analysées les courbes granulométriques des prélèvements réalisés par des fonds de -4m, -15m ou -25m.

Suite à l'analyse menée sur les échantillons, dont les principes sont rappelés au §.8.1.3.1, pour chacune de ces 4 classes,

- est calculé un diamètre moyen, soit 94 µm, 190 µm, 375 µm et 900 µm respectivement,
- sont répertoriés les pourcentages de présence de cette classe pour chaque échantillon, est déduit le pourcentage médian de cette classe.

A l'issue de cette analyse, un pourcentage moyen de présence est attribué à chacun des diamètres moyens représentant une des 4 classes granulométriques principales du mélange sédimentaire in situ.

Ce mélange est le suivant :

- 15 % pour le grain de diamètre D1 = 94 µm ;
- 63 % pour le grain de diamètre D2 = 190 µm ;
- 20% pour le grain de diamètre D3 = 375 µm ;
- 2% pour le grain de diamètre D4 = 900 µm.

8.1.3.3. Initialisation de la répartition spatiale de ce mélange granulométrique

Le mélange présenté précédemment est distribué sur l'ensemble du modèle. Cependant, en nature, ce mélange peut varier spatialement, notamment suivant la profondeur, car la houle a plus d'influence sur les faibles profondeurs où les sédiments les plus fins peuvent être rapidement mobilisés.

Afin de réaliser une modélisation plus réaliste de l'évolution des fonds, une initialisation de la répartition spatiale du mélange granulométrique est entreprise avant d'effectuer tout calcul morphodynamique.

Pour ce faire, un calcul hydro-sédimentaire aux fonds non évolutifs est effectué sur 6 jours incluant la tempête du 6 mars 2013. Ainsi, la granulométrie initiale, présente en chaque nœud, s'adapte aux conditions hydrodynamiques locales.

Pour illustrer le résultat obtenu à l'issue de cette phase d'initialisation, la **Figure 99** présente la répartition finale de la fraction de présence du grain de diamètre D1=94 microns.

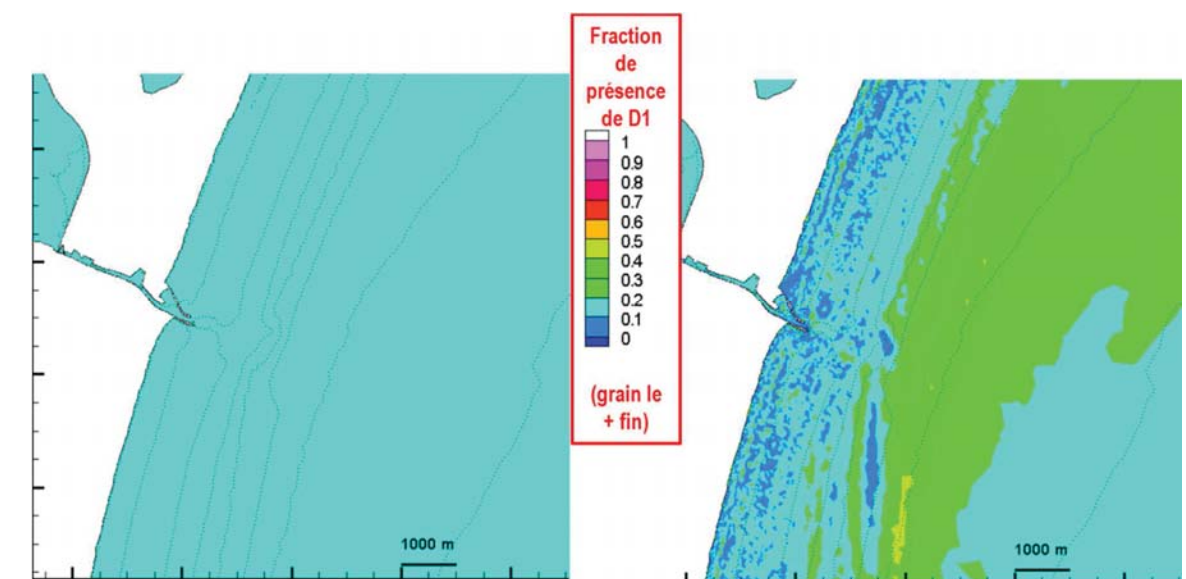


Figure 99. Résultat de l'initialisation spatiale de la fraction de présence du sédiment de diamètre D1= 94 microns

On voit qu'effectivement pour cette classe granulométrique, le modèle (comportant initialement – figure de gauche) 15% de sédiment de diamètre D1 = 94 µm) a diminué la présence des sables fins dans la zone de déferlement, pour l'augmenter vers le large, où la capacité de transport est plus faible.

8.2. FACTEUR D'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE ET PERIODE REPRESENTATIVE

En entrée du module TELEMAC3D, sont appliqués les mêmes forçages hydrodynamiques que décrits lors de la présentation du calage hydrodynamique, en niveaux et courants, vent, apports pluviométriques de la Robine et des bassins versants, évaporation, sur la période du 21/02/2013 au 15/08/2013. Sont considérés **les 6 mois de chronique** de niveau, courant, vent, pluie, houle en forçage hydrodynamique du modèle.

Afin de rendre cette série de forçage chronologique de 6 mois la plus représentative des conditions observées sur le site à plus long terme, les évolutions simulées à chaque pas de temps ont été pondérées par les statistiques observées sur le forçage.

Le forçage prédominant sur le site pour la morphologie côtière étant la houle, la pondération des évolutions est calculée à partir des statistiques de houle observées.

Ainsi, il est possible, à partir d'une même série chronologique de simuler plusieurs échelles temporelles, du moment que l'on connaît les statistiques du forçage sur la période à simuler.

Il est prévu de simuler, à partir de cette chronologie de forçage, des évolutions à échelle temporelle de 1 an et de 10 ans.

Afin d'être représentatif de la période à reproduire, un « facteur morphodynamique » est appliqué au cycle modélisé. Ce facteur morphodynamique est le facteur que l'on applique à chaque pas de temps et à chaque nœud à l'évolution calculée. Il est défini tel que :

Facteur morphodynamique = Occurrence du forçage de la période à simuler / Occurrence du forçage réellement simulé (houle dans notre cas) x Durée de la période à simuler / Durée de la période réellement simulée

Les statistiques de houles utilisées pour simuler 10 années, ont été effectuées sur les 7 dernières années de données disponibles à la bouée CANDHIS.

Les statistiques de houles utilisées pour simuler 2009-2012 ont été effectuées sur les mesures de 2009-2012 à la bouée CANDHIS.

Les statistiques ont été effectuées selon 13 classes de Hs : 0-0.5 / 0.5-1 / 1-1.5 / 1.5-2 / 2-2.5 / 2.5-3 / 3-3.5 / 3.5-4 / 4-4.5 / 4.5-5 / 5-5.5 / 5.5-6 / >6.5 m, et cela pour 2 secteurs de direction : < 140°N / > 140°N

En effet, il est important de veiller à ce que les houles venant du sud ou du nord soient statistiquement bien réparties, puisqu'elles induisent un transport littoral dans des directions opposées.

8.3. ANALYSE DES DONNEES DISPONIBLES POUR LE CALAGE ET LA VALIDATION

Le modèle d'évolution des fonds marins a pour objectif de reproduire la morphodynamique des fonds sableux du domaine d'étude sur 1 an et 10 ans.

Pour ce faire, le calage des paramètres sédimentologiques du modèle se base sur les données nature suivantes :

- le volume moyen annuel de sable dragué dans le chenal d'accès extérieur de l'actuel port, donnée fournie par le pôle dragage du port de Sète
- Les évolutions morphodynamiques observées sur 30 ans entre 1979 et 2009, ramenées à une évolution moyenne sur 10 ans.

La validation du modèle se fera sur les données les plus récentes, avec la simulation de l'évolution morphodynamique de la période 2009 à 2012.

8.3.1. Volume moyen annuel dragué dans le chenal d'accès pour le calage du transport

D'après le pôle dragage de Sète, les volumes moyens annuels dragués dans la zone dite « passe et chenal d'accès » est de 49 500 m³ sur une surface de 300 000 m². Le tableau récapitulatif est rappelé ci-dessous :

Volumes dragués de juillet 2006 à juin 2012	(volumes sont établis à partir de capteurs sur la drague mesurant le poids et le volume du chargement)									
	Année						Total	Moyenne	Superficie des zones draguées	Epaisseur moyenne
	06/11/2006	24/09/2007	19/05/2008	23/09/2009	05/10/2010	17/10/2011	06/11/2006			
	14/06/2007	16/04/2008	25/06/2009	17/06/2010	16/06/2011	14/06/2012	14/06/2012		m ²	m
Darse aux petits métiers (pêche/plaisance)	31 337	2 981	13 308	31 363	12 429	6 629	98 047	16341	22 000	0,74
Nouvelle darse de pêche (darse de commerce)	8 505	25 434	13 045	25 885	27 324	13 731	113 924	18987	25 000	0,76
Chenal Est 1	16 831	9 535	6 441	13 163	17 770	8 337	72 077	12013	17 500	0,69
Chenal Est 2	20 277	7 439	36 653	24 391	34 463	17 226	140 449	23408	30 000	0,78
Bassin au pétrole	2 874	750	5 502	26 224	9 927	4 192	49 469	8245	55 000	0,15
Chenal aval	4 356	9 762	13 733	24 759	81 549	10 992	145 151	24192	85 000	0,28
Sous-total	84 180	55 901	88 682	145 785	183 462	61 107	619 117	103 186	234 500	0,44
Bassin d'amortissement	0	10 136	46	175	0	12 013	22 370	3728	30 000	0,12
Passe et chenal d'accès	24 123	44 143	34 984	48 841	44 703	99 752	296 546	49424	300 000	0,16
Total	108 303	110 180	123 712	194 801	228 165	172 872	938 033	156 339	564 500	0,28

La figure 100 suivante localise cette zone d'accès extérieure au port.

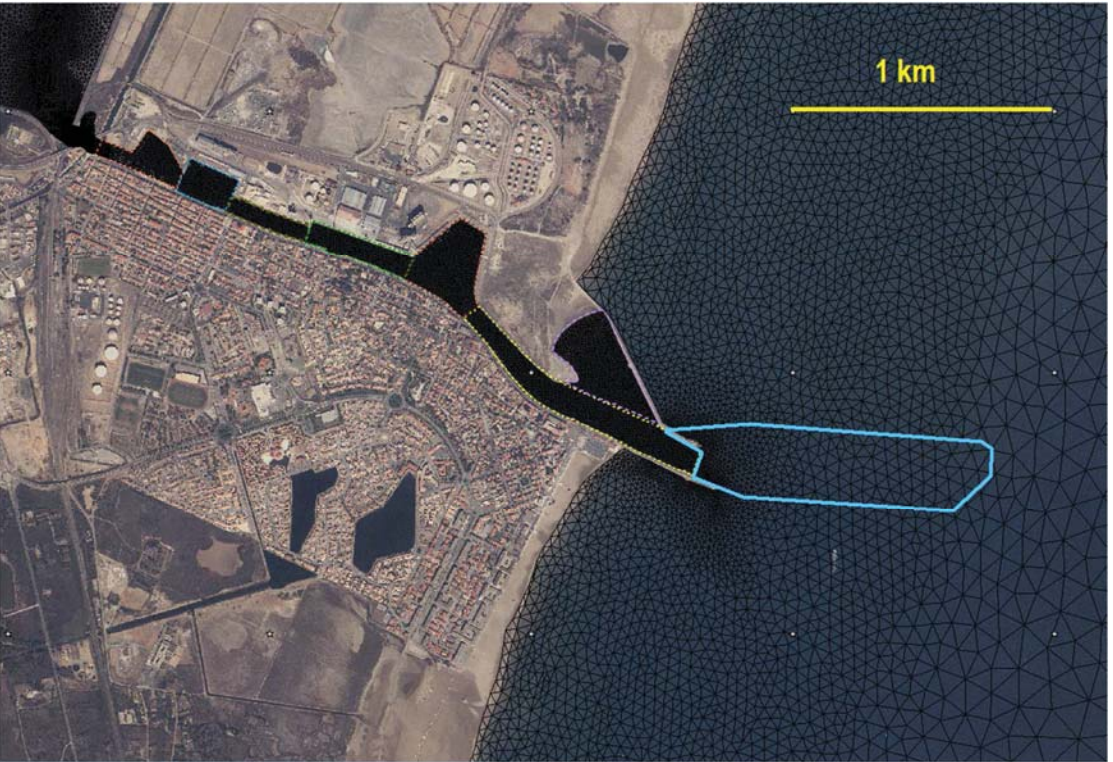


Figure 100. Localisation de la zone dite « passe et chenal d'accès » en trait bleu plein, d'après le pôle dragage du port de Sète

A l'issue de la simulation des évolutions annuelles, une cubature sera réalisée sur cette zone du chenal d'accès extérieur pour calculer le volume déposé par le modèle et vérifier qu'il est bien de l'ordre du volume moyen annuel dragué.

