



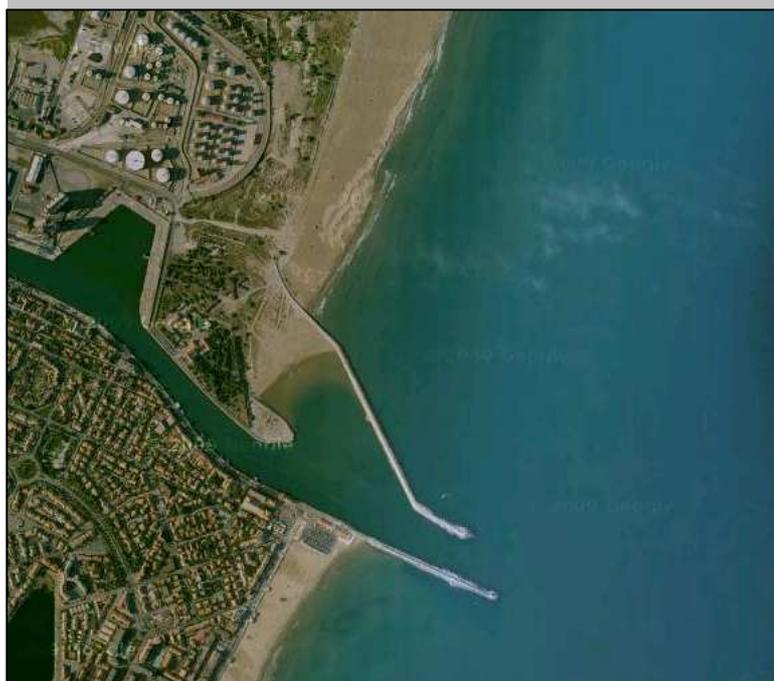
Port de Brégaillon
Bâtiment FIRST
B. P. 63
83 502 La Seyne/Mer
Tél. : 04 94 10 97 40
Fax : 04 94 94 42 27
E-mail : contact@oceanide.net



Port de Port la Nouvelle

Projet Grand Port

Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique



Rapport des études numériques sédimentologiques Configurations ETAT ACTUEL & GRAND PORT

Avec la participation financière du :

Numéro : MN 10-3-091 / 02 / D

Date : 18 Janvier 2012

Révision : D



**FICHE D'IDENTIFICATION**

REFERENCES DU DOCUMENT			
Nature du document	<input type="checkbox"/> pièce d'étude	<input type="checkbox"/> publication	<input checked="" type="checkbox"/> rapport
	<input type="checkbox"/> document final	<input type="checkbox"/> document intermédiaire	<input type="checkbox"/> devis
	Numéro	TITRE	
Classement	MN 10-3-091 02/D	Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port Etude d'Aménagement sur Modèle Mathématique et Physique Rapport des études sédimentologiques – Configurations ETAT ACTUEL & GRAND PORT	
Pièce	Rév. D		
CLIENT	Région Languedoc Roussillon – Sous direction des Ports – Pôle Ingénierie		
Référence			

VISAS AVANT DIFFUSION		
REDIGE PAR	RELU PAR	APPROUVE PAR
Alexis LENOBLE Bernard LATTEUX	Stéphane SCARDIGLI	Jean-Pierre AULANIER Bernard LATTEUX
DATE D'EMISSION	APPROBATION MO	
18 Janvier 2012		

DIFFUSION		
Fiche d'identification seule		
Document complet	Interne	Externe
	Génie Côtier Expert : Bernard LATTEUX	RLR – Sous direction des Ports RLR – PTPLN

MOTS CLES
HOULE, COURANT, SEDIMENTOLOGIE

Révision	Date	Objet
A	01/07/2011	1 ^{ère} émission
B	20/07/2011	2 ^{ème} émission – Prise en compte des commentaires de la RLR (mail de M. Cazenave du 11 juillet 2011) : <ul style="list-style-type: none">- Limites du modèle ;- Schématisation des impacts ;- Représentation des zones.
C	23/11/2011	3 ^{ème} émission – Prise en compte des commentaires de la RLR (mail de M. Cazenave et de M. Canal du 21 Septembre 2011, et réunion du 22 Septembre 2011) : <ul style="list-style-type: none">- Surface prise en compte au niveau de la nouvelle passe d'entrée pour les mouvements sédimentaires ;- Clarifications sur les principes d'études utilisés.
D	18/01/2012	4 ^{ème} émission – Intégration des commentaires sur les échanges sédimentaires de type vaseux entre l'étang de Bages-Sigean et la mer (mail du 09/01/2012)

Rév. D

SOMMAIRE

I-	INTRODUCTION	1
II-	CONFIGURATIONS	2
2-1	CONFIGURATION ETAT ACTUEL	2
2-2	CONFIGURATION GRAND PORT	3
III-	CONDITIONS HYDRAULIQUES	4
3-1	CLIMAT DE HOULES A PORT-LA-NOUVELLE	4
3-2	HOULES PRISES EN COMPTE – POIDS SEDIMENTAIRE	5
3-3	COURANT	7
IV-	MODELISATIONS NUMERIQUES SEDIMENTOLOGIQUES	8
4-1	METHODOLOGIE - PHASAGE DES CALCULS	8
4-2	DESCRIPTION DU MODELE	8
4-2.1	<i>Modélisation de la houle</i>	8
4-2.2	<i>Modélisation du courant</i>	13
4-2.3	<i>Modélisation des mouvements sédimentaires</i>	13
4-3	CONDITIONS AUX LIMITES	14
4-3.1	<i>Données d'entrée</i>	14
4-3.2	<i>Coefficients de réflexion</i>	14
4-4	CAS MODELISES	14
V-	RESULTATS – ETAT ACTUEL	15
5-1	HOULE	15
5-2	COURANT	16
5-2.1	<i>Résultats</i>	16
5-2.2	<i>Stabilité du calcul</i>	17
5-3	SEDIMENTOLOGIE	18
5-3.1	<i>Résultats</i>	18
5-3.2	<i>Transit littoral</i>	20
5-3.3	<i>Evolutions sédimentaires</i>	22
VI-	RESULTATS – GRAND PORT	25
6-1	HOULE	25
6-2	COURANT	26
6-3	SEDIMENTOLOGIE	27
6-3.1	<i>Résultats</i>	27
6-3.2	<i>Vérification complémentaire</i>	28
6-3.3	<i>Commentaires</i>	29
6-3.4	<i>Evolutions sédimentaires - Volumes</i>	30
6-4	SYNTHESE DES TENDANCES	36

VII- IMPACT DU PROJET – CONSIDERATIONS GENERALES	37
7-1 ECHANGES ENTRE L'ETANG DE BAGES-SIGEAN ET LA MER	37
7-2 IMPACT DU GRAND PORT : ASPECTS REGIONAUX.....	37
7-2.1 Différences d'analyse entre les échelles locale et régionale.....	37
7-2.2 La connaissance actuelle du régime sédimentaire à l'échelle régionale	38
7-2.3 Schématisation de l'effet global du port.....	38
7-3 IMPACT A LONG TERME	39
VIII- CONCLUSION	41

FIGURES DANS LE TEXTE

Figure 1 : Port de Port-la-Nouvelle	2
Figure 2 : Configuration GRAND PORT (réf. [1] : configuration 1 – optimisation 6)	3
Figure 3 : Occurrence des houles et poids sédimentaires	7
Figure 4 : Emprise globale des modèles.....	9
Figure 5 : Bathymétries modélisées : configuration actuelle et configuration projetée	11
Figure 6 : Maillages des modèles – Illustrations (différentes échelles).....	12
Figure 7 : Exemple de résultat d'agitation – Etat actuel, cas1.....	15
Figure 8 : Exemple de résultat de courantologie – Etat actuel, cas1.....	16
Figure 9 : Etat actuel, cas 1 – Evolution du courant moyen sur différents secteurs.....	17
Figure 10 : Etat actuel, cas 2 – Exemple d'évolution du profil du courant	17
Figure 11 : Etat actuel, cas 1 – Evolution des fonds	18
Figure 12 : Etat actuel, cas 1 – Débit solide.....	19
Figure 13 : Etat actuel cas 1 – Transport littoral.....	20
Figure 14 : Etat actuel - Volumes sédimentaires - Secteurs étudiés	23
Figure 15 : Exemple de résultat d'agitation – Grand Port, cas1	25
Figure 16 : Exemple de résultat de courantologie – Grand Port, cas1	26
Figure 17 : Grand Port, cas 1 – Evolution des fonds.....	27
Figure 18 : Grand Port, cas 1 – Débit solide	27
Figure 19 : Grand Port, cas 4 – Vérification des paramètres de dispersion.....	28
Figure 20 : Grand Port, cas 4 (zoom) – Vérification des paramètres de dispersion.....	29
Figure 21 : Grand Port – Volumes sédimentaires – Secteurs étudiés	30
Figure 22 : Grand Port – Tendances sédimentaires maritimes	36
Figure 23 : Dérive littoral dans la région de Port-la-Nouvelle (Larue et al., 2009)	40

TABLEAUX DANS LE TEXTE

Tableau 1 : Cas réalisés pour chaque modèle.....	14
Tableau 2 : Etat actuel – Bilan sédimentaire par secteur	24
Tableau 3 : Grand Port – Bilan sédimentaire par secteur	31

ANNEXES

ANNEXE A : LOGICIEL TELEMAT – MODULES ARTEMIS, TELEMAT2D et SISYPHE

ANNEXE B : RESULTATS D'AGITATION

ANNEXE C : RESULTATS DE COURANTOLOGIE

ANNEXE D : RESULTATS DE SEDIMENTOLOGIE

ANNEXE E : ANALYSE DU TRANSIT LITTORAL

ANNEXE F : ESTIMATION DE VOLUMES : SECTEURS ETUDIES

REFERENCES

- [1]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Rapport des études numériques d'agitation - MN-10-3-091-01-C – 22 juin 2011
- [2]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Plans Masse – Configuration 1 – Aménagement Phase I - PLN-10-3-091-APS-105-REV07 & Configuration 2 – Aménagement Phase I - PLN-10-3-091-APS-105-REV12
- [3]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Etude bibliographique – EB 09-3-067 / 01 / E – 29 Mars 2011
- [4]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Note d'Hypothèses – NH-10-3-091-C – 10 Mars 2011
- [5]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port la Nouvelle – Projet Grand Port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Note Intermédiaire sur la définition des plans masse – NN-10-3-091-B – 11 Mars 2011
- [6]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port de la Nouvelle – Passe d'entrée et Avant-port – Etude d'aménagement sur Modèle Mathématique et Physique – Modélisations numériques de nouvelles configurations – MN-09-3-067-02-C – 30 Septembre 2010
- [7]** : OCEANIDE – Région Languedoc Roussillon – Port de Port de la Nouvelle – Passe d'entrée et Avant-port – Modélisations numériques de l'état actuel – MN-09-3-067-01-B – 2 Août 2010
- [8]** : Certain R. (2002) - « Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le golfe du Lion (Languedoc-Roussillon) ». Thèse de l'Université de Perpignan
- [9]** : Larue J.P., Bouabdallah M., Etienne R. (2009) – « Un littoral sableux en progradation : le lido entre Leucate et Port-la-Nouvelle (Aude, Golfe du Lion, France) ». Physio-Géo, Géographie physique et environnement, 2009, vol. III, pp. 151-173
- [10]** : LNH-SOGREAH (1984) – « Catalogue sédimentologique des côtes françaises. Côtes de la Méditerranée ». Collection de la Direction des Etudes et Recherches d'Electricité de France. N° 52. Eyrolles

I- INTRODUCTION

Le présent document s'intègre dans le cadre de l'étude de faisabilité du Grand Port à Port-la-Nouvelle. Cette étude est réalisée à l'aide notamment de modélisations mathématiques et physiques des configurations et ouvrages envisagés.

Ce rapport apporte des éléments de réponses complémentaires sur la problématique sédimentaire du site et s'appuie sur les documents précédemment émis (Etude Bibliographique [3], Notes [4] et [5], et rapport sur l'agitation [1]). Ainsi, à la suite des différentes analyses qui ont été menées sur la configuration finale retenue pour le projet Grand Port, une étude comparative et une expertise de l'influence de cette configuration par rapport à l'état actuel du site sont présentées dans les paragraphes qui suivent.

Cette analyse se décompose ainsi :

- Rappel des configurations étudiées ;
- Conditions hydrauliques prises en compte ;
- Description des modélisations numériques ;
- Présentation des résultats et de leur analyse.

Note : *Il est rappelé que les modélisations sédimentologiques restent des calculs estimatifs des principales tendances pouvant avoir lieu sur un site. En raison de la complexité des phénomènes étudiés, cette analyse revêt un aspect qualitatif à ne pas négliger, même si des valeurs sont mises en avant dans le présent rapport. Par ailleurs, les modèles numériques sont bidimensionnels : le transport solide dans le profil n'est pas simulé.*

II- CONFIGURATIONS

Deux configurations sont modélisées et font l'objet d'une analyse comparative :

- La configuration « ETAT ACTUEL » qui reprend, comme son nom l'indique, la configuration du port actuelle. La figure ci-après (figure 1) illustre la zone étudiée ;
- La configuration « GRAND PORT » modélise les ouvrages portuaires projetés, le choix se portant sur la dernière optimisation étudiée lors des études d'analyse de l'agitation [1]. La figure 2 de la page suivante présente cette configuration.

2-1 Configuration ETAT ACTUEL

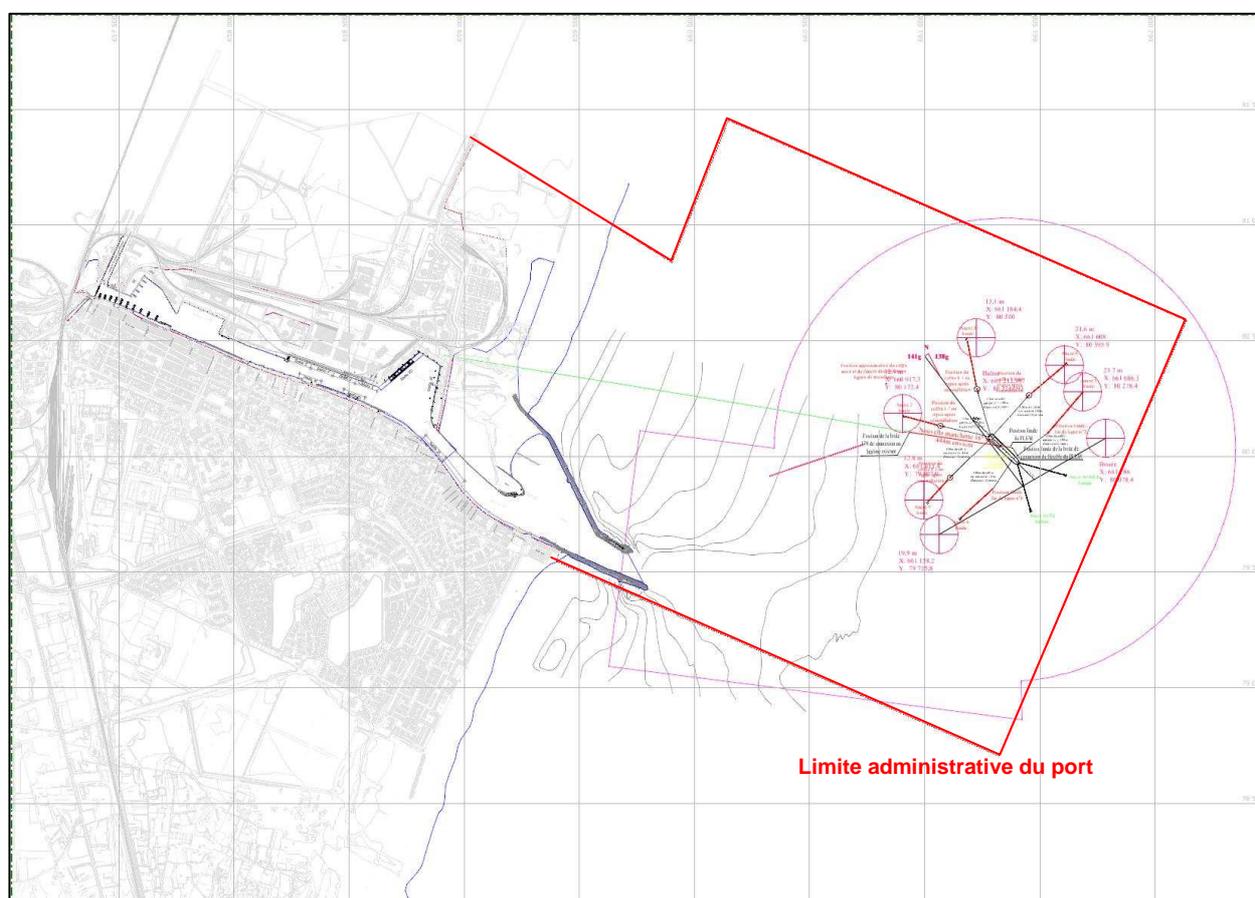


Figure 1 : Port de Port-la-Nouvelle

2-2 Configuration GRAND PORT

La configuration de projet étudiée et appelée configuration « GRAND PORT » dans ce document correspond au cas « **Configuration 1 – Optimisation 6** » du rapport des études numériques d'agitation [1].

Cette configuration, apparaissant comme un très bon compromis technico-économique, a été retenue par le MAITRE D'OUVRAGE. Les principaux éléments qui la caractérisent sont les suivants :

- Optimisation de la configuration d'aménagement en phase 1 ;
- Réduction de la surface du terre-plein gagné sur la plage Nord actuelle ;
- Création d'un bassin d'amortissement entre les chenaux d'accès au futur Grand Port et au port historique ;
- Recépage de l'actuelle Jetée Nord sur environ 230m.

La figure ci-dessous présente le contour et la bathymétrie de cette configuration, telle que modélisée durant les études d'agitation :

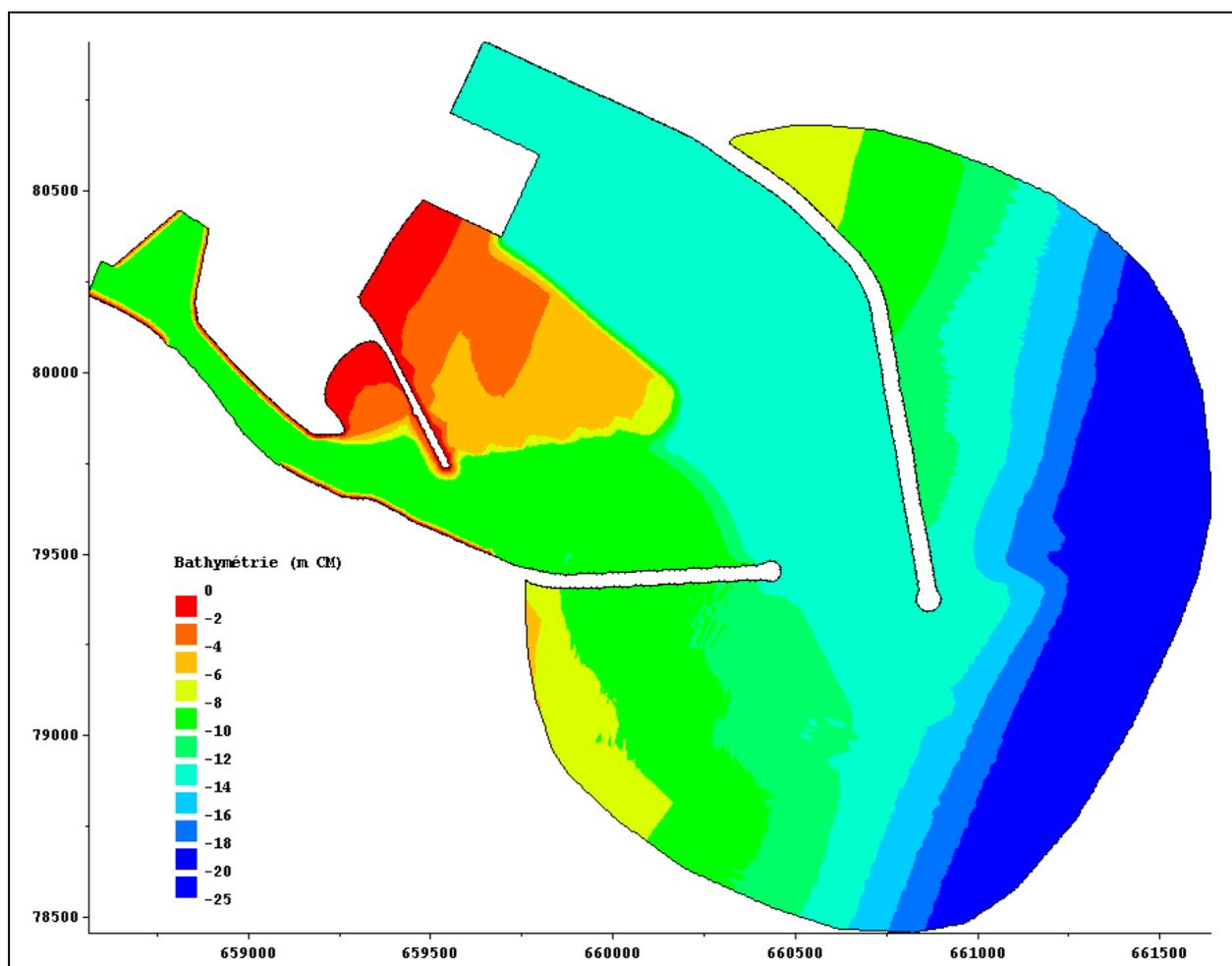


Figure 2 : Configuration GRAND PORT (réf. [1] : configuration 1 – optimisation 6)

III- CONDITIONS HYDRAULIQUES

Pour rappel (cf. note d'hypothèses [4]) :

« Les deux sources principales d'apport de sédiments dans le port sont :

- Un apport de sédiments (de type vaseux) en provenance de l'étang de Bages-Sigean ;
- Un apport de sédiments (de type sableux) de provenance maritime.

La configuration géométrique du port actuel, les débits rencontrés dans le grau et les vitesses de chute des sédiments vaseux conduisent principalement à des dépôts en amont du chenal aval et de la darse pétrolière. Les vases les plus fines, en suspension, sortent actuellement du port et représentent environ 5 % des quantités extraites (quantité difficilement évaluable). Compte tenu de la faiblesse des vitesses de chute de ces sédiments et de la relativement faible turbidité résiduelle au niveau de l'avant-port, il est raisonnable de supposer que la modification de l'avant-port n'impactera pas sensiblement ces dépôts.

C'est pourquoi seuls les **apports maritimes** seront considérés car soumis à l'influence directe de la nouvelle configuration du port. »

Le principal moteur des évolutions sédimentaires sur le site étudié, en dehors des échanges entre l'étang et la mer, provient de l'attaque des houles sur le littoral. Ce paragraphe reprend donc l'analyse des données de houle afin de déterminer les conditions à simuler pour cette étude sédimentaire.

Note : Les données sur les apports sédimentaires de type vaseux en provenance de l'étang de Bages-Sigean sont peu fournies et relativement imprécises. Il n'y a ainsi aucune information récente sur les quantités réelles de sédiments fins qui peuvent se déposer dans l'enceinte portuaire ou atteindre la mer. Afin d'étudier les apports depuis l'étang et investiguer davantage les phénomènes en jeu, ce qui n'est pas le cas dans le présent rapport, une étude spécifique associée à des mesures in-situ devra être envisagée.

3-1 Climat de houles à Port-la-Nouvelle

Pour rappel, les houles au niveau du port de Port-la-Nouvelle se concentrent principalement en occurrence sur le secteur [90 °- 130°] et en intensité (hauteurs significatives les plus grandes) sur le secteur [70 °- 90 °].

Les données qui ont servi de base de travail sont issues de l'étude bibliographique précédemment réalisée : il s'agit en particulier de l'analyse statistique des houles mesurées au niveau du sealine ainsi que des houles observées aux abords de Port-la-Nouvelle (étude EDF).

3-2 Houles prises en compte – Poids sédimentaire

Contrairement aux études précédentes sur l'agitation, la détermination des houles de projet ne se base pas sur leur période de retour, mais sur **leur influence d'un point de vue sédimentaire**.

En effet, l'objectif de ce chapitre est d'expliquer la méthode suivie afin de définir des conditions représentatives des évolutions sédimentaires annuelles.

Le processus suivi a été le suivant :

1. Récupération des données de houle arrivant sur Port-la-Nouvelle et ayant une incidence comprise entre 45°N et 180°N. Les autres directions n'ont pas de rôle sur les évolutions sédimentaires (vent de terre principalement) ;
2. Calcul de l'importance sur les évolutions sédimentaires de chaque condition de houle (appelé poids sédimentaire) selon une formule simplifiée du CERC (Coastal Engineering Research Center) liée au flux d'énergie généré par la houle. Cette formulation est la suivante :

$$\text{Poids sédimentaire unitaire} = H^{2,5} \times \sin(2\alpha)$$

H : Hauteur de la houle

α : Angle d'attaque de la houle par rapport à la normale au rivage

3. Calcul du poids sédimentaire de chaque catégorie de houle (hauteur et direction) en multipliant le poids sédimentaire unitaire par l'occurrence. Ceci fournit l'indication de l'importance de chaque type de houle impactant le site étudié ;
4. Regroupement des houles en 4 classes principales en prenant en compte les poids sédimentaires de chaque catégorie. Chacune de ces classes est alors caractérisée par une hauteur, un angle d'incidence, un pourcentage d'occurrence, et un poids sédimentaire global symbolisant l'importance de cette classe sur les mouvements sédimentaires.
5. Les résultats des modélisations numériques seront ultérieurement pondérés par les poids sédimentaires afin de simuler une durée d'action de chaque classe qui soit représentative des évolutions annuelles.

Remarque :

Les houles générées par un vent de terre, c'est-à-dire ayant une provenance en dehors de l'intervalle [45°N-180°N], sont des événements considérés comme périodes de calme (« Temps calme »). Leur impact sur les mouvements sédimentaires est considéré négligeable ici : cette hypothèse est justifiée par le fait que le rôle joué par ces conditions hydrauliques se concentre essentiellement au niveau des échanges entre l'étang et la zone intérieure du port (non étudié), et qu'elles n'impactent que très peu la passe d'entrée et l'avant-port. Leur poids sédimentaire est donc établi comme nul et n'est pas inclus dans les calculs selon la formule utilisée ci-avant.

Toutes les autres houles entre 45°N et 180°N, quelle que soit leur hauteur, sont prises en compte dans la détermination des houles représentatives des conditions impactant le site d'un point de vue sédimentologique.

Cette analyse a ainsi permis de caractériser 4 classes de houle, leur répartition étant synthétisée dans le classement suivant :

Houles	Directions [45°N – 112,5°N]	Directions [112, 5°N – 180°N]	Autres directions
Hs [0 – 2,5m]	Classe 1 Houles modérées d'incidence N Occurrence : 16,20% des évènements	Classe 3 Houles modérées d'incidence S Occurrence : 14,18% des évènements	« Temps calme » Occurrence : 66,74% des évènements
Hs > 2,5m	Classe 2 Houles modérées d'incidence N Occurrence : 1,86% des évènements	Classe 4 Houles modérées d'incidence S Occurrence : 0,82% des évènements	

A partir de la classification précédente, les différents poids sédimentaires de chacune des classes est évalué selon la formule du CERC (en supposant la nullité de ce poids pour le « temps calme »). Une houle représentative de l'ensemble des conditions pour chaque classe est alors déterminée afin de correspondre au poids sédimentaire de la classe qui lui est associée :

Classe 1 :

Hs = 2,25m / Incidence 90°N / Poids sédimentaire 18,28%

Classe 2 :

Hs = 4,16m / Incidence 90°N / Poids sédimentaire 32,83%

Classe 3 :

Hs = 2,25m / Incidence 135°N / Poids sédimentaire 27,61%

Classe 4 :

Hs = 3,90m / Incidence 135°N / Poids sédimentaire 21,29%

Temps calme : Poids sédimentaire considéré comme nul.

Les graphiques de la page suivante illustrent ainsi ces répartitions statistiques et « sédimentaires » des évènements pris en compte.

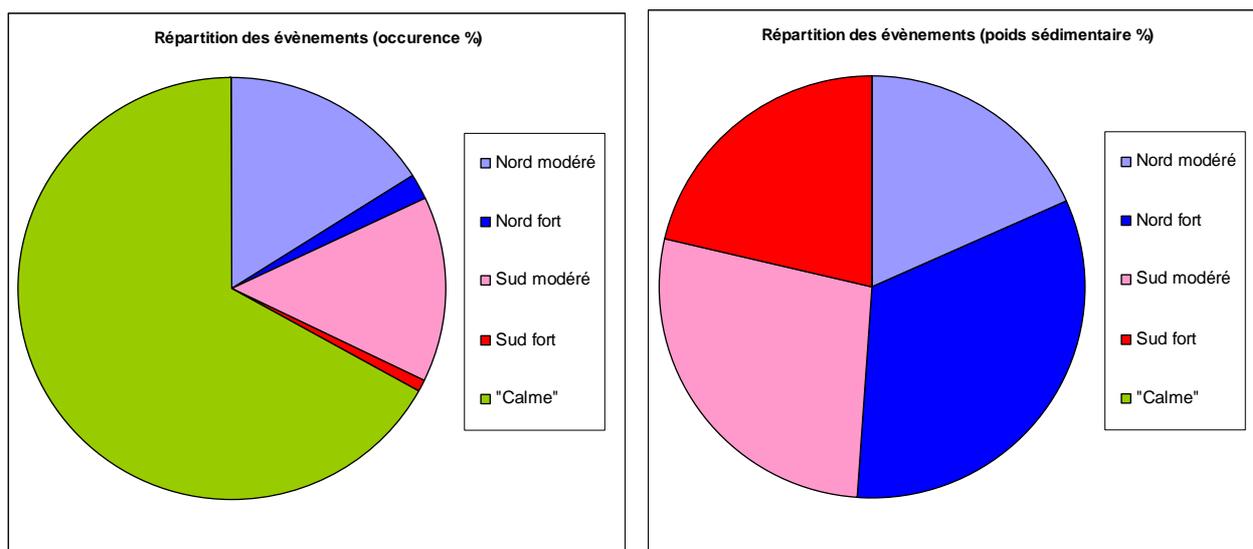


Figure 3 : Occurrence des houles et poids sédimentaires

Note 1 : Les évènements considérés comme périodes de calme sont les houles générées par un vent de terre, c'est-à-dire ayant une provenance en dehors de l'intervalle [45°N-180°N]. Ces évènements sont les plus nombreux en occurrence (les 2/3 du temps), mais leur impact est négligeable sur les mouvements sédimentaires considérés ici.

Note 2 : La période T_p de chaque classe est calculée dans un 2nd temps à l'aide des données de répartition (H_s , T_p). Les valeurs prises en compte sont indiquées dans le paragraphe 4-4.

Note 3 : Les conditions provenant de la direction 90°N sont désignées comme étant des conditions du secteur Nord car elles représentent l'ensemble des conditions de ce secteur, bien que ce soit une incidence de houle plein Est qui soit modélisée.

3-3 Courant

L'une des valeurs les plus récentes et les plus intéressantes aux abords du site est le courant principal mesuré au niveau du sealine : 0,165 m/s en moyenne, orienté du Nord vers le Sud.

Pour la modélisation de la courantologie, différentes valeurs sont ainsi utilisées afin de représenter les conditions sur site, mais aussi pour permettre une meilleure stabilité des calculs numériques par l'incorporation d'un courant constant relativement faible. Ces valeurs sont de l'ordre de grandeur de la valeur mesurée :

- Conditions modérées Nord : ajout d'un courant N->S de 0,10 m/s ;
- Conditions fortes Nord : ajout d'un courant N->S de 0,20 m/s ;
- Conditions modérées Sud : ajout d'un courant S->N de 0,10 m/s ;
- Conditions forte Sud : ajout d'un courant S->N de 0,15 m/s ;

Remarque : Le courant en conditions fortes provenant du Sud est moins important que pour les conditions du Nord afin de rester cohérent avec la courantologie globale du site.

IV- MODELISATIONS NUMERIQUES SEDIMENTOLOGIQUES

4-1 Méthodologie - Phasage des calculs

L'objectif des modélisations est de représenter les évolutions sédimentaires dans la zone étudiée afin d'évaluer le transit solide littoral en l'état actuel puis après implantation des aménagements projetés.

Pour cela, le principe des calculs est le suivant :

1. Modélisation des **conditions de houle** : module ARTEMIS (agitation, cf. annexe A) ;
2. Modélisation de la **courantologie**, avec calcul des courants de houle par reprise des résultats précédents : module TELEMAC2D (courantologie, cf. annexe A) ;
3. Modélisation des **mouvements sédimentaires** en intégrant les conditions hydrauliques : module SISYPHE (sédimentologie, cf. annexe A).

Les caractéristiques techniques de ces codes de calcul sont synthétisées en annexe A et présentées plus en détail ci-après.

4-2 Description du modèle

4-2.1 Modélisation de la houle

Description du modèle

Les modélisations mathématiques ont été réalisées avec le logiciel ARTEMIS (cf. Annexe A). Ce code de calcul permet de déterminer numériquement l'agitation proche de la côte ou à l'intérieur d'un port. Il résout, par la méthode des éléments finis, l'équation de Berkhoff ou « mild slope equation » avec prise en compte des termes de dissipation (déferlement et frottement sur le fond).

Les phénomènes physiques pris en compte sont les suivants : réfraction due à la bathymétrie, diffraction derrière un obstacle, réflexion partielle ou totale par un ouvrage, pertes d'énergie par déferlement et par frottement sur le fond. Les données d'entrée peuvent être des houles régulières ou irrégulières (spectres de houle).

Les résultats principaux d'ARTEMIS sont, en chaque nœud du maillage de résolution, la hauteur et l'incidence de la houle.

Emprise et maillage des modèles

Le modèle « Etat actuel » couvre environ 10km de littoral et s'étend jusqu'à environ 3km du rivage. Les profondeurs maximales atteintes sont légèrement inférieures à une trentaine de mètres.

Le modèle « Grand Port » couvre la même portion de littoral, mais il est étendu plus au large d'environ 1km (4 km au total) : cette modification s'est avérée nécessaire afin d'annuler les effets de bord pouvant être générés par la limite Est du modèle.

Cette emprise, nécessaire pour intégrer le futur Grand Port, permet d'avoir plusieurs kilomètres en amont et en aval du port, et permet aussi d'incorporer la zone du grau de la Vieille Nouvelle au Nord.

La figure suivante illustre l'emprise des deux modèles.