8.3.2. Evolutions morphodynamiques nature

8.3.2.1. Différentiel bathymétrique 1979-2009 pour le calage morphodynamique du modèle

Les levés suivants ont été utilisés pour examiner l'évolution des fonds marins au voisinage du port de Port-La Nouvelle sur une période longue de 30 ans :

- Levé SHOM datant de 1979 ou 1981 (selon les zones) qui a été acquis auprès du SHOM,
- Levé LIDAR datant de 2009 (FUGRO) qui a été fourni par la DREAL dans le cadre des études de caractérisation du littoral du Languedoc réalisées par SOGREAH pour le BRGM en 2010,

La **figure 101** suivante présente le différentiel sédimentaire dans la zone côtière au voisinage du port obtenu pour la période allant de 1979/1981 à 2009, cela en soustrayant les niveaux les plus anciens aux niveaux les plus récents,

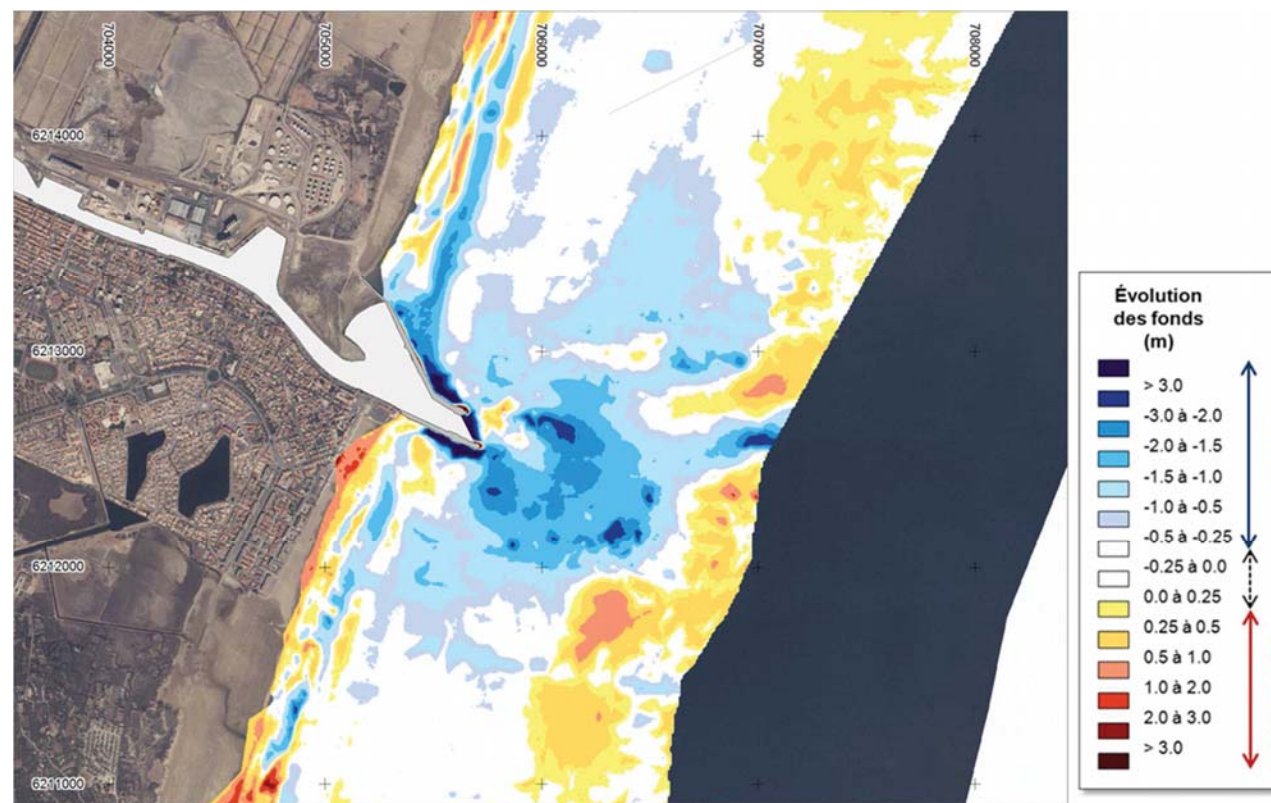


Figure 101. Evolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle

8.3.2.2. Evolution moyenne décennale

De cette carte des évolutions bathymétriques observées entre 1979 et 2009, est déduite une carte des évolutions moyennes décennales, présentée sur la **figure 102** suivante. La palette a été adaptée pour faire apparaître les évolutions dont la valeur absolue est comprise entre 0.125m et 0.25m.

Lignes iso : bathy 2009

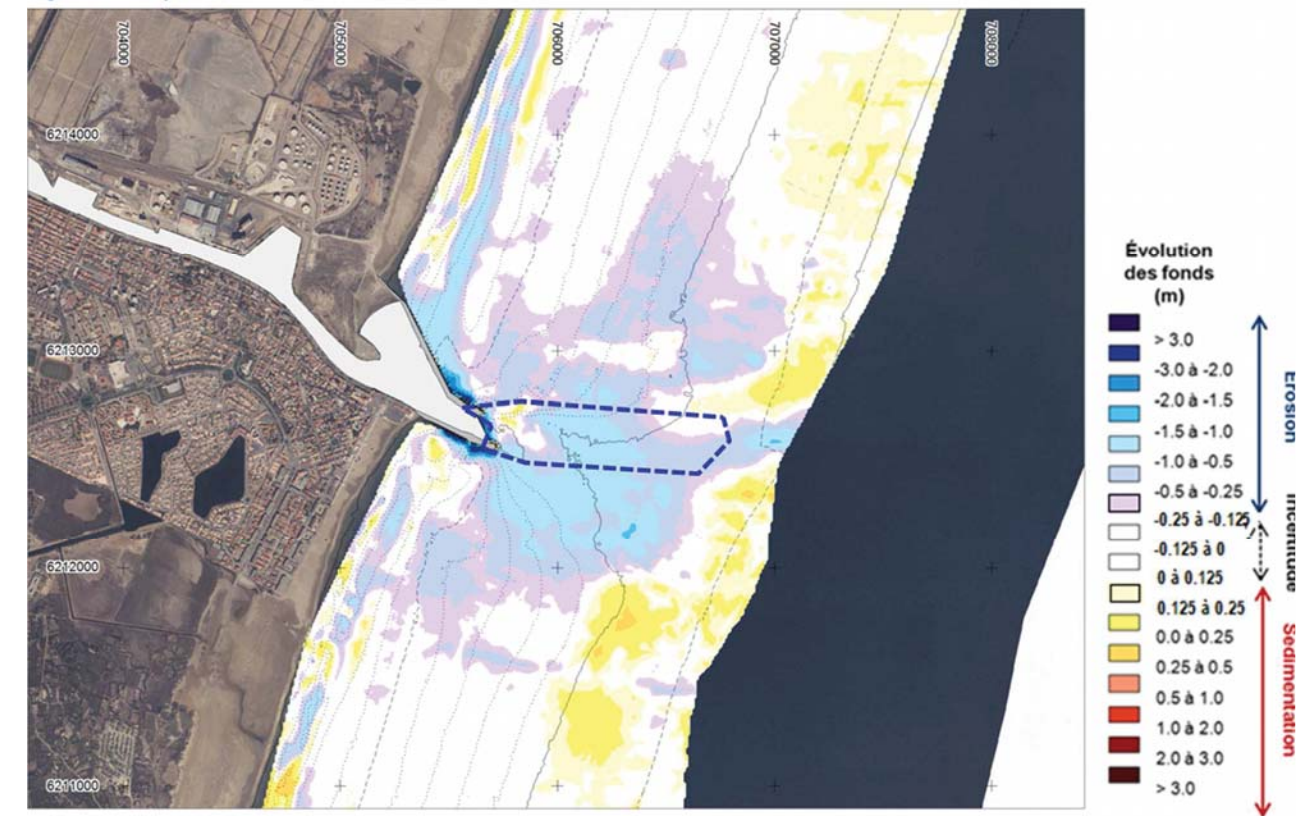


Figure 102. Evolution moyenne décennale déduite de l'évolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle – les tirets bleus rappellent la zone de dragage de l'accès au port

8.3.2.3. Analyse et exploitation

Pour rappel, le modèle d'évolution des fonds marins s'attache à **reproduire la morphodynamique des fonds situés en deçà de la zone de déferlement, c'est-à-dire pour des bathymétries inférieures à la cote de -5 m IGN69**. Le modèle dit « de trait de côte » (UNIBEST) se charge de modéliser l'évolution des fonds supérieurs, de la zone de surf jusqu'à la plage.

L'érosion observée dans la zone de dragage du chenal d'accès extérieur résulte d'une intervention anthropique. Cette érosion ne sera donc logiquement pas retrouvée par le modèle. Le volume déposé qui sera modélisé sur cette zone de dragage sera comparé aux volumes moyens dragués annuellement.

Seules les tendances morphodynamiques, observées en nature à l'extérieur des zones suscitées et grisées sur la **figure 103** suivante, sont donc à reproduire par le modèle d'évolution moyenne décennale.

Lignes iso : bathy 2009

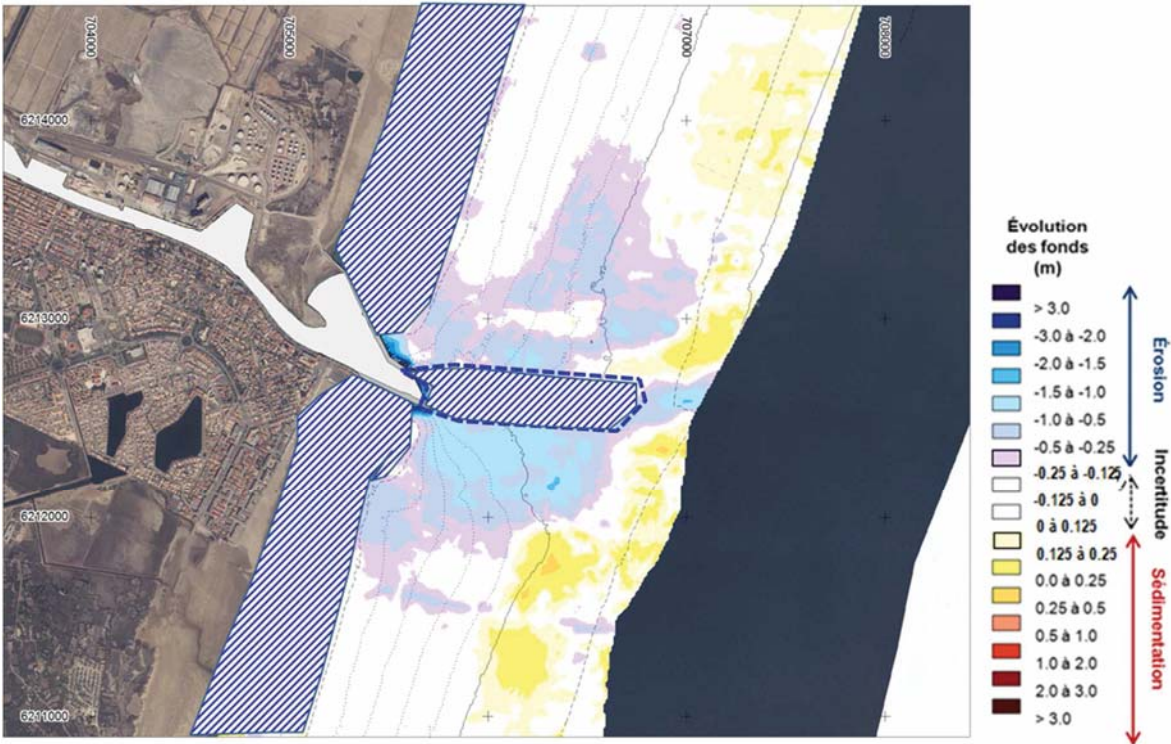


Figure 103. Evolution moyenne décennale déduite de l'évolution des fonds de 1979 à 2009 au voisinage du port de Port-La Nouvelle

Cette figure 103 montre une évolution nature moyenne décennale faible, pratiquement partout comprise entre -0.125 m et 0.125 m sauf au droit du port.

Au droit du port, une zone circulaire d'érosion, hors zone de dragage, est observable. Cette érosion traduit un évaselement des fonds devant le port. Des recherches sur l'origine possible de cet évaselement qui n'est plus mesuré actuellement, amènent à penser qu'elle n'est pas uniquement due aux dragages de maintenance du canal d'entrée de l'actuel port, mais s'explique aussi par les différentes interventions humaines qui ont eu lieu entre 1979 et 2009, avec en particulier la suppression des vannes en amont du Grau. Cette action amplifie les échanges étang-mer et accroît de fait la dynamique devant les digues du port, entraînant une réadaptation des fonds par l'évaselement de la bathymétrie au droit direct de l'entrée du port actuel.

Cette réadaptation semble aujourd'hui achevée, les fonds paraissant stables dans cette zone sur le différentiel bathymétrique produit entre 2009 et 2012.

Plus au large, par des fonds de -10 à -15 m IGN69, une structure en accrétion apparaît. Les tests de modélisation préliminaires ont montré que l'apparition de ces dépôts est consécutive à de fortes houles de hauteurs significatives supérieures à 6 m par des fonds de -40 m IGN69.

Une analyse des houles mesurées et disponibles pour ces 7 dernières années à la Bouée CANDHIS de Leucate, bouée située par des fonds équivalents à l'ADCP L de la campagne de mesure, met en évidence des hauteurs significatives enregistrées supérieures à 5.5 m, atteignant jusqu'à 6.5 m, comme le montre le tableau 1 suivant, extrait de l'analyse statistique des houles mesurée à la bouée CANDHIS entre 2006 et 2013.

																		Directions moyennes des houles									
Secteurs	355°-5°	5°-15°	15°-25°	25°-35°	35°-45°	45°-55°	55°	65°	65°-75°	75°-85°	85°-95°	95°-105°	105°-115°	115°	-125°	125°-135°	135°-145°	145°-155°	155°-165°	165°	175°	175°-185°					
Hs (m) ↓	0 - 360	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180								
0 - 0.25	337	229	151	188	198	232	260	322	386	530	977	2096	2732	2540	2663	1671	772	365	160								
0.25 - 0.5	655	360	179	255	375	539	739	1104	922	732	822	1527	1908	1930	2559	2118	1183	667	149								
0.5 - 0.75	268	101	46	78	126	301	535	799	532	562	742	1012	987	1088	1398	1274	557	206	34								
0.75 - 1	78	16	4	13	31	104	243	347	300	367	442	629	571	678	846	626	234	44	7								
1 - 1.25	9	4	2	2	5	19	129	157	132	190	317	423	515	423	573	535	120	17	3								
1.25 - 1.5	3		1	1	2	2	52	34	57	177	289	343	283	282	372	318	64	3	2								
1.5 - 1.75	3	1					8	23	45	132	215	246	218	195	273	251	31	7	1								
1.75 - 2							4	4	41	128	186	184	155	186	223	176	24	17	5								
2 - 2.25							1			25	95	187	138	82	112	95	106	12	7	5							
2.25 - 2.5									24	79	139	151	82	58	37	53	15				1						
2.5 - 2.75									12	49	127	121	69	36	20	34	3										
2.75 - 3									5	28	85	55	47	16	12	12	3										
3 - 3.25										21	60	34	27	17	5	5	1										
3.25 - 3.5										16	54	36	17	13	4												
3.5 - 3.75										22	29	35	9	10	4												
3.75 - 4										11	25	16	4	5	4												
4 - 4.25										13	14	19	1	14													
4.25 - 4.5										6	11	10	2	6													
4.5 - 4.75										11	6	6	1	4													
4.75 - 5										4	17	5		7													
5 - 5.25											5	7		3													
5.25 - 5.5											7	2															
5.5 - 5.75											10	3															
5.75 - 6											7	1															
6 - 6.25											5	1															
6.25 - 6.5																											
6.5 - 6.75																											
6.75 - 7																											
7 - 7.25																											
> 7.25																											
Total	1353	711	383	537	737	1197	1971	2790	2481	3173	4782	7060	7710	7623	9088	7179	3019	1333	367								
Nombre de données	Total		Indéterminées																								
	109093		155																								

Tableau 1: extrait des statistiques de houle à la bouée CANDHIS entre 2009 et 2012

Au regard de ce qui précède, l'objectif du modèle d'évolution des fonds marins sur 10 ans sera de reproduire une stabilité des fonds pour des cotes inférieures à -5 m IGN69, ainsi qu'un dépôt de sédiment au large du port par des fonds situés entre - 10 et - 15 m IGN69.

8.3.2.4. Différentiel bathymétrique 2009-2012 pour la validation du modèle

Les levés suivants ont été utilisés pour examiner l'évolution des fonds marins au voisinage du port de Port-La Nouvelle sur une période courte de 3 ans :

- Levé LIDAR datant de 2009 (FUGRO) qui a été fourni par la DREAL dans le cadre des études de caractérisation du littoral du Languedoc réalisées par SOGREAH pour le BRGM en 2010,
- Levé SONAR 2012 (SIMNANTEC) qui a été fourni par la Région du Languedoc.

La figure 104 suivante présente le différentiel sédimentaire dans la zone côtière au voisinage du port obtenu pour la période allant de 2009 à 2012, cela en soustrayant les niveaux les plus anciens aux niveaux les plus récents,

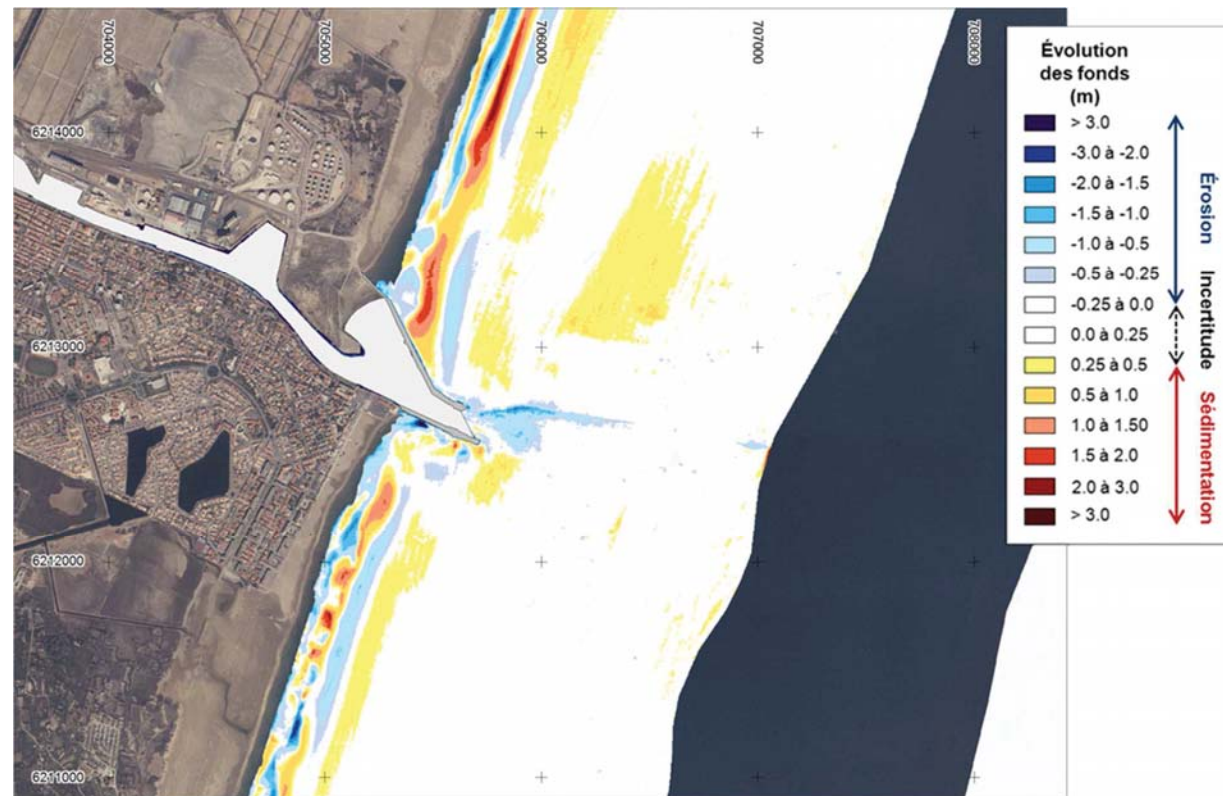


Figure 104. Evolution des fonds de 2009 à 2012 au voisinage du port de Port-La Nouvelle

8.3.2.5. Analyse et exploitation

Le modèle d'évolution des fonds marins s'attache à **reproduire la morphodynamique des fonds situés en deçà de la zone de déferlement, c'est-à-dire pour des bathymétries inférieures à la cote de -5 m IGN69**. Le modèle dit « de trait de côte » (UNIBEST) se charge de modéliser l'évolution des fonds supérieurs, de la zone de surf jusqu'à la plage.

L'érosion observée dans la zone de dragage du chenal d'accès extérieur résulte d'une intervention anthropique. Cette érosion ne sera donc logiquement pas retrouvée par le modèle. Le volume déposé qui sera modélisé sur cette zone de dragage sera comparé aux volumes moyens dragués annuellement.

Seules les tendances morphodynamiques, observées en nature à l'extérieur des zones suscitées et grisées sur la **figure 105** suivante, sont donc à reproduire par le modèle d'évolution annuelle.



Figure 105. Analyse des évolutions à reproduire sur la période 2009 - 2012 par le modèle au voisinage du port de Port-La Nouvelle

Cette **figure 105** montre une évolution nature moyenne annuelle faible, pratiquement partout comprise entre -0.25 m et 0.25 m, et traduisant un état des fonds stable dans la zone d'étude.

Cette évolution est consécutive à trois années de temps calme, caractérisées par l'absence de houles fortes de hauteurs significatives supérieures à 5.5 m. C'est ce que montre le tableau 2 suivant, extrait de l'analyse statistique des houles mesurées à la bouée CANDHIS entre 2009 et 2012 : pendant ces trois années, à la Bouée CANDHIS de Leucate, située par des fonds équivalents à l'ADCP L de la campagne de mesure, les hauteurs significatives enregistrées sont toujours inférieures à 5.5 m, alors que pendant la campagne de mesure de 2013, en mars notamment, étaient enregistrées des hauteurs de houle de plus de 6.5 m. La conséquence est qu'il n'y a pas d'évolution marquée des fonds au-delà de **15 m IGN69** de profondeur, comme on a pu le voir sur les évolutions à plus long terme.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