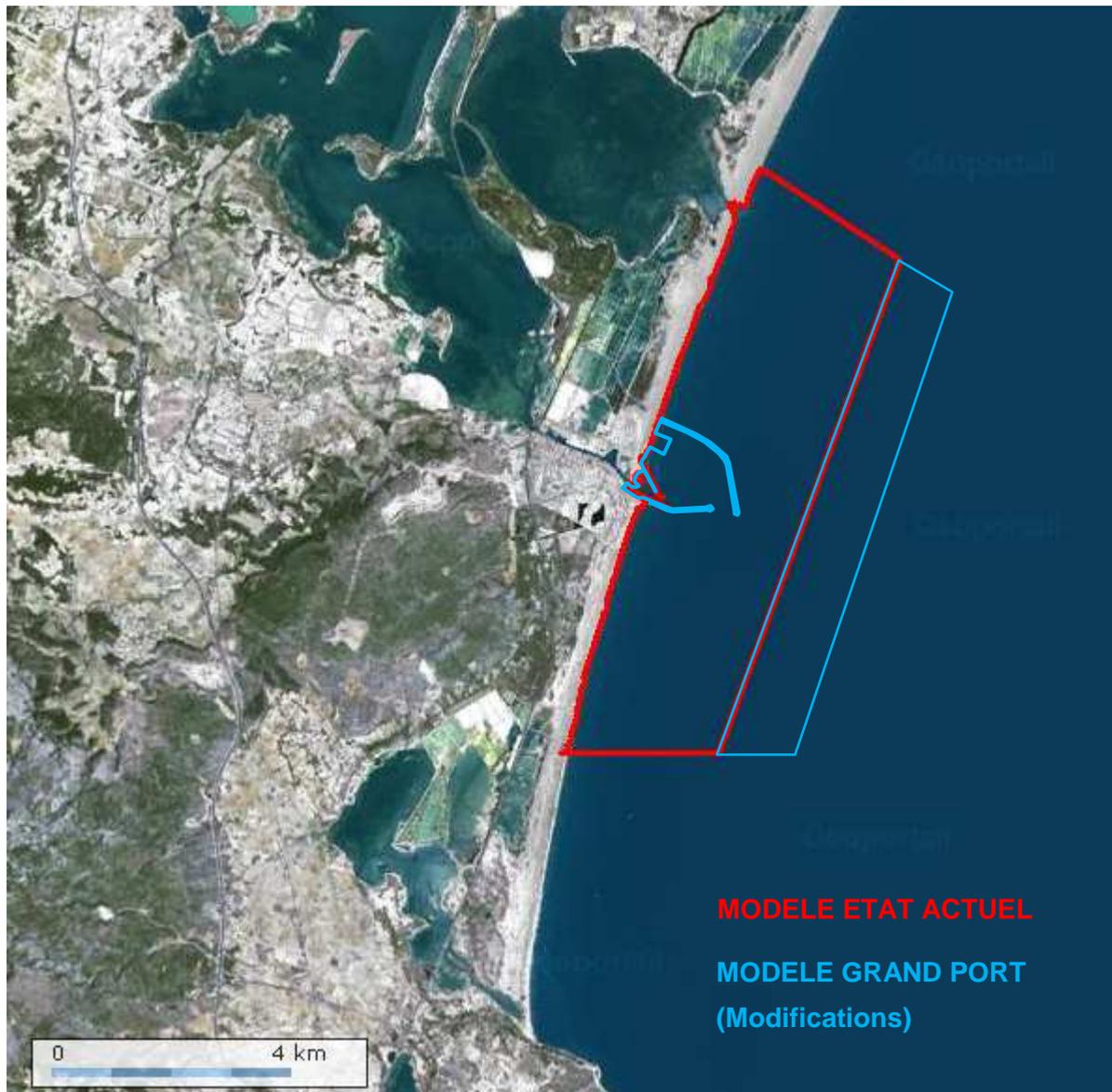


Figure 4 : Emprise globale des modèles

L'emprise choisie pour chaque modèle respecte ainsi les principes de modélisation définis lors des discussions préliminaires à cette étude (avec la DREAL en particulier) :

- Limites maritimes suffisamment écartées afin d'éviter les effets de bord ;
- Taille permettant que le transport littoral se mette en place avant d'impacter les ouvrages ;
- Modèles ajustés à l'issue de tests préalables de vérification des phénomènes hydrauliques ;
- La modélisation du port actuel et du Grand Port intègre aussi les avant-ports, et s'arrête au démarrage du chenal intérieur (les échanges vaseux ne sont pas étudiés).

De plus, les limites du modèle ont été étendues de manière à être au centre des cellules sédimentaires (transport régulier sans effet de bord). Par exemple, le modèle n'a pas été étendu jusqu'au Cap Leucate car ce dernier représente un important point singulier, difficilement modélisable sans étendre le modèle encore plus au Sud.

A noter également que le modèle numérique sédimentaire est par nature très sensible aux légères variations des conditions rencontrées, et d'autre part sa précision s'avère assez limitée, étant donnée notamment la non prise en compte de certains processus. Par rapport à cette sensibilité et cette imprécision, les écarts de résultats (débits solides, par exemple, qui sont bien représentatifs de la dynamique sédimentaire) entre l'état actuel et l'état futur sont assez faibles pour que l'on puisse considérer qu'ils sont dans la marge d'incertitude de la modélisation. Et donc que les limites sont situées suffisamment loin du projet d'extension.

Remarque complémentaire : les différents essais sur la taille des mailles à prendre en considération ainsi que leur nombre global (cf. p.11) ont permis de retenir le meilleur compromis possible entre étendue du modèle et représentation des phénomènes locaux, l'objectif de la présente étude n'étant pas d'étudier l'évolution du trait de côte dans la région Languedoc Roussillon mais d'évaluer l'impact du futur port dans la zone potentiellement impactée.

Les figures des pages suivantes présentent les bathymétries des deux modèles utilisés.

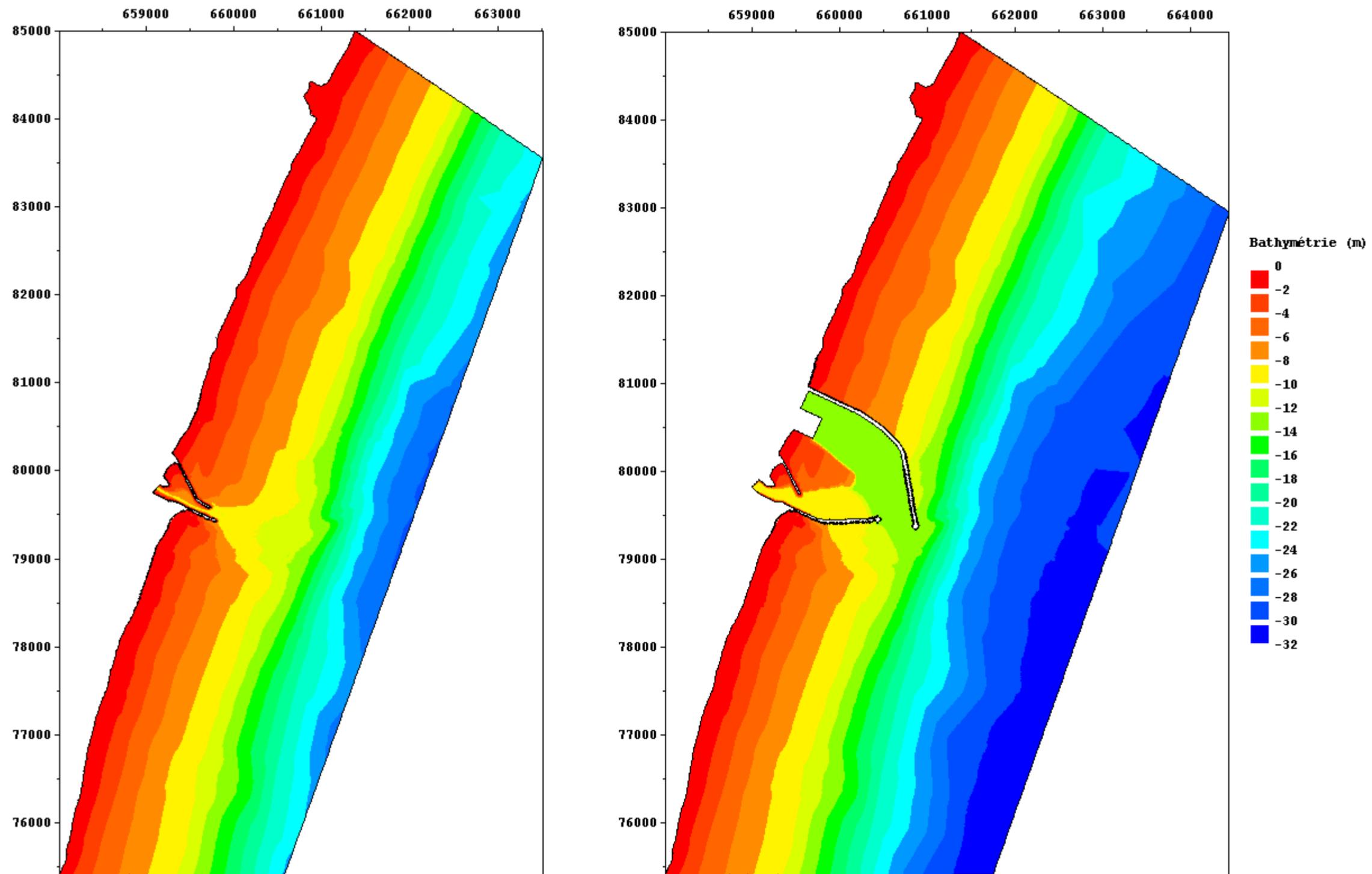
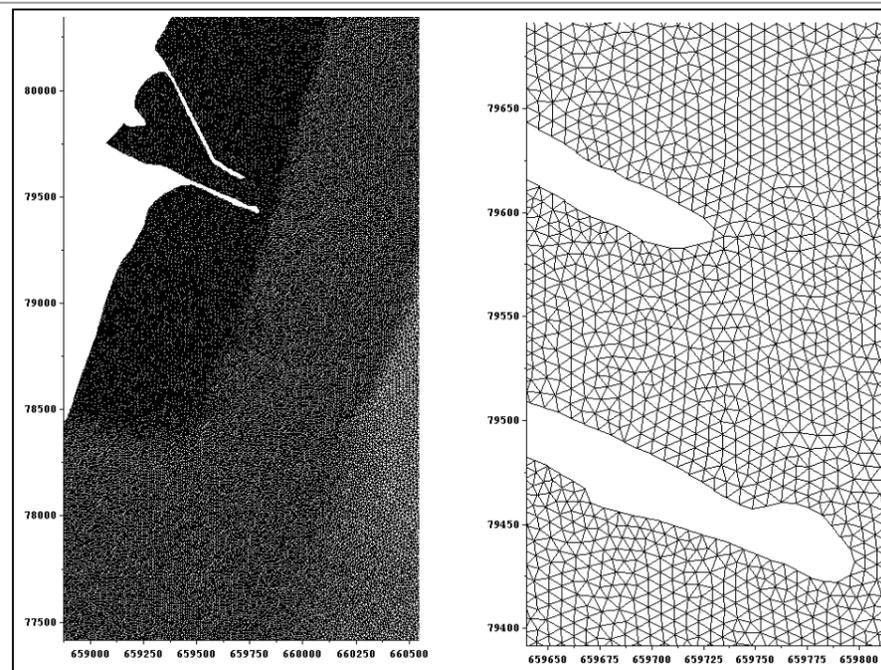
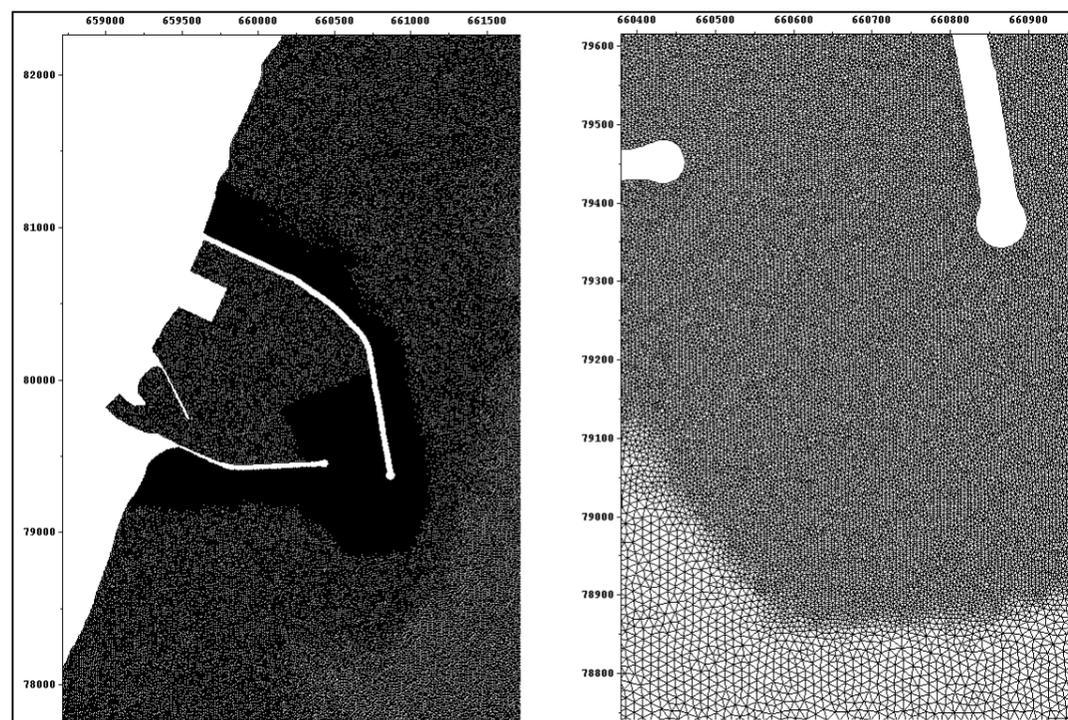


Figure 5 : Bathymétries modélisées : configuration actuelle et configuration projetée



Maillage de la configuration **ETAT ACTUEL** :
182 000 points

Maillage de la configuration **GRAND PORT** :
252 000 points



Note :
Plusieurs séries de modélisations préalables ont été nécessaires afin de valider la taille et le maillage des modèles finaux.

Figure 6 : Maillages des modèles – Illustrations (différentes échelles)

Note : Plusieurs séries de modélisations préalables ont été nécessaires afin de valider la taille et le maillage des modèles finaux. Il a été préféré le maillage fin des cellules sédimentaires adjacentes au port actuel par rapport à un maillage plus étendu et par conséquent plus grossier.

4-2.2 Modélisation du courant

Description du modèle

Le logiciel TELEMAC 2D (cf. annexe A) permet de modéliser les courants de marée, de vent et/ou de houle, les écoulements d'un chenal, la vidange ou le remplissage de l'étang.

Il résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espaces horizontales et il est intégré à la bibliothèque des codes numériques d'hydraulique à surface libre du système TELEMAC du Laboratoire National d'Hydraulique.

Les phénomènes physiques pris en compte sont : la propagation des ondes longues, les frottements sur le fond, l'influence des phénomènes météorologiques, les écoulements torrentiels et fluviaux, les bancs découvrant, les zones de seiche et la prise en compte des courants de houle et/ou de vent.

Les résultats principaux de TELEMAC2D sont, en chaque nœud du maillage de résolution, la vitesse et la direction du courant général.

Note : *Le logiciel est à 2 dimensions, les courants sur la tranche d'eau sont considérés uniformes. Il n'y a donc pas de distinction entre les courants de surface, les courants de retour et les courants de fond.*

Emprise et maillage du modèle

Les caractéristiques géométriques du modèle utilisé pour la courantologie sont rigoureusement les mêmes que pour la houle : la reprise de calcul afin de déterminer les courants de houle impose de conserver les mêmes points pour chaque modélisation numérique (ou éventuellement d'avoir des modèles imbriqués, ce qui n'est pas le cas ici, les modèles étant superposés).

4-2.3 Modélisation des mouvements sédimentaires

Description du modèle

Le modèle de sédimentologie SISYPHE est un code bidimensionnel horizontal qui calcule le transport par charriage ou le transport total sous l'action des courants et de la houle, ceci en chaque nœud du maillage.

Différents processus permettent de combiner les effets de la houle et du courant, la présence de fonds rigides, de prendre en compte la marée, ou encore d'intégrer des dépôts sédimentaires localisés et limités dans le temps.

Ce module s'applique à des sédiments non cohésifs, représentés par une granulométrie variable, pour une gamme de diamètres allant de 0,1 à 4 mm. Les sédiments cohésifs peuvent aussi être modélisés, sous certaines conditions liées à leurs caractéristiques physiques.

Les données d'entrée peuvent être des houles irrégulières (spectres de houle) et/ou vitesse de courant.

Emprise et maillage du modèle

Les caractéristiques géométriques du modèle utilisé pour la sédimentologie sont rigoureusement les mêmes que pour la houle et le courant : la reprise des calculs intègre les précédents résultats qui constituent les moteurs des mouvements sédimentaires.

Sédiments pris en compte

Les caractéristiques principales des sédiments modélisés sont :

$D_{50}=0,20\text{mm}$ et Masse volumique= 2650 kg/m^3 (cf. [7]).

4-3 Conditions aux limites

4-3.1 Données d'entrée

Les états de mer et les courants en entrée du modèle sont ceux décrits dans le précédent paragraphe III-Conditions Hydrauliques.

4-3.2 Coefficients de réflexion

Les coefficients de réflexion des ouvrages sont issus des études précédentes [1] et [7].

4-4 Cas modélisés

En conséquence de la détermination des conditions hydrodynamiques à générer et de la méthodologie de l'étude, les cas modélisés sont les suivants pour chaque configuration :

	Cas 1	Cas2	Cas 3	Cas 4
Agitation	Hs = 2,25 m Tp = 7,6 s Incidence 90°N Surcote +1m	Hs = 4,16 m Tp = 9,0 s Incidence 90°N Surcote +1,20m	Hs = 2,20 m Tp = 7,6 s Incidence 135°N Surcote +1,20m	Hs = 3,90 m Tp = 8,8 s Incidence 135°N Surcote +1m
Courant	Reprise de calcul => courants de houle + Courant global dirigé N->S de 0,10m/s	Reprise de calcul => courants de houle + Courant global dirigé N->S de 0,20m/s	Reprise de calcul => courants de houle + Courant global dirigé N->S de 0,10m/s	Reprise de calcul => courants de houle + Courant global dirigé N->S de 0,15m/s
Sédimentologie	Utilisation de la houle et du courant précédemment calculés	Utilisation de la houle et du courant précédemment calculés	Utilisation de la houle et du courant précédemment calculés	Utilisation de la houle et du courant précédemment calculés

Tableau 1 : Cas réalisés pour chaque modèle

Ce qui revient à la modélisation de 4 cas sédimentologiques par modèle (donc 8 cas au total) en reprenant l'ensemble des conditions hydrodynamiques précédemment calculées.

V- RESULTATS – ETAT ACTUEL

5-1 Houle

Les résultats des calculs d'agitation se présentent sous la forme de planches en couleur indiquant les hauteurs de houle atteintes à l'issue des modélisations, ainsi que d'une représentation visuelle (champ de flèches) de la manière dont se propagent les vagues.

La figure suivante illustre pour exemple un des cas simulés :

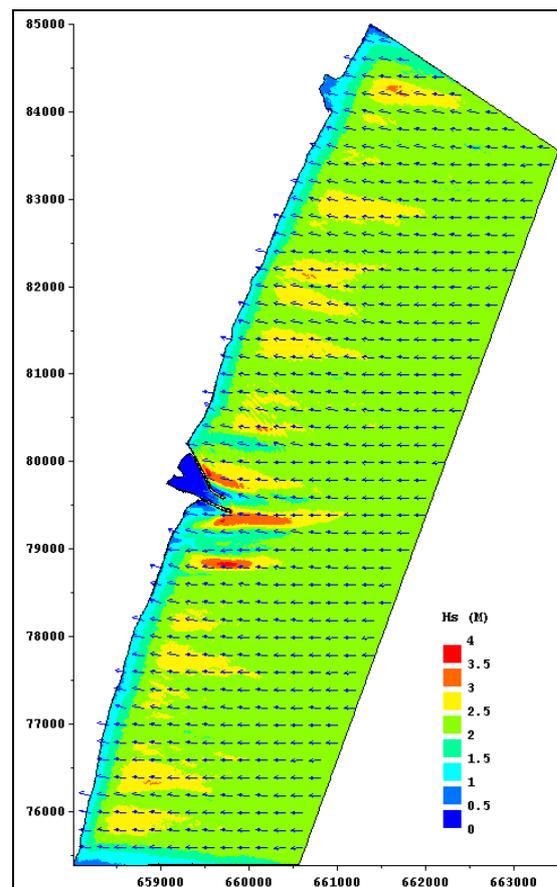


Figure 7 : Exemple de résultat d'agitation – Etat actuel, cas1

Une vérification de la cohérence des résultats est effectuée, mais aucune analyse particulière sur ces résultats n'est réalisée : ces données servent pour le calcul des courants de houle.

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe B.

5-2 Courant

5-2.1 Résultats

Les calculs de courantologie permettent de déterminer le champ de courant généré par la houle en chaque nœud du modèle. Ces **courants de houle** prennent source dans la zone de déferlement.

Les résultats sont présentés sous la forme de planches graphiques symbolisant la force du courant, ainsi que de champ de flèches pour représenter son orientation (même code de couleur quand appliqué).

La figure suivante illustre pour exemple un des cas simulés :

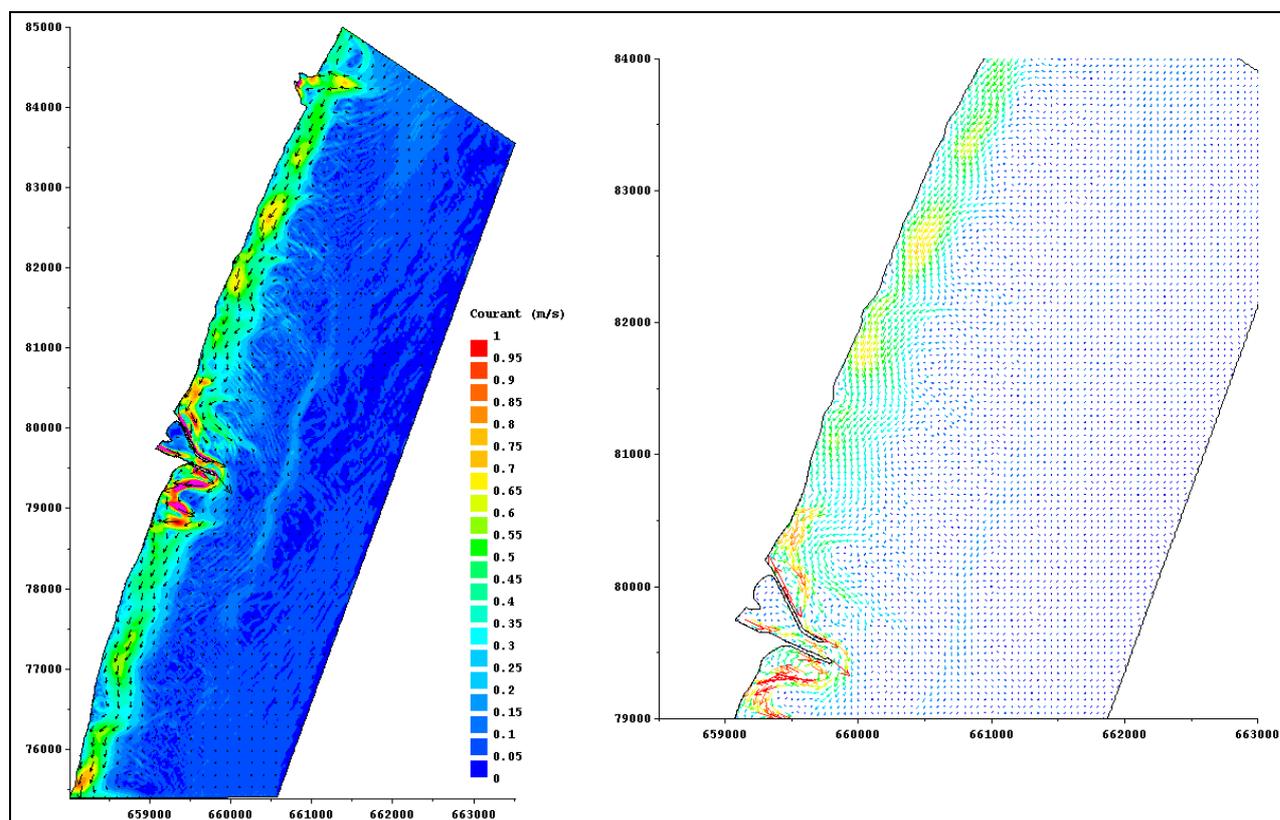


Figure 8 : Exemple de résultat de courantologie – Etat actuel, cas1

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe C.

Ces données sont reprises dans le calcul des mouvements sédimentaires. Une vérification particulière est réalisée (cf. paragraphe suivant 5-2.2)

5-2.2 Stabilité du calcul

La stabilité des calculs est contrôlée avant le passage aux calculs sédimentologiques. Le principe est de vérifier qu'un régime permanent ou quasi-permanent soit atteint pour le champ de courant.

Pour cela, des profils de la vitesse du courant pour différents secteurs sont extraits des simulations à différents pas de temps afin de visualiser son évolution.

Les graphiques suivants présentent quelques profils obtenus et ayant permis de valider la durée des simulations :

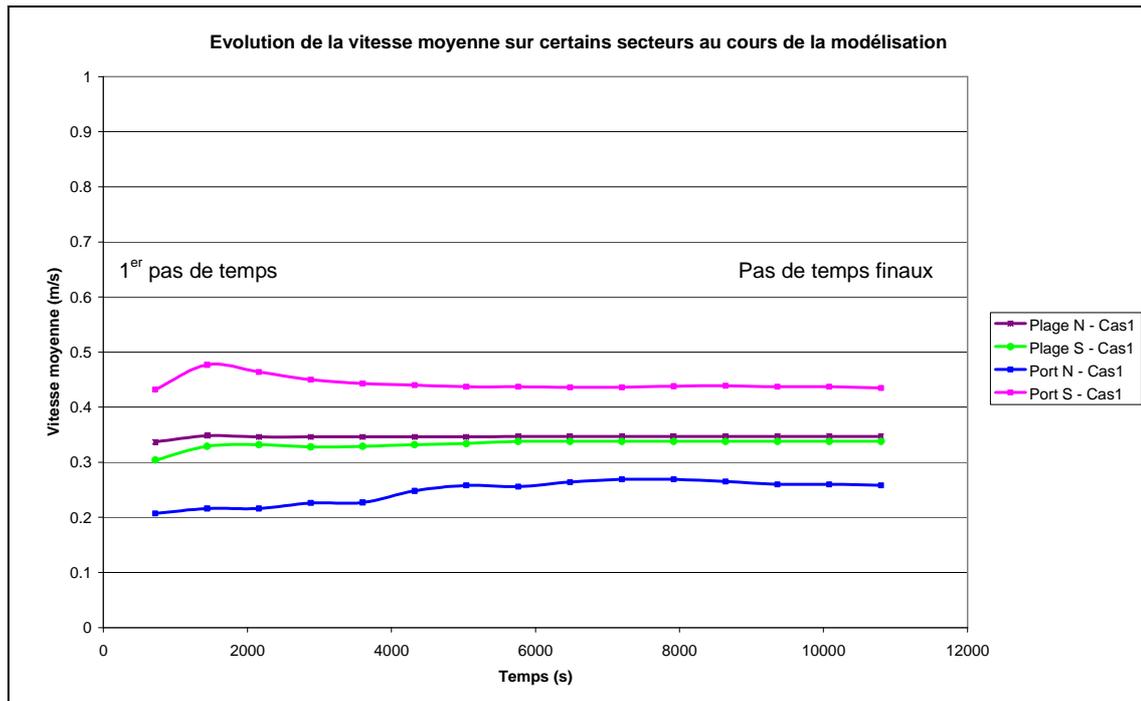


Figure 9 : Etat actuel, cas 1 – Evolution du courant moyen sur différents secteurs

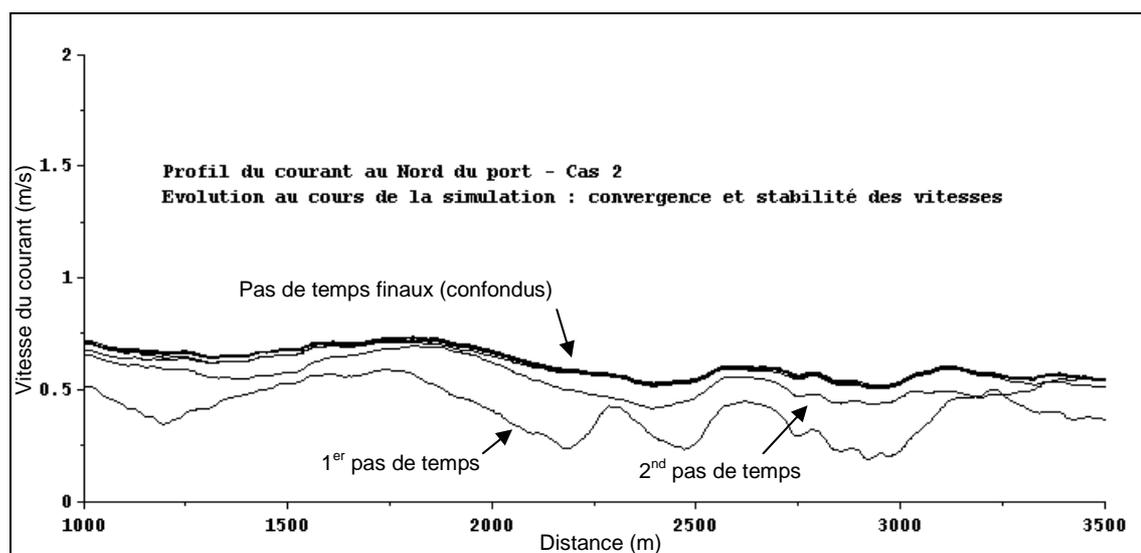


Figure 10 : Etat actuel, cas 2 – Exemple d'évolution du profil du courant

5-3 Sédimentologie

5-3.1 Résultats

Les résultats des simulations se présentent sous deux formes :

- Des planches de couleurs illustrant l'évolution des fonds à l'issue des calculs (valeurs positives en rouge indiquant des dépôts, et valeurs négatives en bleu pour de l'érosion) ;
- Des planches de couleurs et un champ de flèches pour représenter le débit solide (son intensité et son orientation).

Note : La durée des calculs sédimentologiques est de 3h pour chaque cas.

Les graphiques suivants sont des exemples de ces résultats :

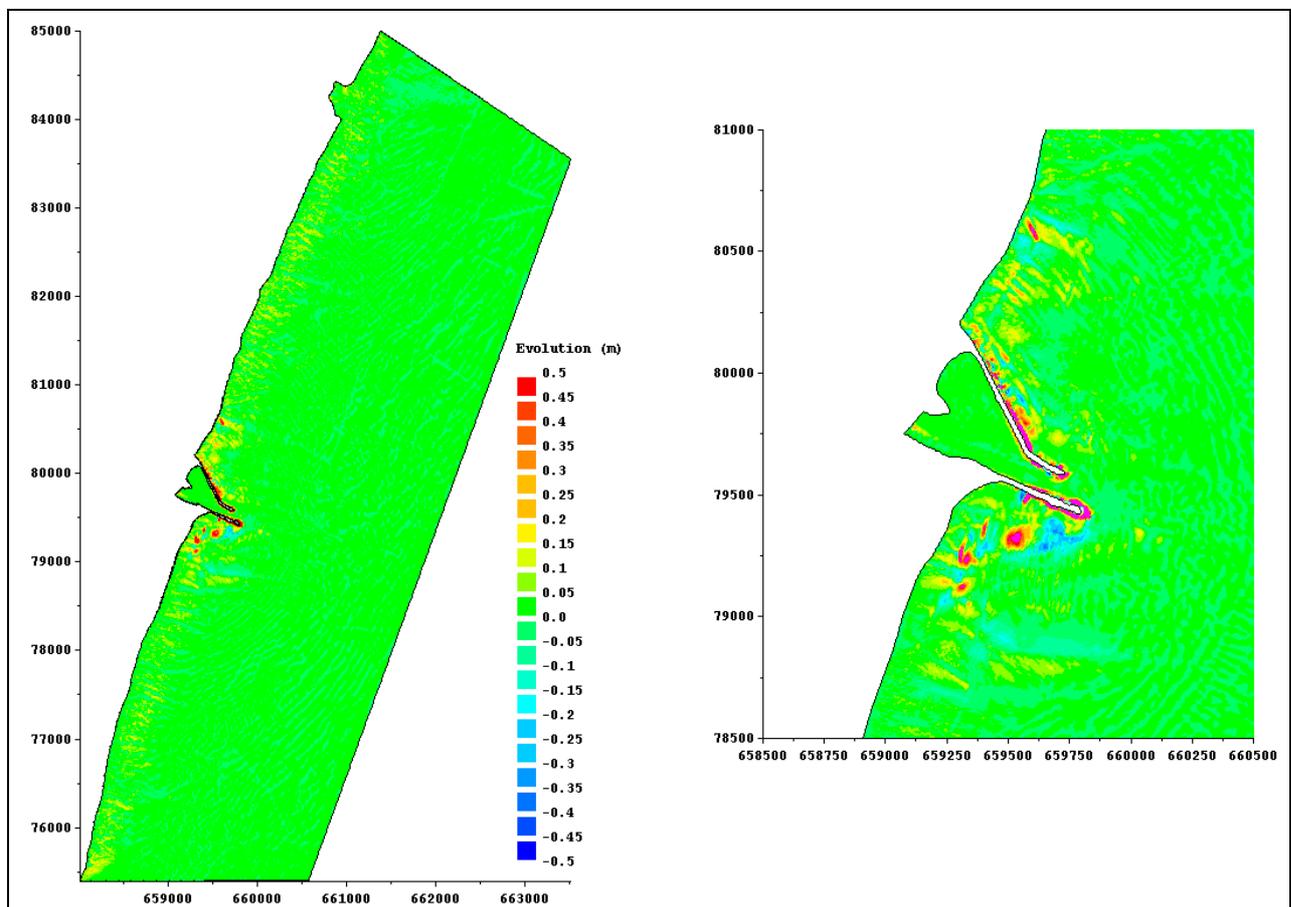


Figure 11 : Etat actuel, cas 1 – Evolution des fonds

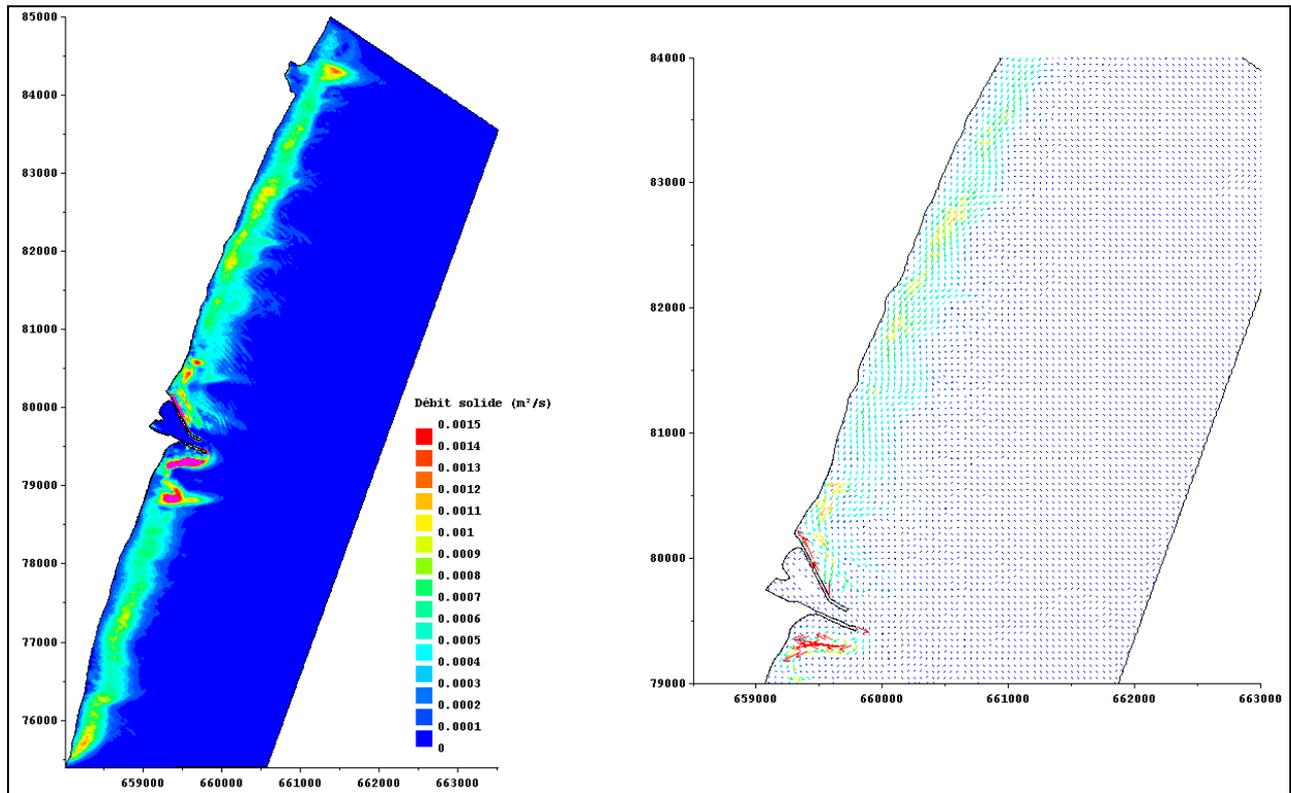


Figure 12 : Etat actuel, cas 1 – Débit solide

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe D.