	Directions moyennes des houles (deg)																					
Secteurs →	355° 5'	5° 15'	15° 25'	25° 35'	35° 45'	45° 55'	55°	65°	65° 75'	75° 85'	85° 95'	95° 105'	105° 115'	115°	- 125°	125° 135°	135° 145°	145° 155°	155° 165°	165°	175°	175° 185°
Hs (m) ↓	0 - 360	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180			
0 - 0.25	150	89	41	33	63	61	76	115	162	193	412	738	969	983	1018	706	338	167	57			
0.25 - 0.5	216	123	70	95	138	198	296	424	396	299	331	687	749	822	1014	807	560	341	62			
0.5 - 0.75	84	45	16	28	51	153	247	401	203	218	327	365	351	407	593	408	233	114	16			
0.75 - 1	37	11	2	6	24	73	124	166	118	123	213	205	226	288	376	199	81	21	7			
1 - 1.25	6	3	1	1	1	4	44	41	45	63	103	140	197	174	226	198	47	14	3			
1.25 - 1.5					1			3	5	9	72	121	167	134	118	143	137	28	3	2		
1.5 - 1.75								6	16	48	104	112	93	95	105	103	16	5	1			
1.75 - 2									10	46	83	76	64	72	80	77	16	17	5			
2 - 2.25									10	45	99	54	34	57	29	45	8	7	5			
2.25 - 2.5									12	38	64	48	44	36	18	15	7		1			
2.5 - 2.75									7	15	56	41	49	24	12	14						
2.75 - 3									3	4	33	18	36	14	11	3						
3 - 3.25										8	30	6	23	17	5	3	1					
3.25 - 3.5										7	31	7	15	13	4							
3.5 - 3.75										10	14	9	9	10	4							
3.75 - 4										6	13		3	5	4							
4 - 4.25										6	10		1	14								
4.25 - 4.5										3	7		2	6								
4.5 - 4.75										5	4		1	4								
4.75 - 5										3	4		7									
5 - 5.25											2			3								
5.25 - 5.5														2								
5.5 - 5.75																						
5.75 - 6																						
6 - 6.25																						
6.25 - 6.5																						
6.5 - 6.75																						
6.75 - 7																						
7 - 7.25																						
> 7.25																						
Total	493	271	130	163	278	489	790	1158	991	1212	2061	2673	3000	3171	3642	2715	1335	689	159			
Nombre de données :	Total		Indéterminés																			
	42413		0																			

Tableau 2 : extrait des statistiques de houle à la bouée CANDHIS entre 2009 et 2012

8.4. CALAGE ET VALIDATION DU MODELE D'EVOLUTION DES FONDS MARINS

8.4.1. Calage du modèle d'évolution des fonds marins à court terme (1 an) : calibration du calcul du transport solide

Le calage du modèle d'évolution des fonds marins se fait sur la série chronologique de 6 mois, représentative des conditions de houle des 7 dernières années, associée au rapport (durée de la période à simuler / durée de la période réellement simulée), soit 12/6.

Un premier calcul à 1 an permet de calibrer le transport solide de sorte à obtenir, dans la zone de dragage de l'accès extérieur au port, un dépôt équivalent au volume moyen annuel de 49 500 m³.

A l'issue de nombreux tests, un volume de dépôt dans la zone de dragage a été obtenu égal à 45 600m³,

La figure 106 suivante présente l'évolution de ce dépôt pendant la série chronologique de 6 mois simulés. Pour faciliter l'analyse de la formation de ce dépôt, la chronique des mesures de hauteur de houle à l'ADCP L est ajoutée au graphique.

MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

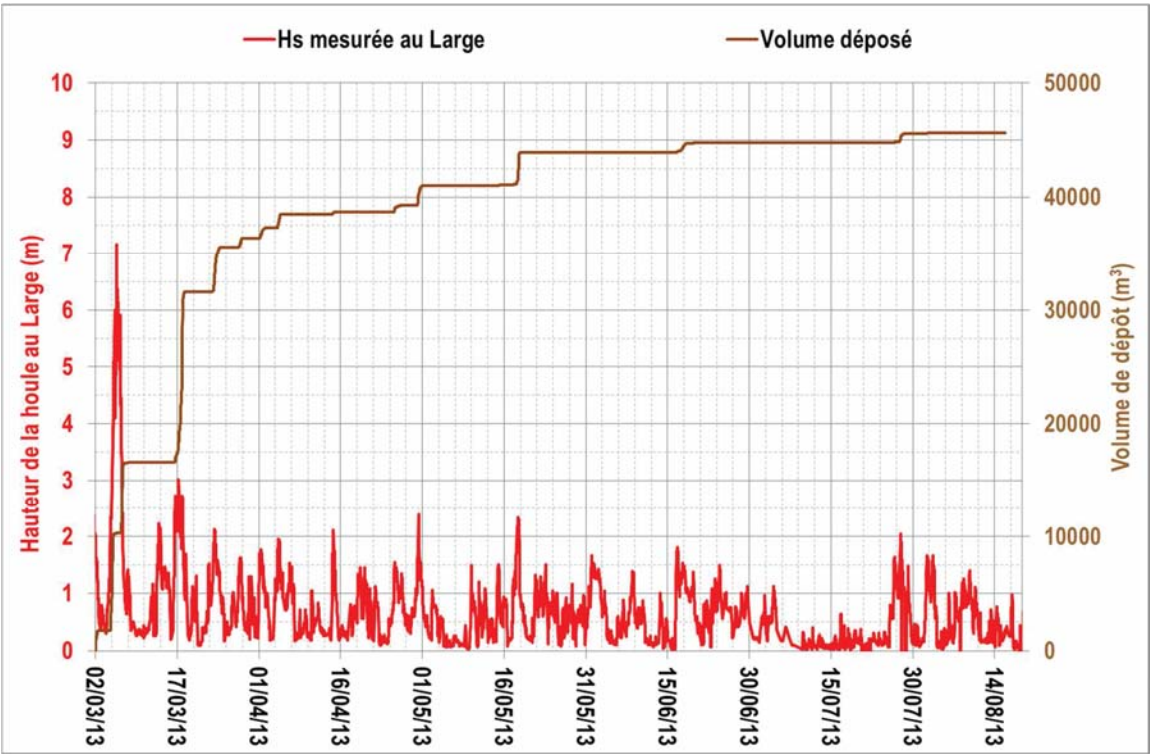


Figure 106. Evolution du volume de dépôt calculé sur 1 an, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années.

8.4.2. Calage du modèle d'évolution des fonds marins à moyen terme (10 ans)

Une fois le transport solide calibré sur 1 an, un calcul à 10 ans permet de vérifier que le calage est valide morphodynamiquement à moyen terme en comparant les volumes déposés à 10 ans dans le chenal d'accès avec les volumes dragués sur 10 ans, ainsi que les évolutions simulées avec les évolutions mesurées.

Le calage du modèle d'évolution des fonds marins à 10 ans se fait sur la série chronologique de 6 mois, représentative des conditions de houle des 7 dernières années, associée au rapport (durée de la période à simuler / Durée de la période réellement simulée), soit 120/6.

Afin de tenir compte des dragages de maintenance dans le chenal d'accès dont le volume cumulé à 10 ans avoisine les 500 000m³, à chaque itération du calcul, tout volume déposé dans la zone de dragage du chenal extérieur est calculé, cumulé aux itérations précédentes, puis retiré du domaine de calcul – ce qui équivaut à simuler l'opération de dragage. Les volumes naturellement érodés ne sont, en revanche, pas modifiés en fin d'itération.

A l'issue de la simulation à 10 ans de l'état actuel, le volume retiré du domaine (représentant les dragages) s'élève à 440 000 m³. Ce volume est de l'ordre du volume moyen dragué sur 10 ans (49 000 m³ x 10 en nature, 45 600 m³ x 10 en se basant sur la modélisation à 1 an).

En termes d'évolution, comme attendu, on ne retrouve pas la zone circulaire de forte érosion observable sur le différentiel bathymétrique de 1979 – 2009 discutée au paragraphe 8.3.2.3. Ainsi l'hypothèse faite quant à son origine semble se confirmer par le calcul : extraire un volume de l'ordre de 440 000 m³ sur 10 ans ne suffit pas, dans l'état actuel du port et des fonds, à créer un tel évaseement des fonds devant le port. Les différentes interventions humaines qui ont eu lieu entre

1979 et 2009, avec en particulier la suppression des vannes en amont du Grau, y ont fortement contribué également.

En revanche, on retrouve une accrétion le long de l'isobathe -15 m, qui se produit lors des tempêtes et qui est du même ordre de grandeur que le phénomène observé en nature.

Entre -10 et -5 m, les évolutions sont assez faibles ; cependant une tendance au dépôt est plus importante au nord du port (<0.5 m sur 10 ans), ce qui est peu visible sur le différentiel bathymétrique 1979-2009, mais qui est observé sur le différentiel 2009-2012 (paragraphe 8.3.2.5).

Les **figure 107** et **figure 108** suivantes présentent les évolutions finales obtenues par ce calcul à 10 ans tenant compte du dragage de maintenance dans le chenal d'accès, respectivement au voisinage du port puis sur tout le domaine d'étude.

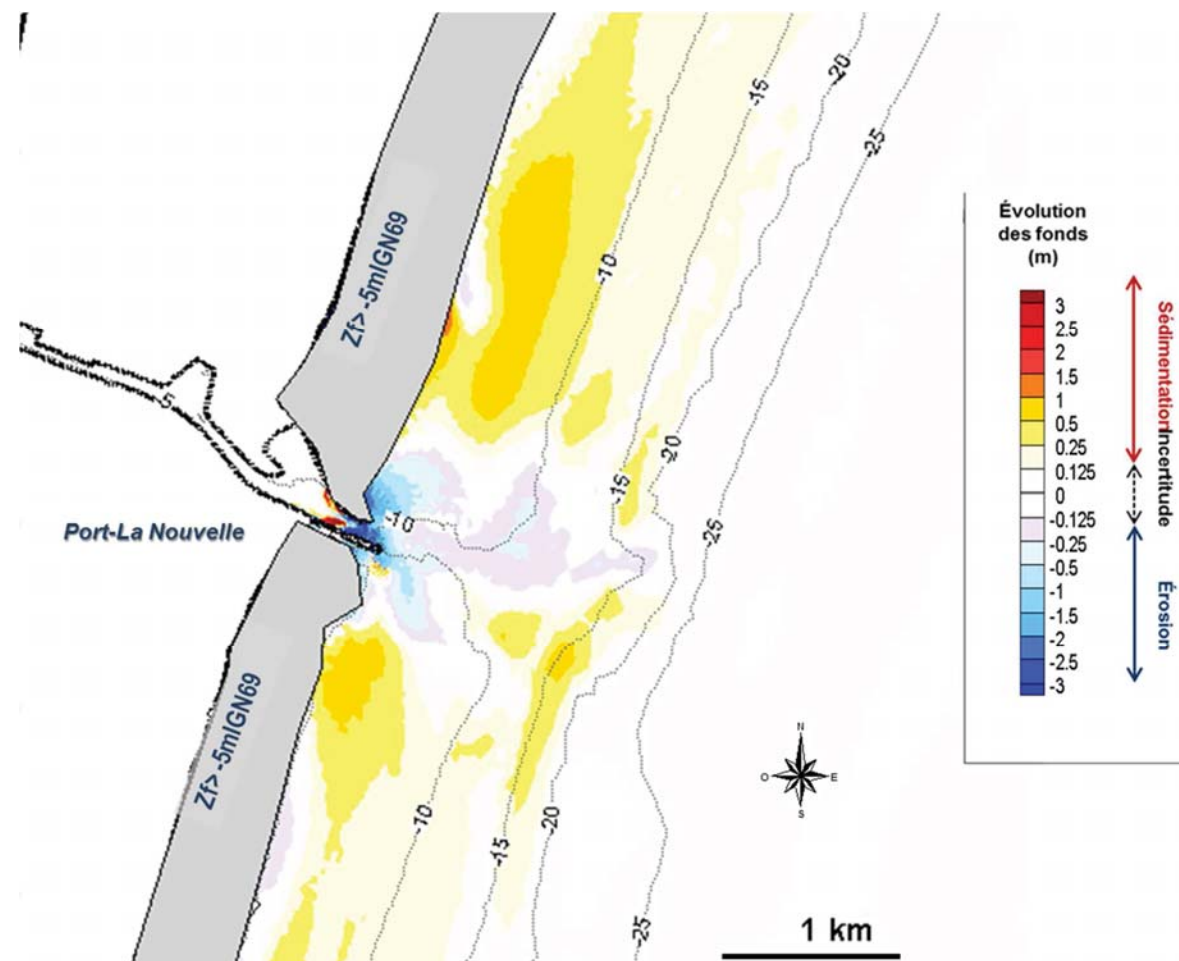


Figure 107. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – Zoom sur le voisinage du port

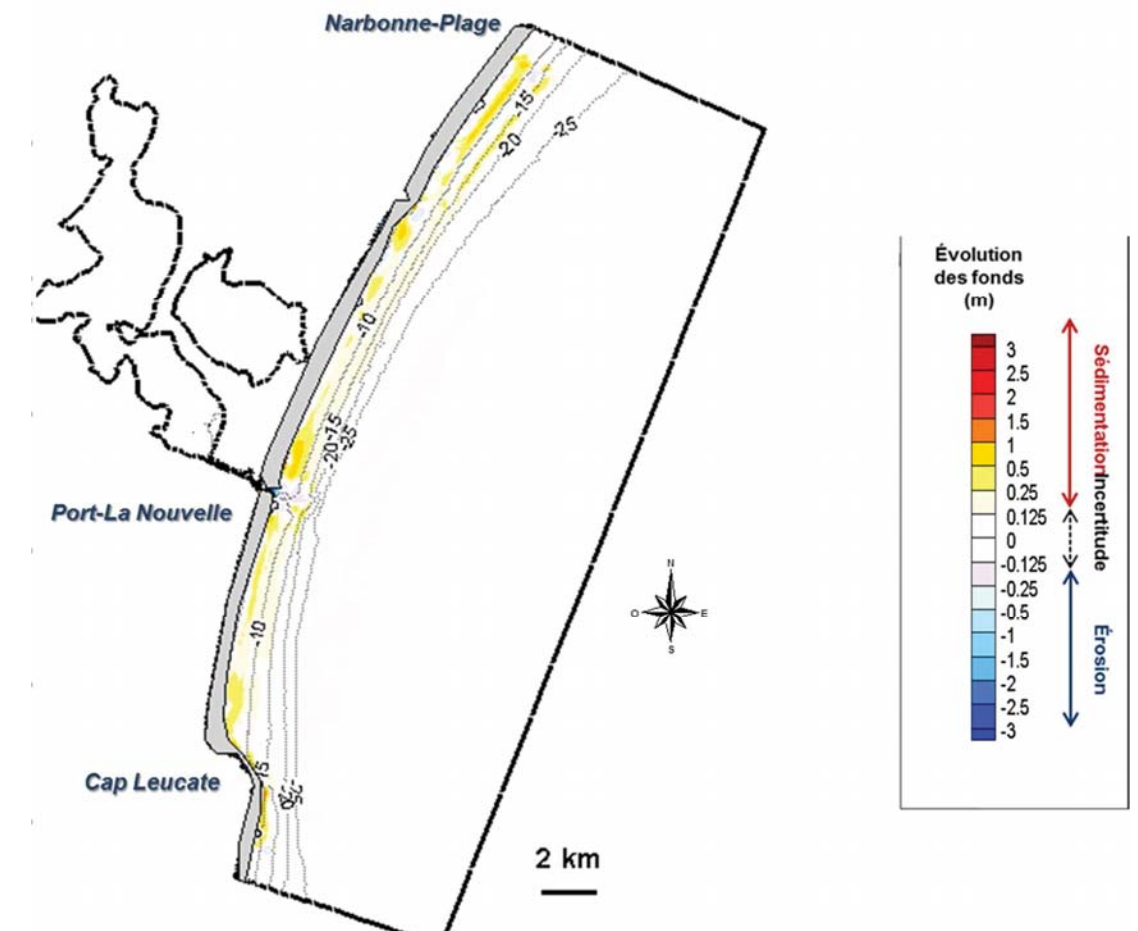


Figure 108. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – Vue élargie au domaine de calcul

8.4.3. Validation du modèle d'évolution des fonds marins

Ensuite, un calcul de validation du modèle d'évolution des fonds marins est mené sur la série chronologique de 6 mois, représentative des conditions de houle de 2009 à 2012.

Ce calcul à 3 ans, représentatif des années « calmes » 2009 à 2012, permet de vérifier que le calage reste morphodynamiquement valide à court terme, **ce pour une nouvelle série chronologique moins énergétique.**

La simulation permet de reproduire les faibles évolutions observées en nature (cf. **figure 105**), notamment l'absence d'évolution marquée des fonds au-delà de 15 m IGN69 de profondeur. Est bien reproduite également la tendance au dépôt au nord du port (entre 0.5 et 1 m de dépôt sur 3 ans), pareillement localisée et de même intensité qu'en nature.

La **figure 109** suivante présente les évolutions finales obtenues par ce calcul de validation à 3 ans, au voisinage du port.

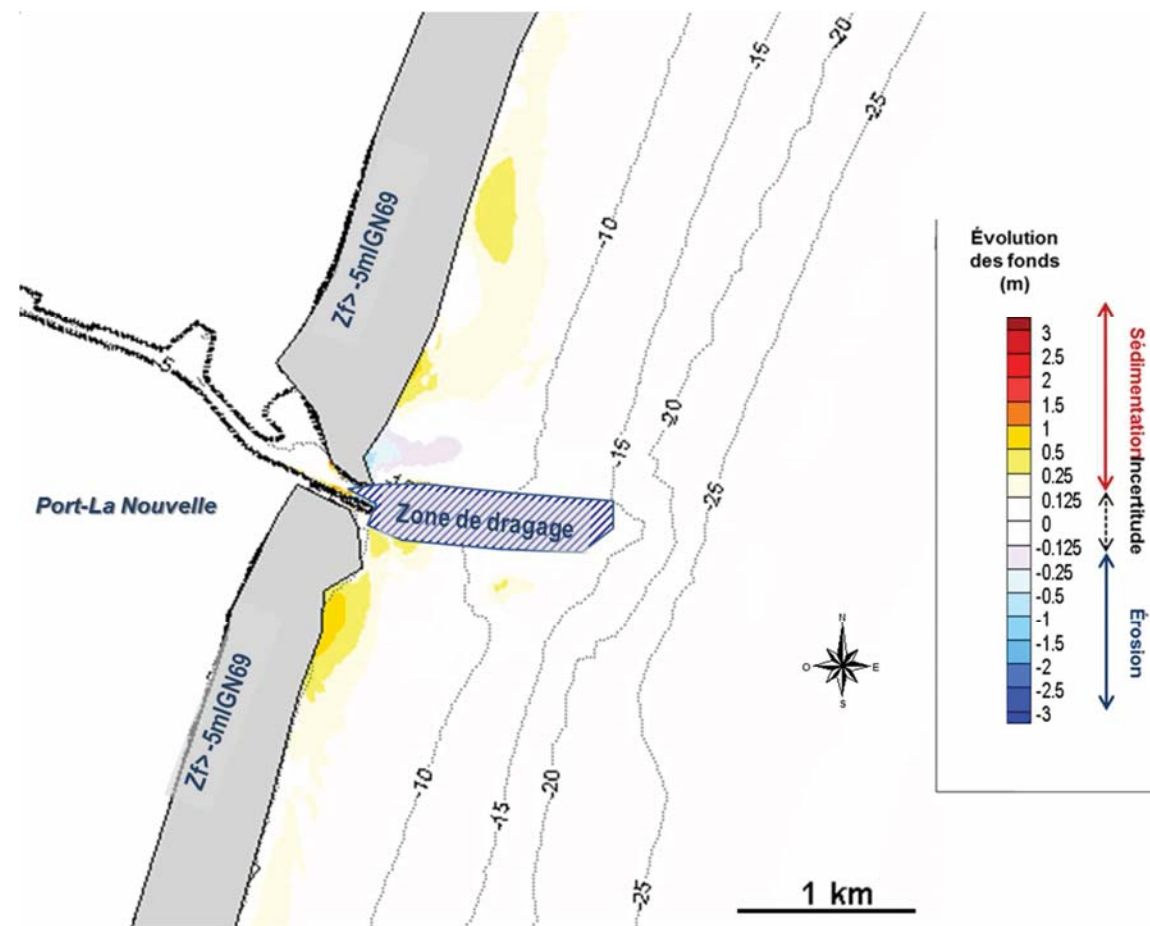


Figure 109. Evolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 3 ans, considérant le forçage représentatif des conditions de houle de 2009 à 2012 – Zoom sur le voisinage du port

8.4.4. Conclusions relatives au calage du modèle d'évolution des fonds marins

Ainsi l'équation de transport du modèle d'évolution des fonds marins a été calibrée de sorte à reproduire, en 1 an, un volume de dépôt dans la zone de dragage extérieure équivalent au volume moyen de sable dragué dans cette zone.

Le facteur morphodynamique a été calé de sorte à reproduire aussi bien **les volumes piégés dans le chenal d'accès à 10 ans (440 000 m³) et les évolutions nature à moyen terme (10 ans)** obtenues pour des chroniques de houles comportant des hauteurs de vague supérieures à 5.5 m au large (dépôts par -15 m IGN devant l'actuel port), que les faibles évolutions nature à court terme (3 ans) obtenues pour des chroniques de houles comportant des hauteurs de vague toujours inférieures à 5.5m au large (pas de dépôt par -15 m IGN devant l'actuel port, et zone de légère accrétion au nord de l'actuel port par de fonds de 5 à 10 m),

Sur cette base, les calculs d'évolution des fonds marins, à 1 et 10 ans, en configuration future peuvent être menés.

L'exploitation du modèle en configuration future permettra d'identifier les risques éventuels d'érosion excessive aux musoirs par exemple, ou bien encore les zones de dépôt occasionnées.

L'utilisation comparative du modèle permettra, en comparant les réponses morphodynamiques à court et moyen termes obtenues en configuration future avec celles obtenues en situation actuelle, de déduire les impacts hydrosédimentaires du futur port.

8.5. MODELISATION DE L'EVOLUTION DES FONDS MARINS, A COURT ET MOYEN TERMES, EN CONFIGURATION FUTURE

A l'issue de ce calage, le modèle simule l'évolution des fonds marins, à court et moyen termes, avec la configuration portuaire future, ceci afin d'identifier d'éventuelles zones de dépôt ou d'érosion excessive occasionnées par l'aménagement.

Par comparaison des réponses morphodynamiques obtenues en configuration future avec celles obtenues en situation actuelle, le modèle permet également d'identifier les éventuels impacts hydrosédimentaires dus au futur port, et d'en évaluer l'étendue.

8.5.1. Calcul d'évolution des fonds marins à court terme (1 an) en configuration future

Les évolutions des fonds marins obtenues à l'issue de la simulation à court terme (1 an) sont présentées **figure 110** et **figure 111**. Ces évolutions sont faibles, n'atteignant, en valeur absolue, jamais le mètre.

Deux zones de dépôts apparaissent, situées de part et d'autre du futur port, par des fonds de -5 à -10 m IGN69. Le dépôt au sud immédiat du futur port est plus marqué.

Une érosion se dessine au musoir de la digue principale, mais reste faible, inférieure au mètre, et peu étendue, localisée le long des dernières dizaines de mètres jusqu'au musoir.

Il est rappelé que les phénomènes dus à l'agitation en champ proche de la digue ne sont pas reproduits ici : il s'agit de reproduire les évolutions moyennes décennales dues aux courants développés au voisinage du futur port, pondérés par leurs occurrences.

A noter que les pentes du chenal d'accès s'adoucissent légèrement par des dépôts en pied de talus.