5-3.2 Transit littoral

5-3.2.1 Analyse des résultats

A partir des résultats des calculs, en particulier de la détermination du débit solide, une analyse du transit littoral solide est réalisée pour chaque cas (expertise par M. Latteux).

Cette étape consiste en l'estimation de la valeur moyenne du transit sédimentaire sur 2km au Nord pour les cas 1 et 2, et sur 2km au Sud pour les cas 3 et 4.

Le transit littoral indiqué en page suivante pour chaque cas est ainsi obtenu par intégration du transport solide modélisé dans la section normale au rivage en chaque point.

La représentation graphique de cette analyse est illustrée pour le cas 1 ci-dessous :

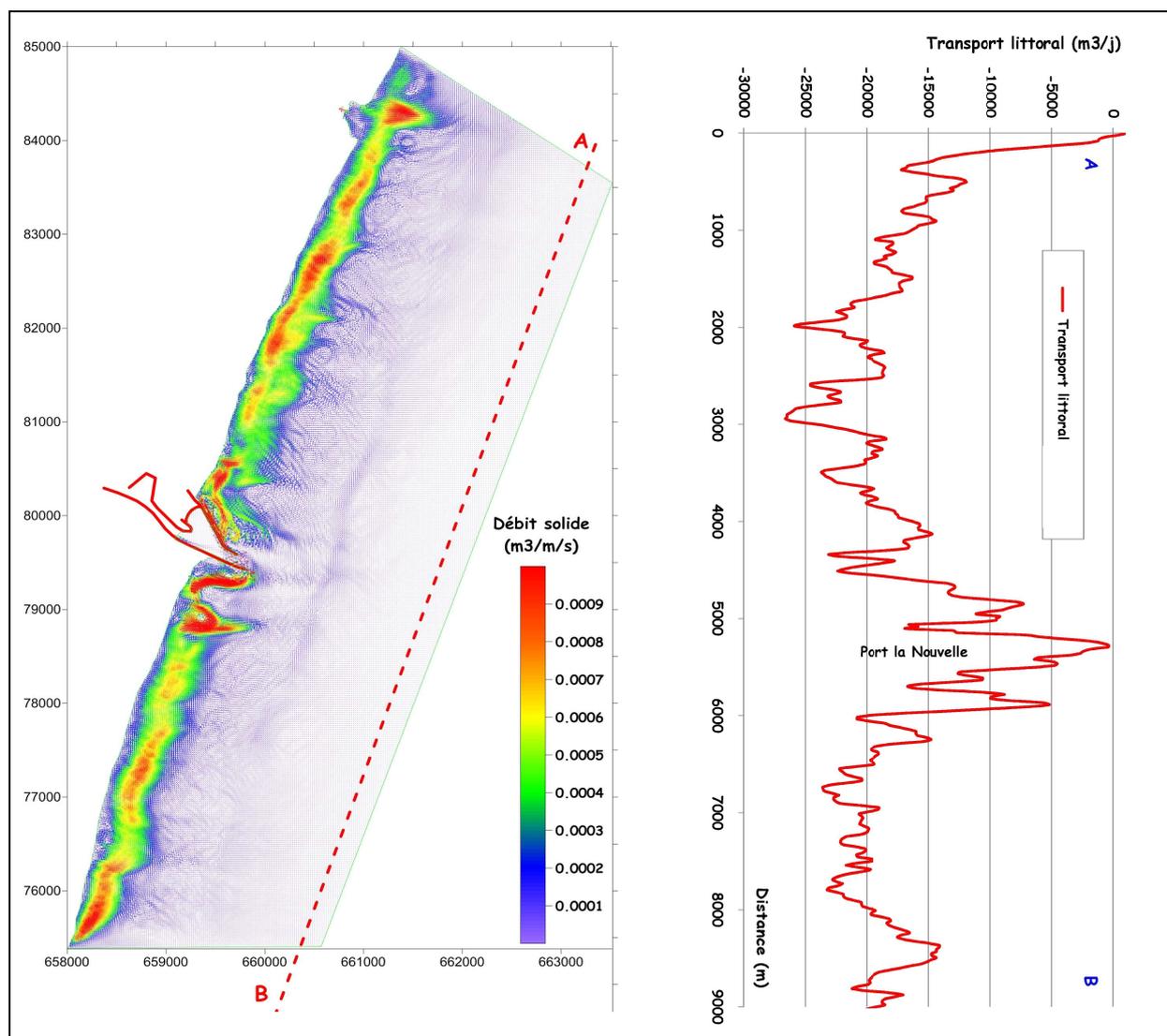


Figure 13 : Etat actuel cas 1 – Transport littoral

Remarque : Dans les graphiques proposés en annexe E, une valeur positive indique un transport vers le Nord, et une valeur négative un transport vers le Sud (exemple graphe ci-dessus).

L'ensemble des graphiques sont fournis en annexe E.

Le transit est estimé en m^3/jour en se basant sur une projection linéaire à partir de la durée de simulation de 3h.

Il en résulte les valeurs suivantes extrapolées à partir de la durée des modélisations :

- Cas 1 - Houles modérées de secteur N : Transit vers le Sud de 20 000 m^3/jour ;
- Cas 2 - Houles fortes de secteur N : Transit vers le Sud de 115 000 m^3/jour ;
- Cas 3 - Houles modérées de secteur S : Transit vers le Nord de 16 000 m^3/jour ;
- Cas 4 - Houles modérées de secteur S : Transit vers le Nord de 85 000 m^3/jour ;

5-3.2.2 Transit littoral sur site

Lors de l'analyse bibliographique des données sur le site de Port-la-Nouvelle, il a été mis en avant que le secteur étudié constitue plutôt un point de convergence des apports sédimentaires. Le bilan des transports élémentaires est ainsi le suivant :

- Transport Nord-Sud de 55 000 m^3/an ;
- Transport Sud-Nord de 75 000 m^3/an ;
- Transport net de 20 000 m^3/an vers le Nord.

En reprenant la répartition statistique des houles considérées selon leur poids sédimentaire (cf. partie 3-2), cette décomposition des transports sédimentaires peut alors être répartie ainsi :

- Transport Nord-Sud de 55 000 m^3/an incluant :
 - Transport sous l'action des houles N modérées (cas 1) : 19 700 m^3/an ;
 - Transport sous l'action des houles N fortes (cas 2) : 35 300 m^3/an .
- Transport Sud-Nord de 75 000 m^3/an incluant :
 - Transport sous l'action des houles S modérées (cas 3) : 42 350 m^3/an ;
 - Transport sous l'action des houles S fortes (cas 4) : 32 650 m^3/an .

5-3.2.3 Durées d'action des houles

La **durée d'action** des houles correspond au **temps nécessaire à chaque cas modélisé pour être représentatif de sa contribution aux évolutions annuelles sur site**. C'est la combinaison de l'ensemble des cas modélisés, rapportée à leur durée d'action respective, qui permettra d'estimer les mouvements sédimentaires globaux.

Cette notion de « durée d'action » (durée virtuelle de calcul) ne doit pas être confondue avec l'occurrence des houles ni la durée réelle d'évènements. La méthodologie suivie dans cette étude se base sur une répartition des houles selon leur poids sédimentaire (avec l'utilisation de houles représentatives de classe), et non directement sur les fréquences d'apparition d'évènements singuliers.

Ainsi, pour que les cas simulés impactent la zone étudiée de façon comparable à l'ensemble des évènements se déroulant sur le site sur une année, il est nécessaire de calculer une durée d'action permettant à chaque cas de mettre en mouvement la quantité de sédiments équivalente à l'ensemble des conditions qu'il représente (quantités présentées au paragraphe précédent).

Cette durée s'apparente donc au temps virtuel nécessaire à chaque cas modélisé numériquement pour déplacer le même volume de sédiments que lors des évolutions annuelles observées sur site (calage des volumes mis en mouvements).

L'analyse précédente permet alors de déterminer ces durées d'action des houles à prendre en compte : le ratio entre le transport induit par les simulations (5-3.2.1) et le transport sédimentaire à atteindre sur site (5-3.2.2) fournit directement ces durées d'action.

On obtient ainsi :

- Cas 1 : Durée d'action = 23,6h (ou 0,98 jour) ;
- Cas 2 : Durée d'action = 7,4h (ou 0,31 jour) ;
- Cas 3 : Durée d'action = 63,5h (ou 2,65 jours) ;
- Cas 4 : Durée d'action = 9,2h (ou 0,38 jour).

Ces valeurs sont utilisées ci-après pour l'évaluation des mouvements sédimentaires dans la partie 5-3.3.3.

5-3.3 Evolutions sédimentaires

5-3.3.1 Analyse générale

Une analyse détaillée est présentée dans la partie 6-3.4.3, reprenant notamment les résultats des simulations pour le modèle « GRAND PORT » afin de les comparer à l'état actuel.

Les commentaires suivants peuvent toutefois être avancés à partir des simulations de la configuration actuelle :

- Quelles que soient les conditions incidentes, le port actuel constitue une barrière au transit littoral, mais de façon localisée : il n'est pas observé de contournement ou l'apparition de réelles zones de calme, à l'exception notable du chenal extérieur où le transit littoral ralentit brutalement ;
- Pour les houles fortes, le transit littoral s'écarte davantage du rivage (en lien avec la zone de déferlement) : le chenal extérieur est directement « impacté » par les mouvements sédimentaires et constitue une zone de dépôt ;
- Le transit littoral en amont et en aval du port connaît de multiples fluctuations et ne reste pas constant. Les variations sont particulièrement importantes aux abords proches du port.

Note : *Les graphiques montrent des évolutions importantes le long des ouvrages modélisés. Il faut nuancer ces phénomènes : la proximité des ouvrages, les faibles profondeurs, et la non-représentation des fonds rocheux expliquent l'intensité de ces mouvements.*

5-3.3.2 Estimation de volumes - secteurs étudiés

Afin de pouvoir analyser l'évolution des transports sédimentaires, 5 secteurs sont étudiés plus en détail au travers de l'estimation des volumes mis en mouvement.

Ces zones sont dénommées ainsi, avec l'indication de leur superficie respective :

- Enracinement N : 19 500 m² ;
- Secteur global N : 104 000 m² ;
- Passe d'entrée : 84 000 m² ;
- Enracinement S : 31 000 m² ;
- Secteur global S : 159 000 m².

La figure suivante illustre le positionnement de ces secteurs :

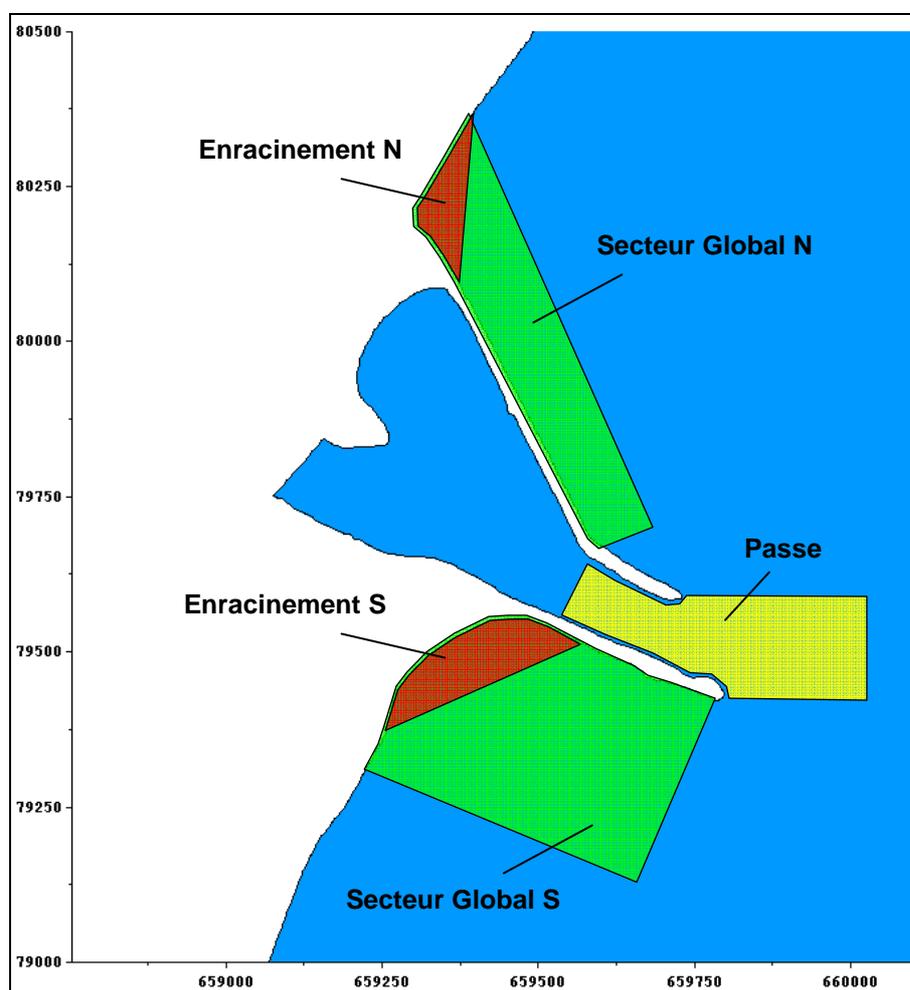


Figure 14 : Etat actuel - Volumes sédimentaires - Secteurs étudiés

L'ensemble des représentations détaillées des secteurs étudiés est fourni en annexe F.

5-3.3.3 Volumes

Les volumes sont récupérés dans les résultats des modélisations à l'aide d'un calcul de cubature réalisé sous le logiciel de post-traitement FUDAA-PREPRO.

Ces valeurs correspondent, dans un 1^{er} temps, aux volumes mis en mouvement pour chaque secteur (constituant des dépôts ou de l'érosion) à l'issue de la durée de chaque cas, c'est-à-dire 3h de calcul. Les durées d'action de chaque classe de houle (cf. 5-3.2.3) sont ensuite prises en compte pour établir le bilan sédimentaire total de la zone, représentatif des évolutions annuelles.

Note : L'unité des volumes présentés dans ce document est la plupart du temps $m^3/1000m^2/h$ ou $m^3/1000m^2$. Ceci permet de comparer les tendances obtenues avec celles pour la configuration Grand Port grâce à des valeurs normalisées, les zones étudiées n'étant pas identiques en taille.

Le tableau suivant présente les valeurs obtenues :

Volumes en $m^3/1000m^2/h$	Cas1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Bilan annuel ($m^3/1000m^2$)
Enracinement N	-3.538	-4.066	+5.602	+5.265	+290.9
Secteur global N	+4.939	+5.529	+5.886	+10.779	+630.0
Passe d'entrée	+5.261	+2.276	+3.020	+11.900	+441.3
Enracinement S	-0.322	-3.374	+6.051	+4.761	+395.6
Secteur global S	-1.136	+5.022	-0.531	+2.068	-4.3

Tableau 2 : Etat actuel – Bilan sédimentaire par secteur

Au niveau de la **passé**, on obtient ainsi un **volume global déposé de l'ordre de 37 000 m^3/an** (valeur proche des ordres de grandeur des dragages dans ce secteur autour de 40 000 m^3/an).

Ces valeurs sont comparées ultérieurement à celles obtenues pour le modèle Grand Port dans le paragraphe 6-3.4.3.

Il est rappelé que les valeurs obtenues sont représentatives de tendances, il est difficile de justifier de quantités précises à partir de modélisations numériques simulant des phénomènes sédimentaires complexes.

VI- RESULTATS – GRAND PORT

Rappel général : Les simulations et les résultats présentés dans ce rapport font suite à une phase de préparation durant laquelle de multiples configurations et tests ont été menés afin de caler le modèle, et notamment de s'affranchir dans la zone étudiée des effets de bord inhérents à toute étude numérique et pouvant impacter la zone étudiée.

6-1 Houle

Le type de résultats et leur présentation sont identiques à la configuration Etat actuel.

La figure suivante illustre pour exemple un des cas simulés :

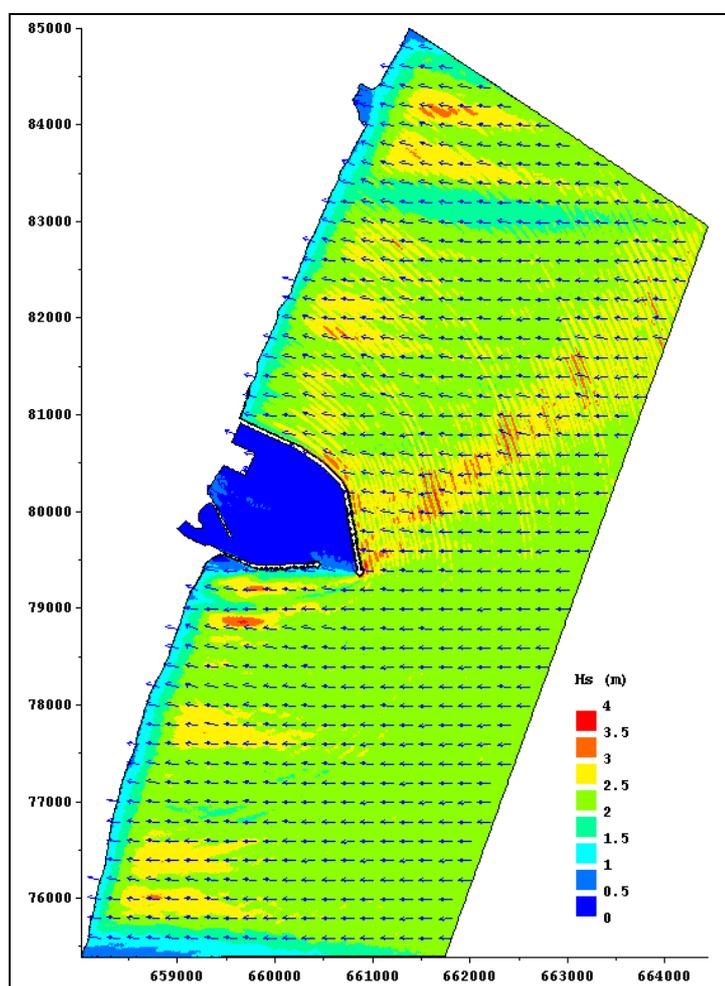


Figure 15 : Exemple de résultat d'agitation – Grand Port, cas1

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe B.

Ces données servent ensuite pour le calcul des courants de houle. La principale observation qui peut être indiquée par rapport au modèle actuel, est la confirmation de l'influence de la grande emprise du port projeté : pour l'ensemble des 4 cas réalisés, les ouvrages du port ont un effet perturbateur sur la propagation des vagues (obstacles + réflexion) qui est très visible.

6-2 Courant

Comme pour la houle, le type de résultats de courantologie et leur présentation sont identiques à la configuration Etat actuel.

La figure suivante illustre pour exemple un des cas simulés :

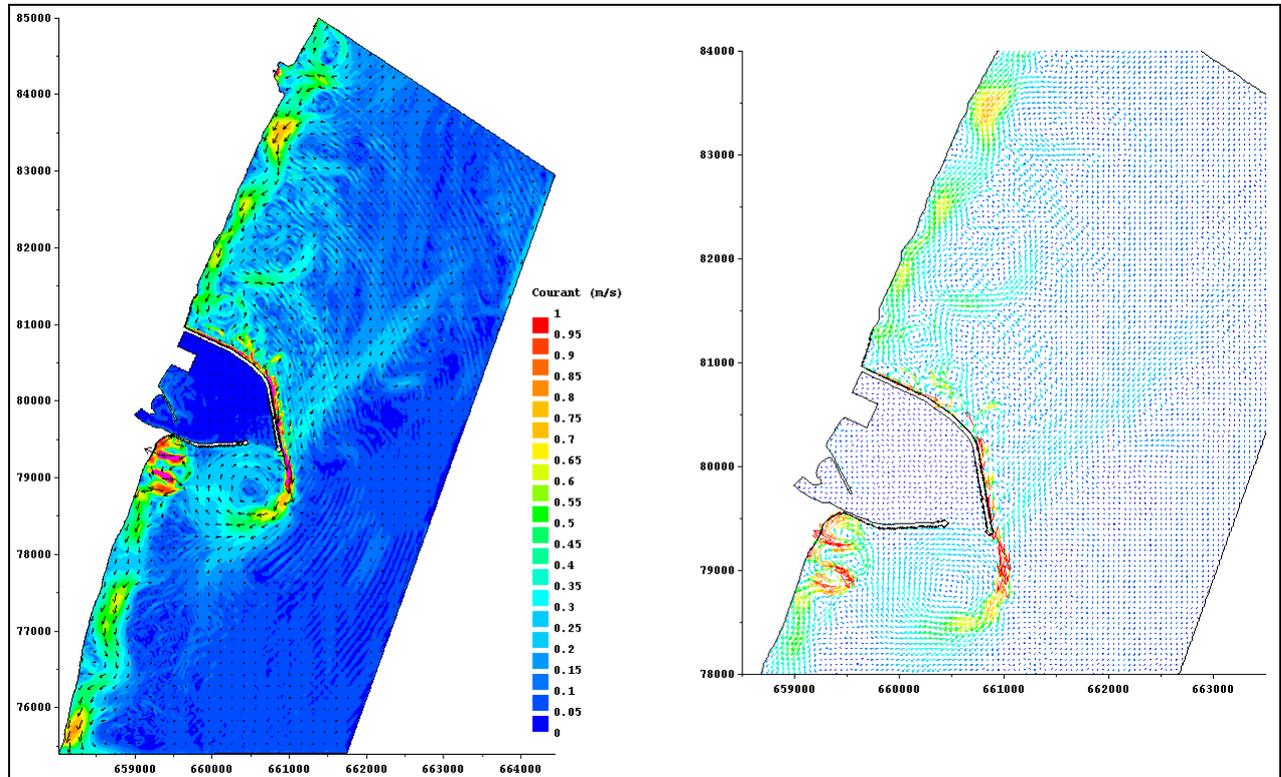


Figure 16 : Exemple de résultat de courantologie – Grand Port, cas1

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe C.

Différentes tendances, qui se confirment par la suite avec le débit solide (cf. 6-3), sont notables. Le nouveau port constitue ainsi un obstacle pour la circulation littorale :

- Sous des conditions de houle Nord (cas 1 et 2) les vitesses de courant sont globalement moins fortes dans le secteur Nord du port, mais une veine de courant rapide se met en place le long de la digue Nord afin de contourner le nouveau port. Les valeurs de courant maximales sont relevées à l'extrémité de la digue et se dirigent vers le SSE, sans retour direct vers la nouvelle passe d'entrée. Une zone de turbulence (vortex) est encore présente au Sud du port ;
- Sous des conditions de houle Sud (cas 3 et 4), on retrouve que le secteur Sud du port est perturbé par l'arrivée de la houle, mais surtout il se met en place une forte recirculation circulaire à partir de l'extrémité de la nouvelle digue Nord. Une vérification de la conformité des calculs est menée sur ce phénomène (cf. 6-3.2) dont l'intensité est sujette à réserve.

Dans tous les cas, la zone située dans le prolongement de la digue Nord sera un secteur perturbé d'un point de vue hydrosédimentaire.

6-3 Sédimentologie

6-3.1 Résultats

Les graphiques suivants sont des exemples de résultats :

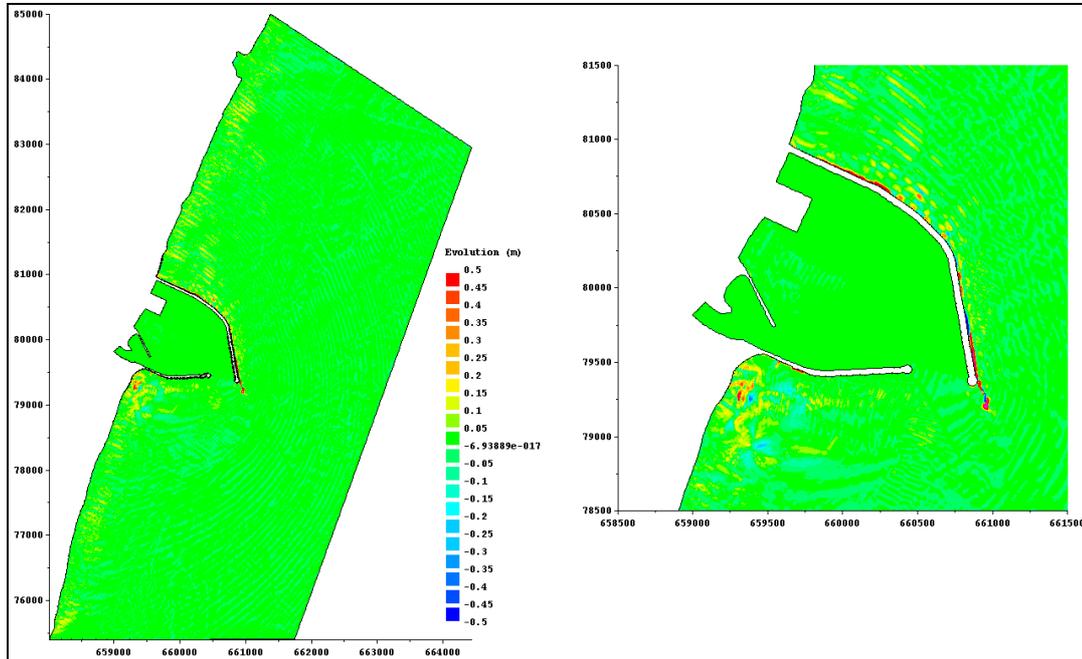


Figure 17 : Grand Port, cas 1 – Evolution des fonds

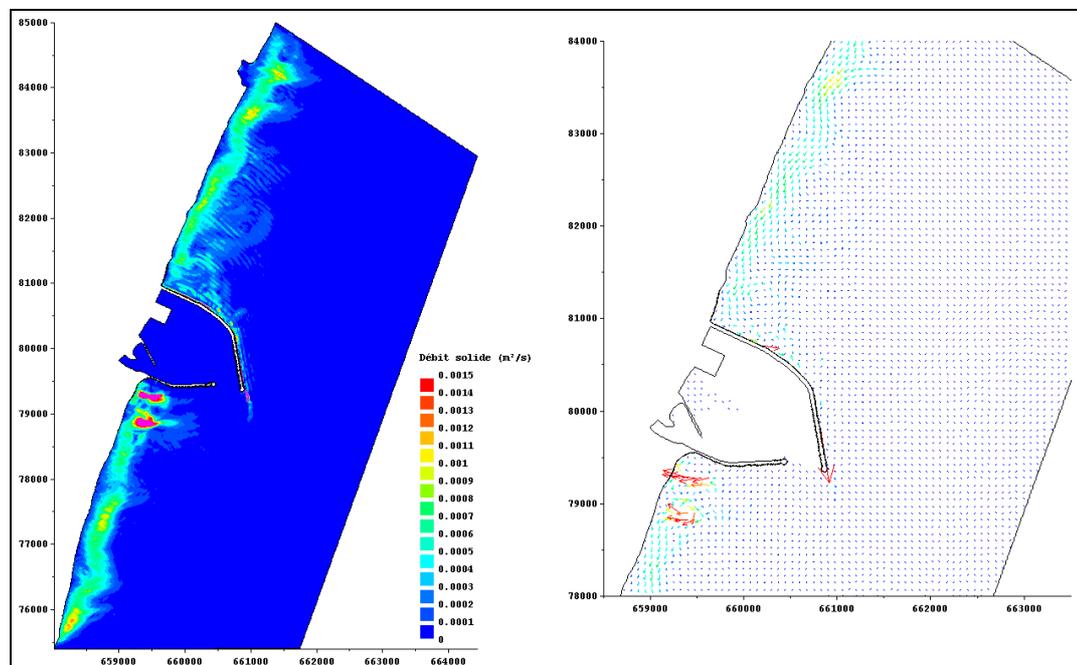


Figure 18 : Grand Port, cas 1 – Débit solide

L'ensemble des graphiques des résultats sont fournis en annexe D.

6-3.2 Vérification complémentaire

Les survitesses importantes à l'extrémité du musoir de la nouvelle digue Nord, s'accompagnant parfois de larges zones tourbillonnaires, ont pour origine le contournement de l'ouvrage.

Les valeurs calculées paraissent toutefois plus fortes que les résultats attendus : une vérification des paramètres de calcul a ainsi été mise en œuvre afin de vérifier que la diffusion des vitesses est correctement modélisée.

Pour cela, un cas complémentaire a été réalisé en modifiant le coefficient de dispersion des vitesses (en courantologie). Ce coefficient a été multiplié par 5 afin d'amplifier la dissipation du courant au fur et à mesure qu'il s'éloigne des secteurs le générant. Le cas de houle choisi est le cas 4 (contenant les survitesses les plus fortes).

La comparaison entre le cas complémentaire n'a pas montré de différences significatives au niveau du transit littoral solide mis en mouvement par les courants de houle (cf. graphes ci-après) : cette zone turbulente n'est pas la conséquence d'une conservation d'énergie artificiellement générée par la modélisation.

Les graphes suivants présentent la comparaison entre le cas initial et le cas complémentaire :

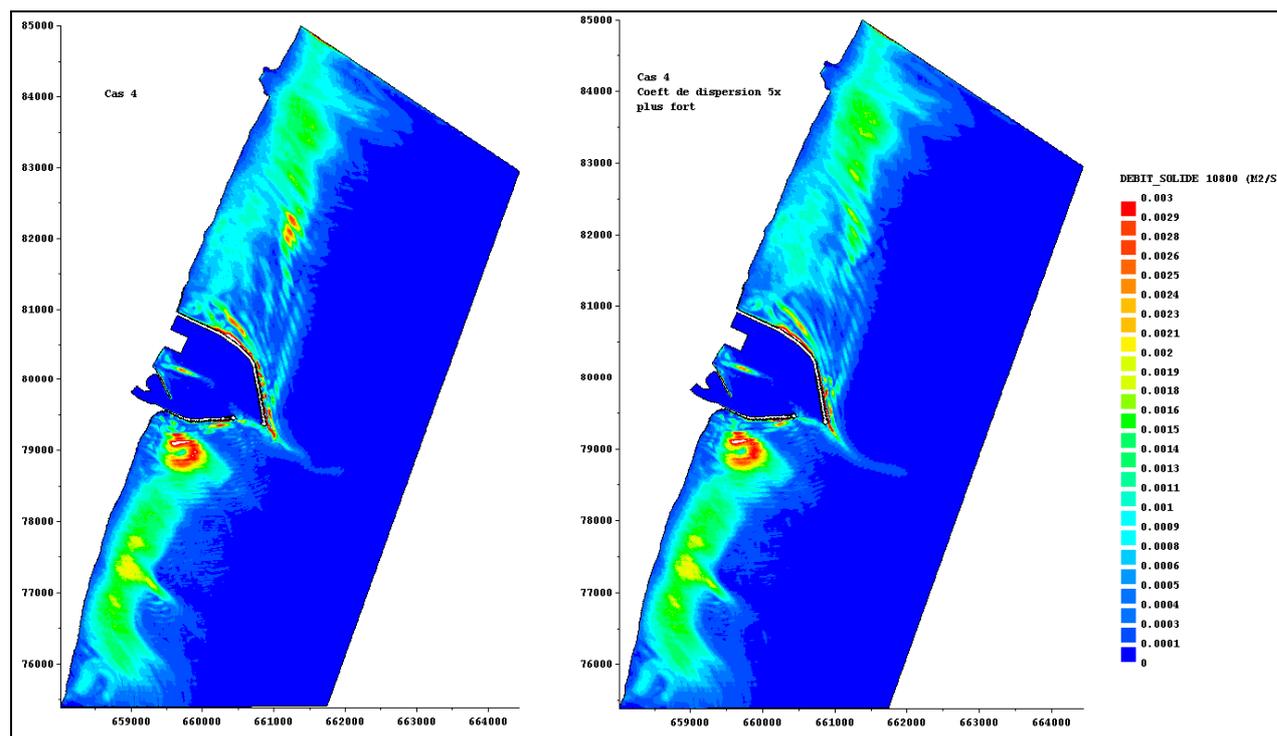


Figure 19 : Grand Port, cas 4 – Vérification des paramètres de dispersion

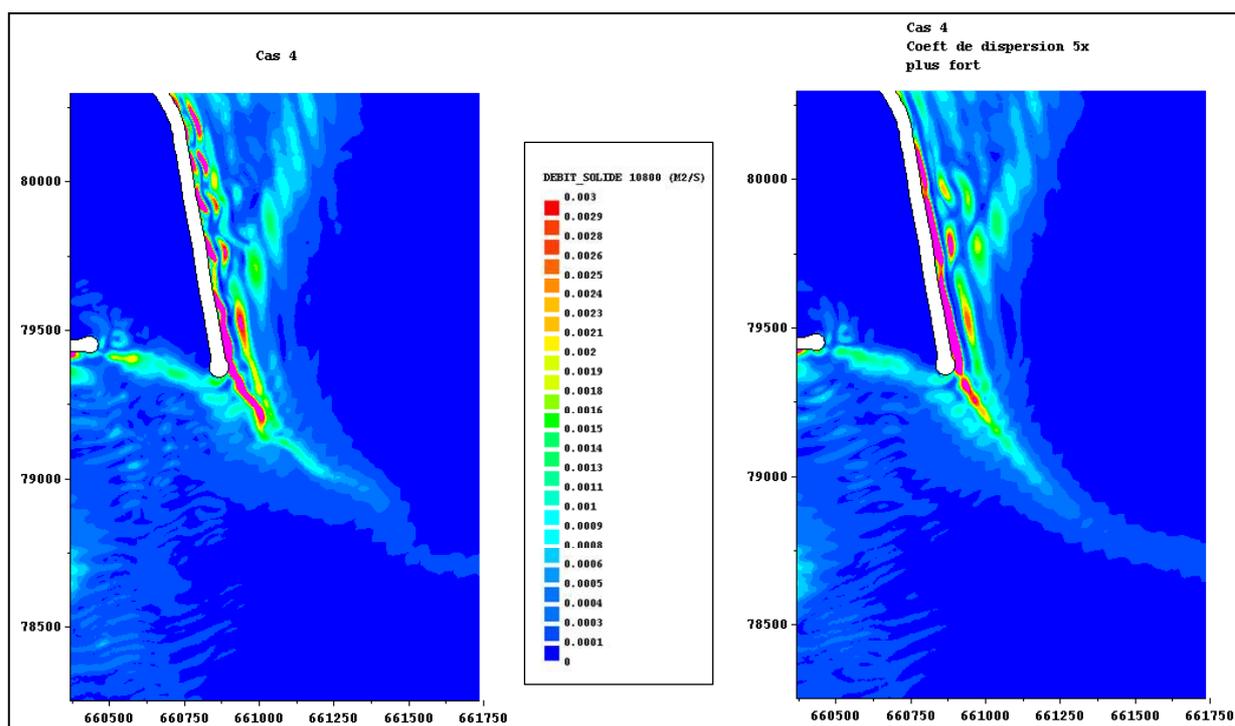


Figure 20 : Grand Port, cas 4 (zoom) – Vérification des paramètres de dispersion

6-3.3 Commentaires

6-3.3.1 Conditions provenant du secteur Nord

Les tendances observées sont :

- Un transit littoral moins fort en amont du port ;
- Une circulation forte le long de la digue Nord. Ce phénomène est à nuancer en raison de sa localisation (faibles profondeurs et non représentation des enrochements) mais il existe ;
- En lien avec le phénomène précédent, un débit solide atteint l'extrémité de la digue Nord et se dirige essentiellement vers le Sud avant de s'atténuer. La nouvelle passe d'entrée n'est pas impactée. Une partie du chenal extérieur est concernée par ce transit solide, mais elle se situe dans des profondeurs suffisamment importantes ;
- Le transit littoral se comporte de façon similaire à la situation actuelle au Sud du port.