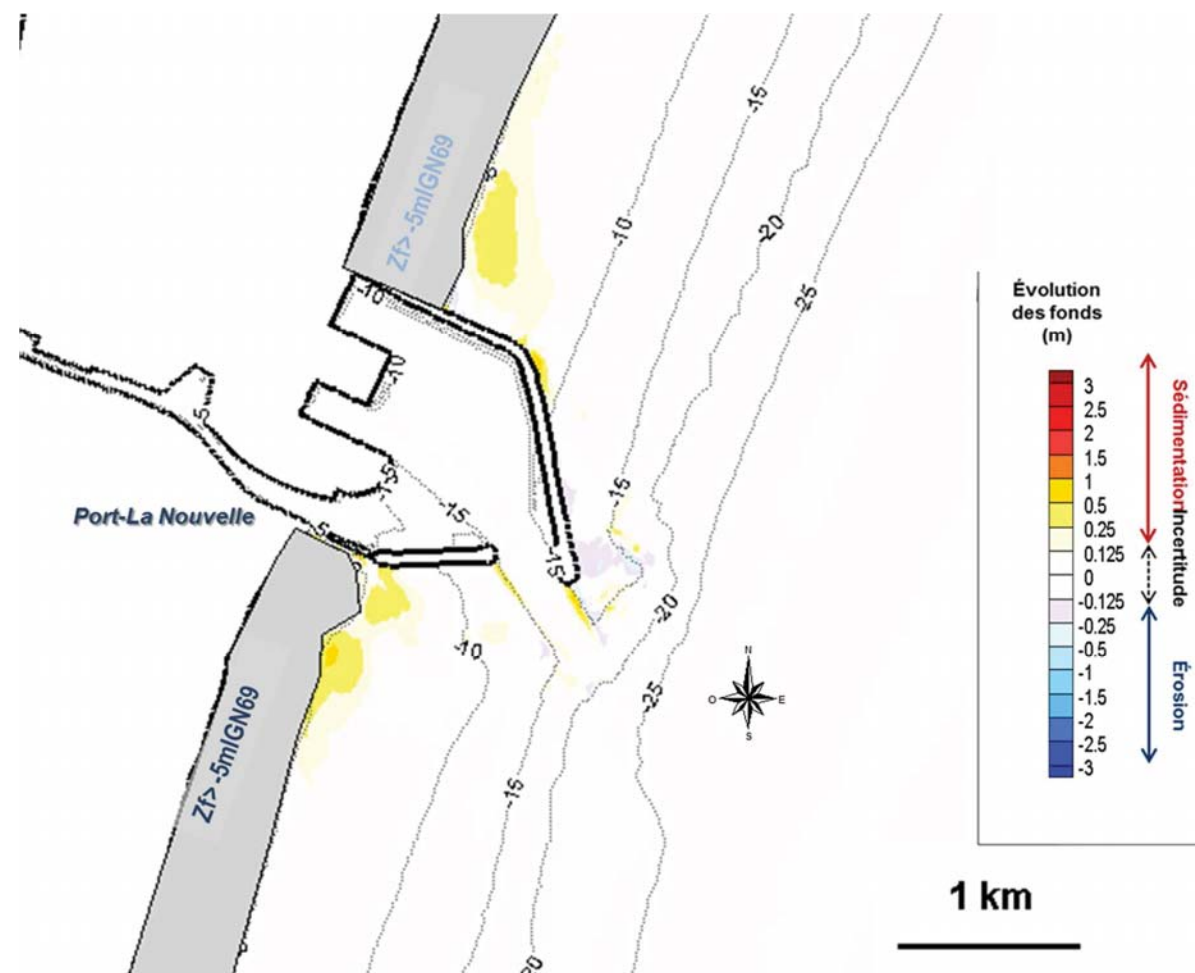


Figure 110. Evolutions obtenues en configuration future à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – Zoom sur le voisinage du port

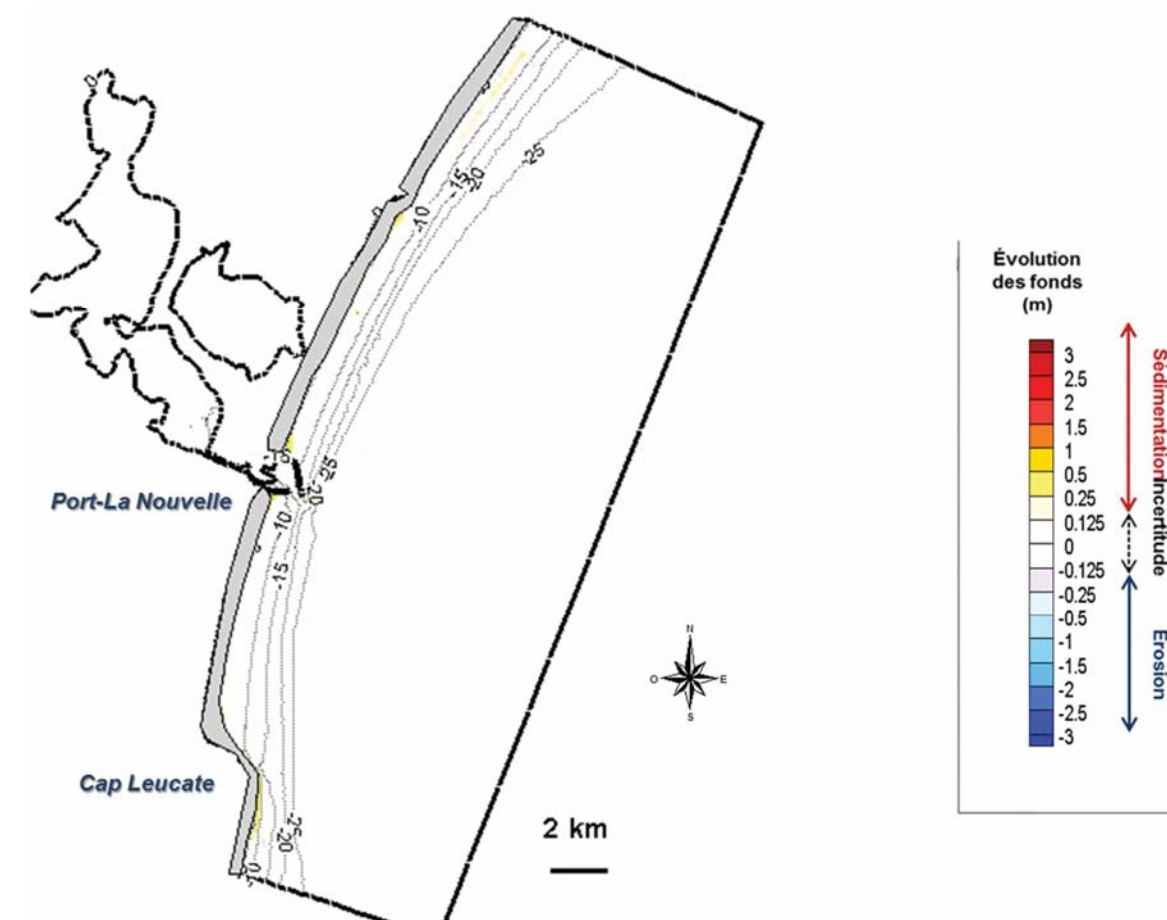


Figure 111. Evolutions obtenues en configuration future à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, considérant le forçage représentatif des conditions de houle des 7 dernières années – vue élargie au domaine de calcul

La comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, en configuration actuelle et en configuration future est proposée **figure 112 et figure 113**.

Cette comparaison montre que, hormis au voisinage du port, les structures morphodynamiques reproduites sont les mêmes en situations actuelle et future (cf. **figure 113**). Il n'y a donc pas d'impact morphodynamique notable du futur port sur les fonds marins situés à plus 3 km de l'aménagement.

Au voisinage du port, les évolutions des fonds marins sont très peu modifiées en situation future : les dépôts de part et d'autre du futur port sont de même intensité que ceux obtenus en situation actuelle.

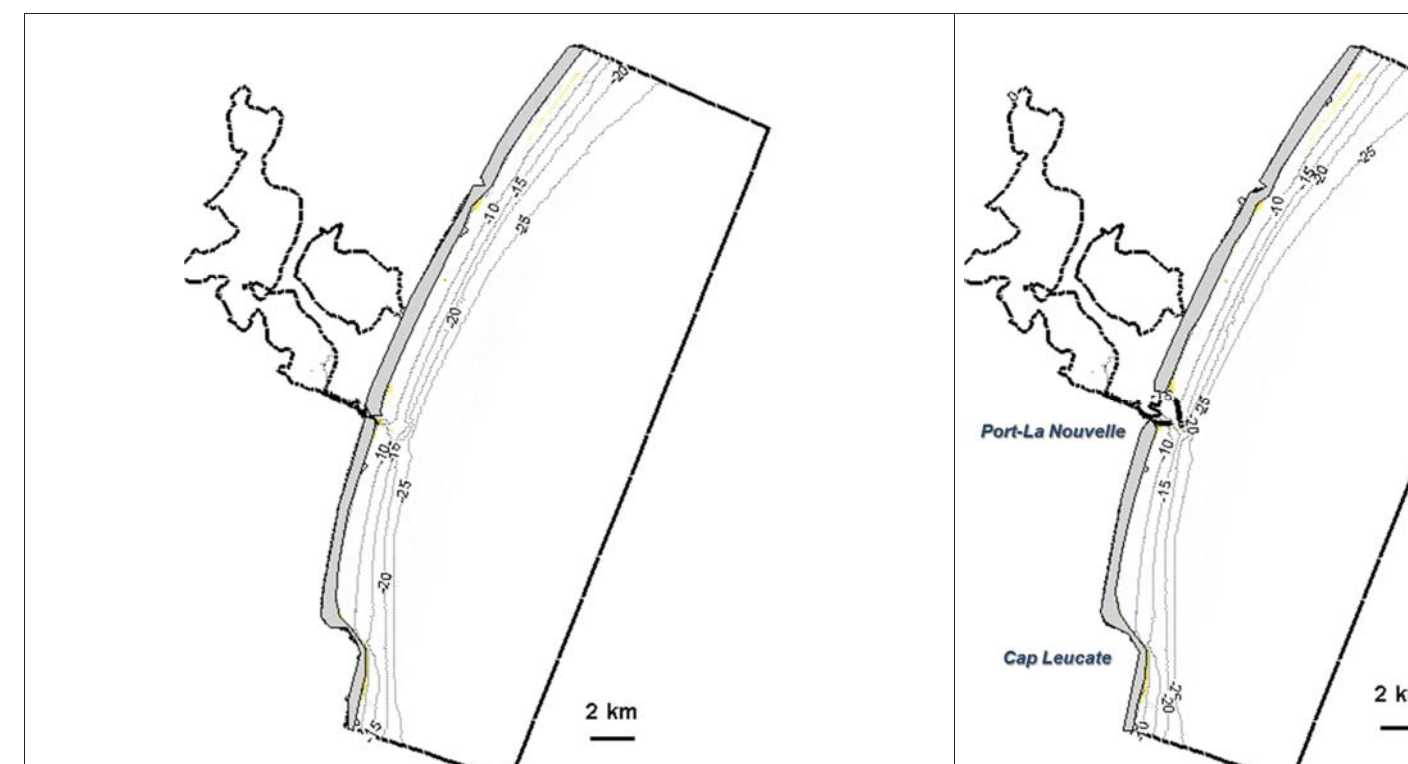
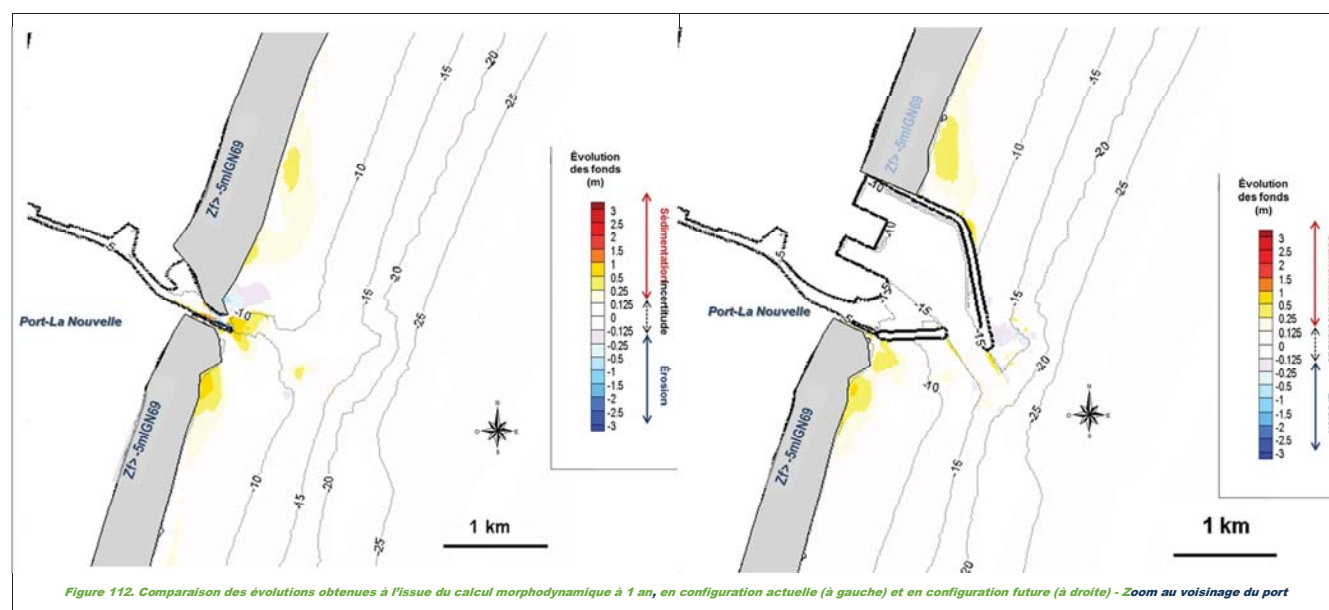


Figure 113. Comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 1 an, en configuration actuelle (à gauche) et en configuration future (à droite) - Vue d'ensemble

8.5.2. Calcul d'évolution des fonds marins à moyen terme (10 ans) en configuration future

Deux calculs des évolutions à 10 ans en configuration future ont été réalisés :

- Calcul 1 : calcul ne tenant pas compte des dragages en configuration future,
- Calcul 2 : calcul tenant compte des dragages de maintenance en configuration future.