6-3.3.2 Conditions provenant du secteur Sud

Deux remarques principales peuvent être émises :

- Le transit littoral arrive en amont du port de façon comparable à la situation actuelle, mais il est fortement diminué et repart avec beaucoup moins d'intensité en aval ;
- Pour les houles fortes, un transport significatif se met en place le long de la digue Nord. La remarque est similaire à celle du paragraphe précédent sur ce sujet.

6-3.4 Evolutions sédimentaires - Volumes

6-3.4.1 Secteurs étudiés

Le principe d'analyse est similaire à celui utilisé dans le paragraphe 5-3.3.

L'emprise des secteurs pour le Grand Port est généralement adaptée par rapport à celle prise en compte pour la configuration actuelle. Ces « nouvelles » zones sont alors, avec l'indication de leur superficie respective :

- Enracinement N : 35 000 m² ;
- Secteur global N : 239 000 m² ;
- Passe d'entrée, zone 1 : 217 000 m² ;
- Passe d'entrée, zone 2 (zone + étendue) : 331 000 m² ;
- Enracinement S : 31 000 m² (même emprise que configuration actuelle) ;
- Secteur global S : 159 000 m² (même emprise que configuration actuelle).

La figure suivante illustre ces nouveaux secteurs :

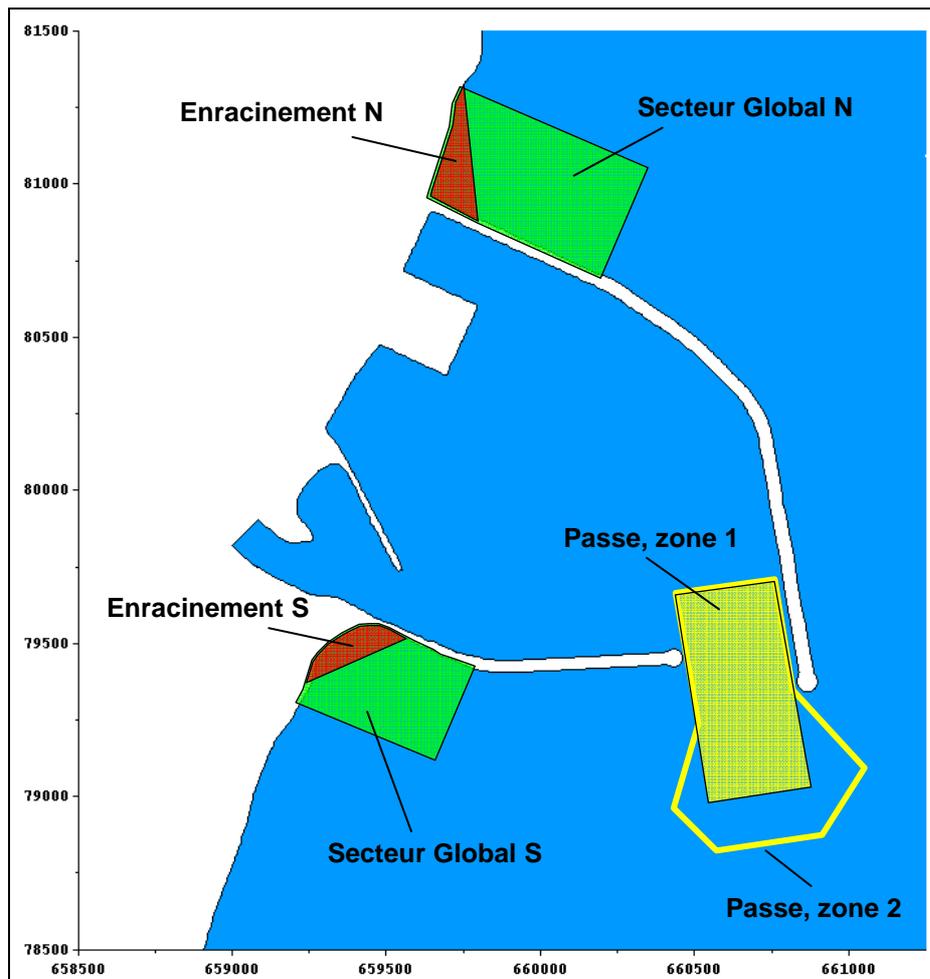


Figure 21 : Grand Port – Volumes sédimentaires – Secteurs étudiés

L'ensemble des représentations détaillées de ces secteurs est fourni en annexe F.

Note : *La comparaison entre les évolutions des secteurs Nord de chaque configuration doit être relativisée, ceci en raison du décalage significatif entre l'emplacement de ces secteurs.*

6-3.4.2 Volumes estimés

Le tableau suivant présente les valeurs obtenues :

Volumes en m ³ /1000m ² /h	Cas1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Bilan annuel (m ³ /1000m ²)
Enracinement N	-0.729	-1.558	+5.588	+2.344	+348.0
Secteur global N	+0.686	-0.029	-1.112	-0.519	-59.5
Passe d'entrée, zone 1	+0.129	+0.505	+0.015	+0.297	+10.5
Passe d'entrée, zone 2	+1.385	+16.39 ⁽¹⁾	+0.053	+0.956	+166.64
Enracinement S	+3.925	+1.393	+3.948	+2.539	+376.9
Secteur global S	-1.387	+4.188	+1.915	+0.246	+122.6

Tableau 3 : Grand Port – Bilan sédimentaire par secteur

Les valeurs fournissent des indications sur les tendances pour les secteurs étudiés.

⁽¹⁾ : Pour les conditions extrêmes de secteur Nord correspondant au cas 2, les phénomènes se déroulant dans le prolongement de la digue sont eux aussi extrêmes et amplifiés. La valeur des déplacements sédimentaires qui est estimée à partir des modélisations doit donc être considérée avec précaution pour les raisons suivantes :

- Proximité du contour du modèle (frontière solide) : effets de bord ;
- Pente du talus modélisée : non représentative de la réalité en termes de porosité et de frottements, et n'incluant pas la présence d'enrochements ;
- Le modèle n'intègre pas le design et les dispositifs adaptés (butées de pied) qui sont dimensionnés dans la suite de l'étude et qui ont pour objectif de limiter les déplacements sédimentaires réels dans ce secteur.

6-3.4.3 Analyse

La modification du port provoque la modification de plusieurs tendances sédimentaires.

Enracinement Nord :

Augmentation des dépôts d'environ 20%.

Ce phénomène provient d'une baisse de l'érosion sous les conditions Nord (effet de contournement), et de dépôts sédimentaires en hausse sous les conditions Sud (zone protégée).

Secteur Nord global :

A l'inverse de l'enracinement, le Grand Port provoque un **basculement** significatif des mouvements sédimentaires : le secteur Nord devient, dans son ensemble, relativement **érosif**.

Cette tendance est liée à l'accélération du champ de courant qui contourne le port le long de la digue Nord et entraîne une partie des sédiments.

Il convient toutefois de nuancer ce phénomène. Comme évoqué précédemment, les mouvements aux abords immédiats des ouvrages sont amplifiés par les faibles profondeurs et la non-représentation des fonds rocheux. De même, le secteur pour la configuration Etat Actuel et celui pour la configuration Grand Port sont particulièrement distincts à la fois en taille et en positionnement (décalage le plus « radical » de l'ensemble des secteurs étudiés).

Passé d'entrée, zone 1 :

La transformation du port a eu l'effet escompté si l'on considère une passe de dimensions restreintes (mais toutefois bien plus étendue que pour la configuration actuelle) : on passe d'un secteur lieu de dépôts importants pour l'Etat Actuel, à un secteur en **quasi-équilibre sédimentaire** pour la configuration Grand Port. On passe ainsi d'un volume de l'ordre de **37 000 m³/an actuellement** (valeur numérique très proche des volumes extraits in situ), à un volume **projeté de dépôt de l'ordre de 2 300 m³/an**.

L'éloignement de la passe, qui se situerait dans des profondeurs plus grandes, permet de placer cette zone stratégiquement en dehors des zones impactées par les mouvements sédimentaires.

Il faut toutefois garder à l'esprit que, et ce pour tous les cas modélisés, des survitesses importantes se mettent en place à l'extrémité de la digue Nord. Un courant sensible pourrait être généré dans le prolongement de cet ouvrage, et des transports sédimentaires à la périphérie du chenal extérieur pourraient apparaître.

L'intensité de ce phénomène doit être nuancé (cf. partie 6-3.4.4.), tout en notant que son orientation plutôt vers le large est un point positif (tendance à la dispersion des sédiments transportés dans les plus grandes profondeurs). L'analyse sur une passe d'emprise plus étendue est prise en compte avec la zone suivante (Passé d'entrée, zone 2).

Passé d'entrée, zone 2 :

Cette seconde zone au niveau de la passe d'entrée, d'une surface environ 50% plus importante que la précédente, est prise en compte afin d'analyser les tendances sédimentaires dans des secteurs plus étendus et couvrant davantage les points de passage associés au chenal d'accès. Les phénomènes perturbateurs et amplifiés dans le prolongement de la digue Nord (cf. paragraphe suivant 6-3.4.4.) sont alors inclus dans les volumes mis en mouvement estimés.

Par rapport à la 1^{ère} surface de passe d'entrée considérée, les dépôts sont plus conséquents, mais l'on reste toutefois bien inférieur aux valeurs obtenues pour la situation actuelle si l'on compare les bilans surfaciques (environ 3 fois moins).

Cette tendance au dépôt se concentre toutefois essentiellement dans la zone au Sud de la digue, et provient en grande partie des conditions extrêmes de secteur Nord : si la majorité de la surface considérée est peu impactée, des phénomènes plus marqués avec des transports sédimentaires conséquents ont lieu dans ce secteur.

Enracinement Sud :

Le bilan sédimentaire de cette zone est similaire à celui pour l'Etat actuel, avec un **dépôt sédimentaire notable** (même ordre de grandeur).

En revanche, les phénomènes qui génèrent ce dépôt sont différents :

- Etat Actuel : érosion sous les conditions Nord (cas 1 et 2), dépôts sous les conditions Sud (cas 3 et 4) ;
- Grand Port : dépôts individuellement plus modérés quelles que soient les conditions.

Comme pour l'enracinement Nord, ce secteur bénéficie de l'effet de contournement et d'une relative protection.

Secteur Sud global :

On passe ici d'une zone en quasi-équilibre sédimentaire à une zone de **dépôt sédimentaire modéré**.

Les mouvements sédimentaires sont relativement similaires entre les deux configurations sous l'influence des conditions Nord (même ordre de grandeur), en revanche des dépôts ont lieu sous l'effet des conditions Sud pour le Grand Port, ce qui n'est pas la tendance actuelle.

Bilan sur les volumes :

Les évolutions de chaque secteur considéré ont été explicitées précédemment. Bien qu'il faille relativiser les valeurs estimées (en raison de la différence de taille et de positionnement des zones, ainsi que de la précision des modélisations numériques), les volumes totaux mis en jeu sont détaillés ci-dessous :

- Enracinement N : passage de +6 000 m³/an à +12 000 m³/an ;

L'emprise du Grand Port permet une augmentation sensible des volumes déposés (valeur doublée), ce qui indique le possible élargissement de la largeur de la plage aux abords immédiats du port Nord. La zone de calme relatif à l'enracinement s'accroît avec le Grand Port, et donc devient un secteur de dépôt pour les sédiments l'atteignant.

- Secteur global N : passage de +65 000 m³/an à -14 000 m³/an ;

L'effet de contournement, associé aux survitesses qui se développent le long de la digue Nord, ont pour effet de créer des zones d'érosion en lieu et place des secteurs de dépôts actuels.

Ce secteur constitue actuellement une « source » sédimentaire approvisionnant la zone du chenal extérieur et de la passe, mais la modification du champ de courant diminue les dépôts et augmente l'érosion sous l'effet des fortes vitesses. Les sédiments sont ainsi transportés le long de l'ouvrage : ils se déposent partiellement au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur ou sont « projetés » plus au Sud.

- Passe d'entrée 1 : passage de +37 000 m³/an à +2 300 m³/an ;
- Passe d'entrée 2 : passage de +37 000 m³/an à +55 000 m³/an ;

Diminution très significative des volumes se déposant dans l'axe de la passe d'entrée du port projeté, mais avec des dépôts importants (amplification numérique) au Sud de la digue Nord à la suite de conditions extrêmes d'incidence Nord.

A l'exception de la zone dans le prolongement de la digue Nord qui devrait être à surveiller, la nouvelle passe qui se situe plus loin du rivage ne se comportera plus comme un piège sédimentaire avec l'aménagement portuaire projeté.

- Enracinement S : dépôt stable de +12 000 m³/an ;

Bien que les phénomènes à l'origine des dépôts évoluent, il n'y a pas de modification de l'amplitude des mouvements sédimentaires à l'enracinement de la digue Sud du port.

- Secteur global S : passage de -700 m³/an à +19 500 m³/an.

En parallèle des dépôts à l'enracinement, le secteur Sud passe d'une tendance légèrement érosive à une tendance au dépôt au Sud du port : l'ensemble de ces phénomènes confirme l'engraissement de cette zone et l'élargissement probable de la plage aux abords proches du port.

6-3.4.4 Point particulier

Les modélisations mettent en avant des évolutions sédimentologiques significatives le long des ouvrages et dans le prolongement direct du secteur perturbé que constitue l'extrémité de la digue Nord.

Ces évolutions se « développent » vers le Sud-est dans des profondeurs aux environs de -15m puis au-delà. L'influence sera limitée à la fois :

- Spatialement car les sédiments seront diffusés vers le large, et cette évolution se poursuivra ensuite de façon gravitaire ;
- Temporellement car il faudra quelques années avant que ces dépôts ne constituent une gêne pour la navigation de par les profondeurs considérées.

Ces observations sur ce secteur particulier doivent aussi être nuancées par des considérations liées à la modélisation numérique : l'ensemble des phénomènes qui se déroulent le long de la digue **sont numériquement amplifiés**. En effet, cette zone se situe à proximité du contour du modèle (effet de bord le long d'une frontière solide), et la pente du talus modélisée n'est pas représentative de la réalité (porosité, frottements, présence des enrochements...).

De même, l'ouvrage qui sera dimensionné dans la suite de l'étude prendra en compte les risques d'instabilité et d'affouillement avec un design et des dispositifs visant à limiter ces phénomènes qui seront réels : les déplacements sédimentaires attendus au niveau de la digue et dans son prolongement **devraient donc significativement diminués par rapport aux résultats numériques**. L'estimation des volumes déplacés par ces phénomènes doit donc être prise en considération avec un certain recul.

Cette zone reste toutefois un secteur à surveiller régulièrement, la situation actuelle ayant déjà montré que ces dépôts peuvent avoir lieu, même s'il s'agit de profondeurs bien moindres.

6-4 Synthèse des tendances

Les résultats sont synthétisés dans la figure suivante qui reprend les principales tendances sédimentaires issues de l'analyse comparative entre l'Etat Actuel et le Grand Port :

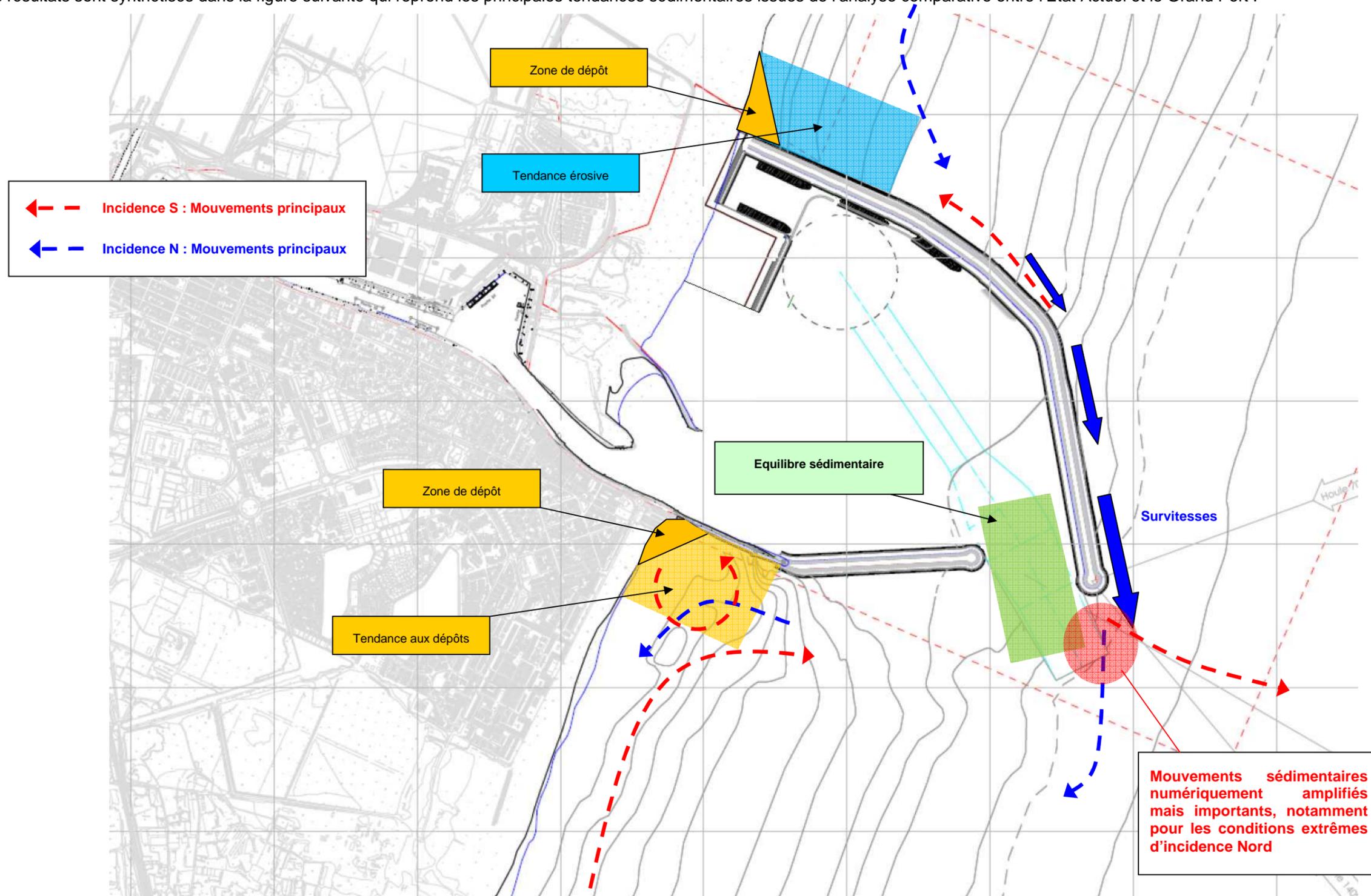


Figure 22 : Grand Port – Tendances sédimentaires maritimes

VII- IMPACT DU PROJET – CONSIDERATIONS GENERALES

L'analyse livrée dans ce paragraphe est réalisée par l'expert sédimentologique Bernard LATTEUX.

7-1 Echanges entre l'étang de Bages-Sigean et la mer

L'impact sur les échanges sédimentaires des aménagements projetés devrait être limité sur les échanges sédimentaires en provenance de l'étang, surtout si on les rapporte à la surface du Grand Port.

Une partie des volumes de vase actuellement expulsée en mer va pouvoir se déposer dans le nouvel avant-port, très protégé des houles. Cette proportion devrait être réduite, car la vitesse de chute de ces vases est très faible : en effet, les vases les moins fines décantent auparavant dans le chenal.

Néanmoins, il faut souligner que seule une étude spécifique associée à des mesures in-situ permettrait de préciser les apports depuis l'étang et évaluer l'impact des ouvrages par rapport à la configuration actuelle (qui doit être plus précisément caractérisée). En effet, le précédent avis sur ces échanges sédimentaire s'appuie principalement sur la connaissance et l'analyse des phénomènes actuels à partir de données quantitatives. Ces dernières étant limitées et associées à des incertitudes, la caractérisation précise des échanges avec l'étang pour le port actuel, puis par la suite l'évaluation de l'impact des futurs ouvrages sur ces échanges, ne peut être menée.

Note : *Parmi les données prises en compte pour cette étude, une quantité de l'ordre de 5 000 tonnes de vase en provenance de l'étang a été mise en avant. Cette valeur reste représentative du débit sédimentaire à un instant donné : il n'y a pas de données réelles récentes et suffisamment détaillées pour statuer sur l'ampleur de ce phénomène (en précisant que la problématique d'ensablement de la passe d'entrée actuelle reste d'origine essentiellement maritime).*

7-2 Impact du Grand Port : Aspects régionaux

7-2.1 Différences d'analyse entre les échelles locale et régionale

A l'échelle locale, à proximité immédiate du port, chacune des deux composantes du transit littoral (transit Nord-Sud et transit Sud-Nord) a un effet sur l'évolution des fonds et du littoral :

- D'une part l'effet d'ombre des ouvrages piège en partie les apports de chaque composante à proximité des ouvrages,
- Et d'autre part les souilles et chenaux interceptent une partie de chacune de ces composantes.

Par contre, à distance, les évolutions dépendent du bilan de transport, résultante de ces deux composantes. Le littoral recule lorsque ce bilan croît dans le sens du transit résultant (cet accroissement s'opère par prélèvement local de sédiment), et avance lorsque le bilan de transit décroît.

7-2.2 La connaissance actuelle du régime sédimentaire à l'échelle régionale

Le littoral potentiellement concerné par l'extension du port de Port-la Nouvelle s'étend du cap Leucate, qui stoppe les transits dirigés vers le Sud, et le cap d'Agde, barrière au transit sédimentaire. Dans ce secteur, la dérive littorale est orientée du Sud vers le Nord entre le cap Leucate et un secteur quelque peu mobile situé dans le voisinage du grau de la Vieille Nouvelle, et du Nord vers le Sud entre ce secteur et le cap d'Agde (cf. figure 23 page 35, issue de *Larue et al.*, 2009, réf. [9]).

La situation du point de convergence du transit littoral résultant, aux abords de la Vieille Nouvelle, est attestée aussi bien par l'analyse des caractéristiques des sédiments (minéralogiques et granulométriques) que par les fluctuations du débouché (flèche tantôt orientée vers le Nord-est, tantôt vers le Sud-est) et par son maintien sans nécessité d'ouvrages.

7-2.3 Schématisation de l'effet global du port

7-2.3.1 Etat actuel

Au voisinage du port, la dérive littorale est de l'ordre de 20 000 m³/an, bilan entre un transit Sud - Nord de 75 000 m³/an et un transit Nord-Sud de 55 000 m³/an (LNH/SOGREAH 1984, réf. [10]).

D'autre part, les dragages d'entretien de la passe d'entrée représentent un volume de l'ordre de 40 000 m³/an. La souille draguée constitue un piège pour les deux composantes du transit littoral : une fraction du transit S-N est stoppée par les ouvrages, et repart en partie vers le Sud sous l'action des houles de Nord, et une autre fraction est captée par la souille. Il en va de même pour le transit littoral N-S. D'après les résultats du modèle numérique, environ 1/3 du volume piégé proviendrait du Nord, et 2/3 du Sud.

De plus, le maintien de la souille provoque, au Nord immédiat du port, le transfert de sable entre la côte et la souille - transfert tendant à rétablir le profil naturel des fonds sous l'action de la houle. Ce transfert conduit à une légère tendance érosive du littoral situé au Nord du port.

7-2.3.2 Etat futur

Dans la configuration projetée, les ouvrages sont rallongés et représentent donc un plus grand effet d'ombre vis-à-vis des deux composantes du transit littoral. Il devrait donc s'ensuivre une avancée du littoral au voisinage immédiat des deux digues.

Par contre, la quantité de sédiments piégés dans le chenal d'accès sera fortement réduite par rapport à la situation actuelle, passant d'environ 40 000 m³/an à un peu plus de 2 000 m³/an. La quantité de sable artificiellement extraite du système sédimentaire littoral serait donc largement plus faible que dans la situation actuelle.

Le transfert de sédiments depuis la côte vers le large, au Nord immédiat des ouvrages (phénomène qui alimente actuellement la souille), devrait donc être sensiblement réduit ; en conséquence, la tendance légèrement érosive constatée actuellement au Nord du port devrait être stoppée, et même une tendance à l'avancée du littoral est envisagée.

Cette inversion de tendance devrait s'étendre progressivement vers le Nord (l'avancée du littoral, depuis le port, accentuant le transport vers le Nord), tout en s'atténuant. Au-delà d'une distance d'une petite dizaine de km, il est considéré que l'effet spécifique de l'extension du port ne pourra plus être discerné, compte tenu de sa faiblesse vis à vis des autres impacts plus globaux - tels ceux liés à la réduction des apports des rivières côtières (*Certain* 2002, réf. [8]) ou à l'élévation du niveau de la mer.

7-3 Impact à long terme

La présente étude numérique, doublée d'une expertise sédimentologique permet d'évaluer quel pourrait être l'impact (en terme de transport sédimentaire) du futur Grand Port, à court terme et à moyen terme. Cette extrapolation, basée sur l'analyse de la configuration actuelle du port, repose principalement sur les phénomènes identifiés et opérants à ce jour, voir sur les prochaines années.

En revanche, nous ne pouvons pas prédire si les conditions régissant les transports sédimentaires à ce jour sur la zone étudiée seront les mêmes dans 50 ans et encore moins dans 100 ans : l'évolution de la fréquence des tempêtes, de leur orientation, du niveau de la mer, des apports ou non de sable en amont ou en aval du projet... sont autant de paramètres difficilement prédictibles.

La divergence des analyses concernant l'historique de l'évolution du littoral dans la région étudiée (cf. Etude bibliographique [3]), malgré la quantité de données existantes (trait de côte, vues aériennes, relevés bathymétriques, historique des travaux réalisés...) témoigne des nombreux paramètres régissant l'évolution du trait de côte et des difficultés à se positionner pour des phénomènes passés.

Ainsi, nous évaluons une évolution possible des fonds sur la zone étudiée à court voir moyen terme. Cette évolution devra être vérifiée lors des études d'avant-projet et projet ainsi que lors de l'étude d'impact. Il sera alors recommandé un suivi régulier suite à la réalisation du projet afin de mettre en place, si nécessaire, des ouvrages secondaires ou autres permettant de limiter l'amplification de l'impact actuellement observé.

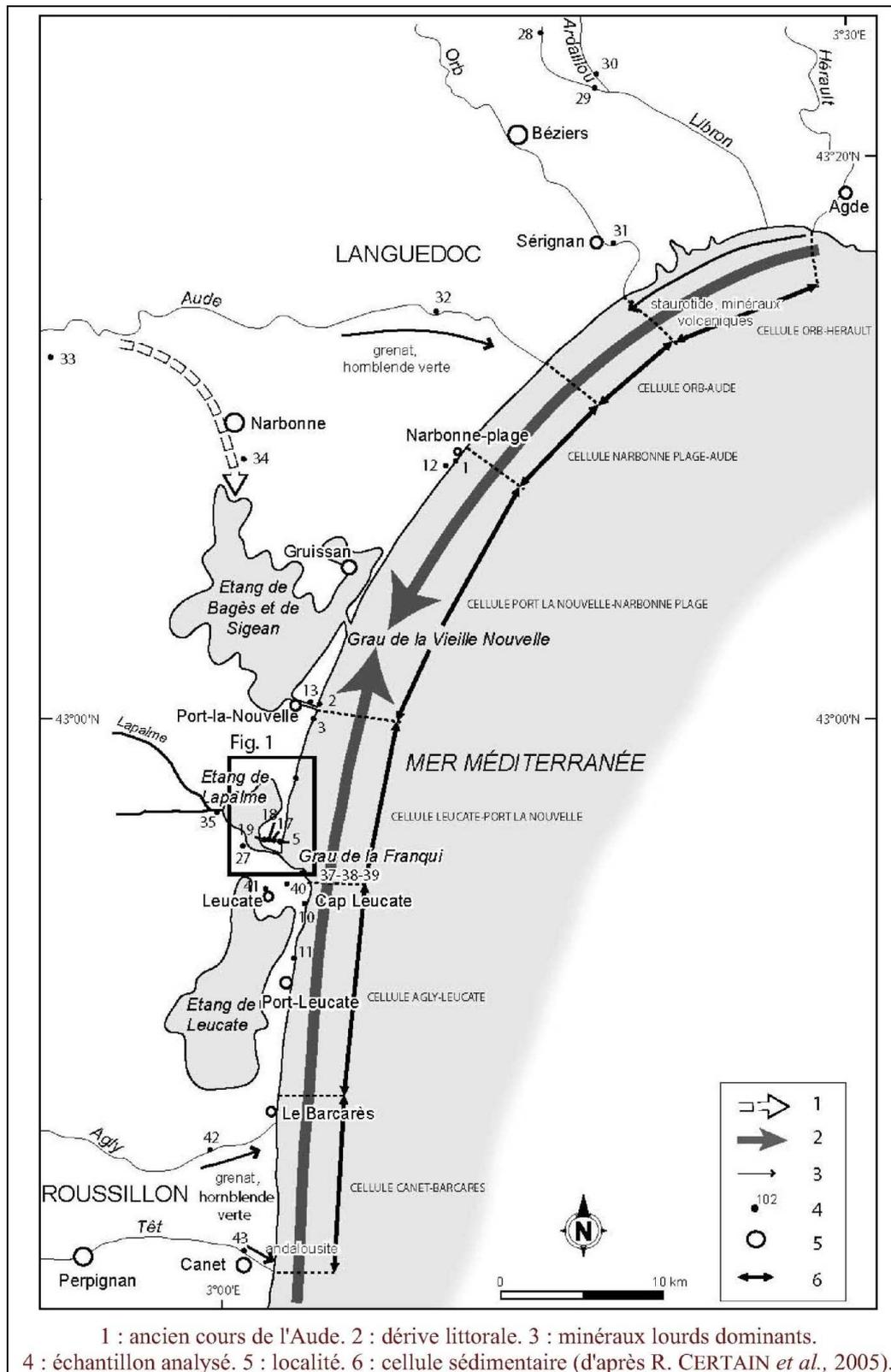


Figure 23 : Dérive littoral dans la région de Port-la-Nouvelle (Larue et al., 2009)

VIII- CONCLUSION

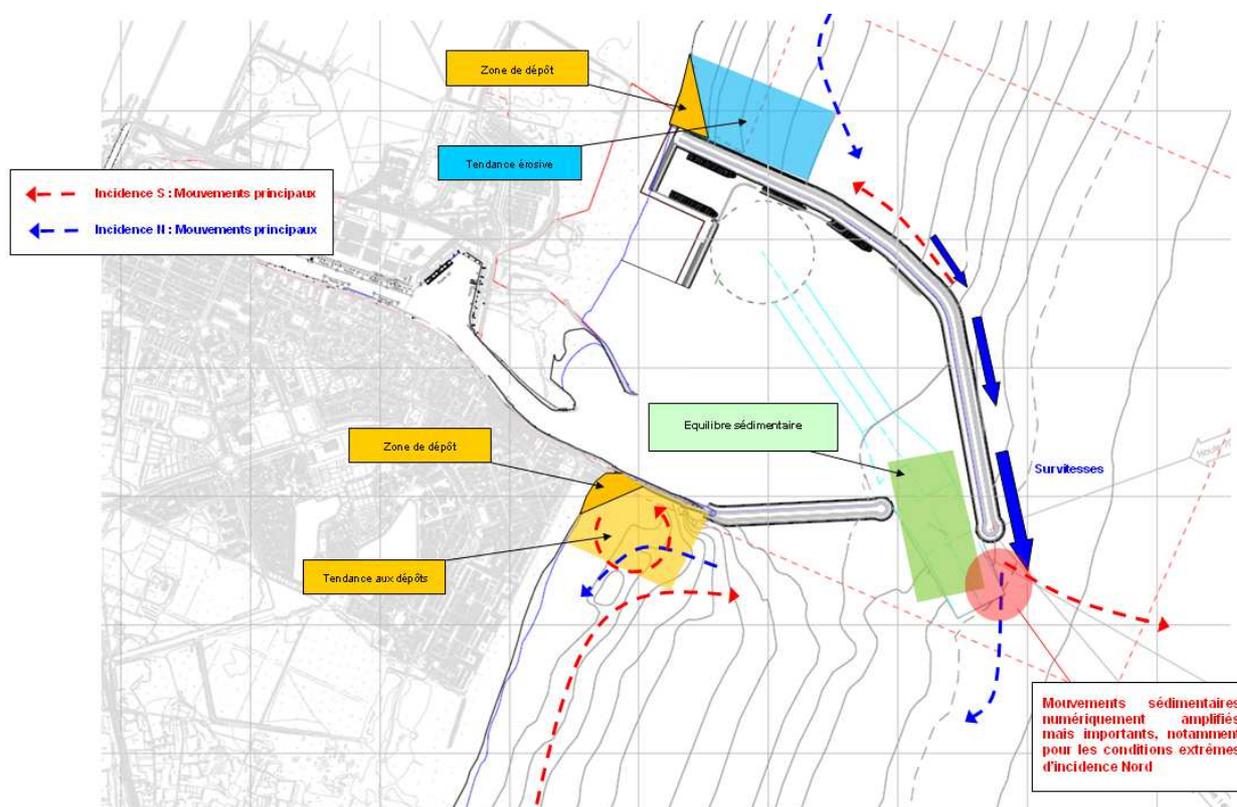
Le nouveau port projeté pour Port-la-Nouvelle a un impact sensible sur le transit littoral en raison de son emprise importante.

Globalement, il peut être retenu que cet aménagement entraînera une hausse des dépôts au niveau des plages à ses abords proches (au Nord comme au Sud), et donc un élargissement progressif du littoral le long des digues.

Cette tendance s'étendra puis s'atténuera progressivement en s'écartant du port.

Par ailleurs, **la configuration retenue présente l'avantage remarquable de limiter considérablement les dépôts sédimentaires dans la nouvelle passe.** La section principale de la jetée Nord et le secteur se situant dans son prolongement devront toutefois faire l'objet d'une surveillance particulière, les mouvements sédimentaires étant canalisés le long de l'ouvrage (risques d'affouillement et d'érosion le long du pied d'ouvrage, et dépôt dans l'axe de la jetée).

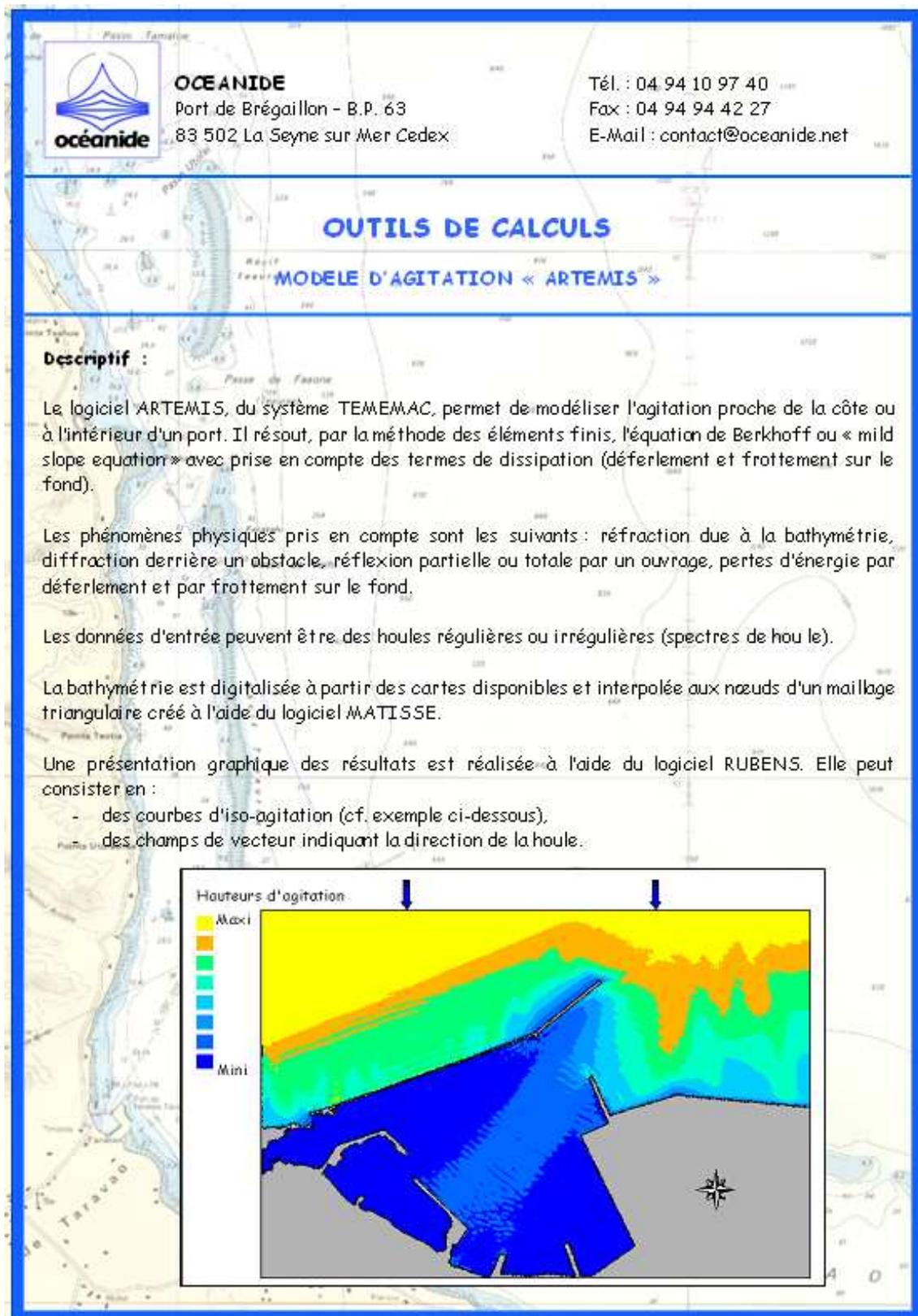
Le graphique ci-dessous, présenté auparavant dans ce document, synthétise les tendances aux abords du port.



A l'intérieur du port, et bien que ce point ne fasse pas partie des analyses réalisées, il peut être considéré que les aménagements n'auront a priori pas d'influence sensible sur les échanges vaseux dans le grau. La source sédimentaire et le transport vaseux depuis l'étang sont inchangés : les vases atteignant l'avant-port se déposeront selon un processus comparable à la situation actuelle, mais dans une zone plus étendue et en quantité faiblement accrue.

Rév. D **Remarque :** des études complémentaires de caractérisation de ces échanges avec l'étang devraient néanmoins être menées afin de préciser l'impact des futurs ouvrages sur ces apports.

Annexe A :
LOGICIEL TELEMAC
MODULES ARTEMIS, TELEMAC2D ET
SISYPHE
(respectivement : agitation, courant et sédimentologie)





OCEANIDE
Port de Brégaillon - B.P. 63
83 502 La Seyne sur Mer Cedex

Tél. : 04 94 10 97 40
Fax : 04 94 94 42 27
E-Mail : contact@oceanide.net

OUTILS DE CALCULS

MODELE DE COURANTOLOGIE « TELEMAC 2D »

Descriptif :

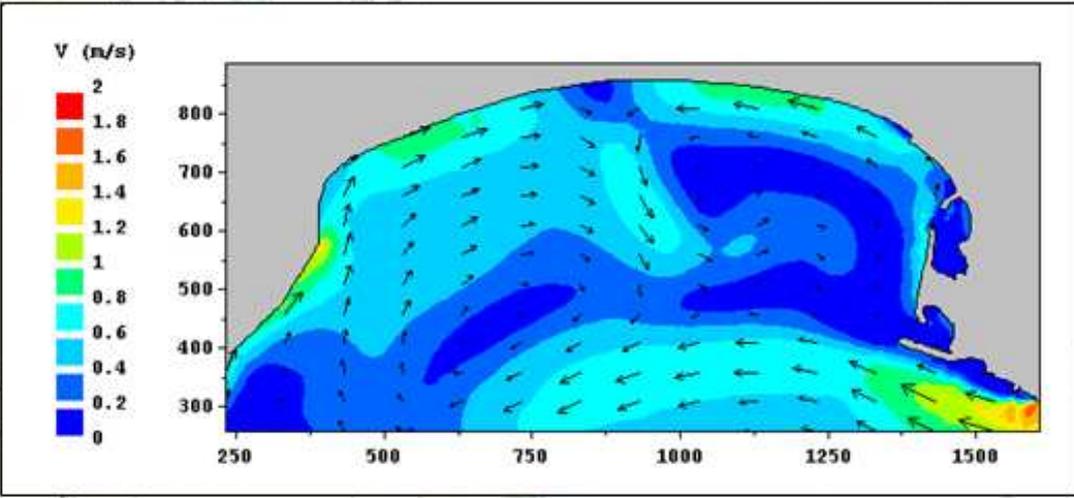
Le logiciel TELEMAC 2D permet de modéliser Les courants de marée et/ou de houle. Il résout les équations de Barré de Saint-Venant à deux dimensions d'espaces horizontales et est intégré à la bibliothèque des codes numériques d'hydraulique à la surface libre du système TELEMAC du Laboratoire National d'Hydraulique.

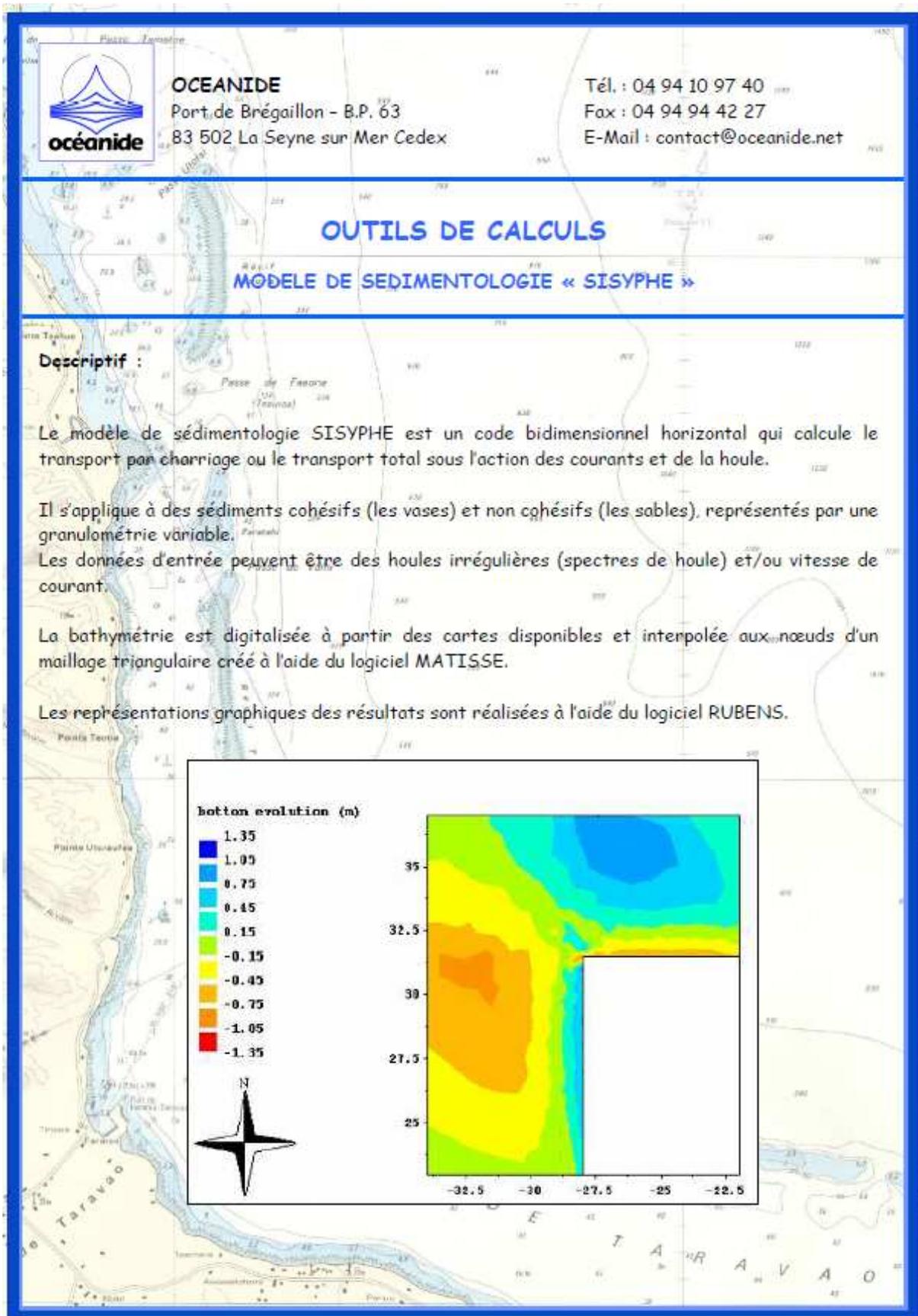
Les phénomènes physiques modélisés sont : la propagation des ondes longues, les frottements sur le fond, l'influence des phénomènes météorologiques, les écoulements torrentiels et fluviaux, les banes découvrant, les zones de seiche et la prise en compte des courants de houle.

La bathymétrie est digitalisée à partir des cartes disponibles et interpolée aux nœuds d'un maillage triangulaire créé à l'aide du logiciel MATISSE.

Une présentation graphique des résultats est réalisée à l'aide du logiciel RUBENS. Elle peut consister en :

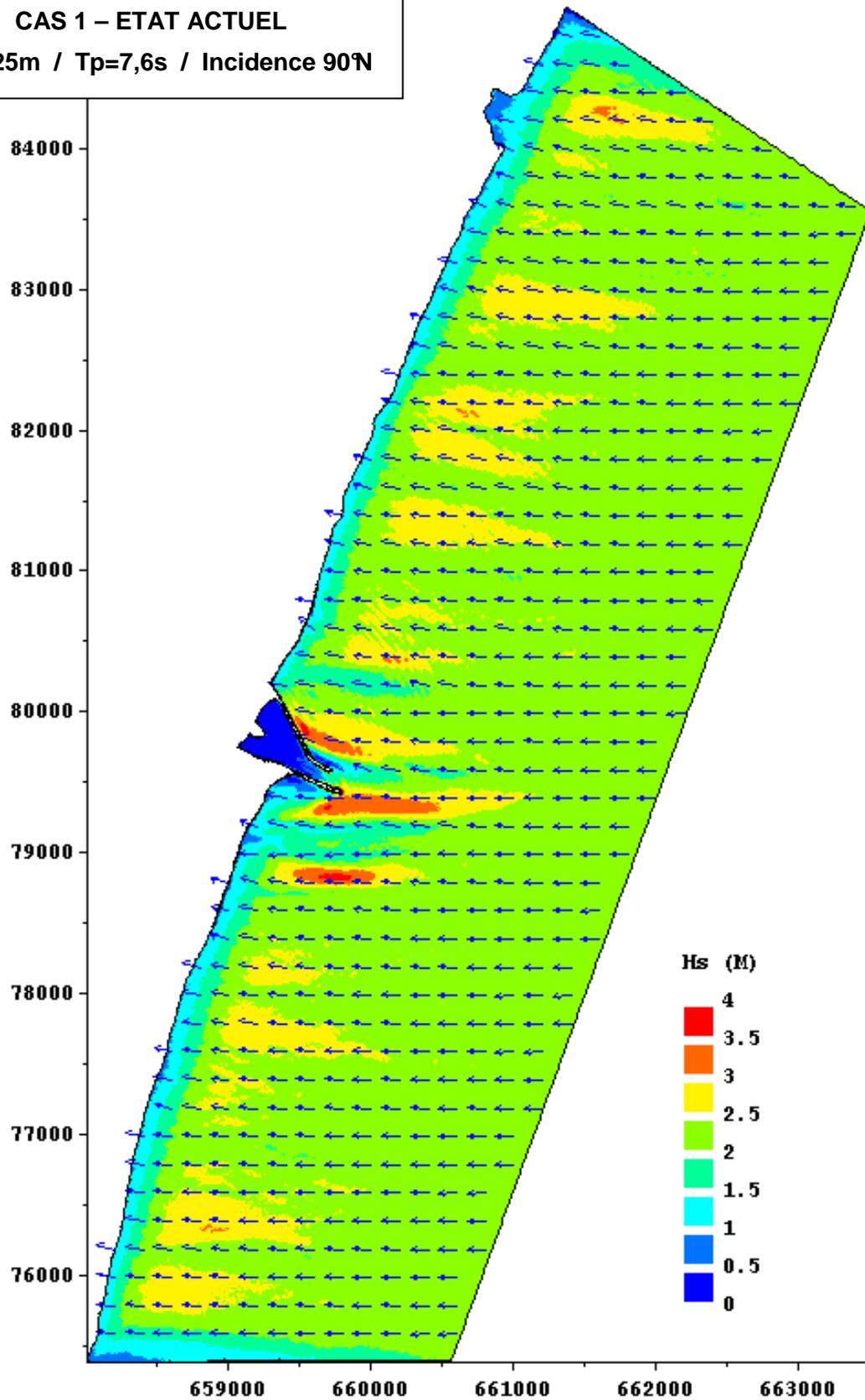
- des courbes d'iso-hauteurs présentant le niveau de la surface libre (cf. exemple ci-dessous),
- des courbes d'iso-hauteurs présentant la vitesse des courants,
- des champs de vecteur indiquant la direction et l'intensité des courants.



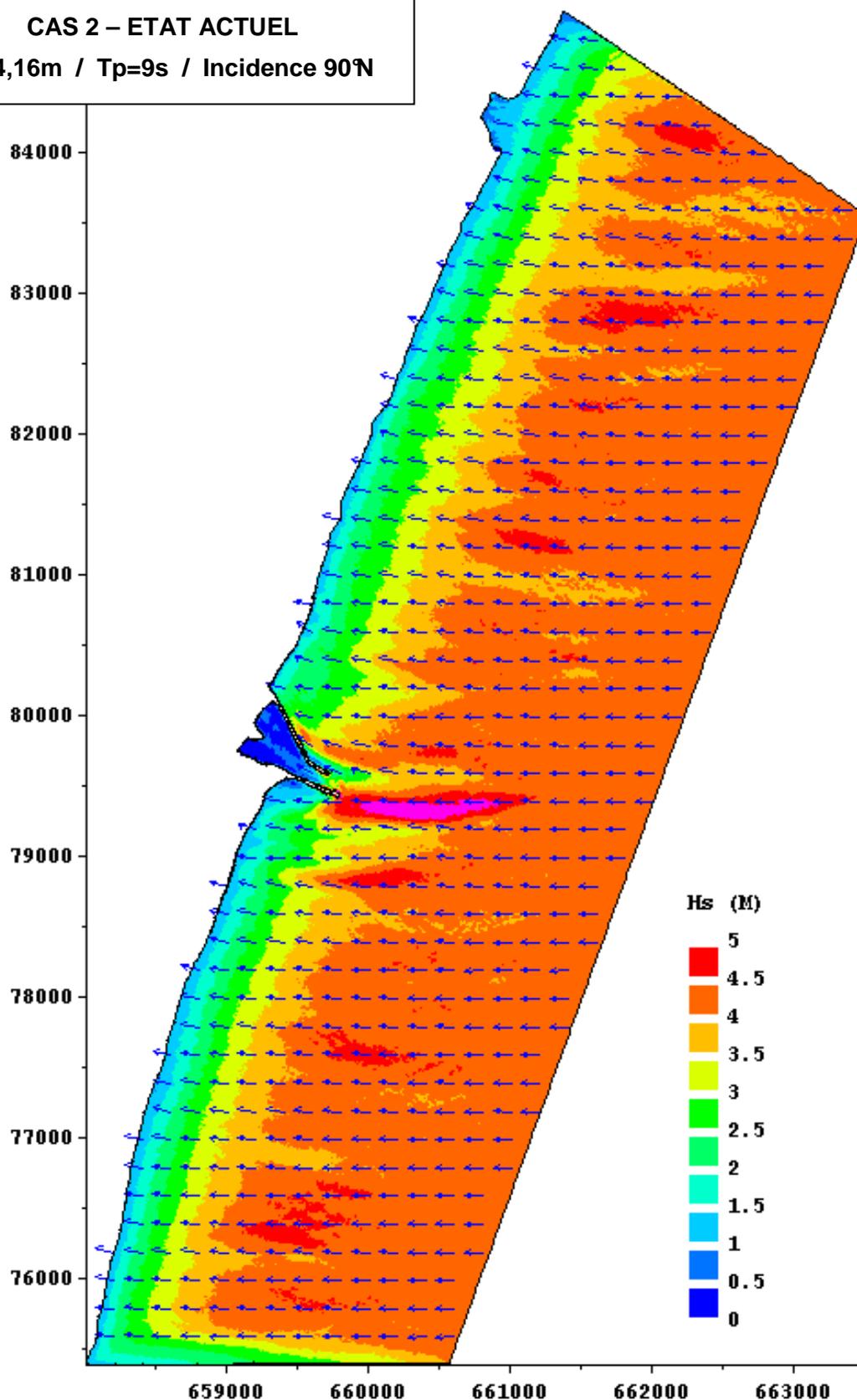


Annexe B :
RESULTATS D'AGITATION

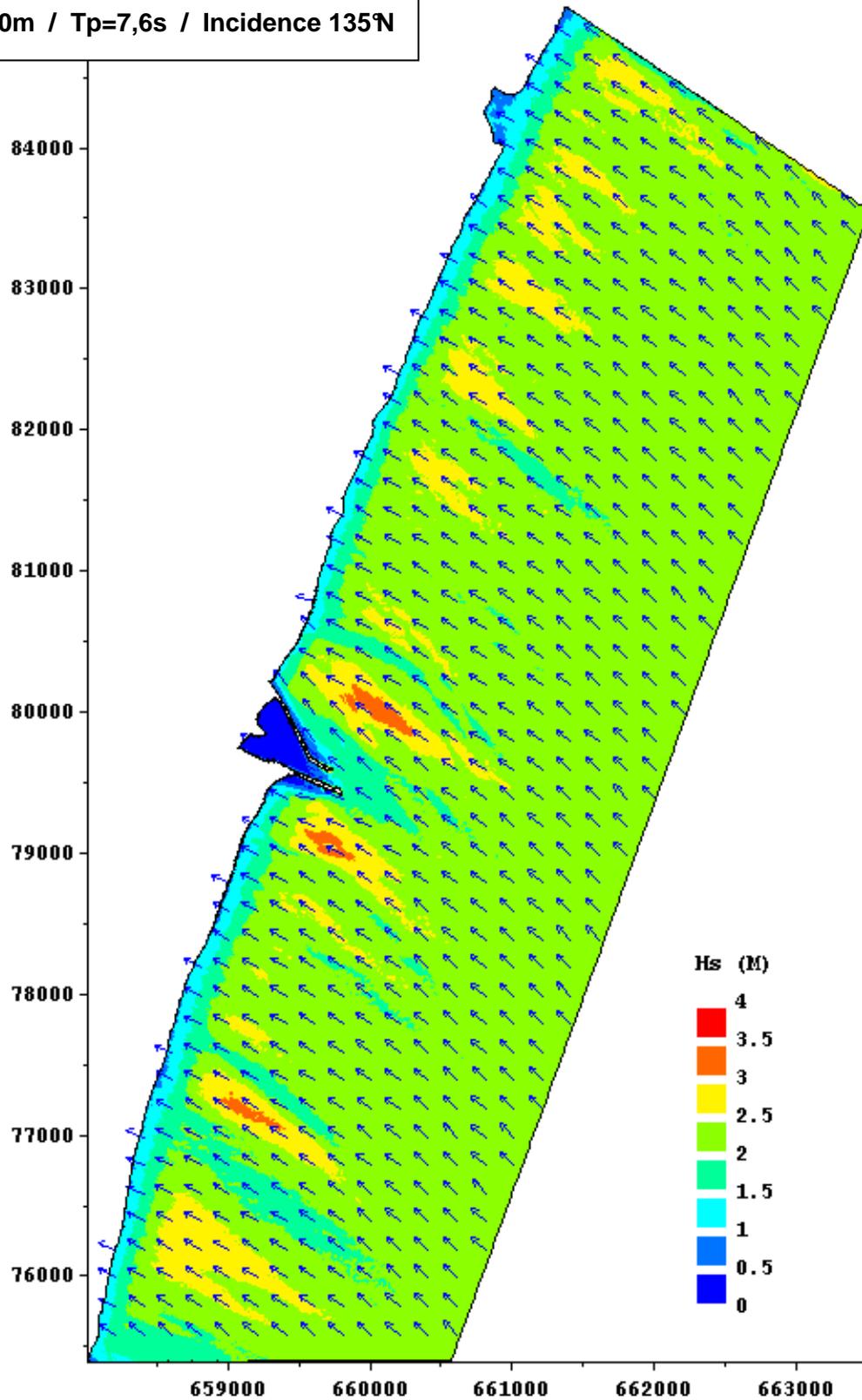
CAS 1 – ETAT ACTUEL
Hs=2,25m / Tp=7,6s / Incidence 90°N