Pour le premier calcul (C1), les paramètres du modèle calé à 10 ans en configuration actuelle (même équation de transport, même facteur morphodynamique, même chronique de houles comportant des hauteurs de vague supérieures à 5.5 m au large) sont appliqués mais pas la prise en compte des dragages telle qu'exposée dans le paragraphe 8.4.2. Le dépôt peut se faire librement dans le chenal d'accès extérieur du futur port.

Pour le second calcul (C2), les paramètres du modèle calé à 10 ans en configuration actuelle (même équation de transport, même facteur morphodynamique, même chronique de houles comportant des hauteurs de vague supérieures à 5.5 m au large) sont appliqués, ainsi que la prise en compte des dragages de maintenance qui auront potentiellement lieu dans le futur chenal d'accès : tout comme pour le calcul des évolutions à 10 ans en configuration actuelle, à chaque itération du calcul, tout volume déposé dans le chenal extérieur est calculé, cumulé aux itérations précédentes, puis retiré du domaine de calcul – comme pour simuler l'opération de dragage. Les volumes naturellement érodés ne sont, en revanche, pas modifiés en fin d'itération. La zone dans laquelle les dépôts sont comptabilisés puis annulés est présentée **figure 114**.

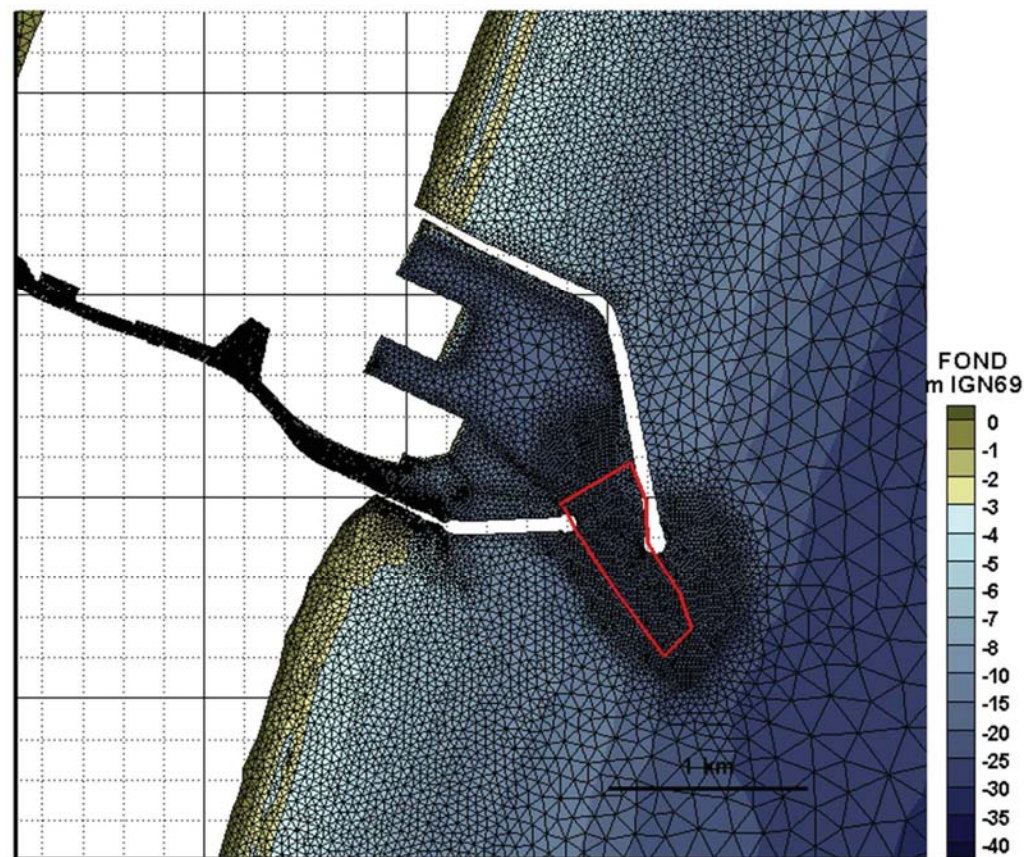


Figure 114. Future zone de dragage du chenal extérieur considérée, en rouge

Les évolutions des fonds marins obtenues à l'issue des deux simulations à moyen terme (10 ans), avec et sans dragage, en configuration future, sont présentées **figure 115** (zoom sur le port) et **figure 116** (vues élargies au domaine entier).

Les évolutions issues du calcul 1 (C1) et du calcul 2 (C2) sont rigoureusement les mêmes, hors de la future zone de dragage.

Ces évolutions à 10 ans sont relativement faibles, atteignant très localement, en valeur absolue, 1.5 m.

Les deux zones de dépôts apparues au bout d'un 1 an, de part et d'autre du futur port, par des fonds de -5 à -10 m IGN69, s'étendent légèrement. Les dépôts s'intensifient modérément, les plus forts étant très localisés, au niveau des coudes de la digue principale et de la digue secondaire.

A l'issue de C1, un dépôt n'excédant pas 0.5 m se crée dans le chenal d'accès, alors que les pentes latérales continuent de s'adoucir

A l'issue de C2, le volume retiré du domaine (représentant les dragages) est de 144 000 m³. Ce volume est trois fois moindre que le volume moyen dragué sur 10 ans en configuration actuelle (440 000 m³).

La zone en érosion apparue au bout d'un an au niveau du musoir de la digue principale s'étend et atteint une érosion de l'ordre du mètre (là encore, on rappelle que les phénomènes dus à l'agitation en champ proche de la digue ne sont pas reproduits ici : il s'agit de reproduire les évolutions moyennes décennales dues aux courants développés au voisinage du futur port).

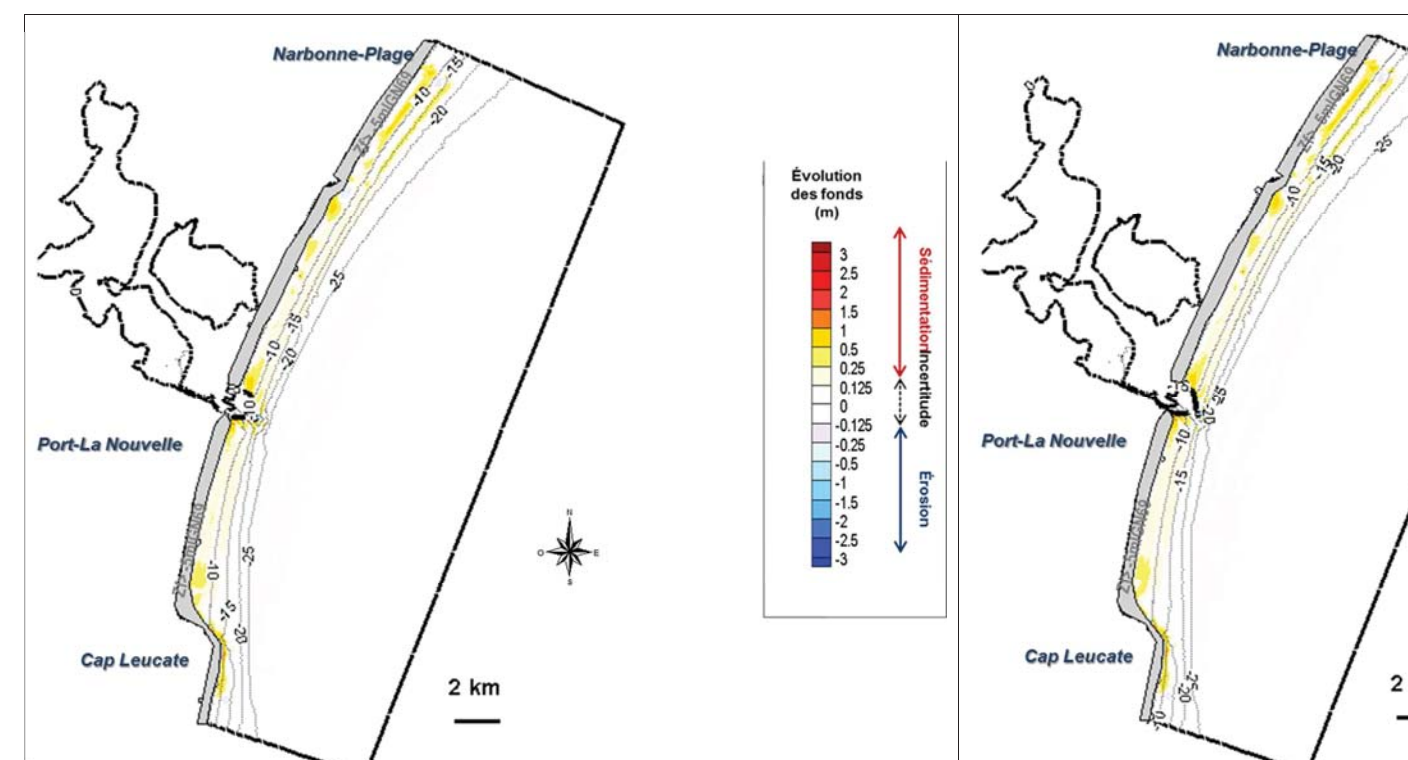
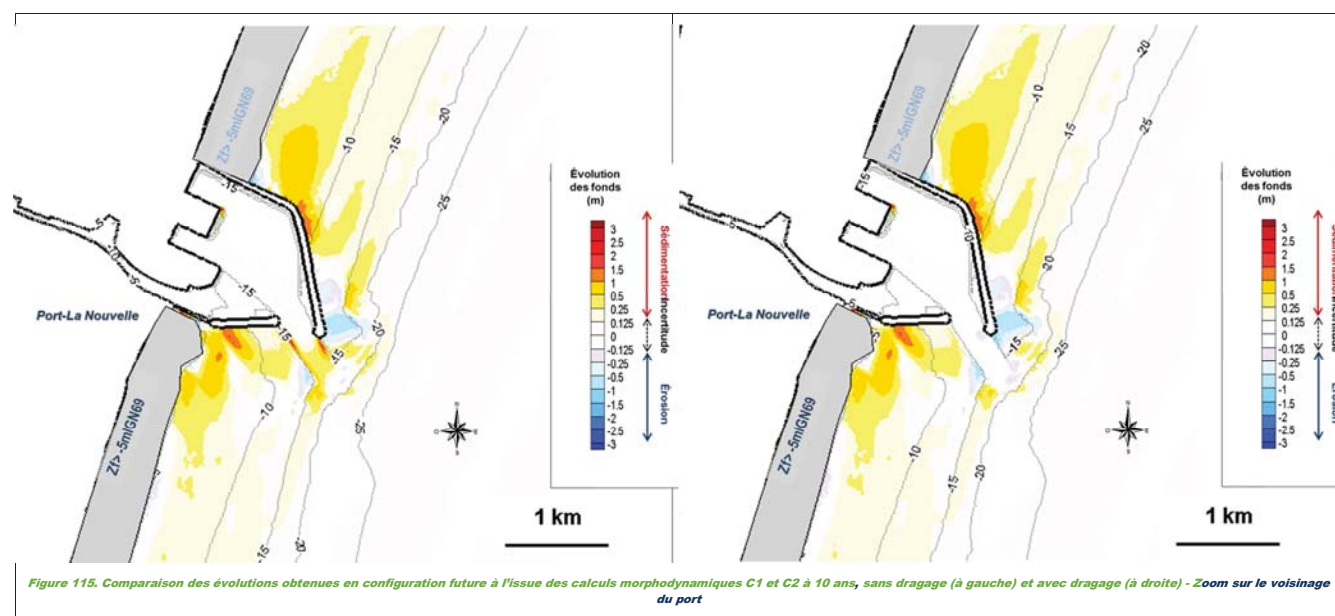