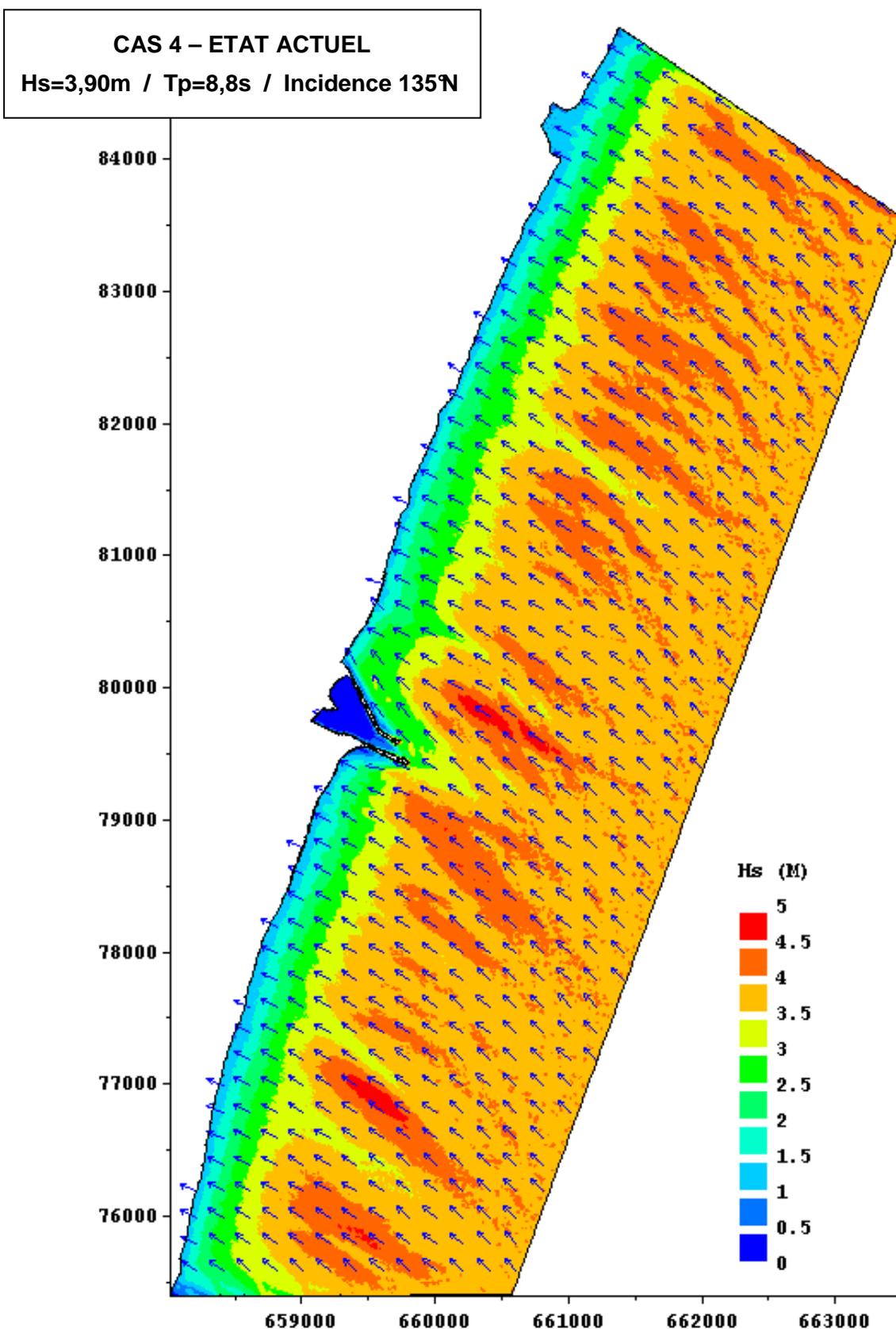


CAS 2 – ETAT ACTUEL
Hs=4,16m / Tp=9s / Incidence 90°N

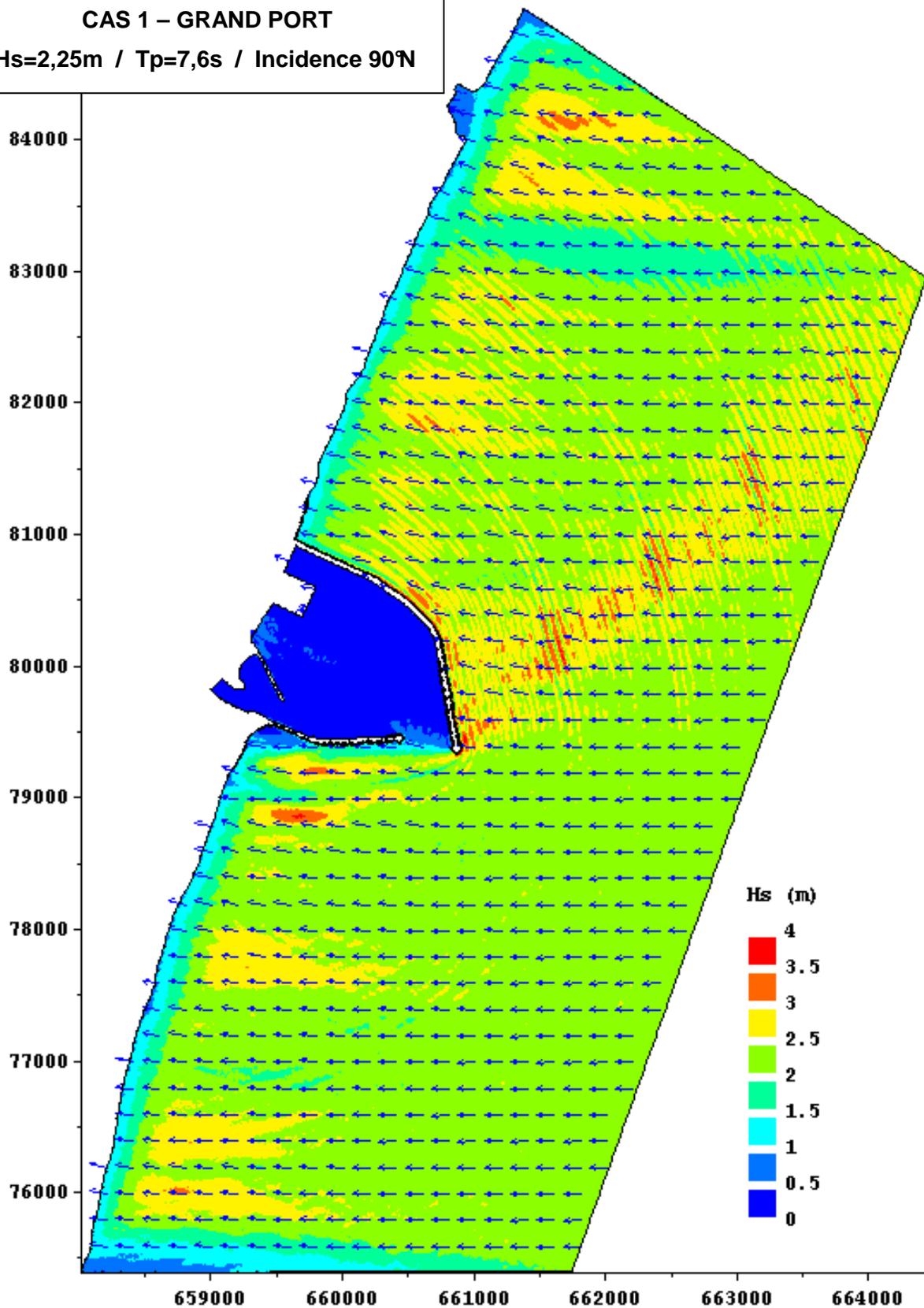


CAS 3 – ETAT ACTUEL
Hs=2,20m / Tp=7,6s / Incidence 135°N

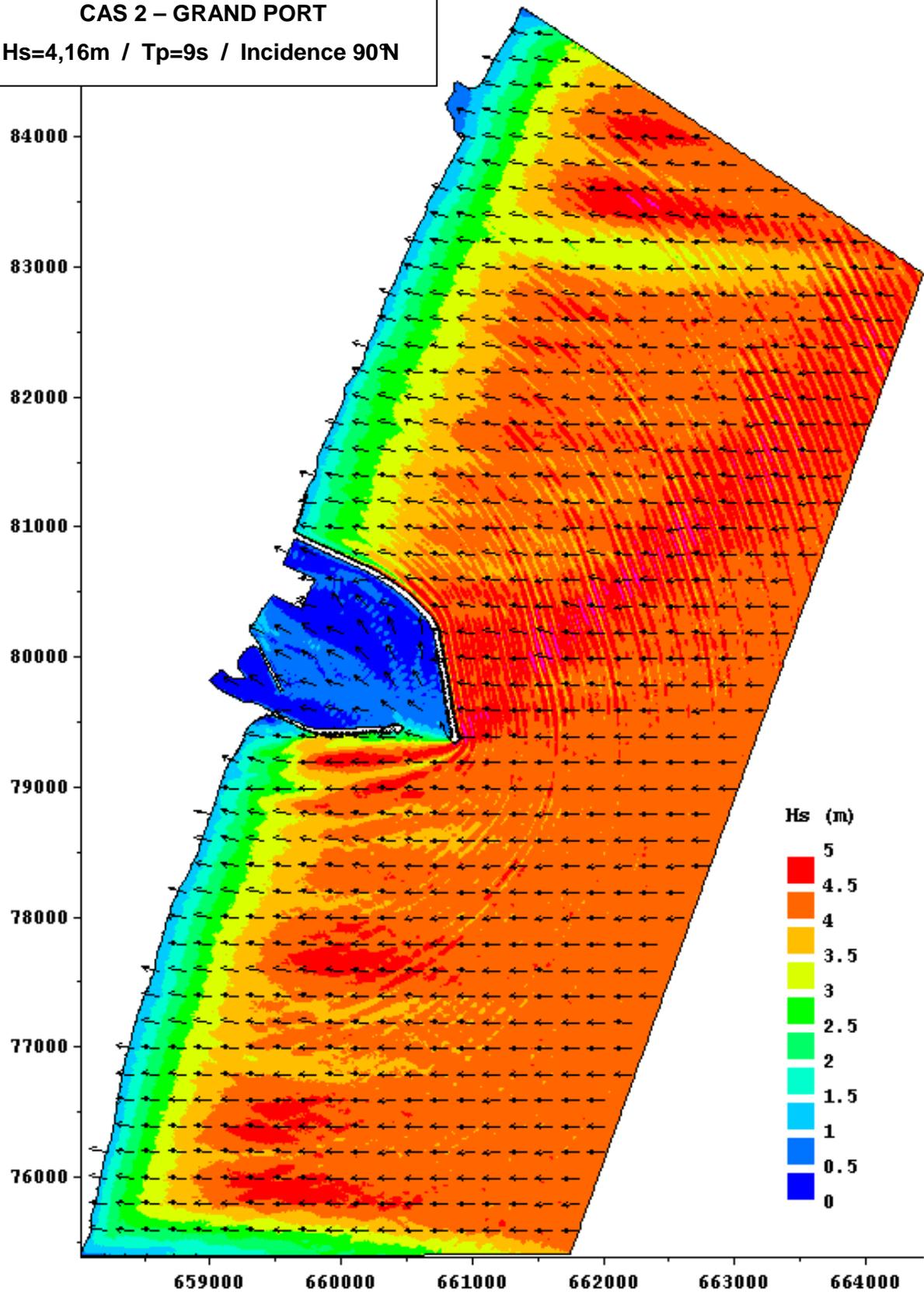


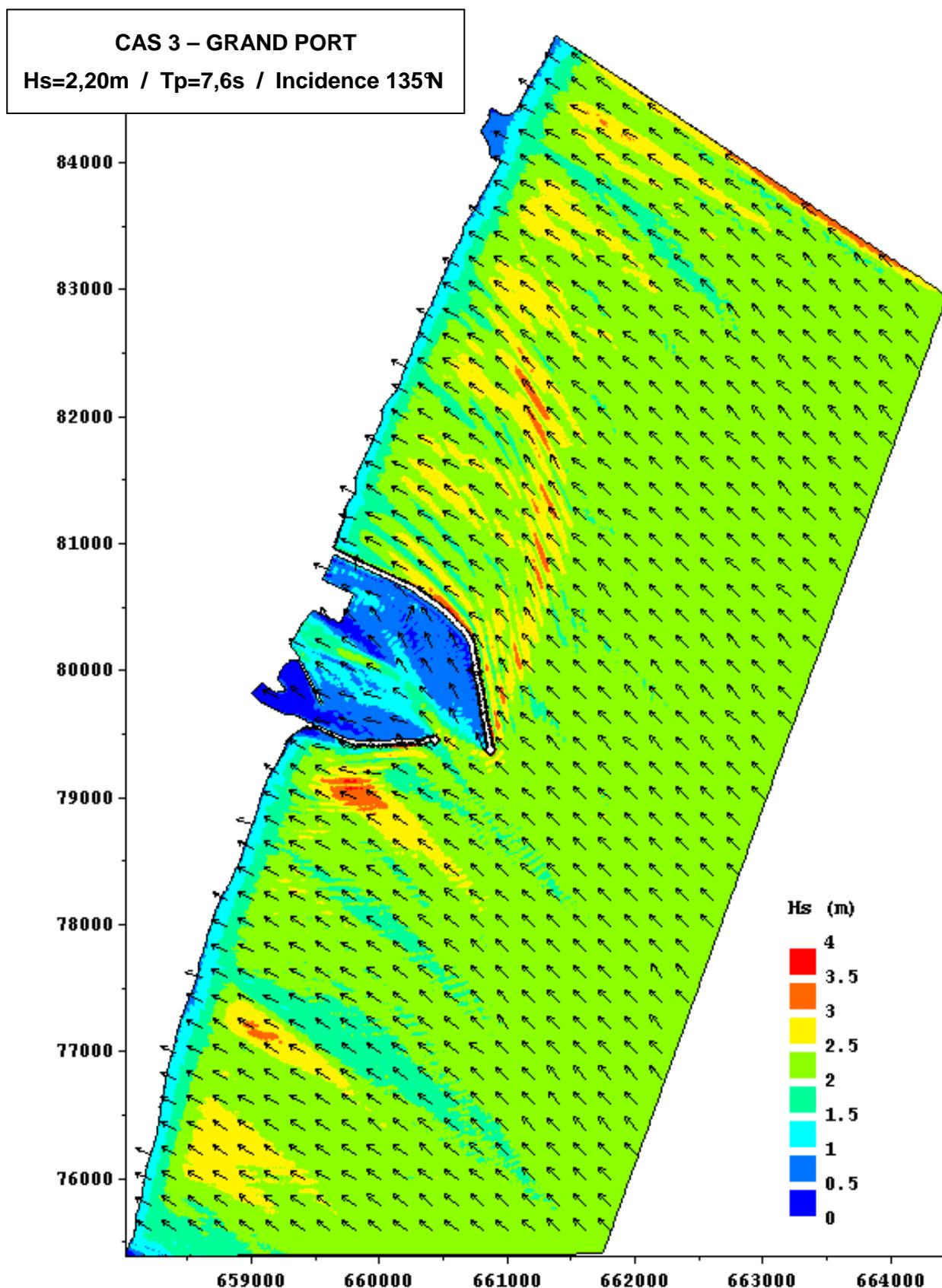


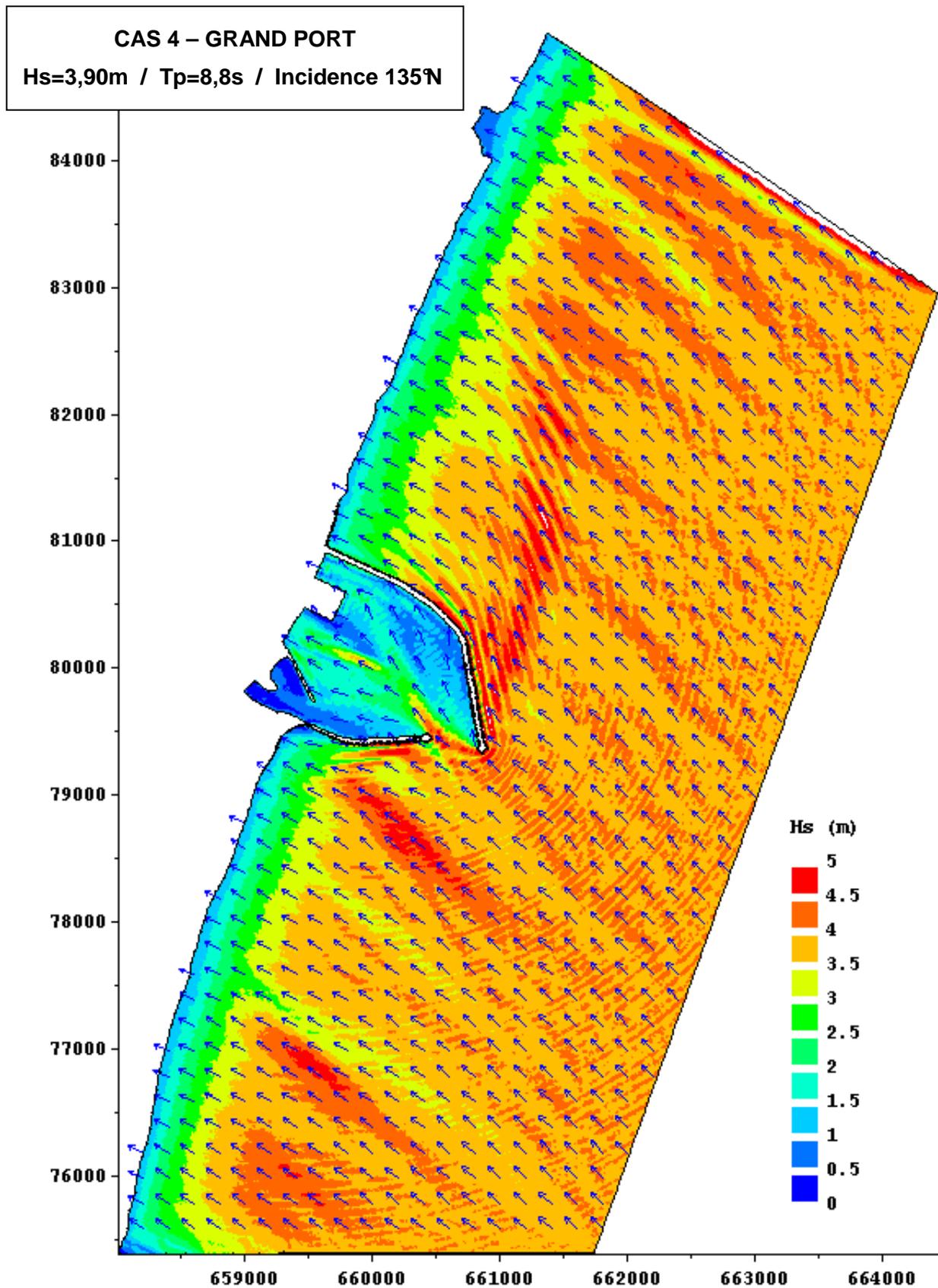
CAS 1 – GRAND PORT
Hs=2,25m / Tp=7,6s / Incidence 90°N



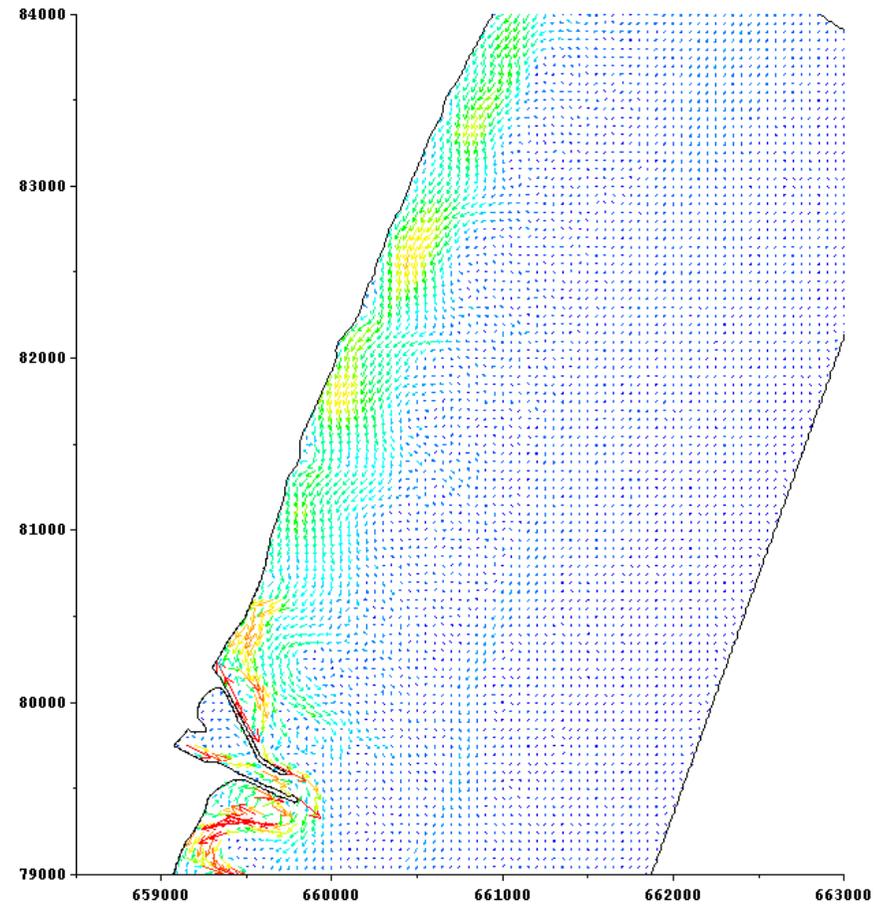
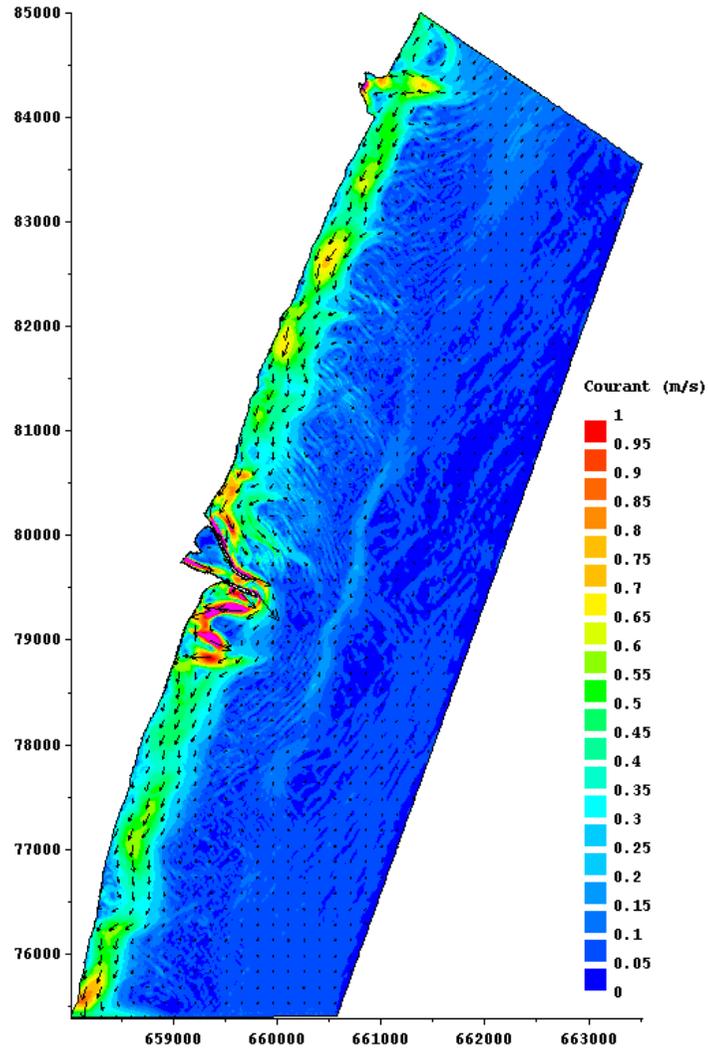
CAS 2 – GRAND PORT
Hs=4,16m / Tp=9s / Incidence 90°N



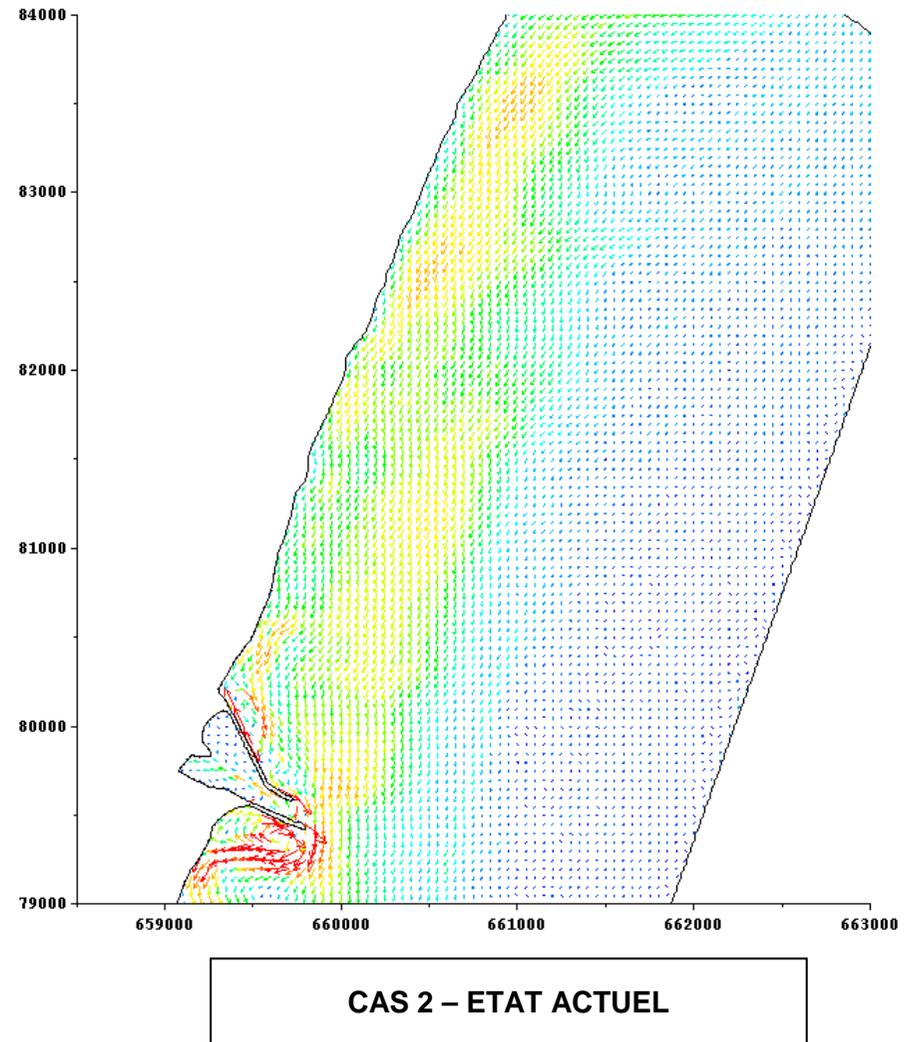
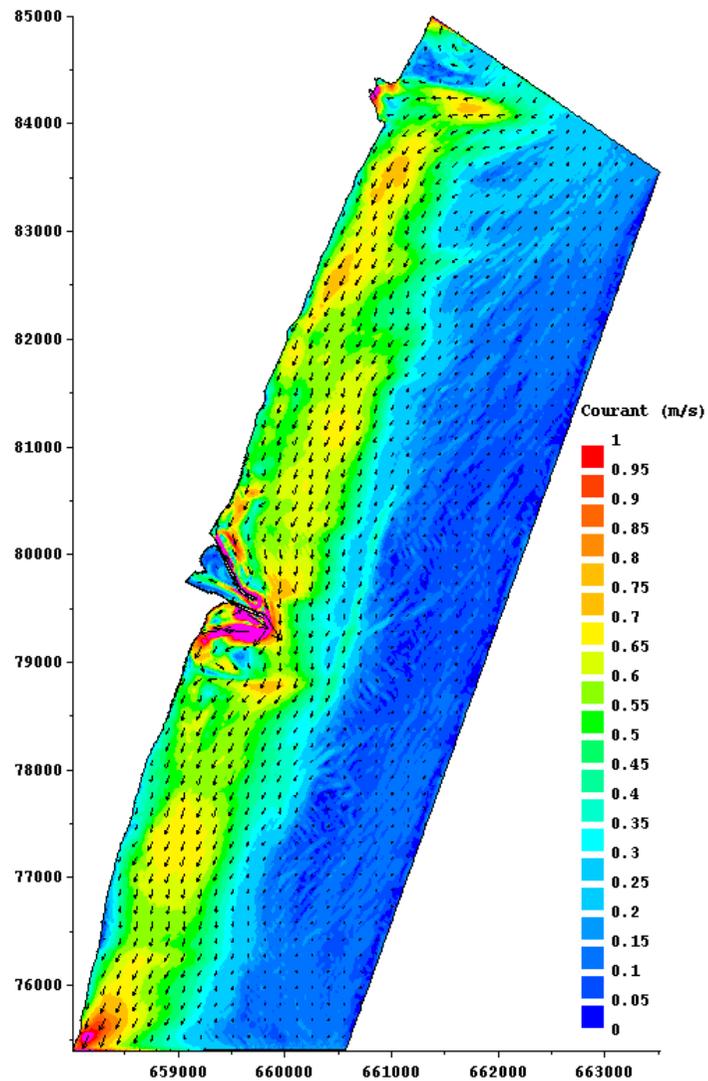


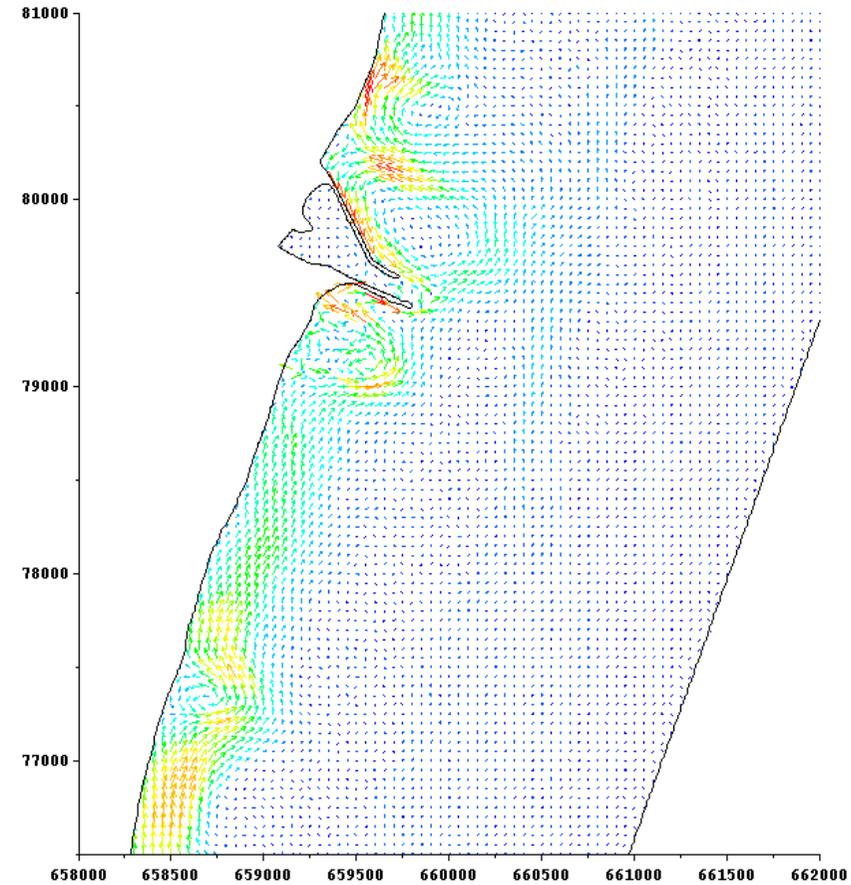
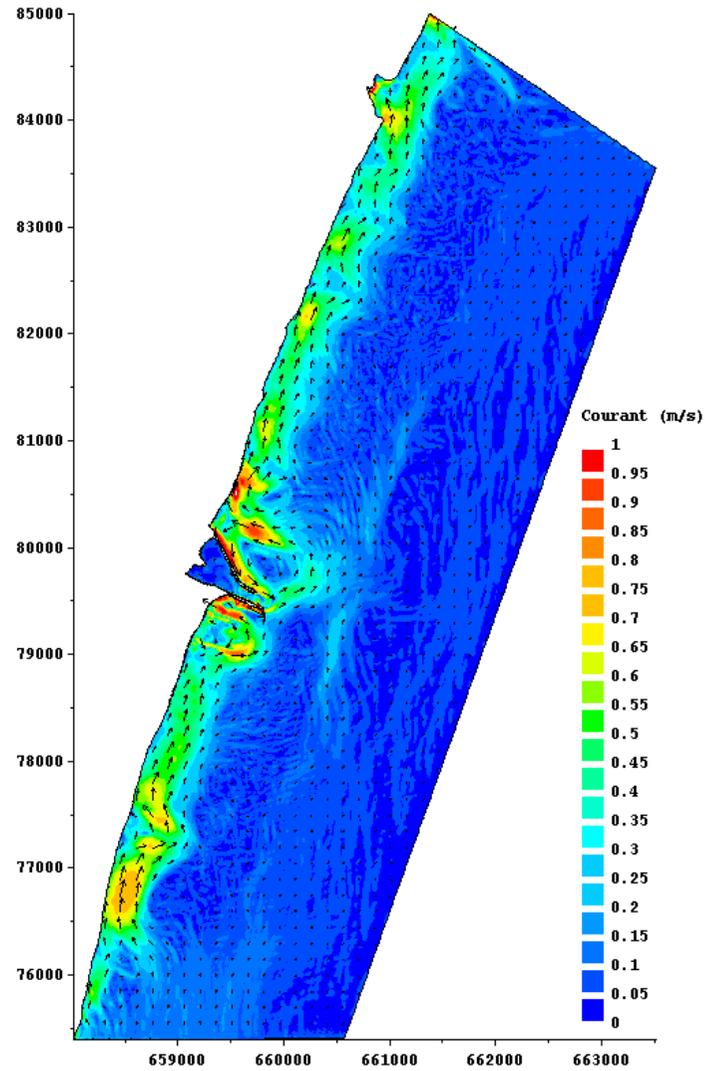


Annexe C :
RESULTATS DE COURANTOLOGIE

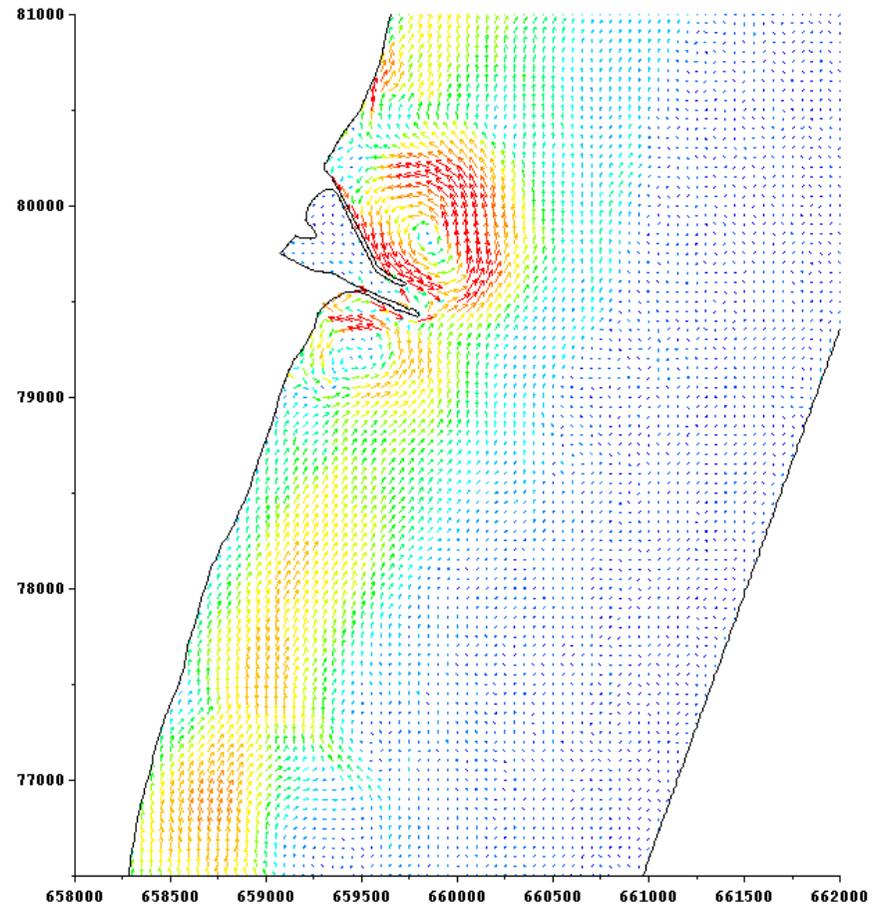
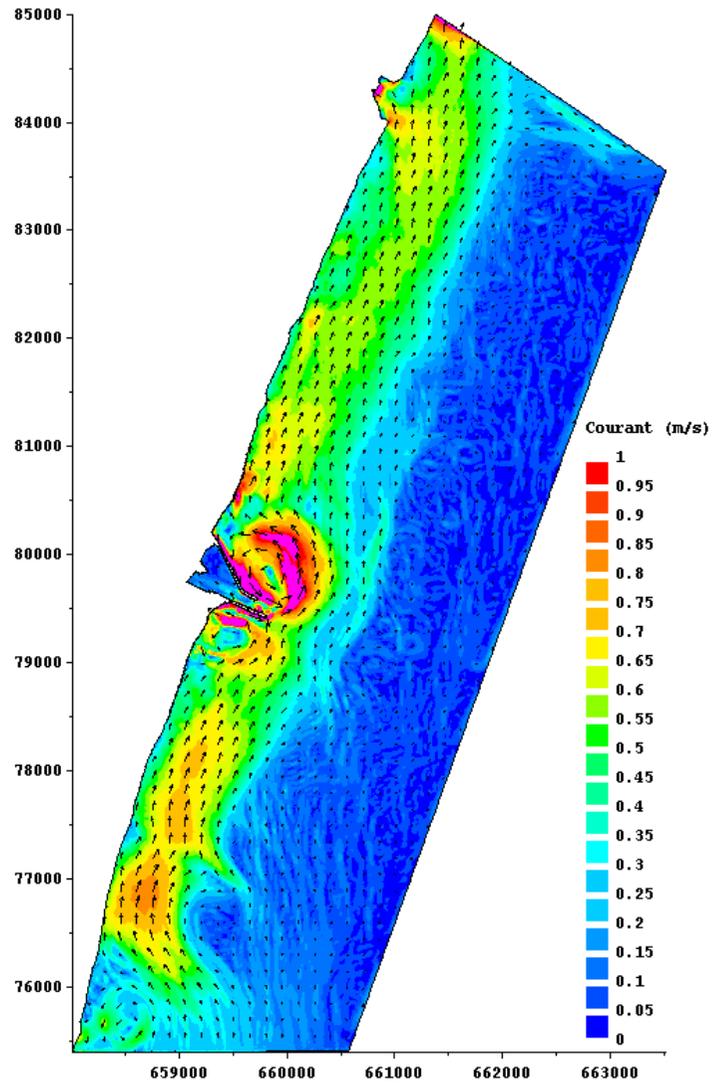


CAS 1 – ETAT ACTUEL

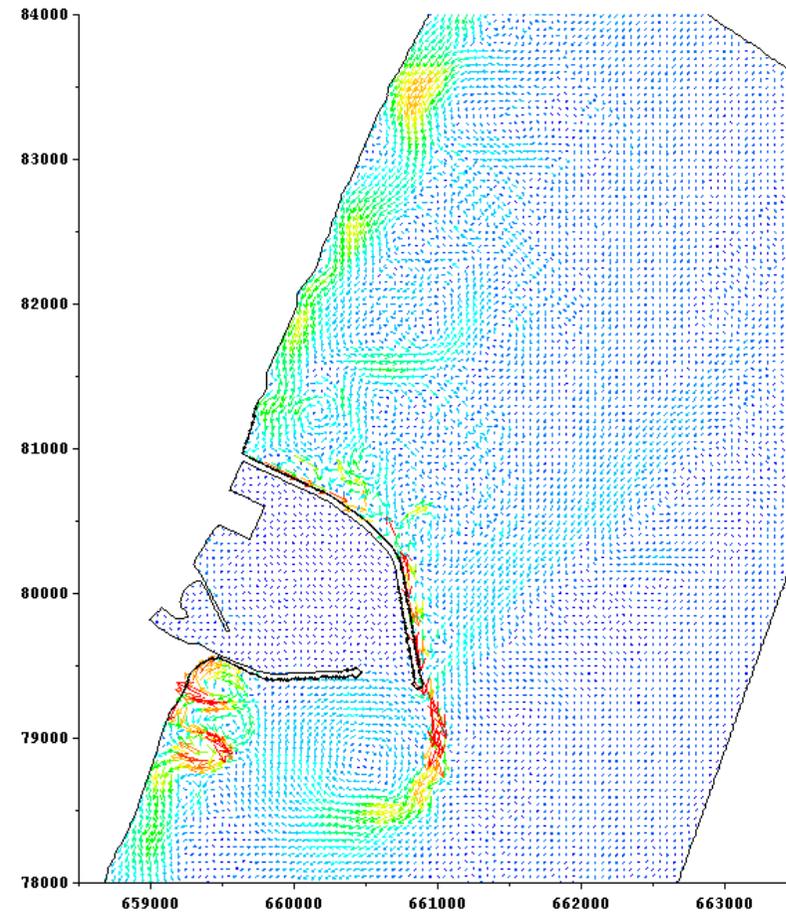
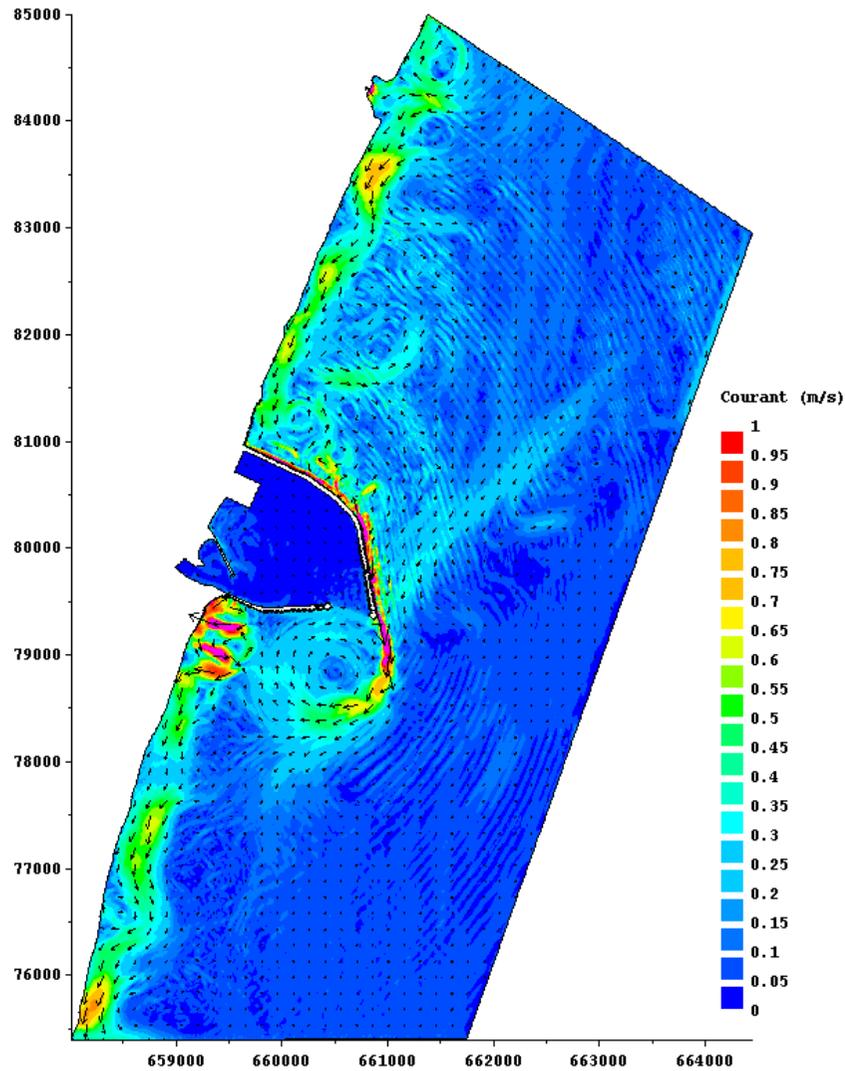




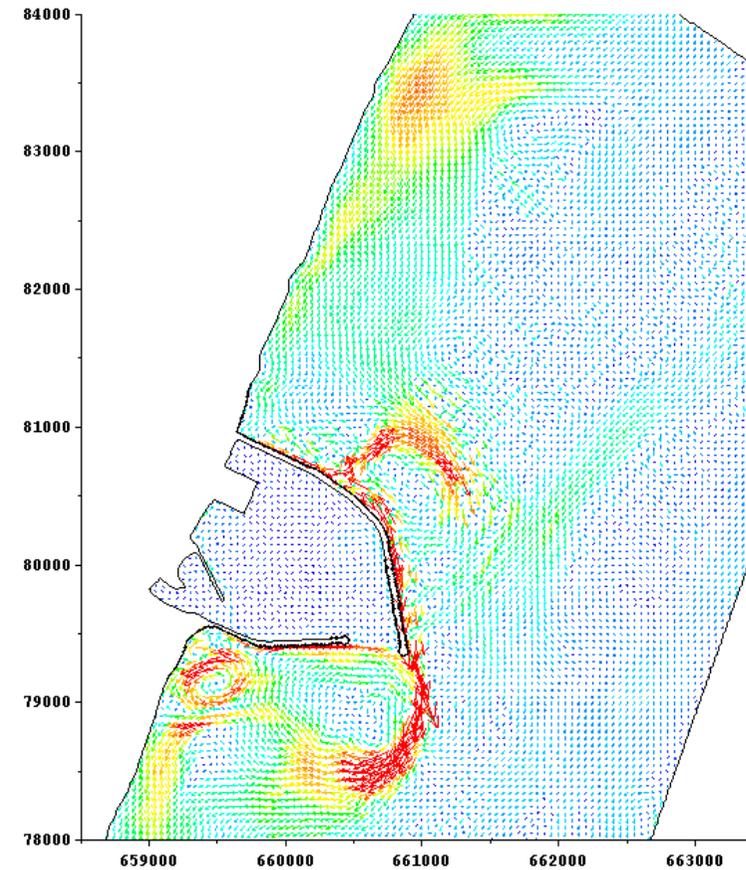
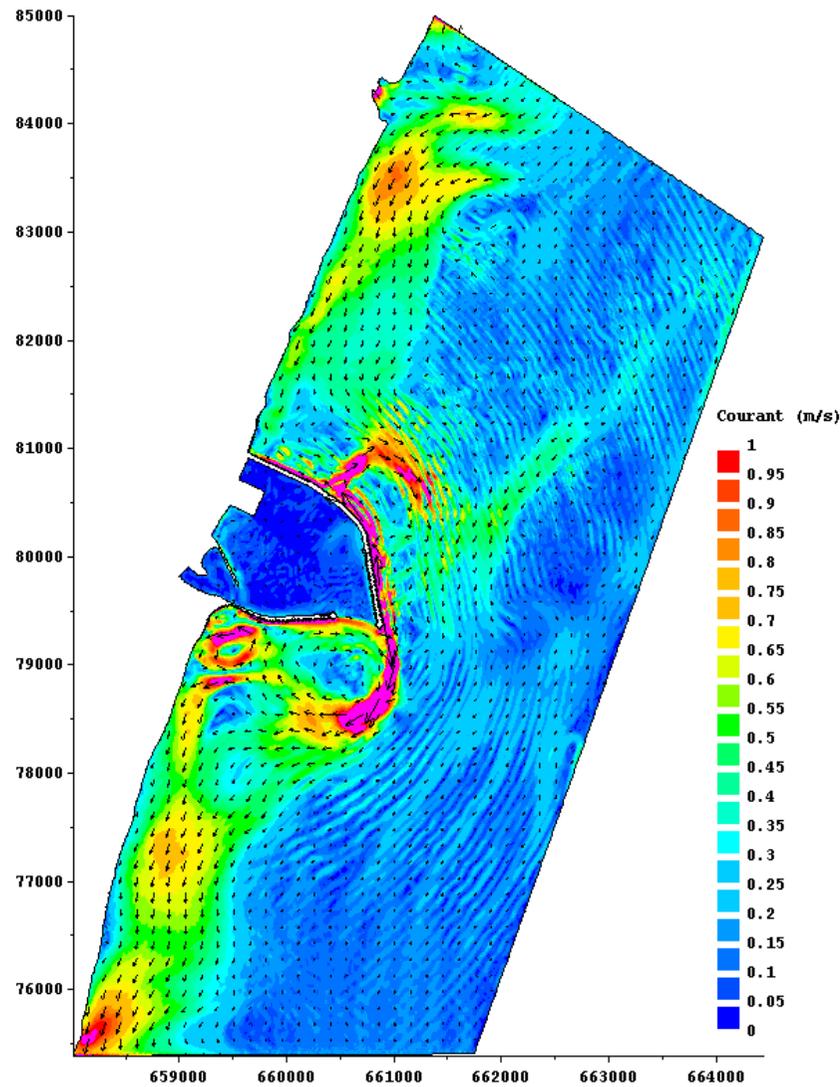
CAS 3 – ETAT ACTUEL



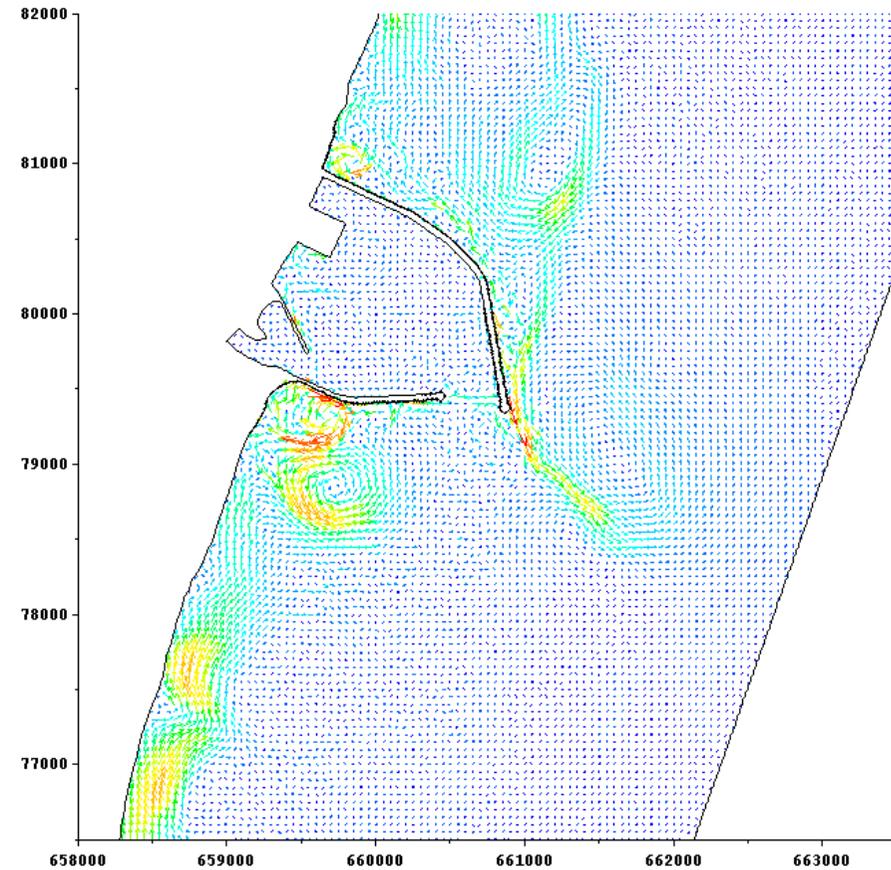
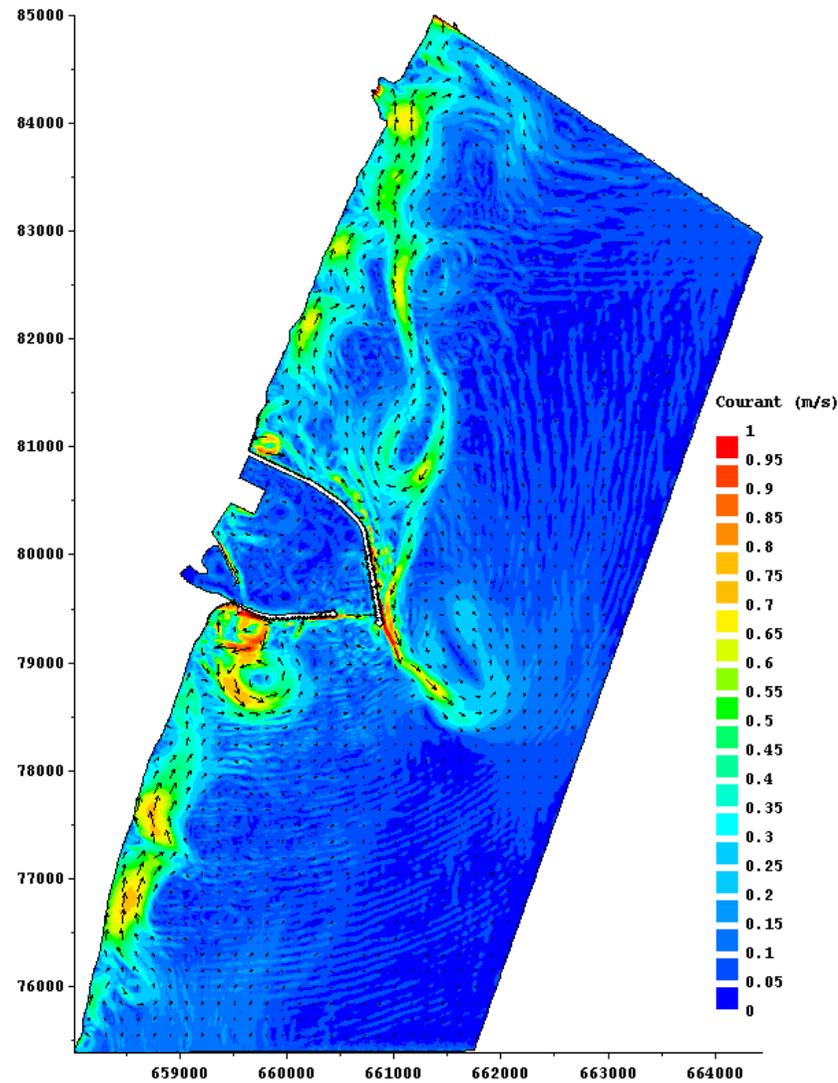
CAS 4 – ETAT ACTUEL



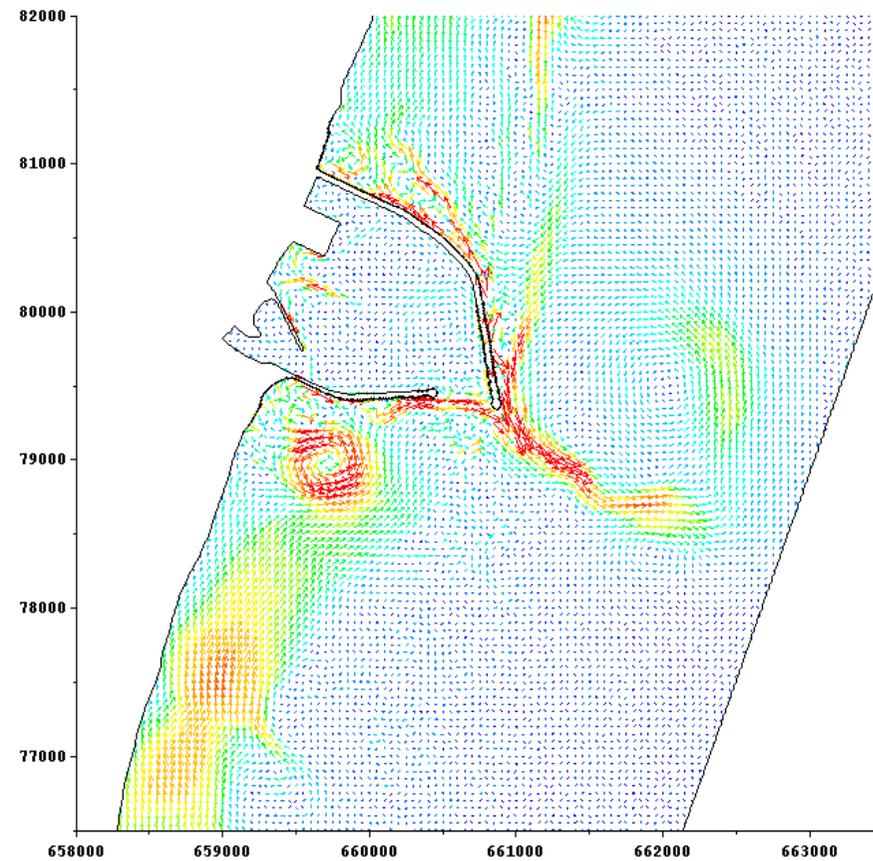
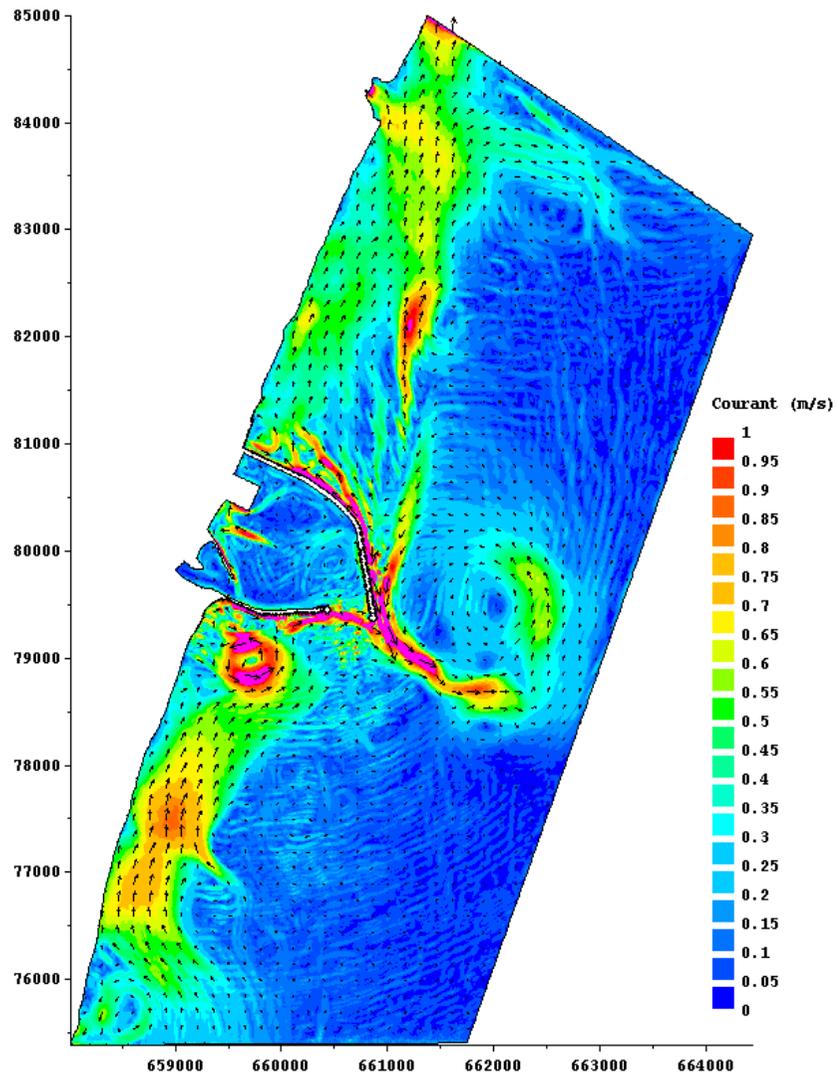
CAS 1 – GRAND PORT



CAS 2 – GRAND PORT

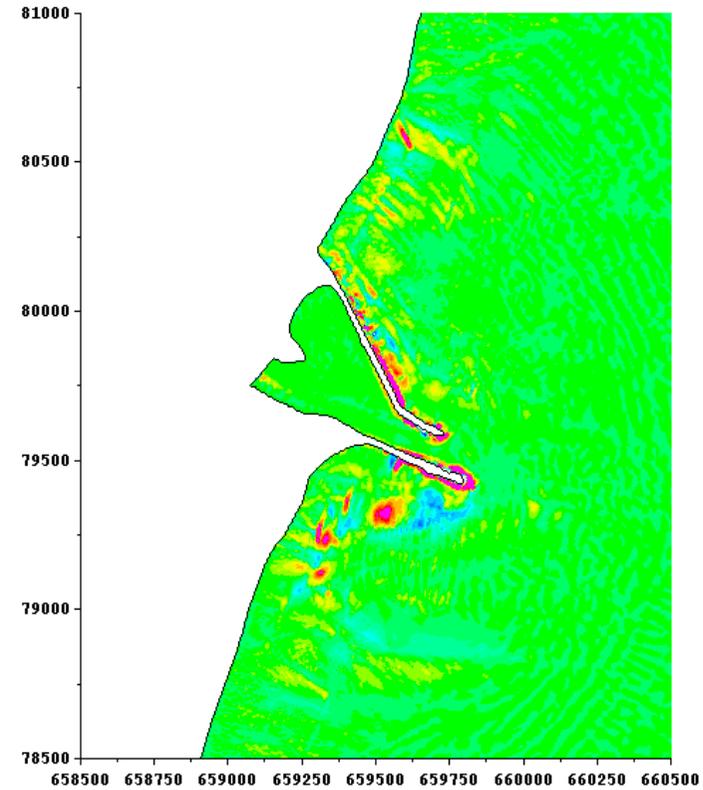
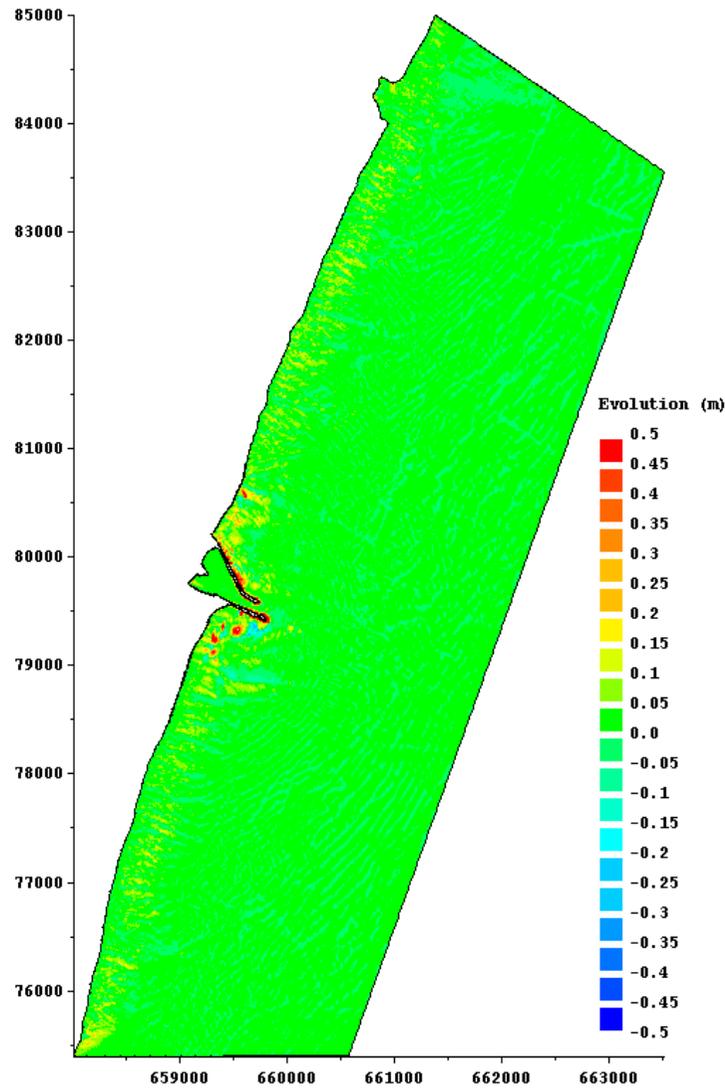


CAS 3 – GRAND PORT

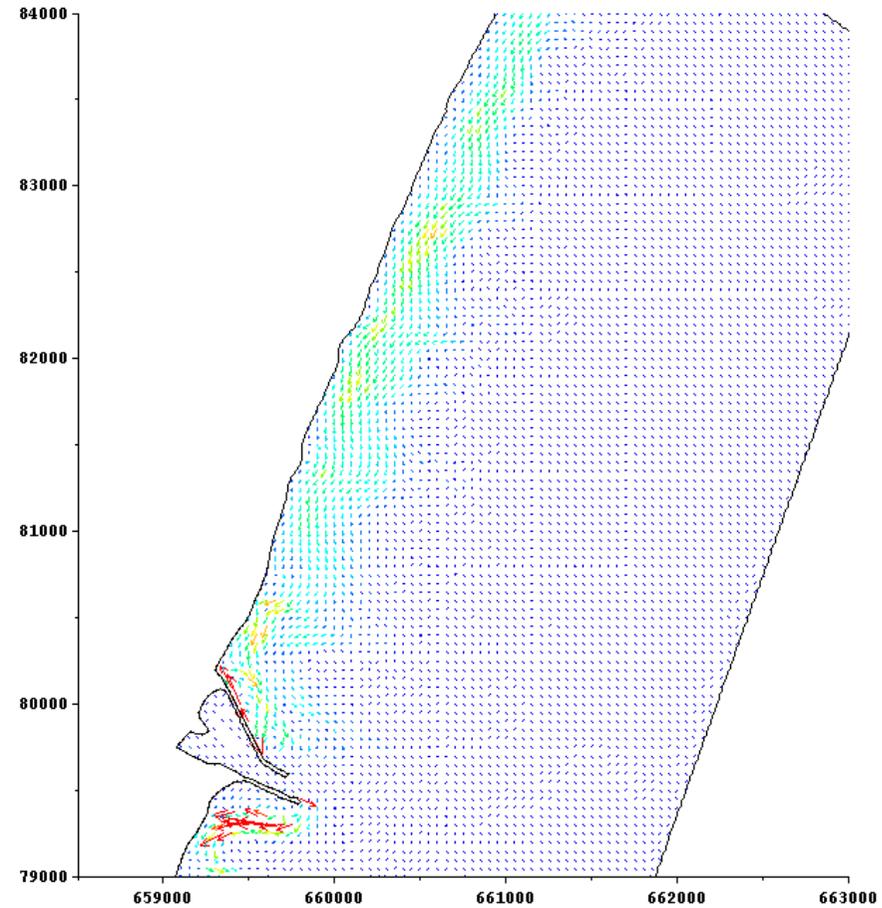
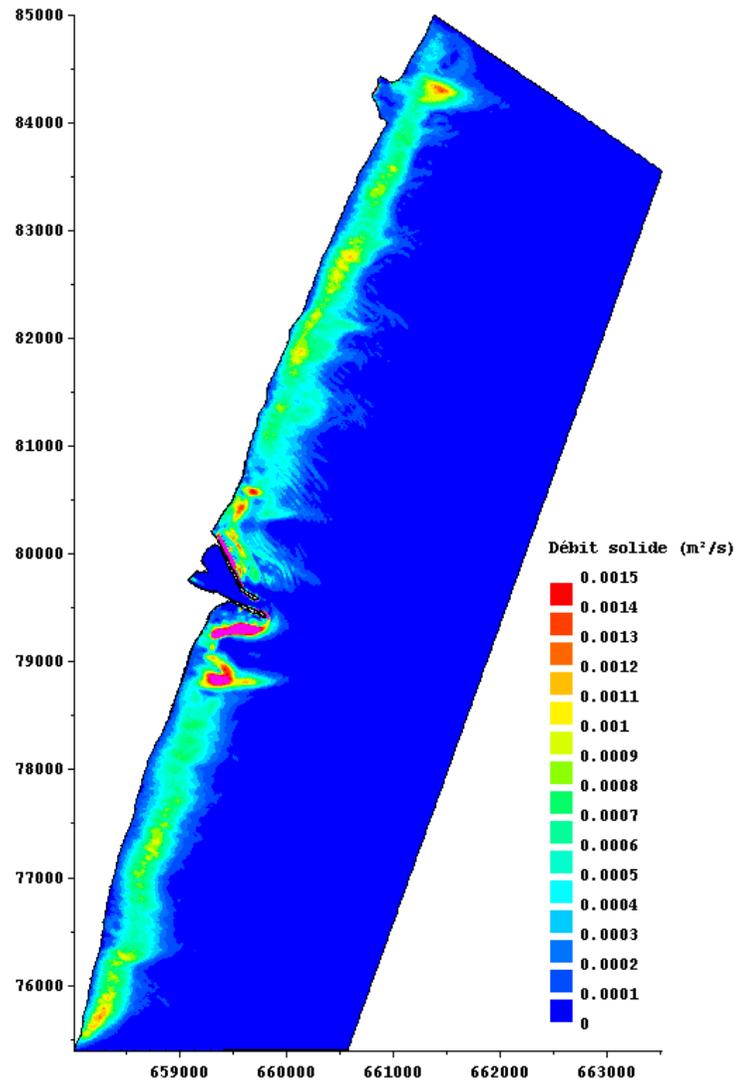


CAS 4 – GRAND PORT

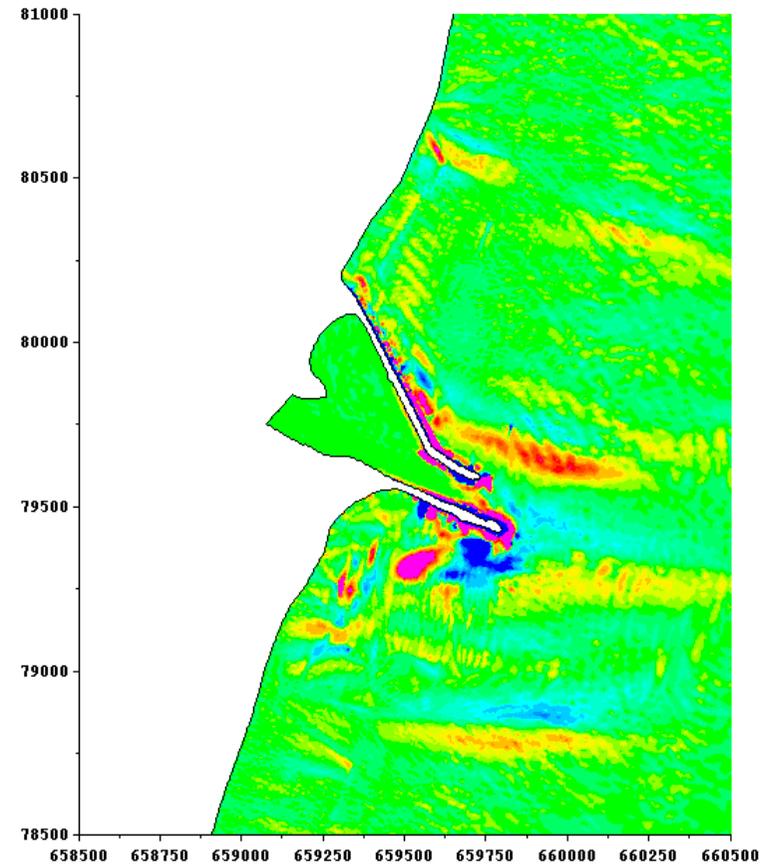
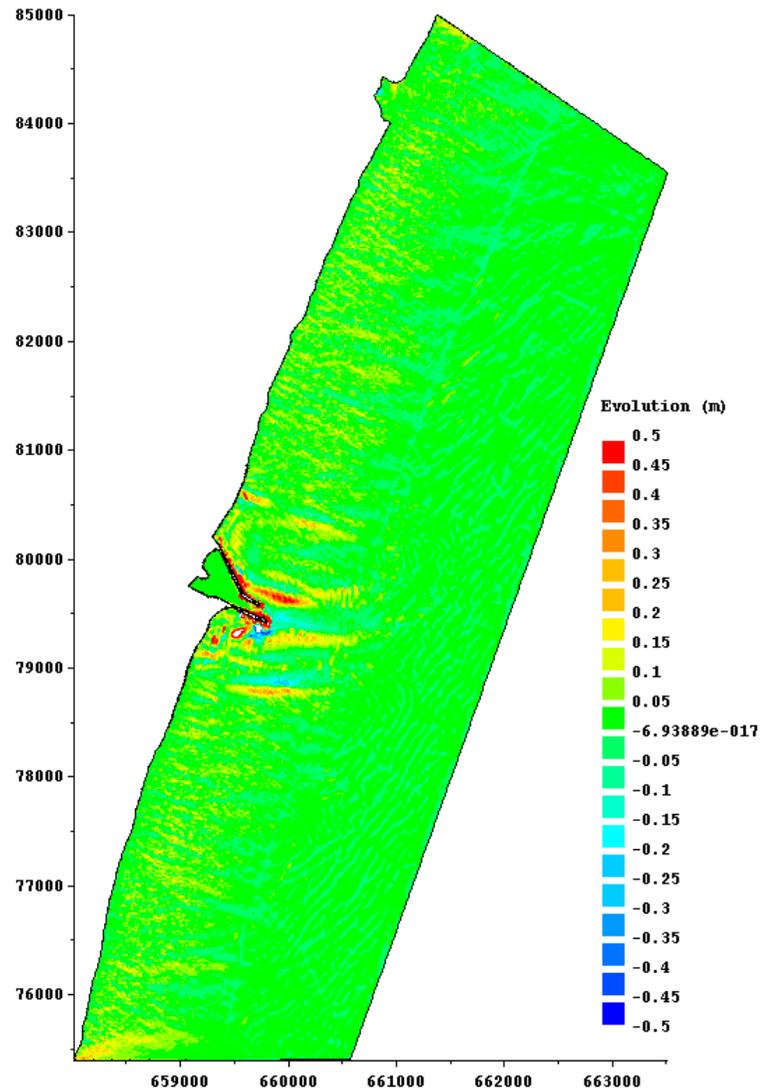
Annexe D :
RESULTATS DE SEDIMENTOLOGIE



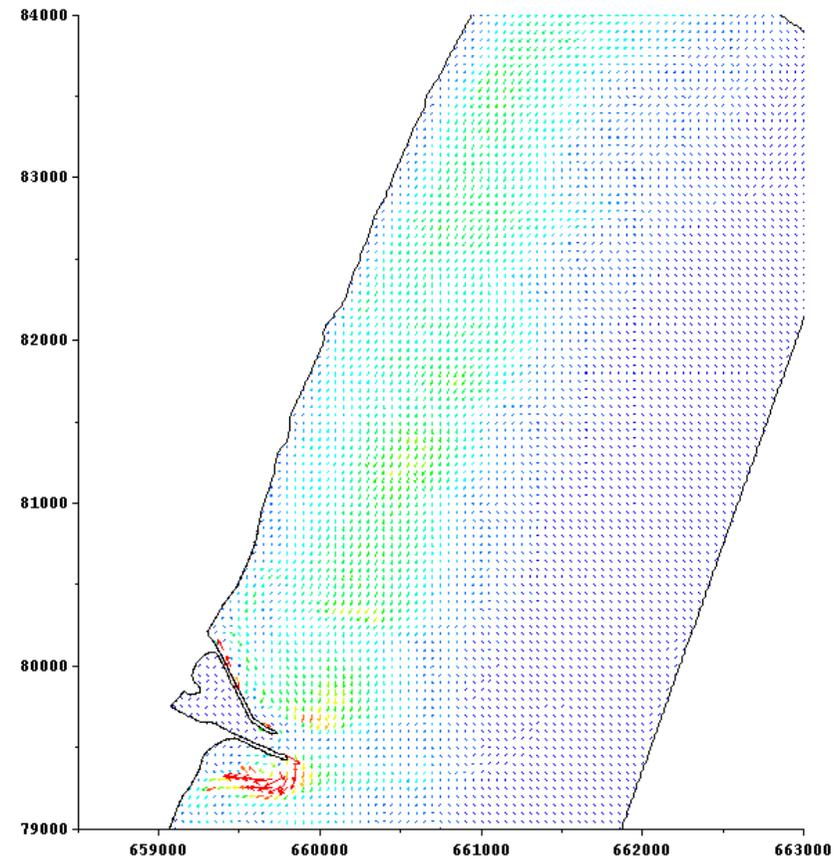
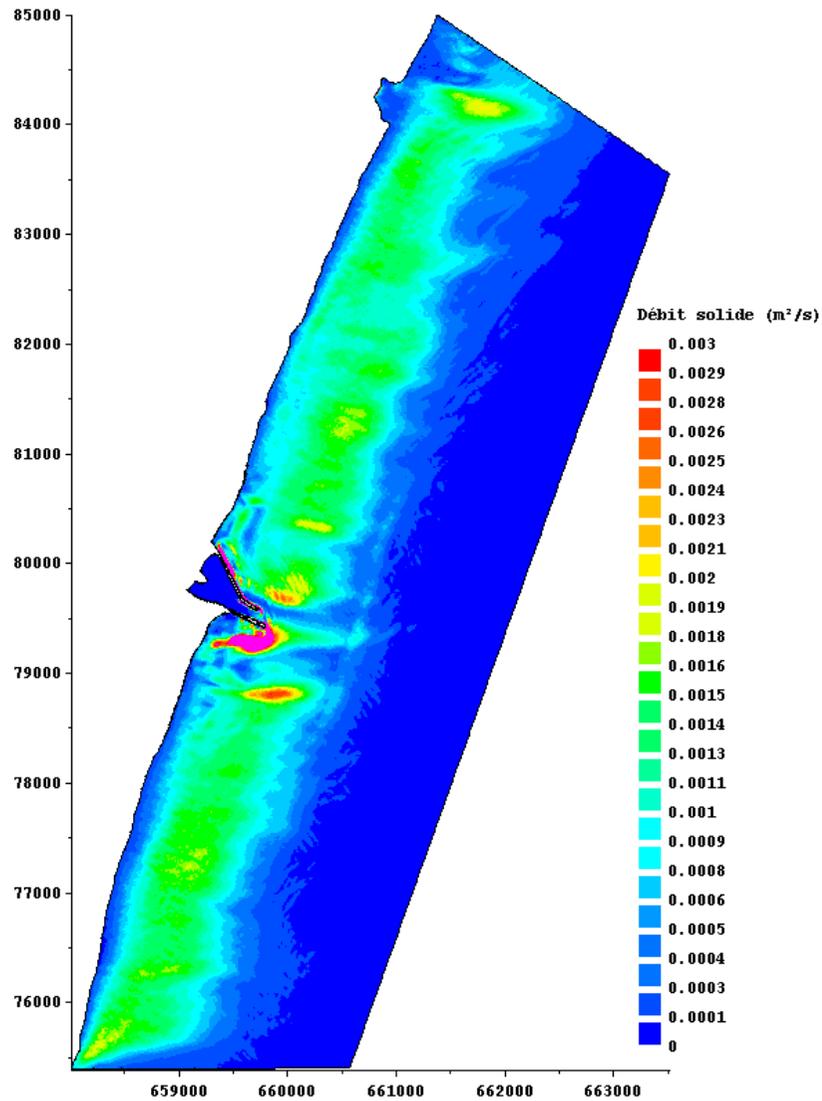
CAS 1 – ETAT ACTUEL – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