Figure 116. Comparaison des évolutions obtenues en configuration future à l'issue des calculs morphodynamiques C1 et C2 à 10 ans, sans dragage (à gauche) et avec dragage (à droite) - Zoom sur le domaine de calcul

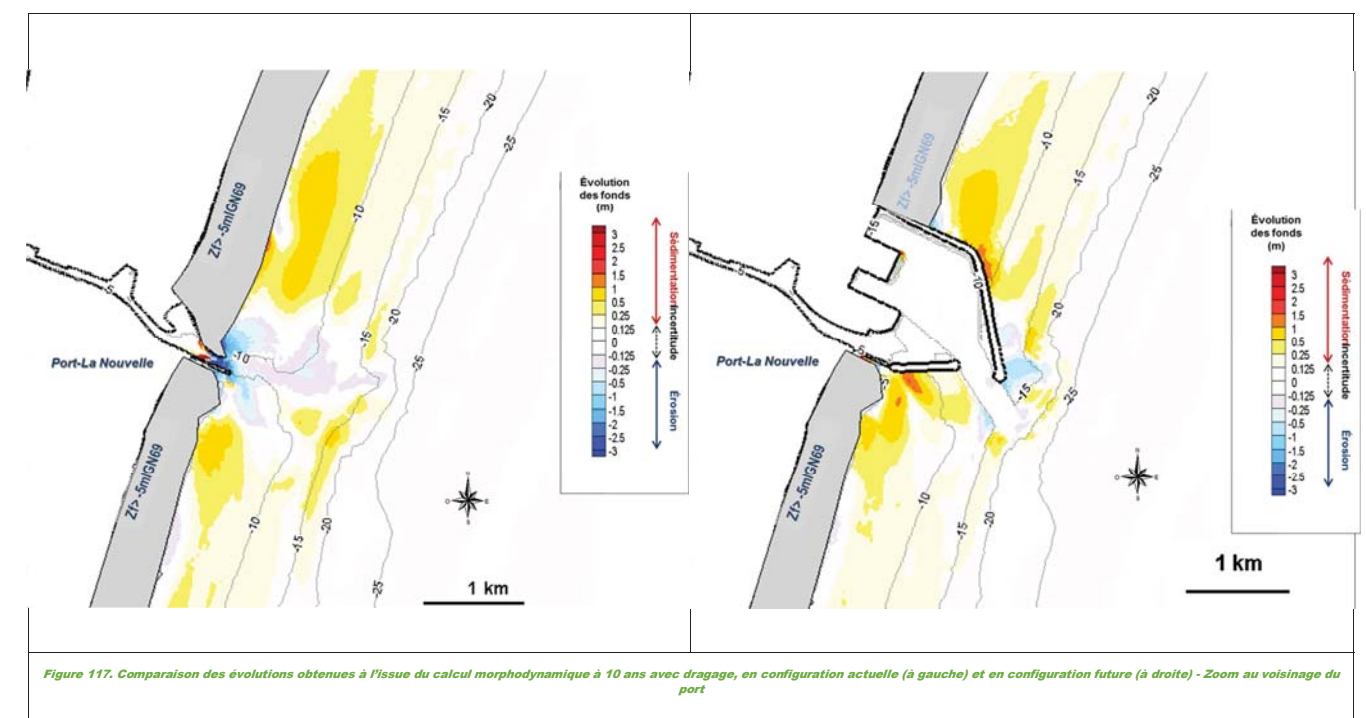
MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT

HYDRO 3D - RAPPORT RELATIF AUX MODELISATIONS NUMERIQUES DES IMPACTS HYDO-SEDIMENTAIRES DU PROJET

La comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morpho-dynamique à 10 ans, en configuration actuelle et en configuration future, avec dragage, est proposée figure 117 et figure 118.

Cette comparaison montre que, hormis au voisinage du port, les structures morphodynamiques reproduites sont les mêmes en situations actuelle et future (cf. figure 118). Il n'y a donc pas d'impact morpho-dynamique notable du futur port sur les fonds marins situés à plus d'environ 5 km de l'aménagement.

Au voisinage du port, les évolutions des fonds marins sont finalement peu modifiées en situation future : les dépôts de part et d'autre du futur port sont de même intensité que ceux obtenus à 10 ans en situation actuelle, à l'exception des zones situées au niveau des coudes des digues d'enclosure.



8.5.3. Conclusions relatives à l'exploitation du modèle d'évolution des fonds marins

Avec le nouveau port, les évolutions des fonds marins obtenues à l'issue de la simulation à court terme (1 an) comme à moyen terme (10 ans) sont globalement faibles, n'excédant pas 1.0 m (après 1 an) et atteignant très localement 1.5 m après 10 ans (valeur absolue).

Deux zones de dépôts apparaissent, situées de part et d'autre des nouveaux ouvrages portuaires, par des fonds de -5 à -10 m IGN69, avec un dépôt plus marqué au sud immédiat du futur port. Ces dépôts s'intensifient modérément dans le temps (simulation à 10 ans), les plus francs étant localisés au niveau des coudes de la digue principale et de la digue secondaire.

Une troisième zone de dépôt concerne le chenal d'accès ; le calcul des évolutions à 10 ans en configuration future C1, ne simulant pas le dragage de maintenance, montre une sédimentation au centre de ce dernier qui n'excède pas 0.5 m dans la simulation à 10 ans. En parallèle, on observe un adoucissement des pentes du talus du chenal se traduisant par une érosion en tête de talus et des dépôts en pied de talus.

Le calcul C2 réalisé en simulant les opérations de dragage donne quant à lui un « volume de dragage » moyen annuel de l'ordre de 15 000 m³. Ce volume est trois fois moindre que le volume moyen annuel dragué configuration actuelle (45 000 m³). On peut s'attendre sur du plus long terme, à ce que ces volumes augmentent, en liaison avec les évolutions des fonds au droit des digues portuaires.

Une érosion se dessine au droit du musoir de la digue principale (sur quelques dizaines de mètres), elle reste faible et s'étend faiblement dans le temps pour atteindre jusqu'à 0.7 m d'abaissement des fonds.

En termes d'impacts de l'extension portuaire, la comparaison des évolutions obtenues à l'issue des calculs morpho-dynamiques en configuration actuelle et en configuration future montre que les effets morpho-dynamiques du projet sont :

- faibles pour ce qui concerne le littoral proche : les évolutions des fonds marins sont très peu modifiées en situation future, à l'exception des zones situées au niveau des coudes des digues d'enclosure et dans le chenal d'accès ;
- et quasiment nuls sur les fonds marins situés à plus 5 km de l'aménagement : les évolutions des fonds et les structures morpho-dynamiques observées sont les mêmes en situation actuelle et en situation future.

A noter que le modèle d'évolution des fonds marins décrit dans ce présent rapport s'attache à reproduire la morpho-dynamique des fonds situés en deçà de la zone de déferlement, c'est-à-dire pour des bathymétries inférieures à la cote de -5 m IGN69. Le modèle dit « de trait de côte » (UNIBEST) se charge de modéliser l'évolution des fonds supérieurs, de la zone de surf jusqu'à la plage. Les résultats du modèle de trait de côte sont présentés en détail dans un rapport spécifique HYDRO-R003.

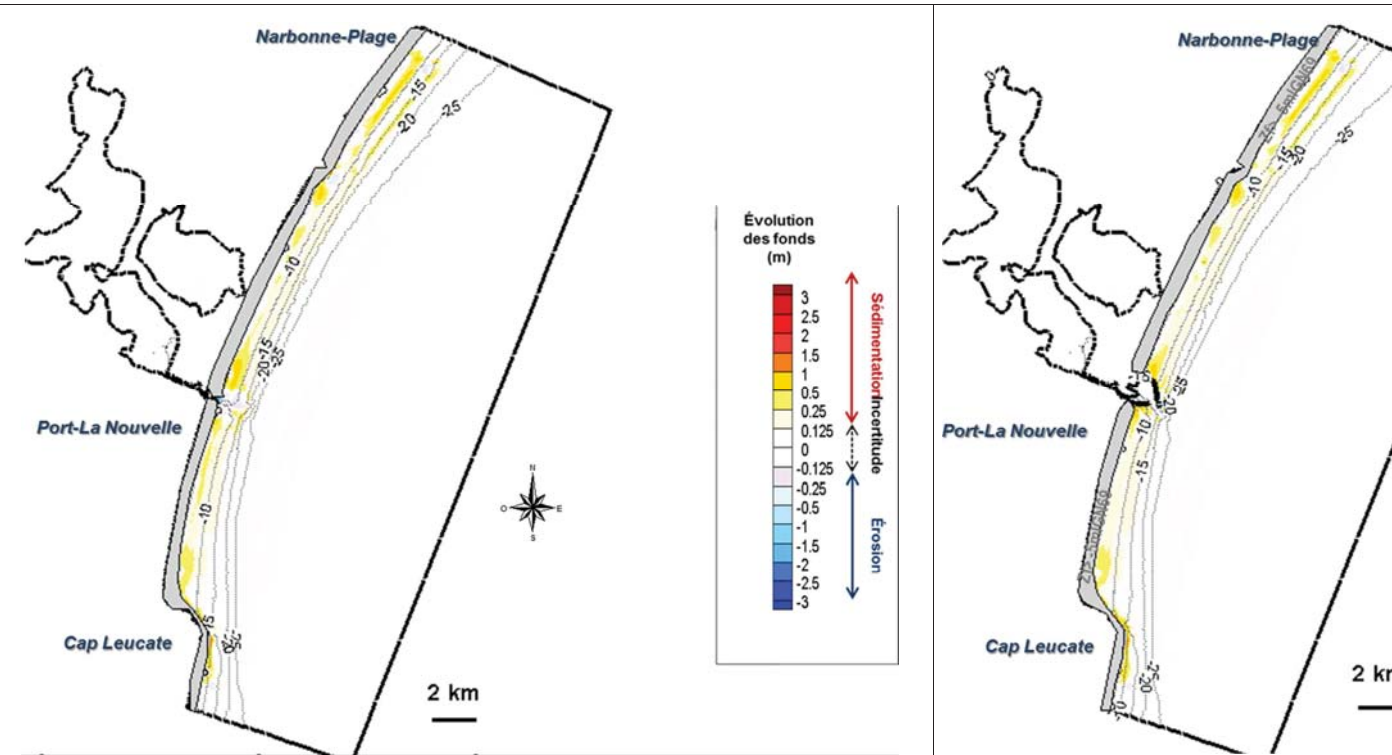


Figure 118. Comparaison des évolutions obtenues à l'issue du calcul morphodynamique à 10 ans avec dragage, en configuration actuelle (à gauche) et sans dragage (à droite) sur le domaine de calcul

REFERENCES

Les références sont classées par ordre d'apparition dans le rapport

1. Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, 'Projet d'enlèvement des anciennes piles du pont de la voie ferrée dans le grau de Port-la Nouvelle : impact attendu sur le fonctionnement hydrologique et écologique de l'étang de Bages – Sigean'.
2. http://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89tang_de_l'Ayrolle
3. Le Noc et De Witt, 2010, 'Application du modèle LOICZ aux lagunes de Thau et Bages-Sigean'.
4. Fiandrino et Lagarde, 2010. 'Développement d'une méthode d'estimation des débits dans les graus de lagunes'.
5. Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, 'État des lieux du DOCOB des étangs Narbonnais – Chap5'.
6. CESMAT, Ludovic, Février 2012. 'Etude hydrologique de l'étang de Bages-Sigean – Impact'.
7. Partheniades, E., (1965). 'Erosion and Deposition of Cohesive Soils'. J Hydraulics Division 91:105-139.
8. CREOCEAN, février 2014. 'PORT-LA NOUVELLE MISSION DE MAITRISE D'ŒUVRE POUR L'AGRANDISSEMENT DU PORT - Campagne de mesures hydrodynamiques'
9. D. Cataliotti-Valdina, 1982. 'Évolution de la turbidité des eaux du complexe lagunaire de Bages-Sigean-Port-La Nouvelle (Aude, France)', OCEANOLOGICA ACTA -VOL. 5 - No 4.
10. R. Soulsby, 1997, Dynamics of marine sands, ed. HR Wallingford.

oOo