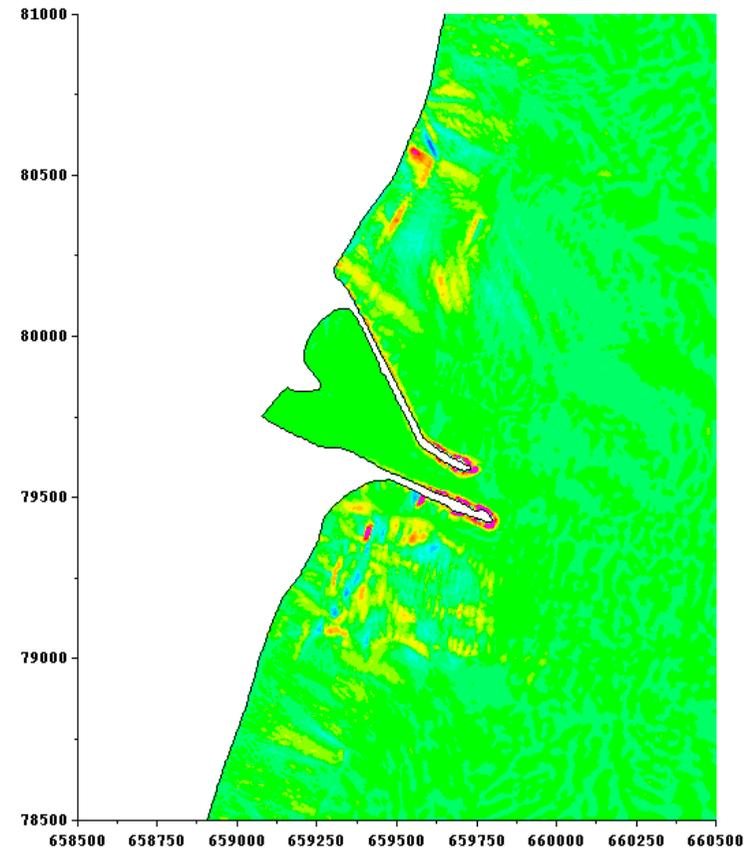
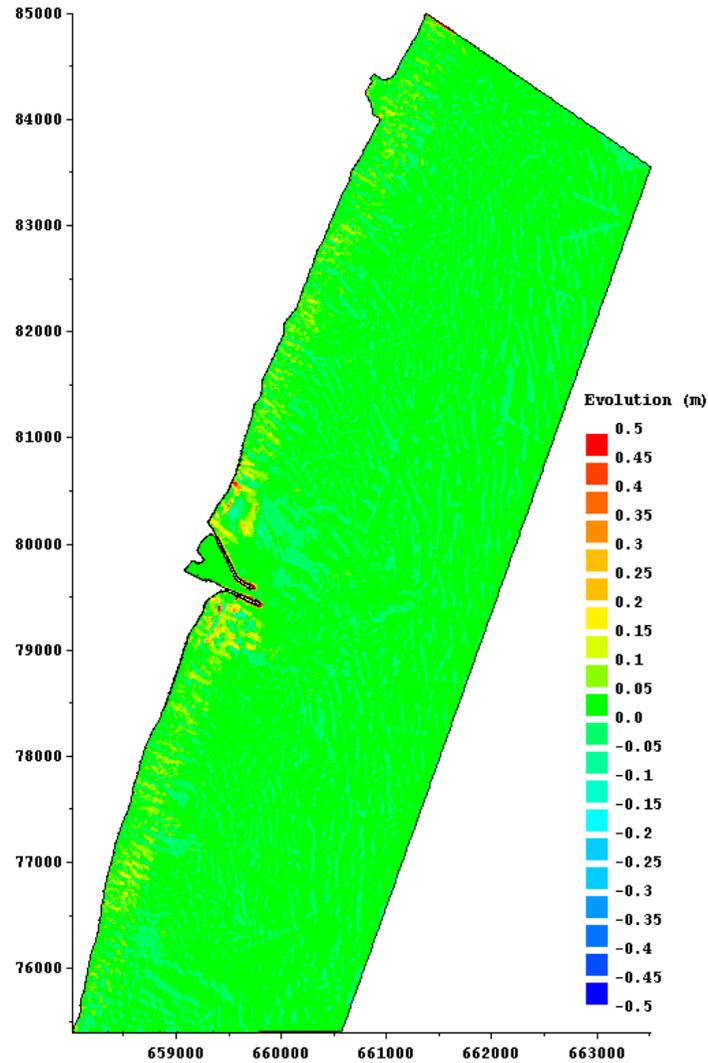
CAS 1 – ETAT ACTUEL – DEBIT SOLIDE



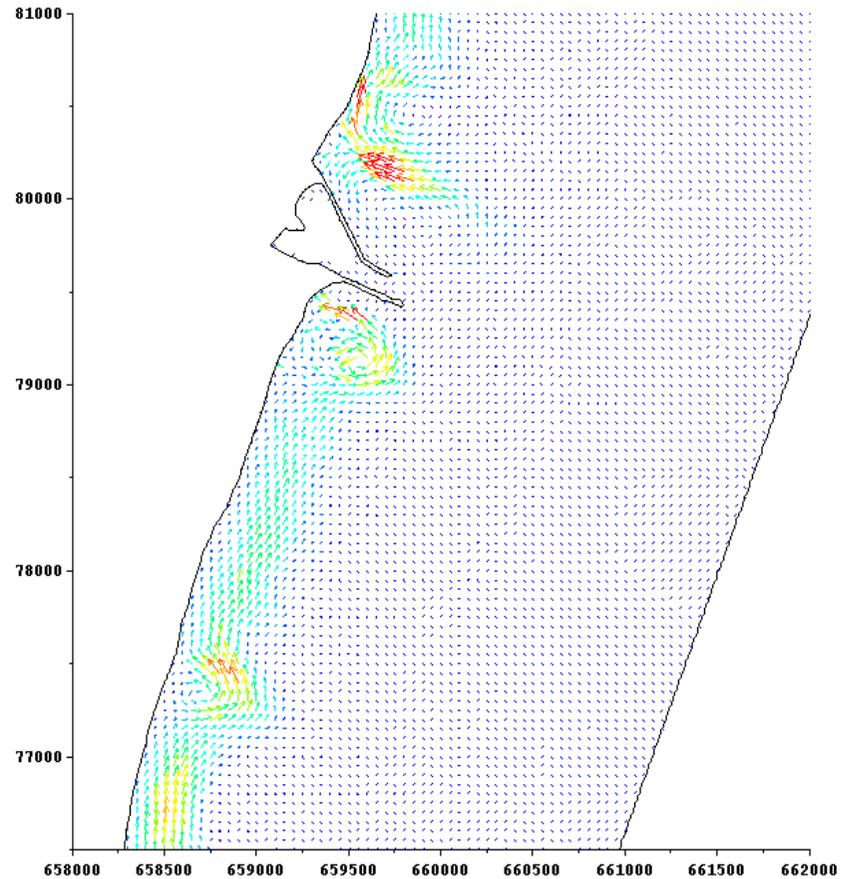
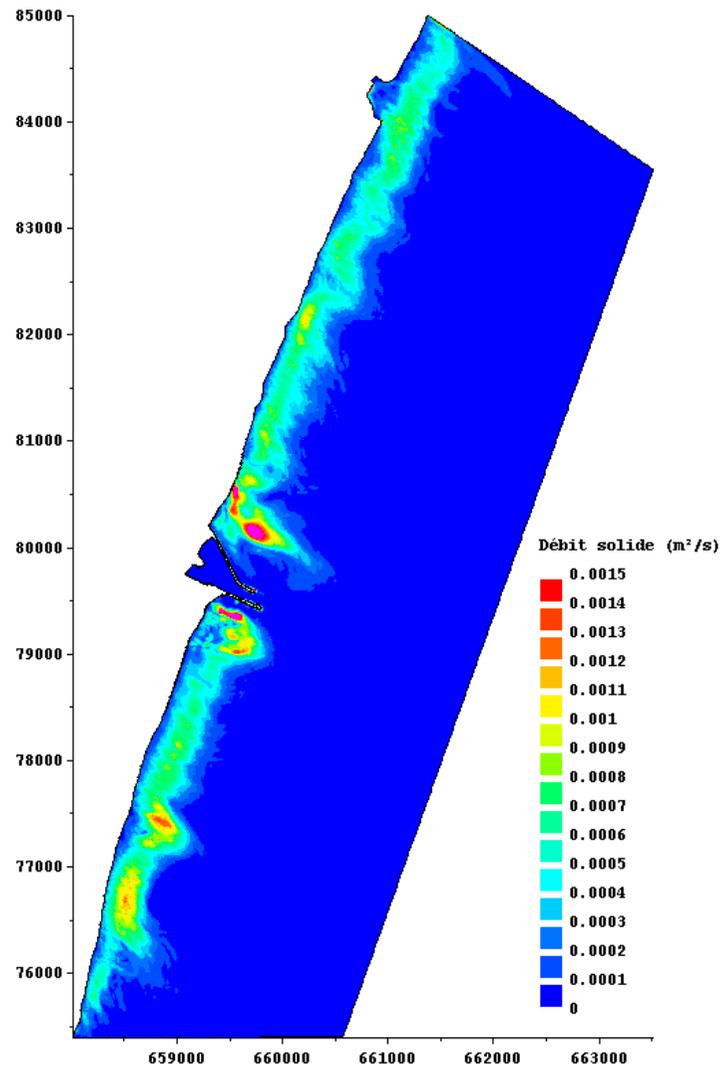
CAS 2 – ETAT ACTUEL – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



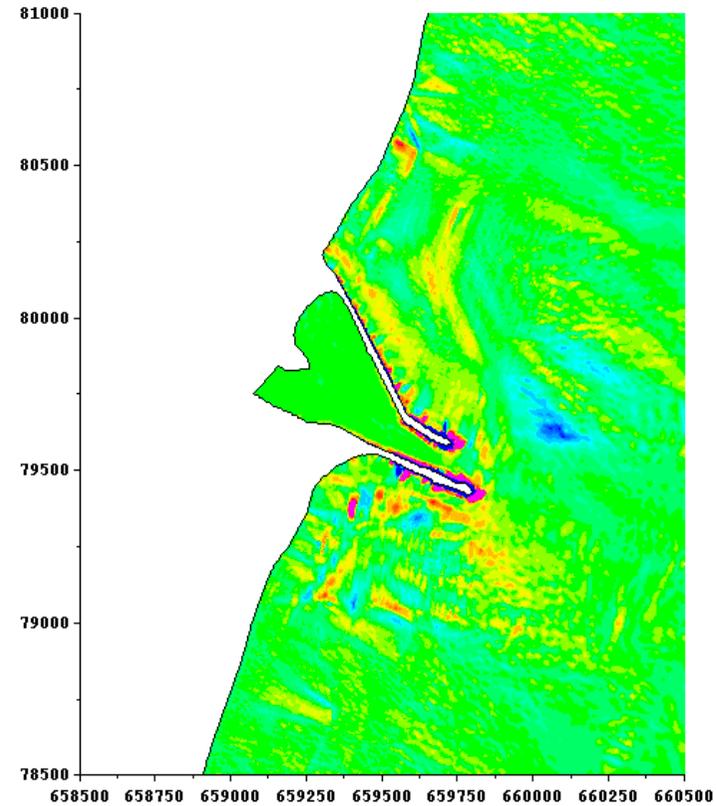
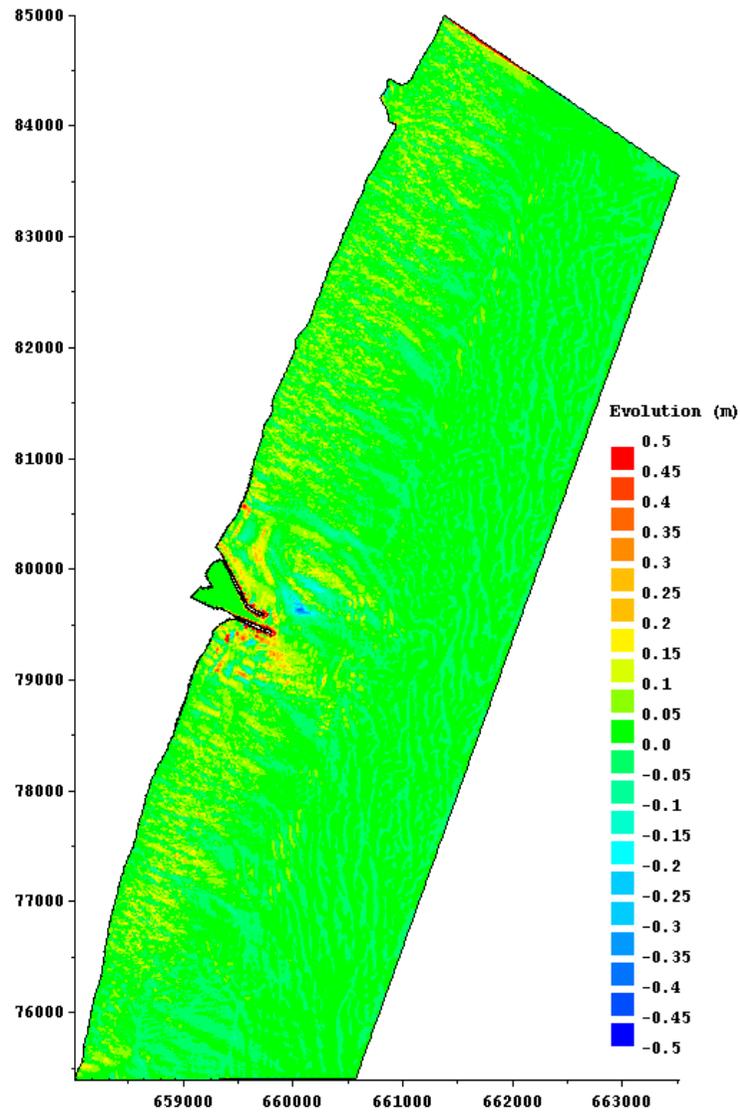
CAS 2 – ETAT ACTUEL – DEBIT SOLIDE



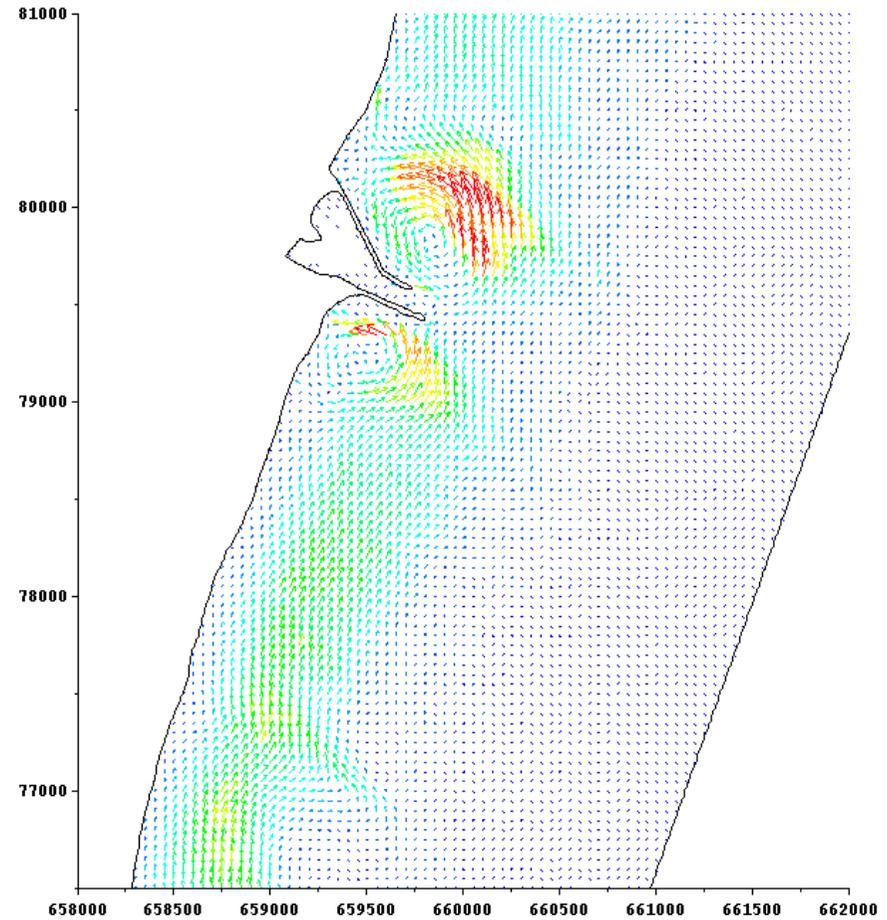
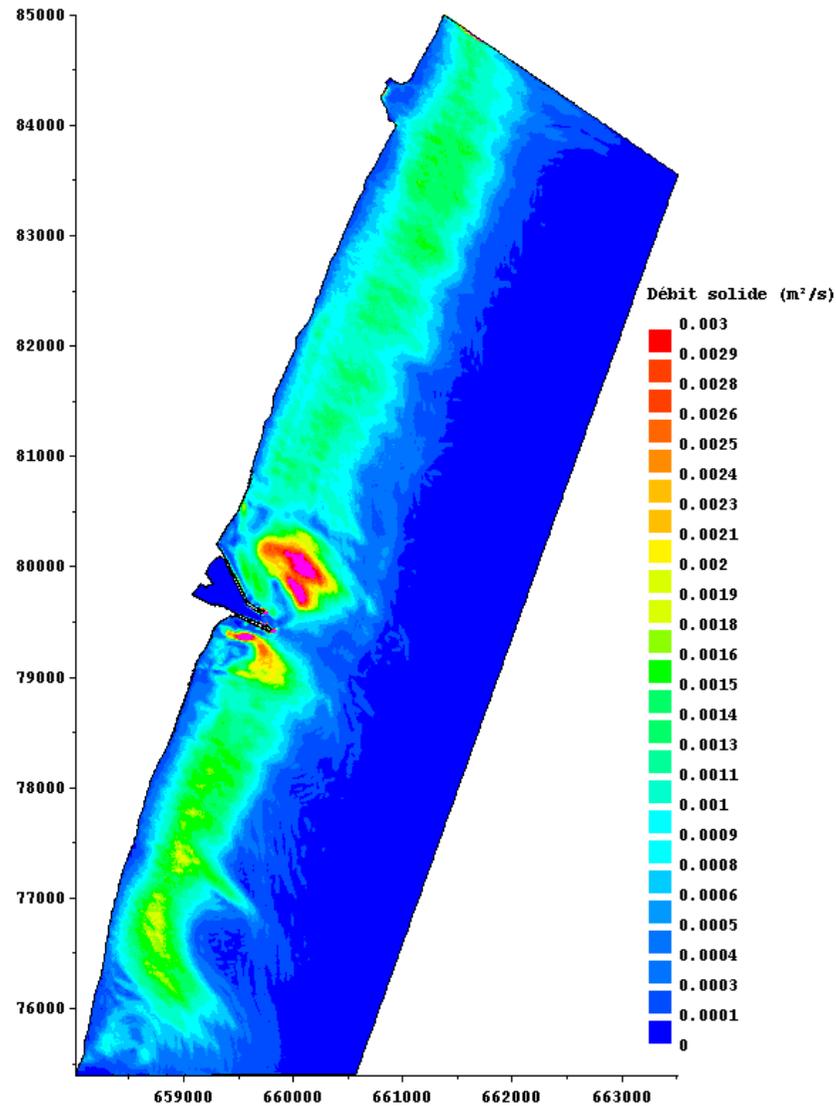
CAS 3 – ETAT ACTUEL – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



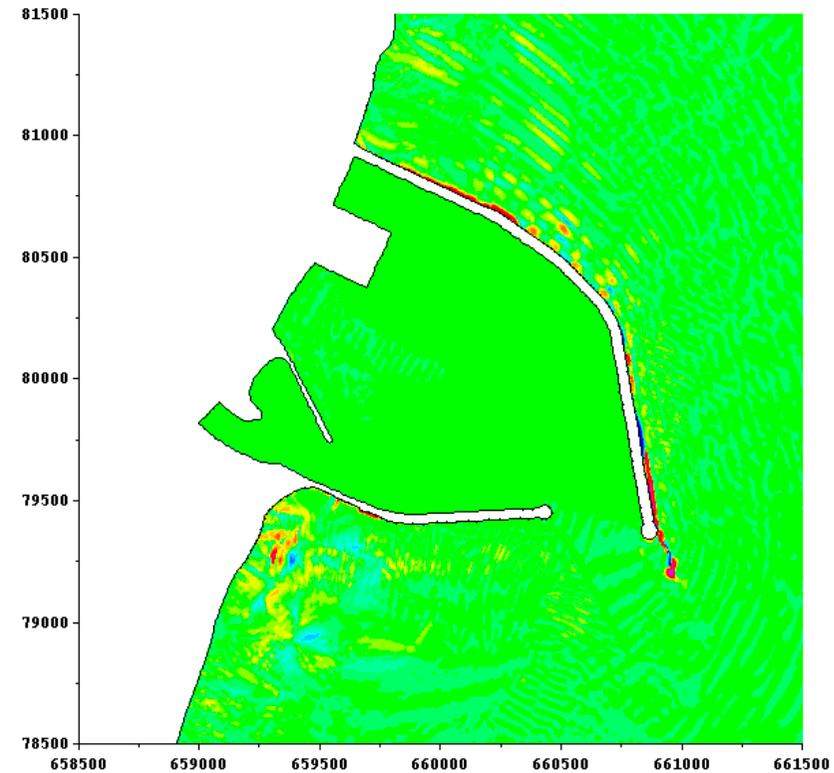
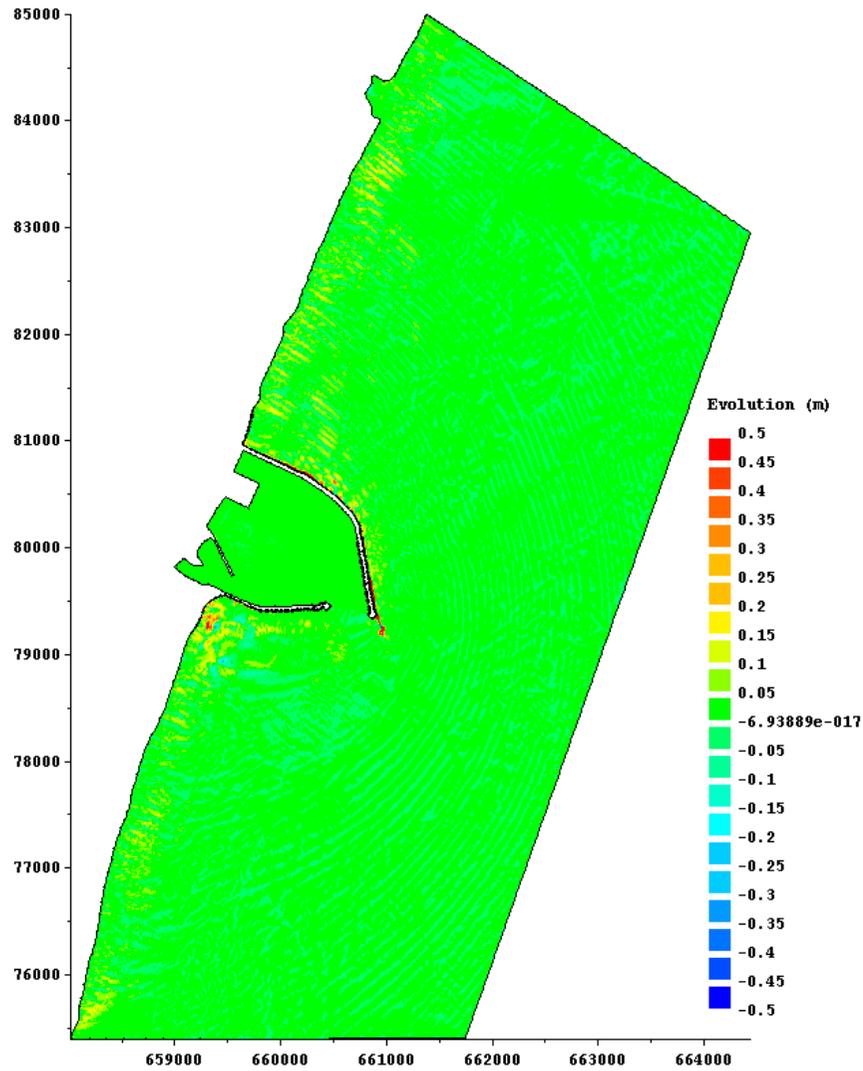
CAS 3 – ETAT ACTUEL – DEBIT SOLIDE



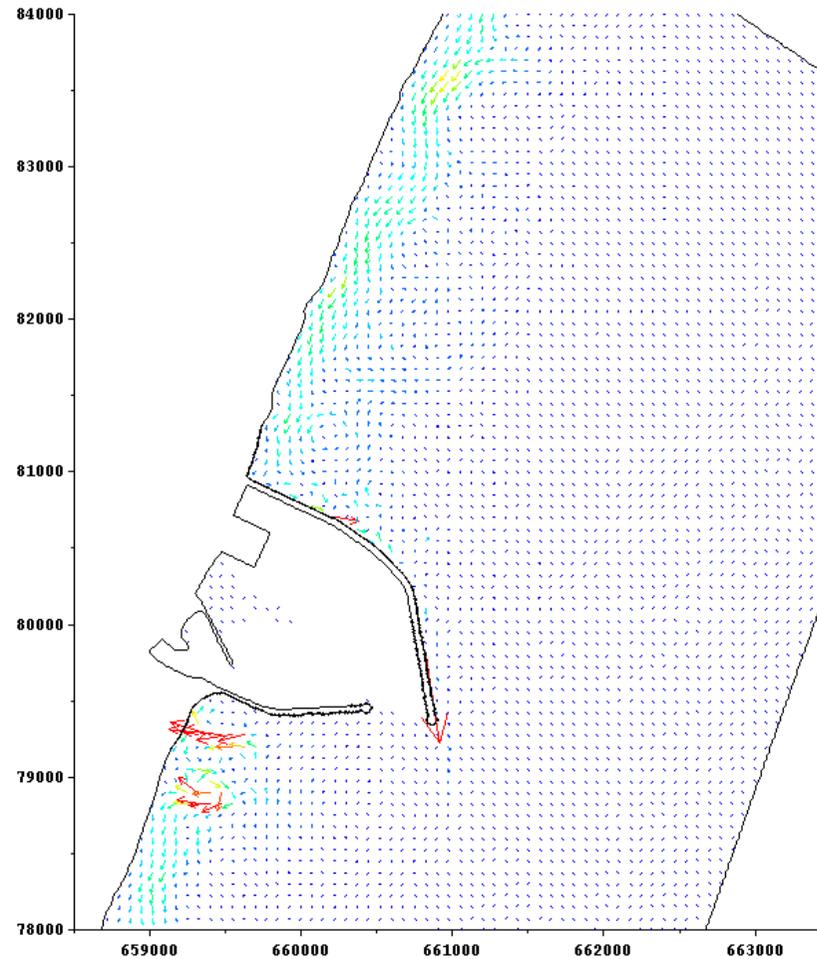
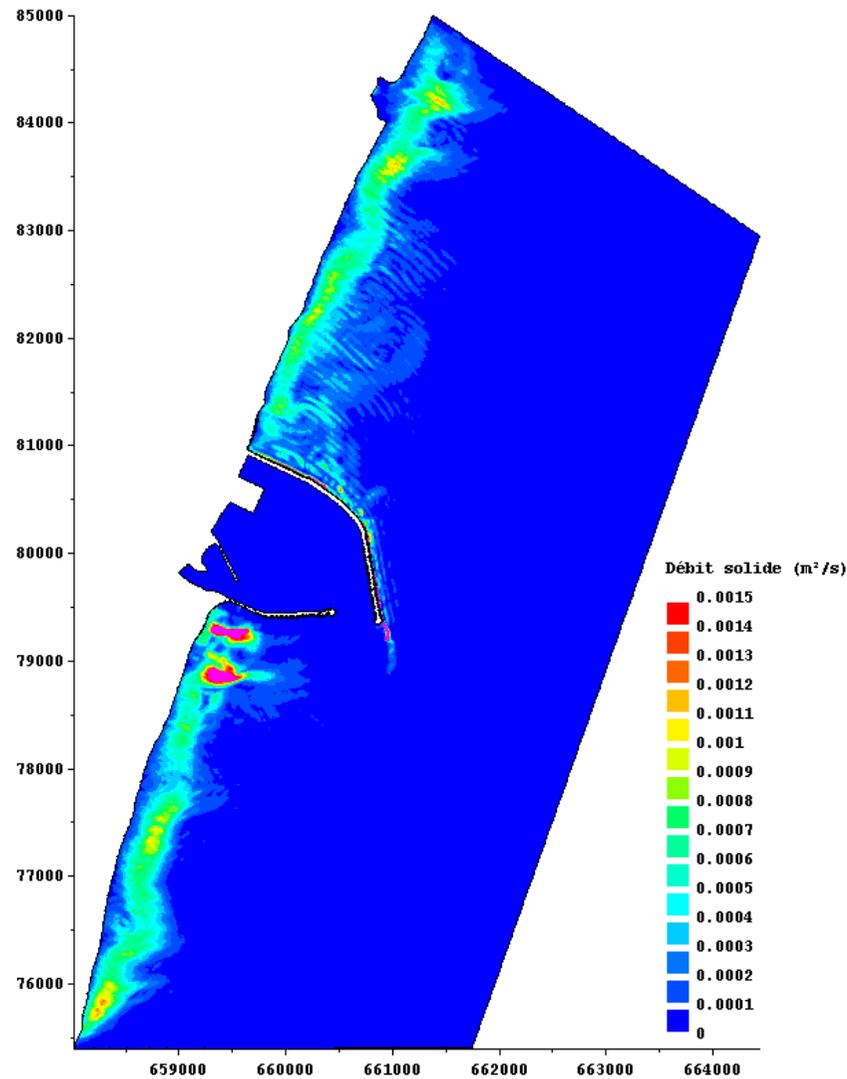
CAS 4 – ETAT ACTUEL – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



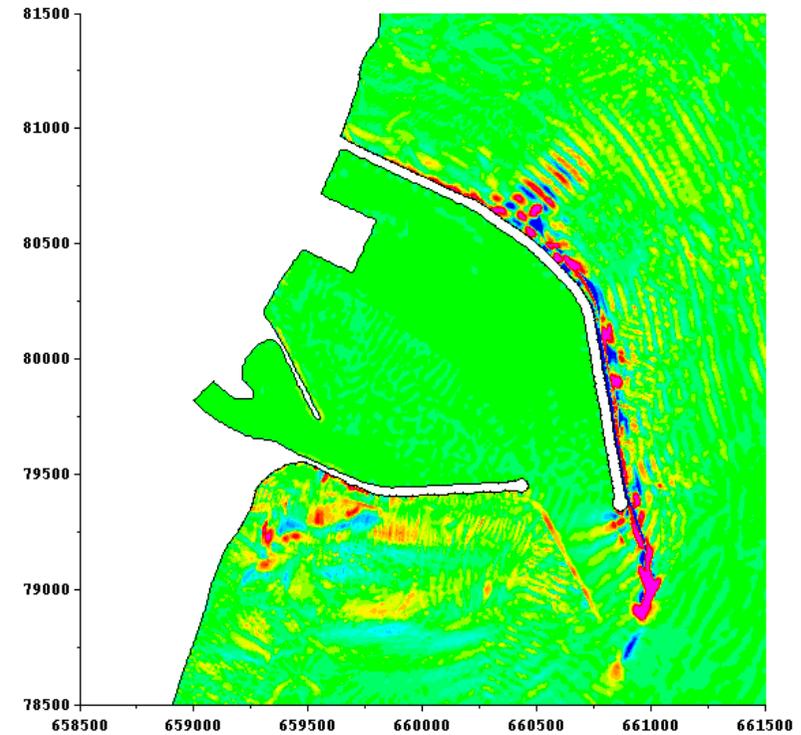
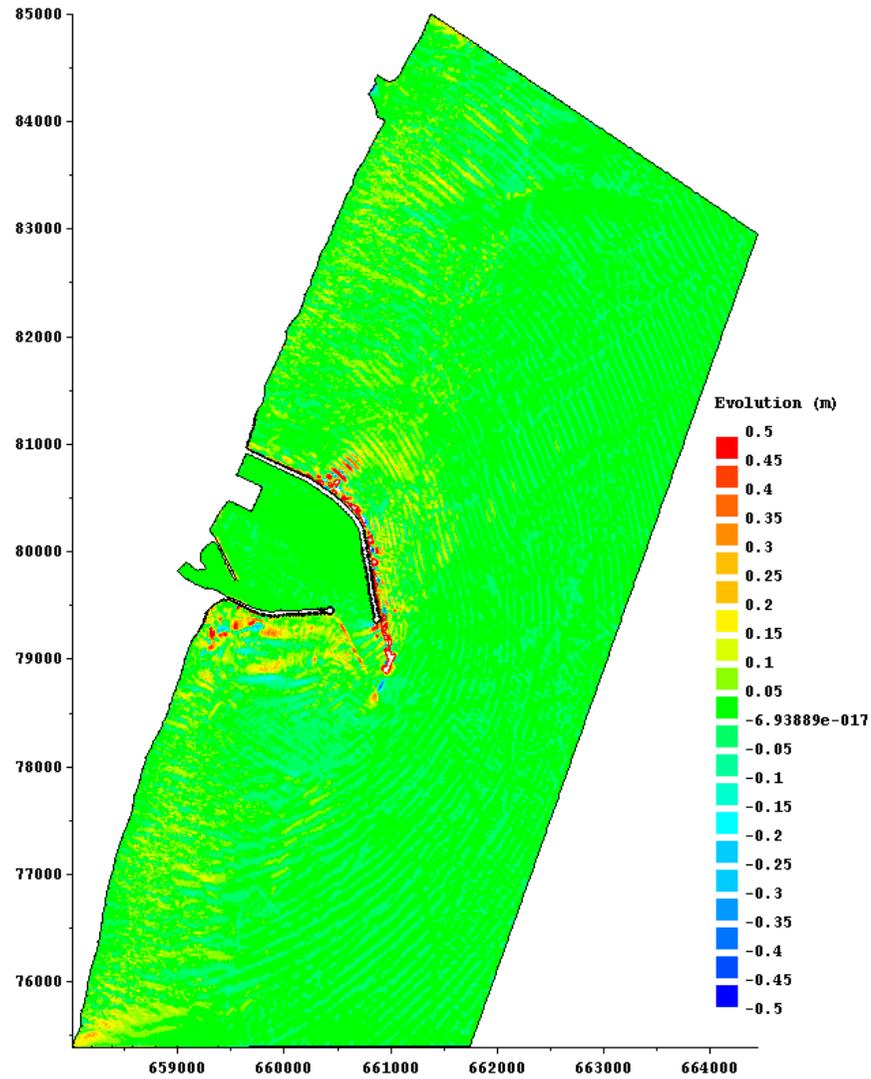
CAS 4 – ETAT ACTUEL – DEBIT SOLIDE



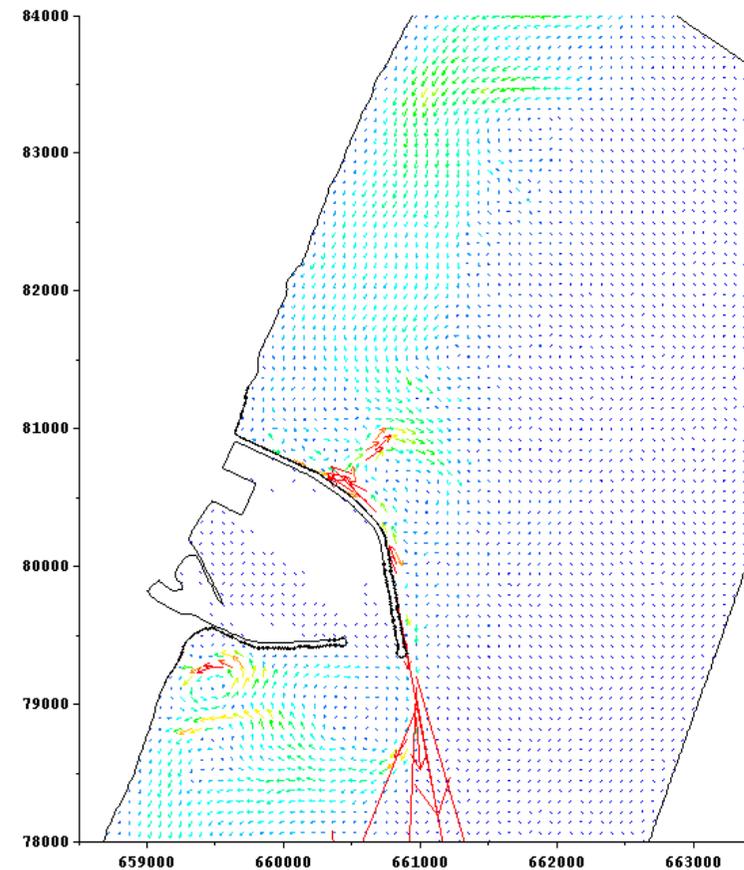
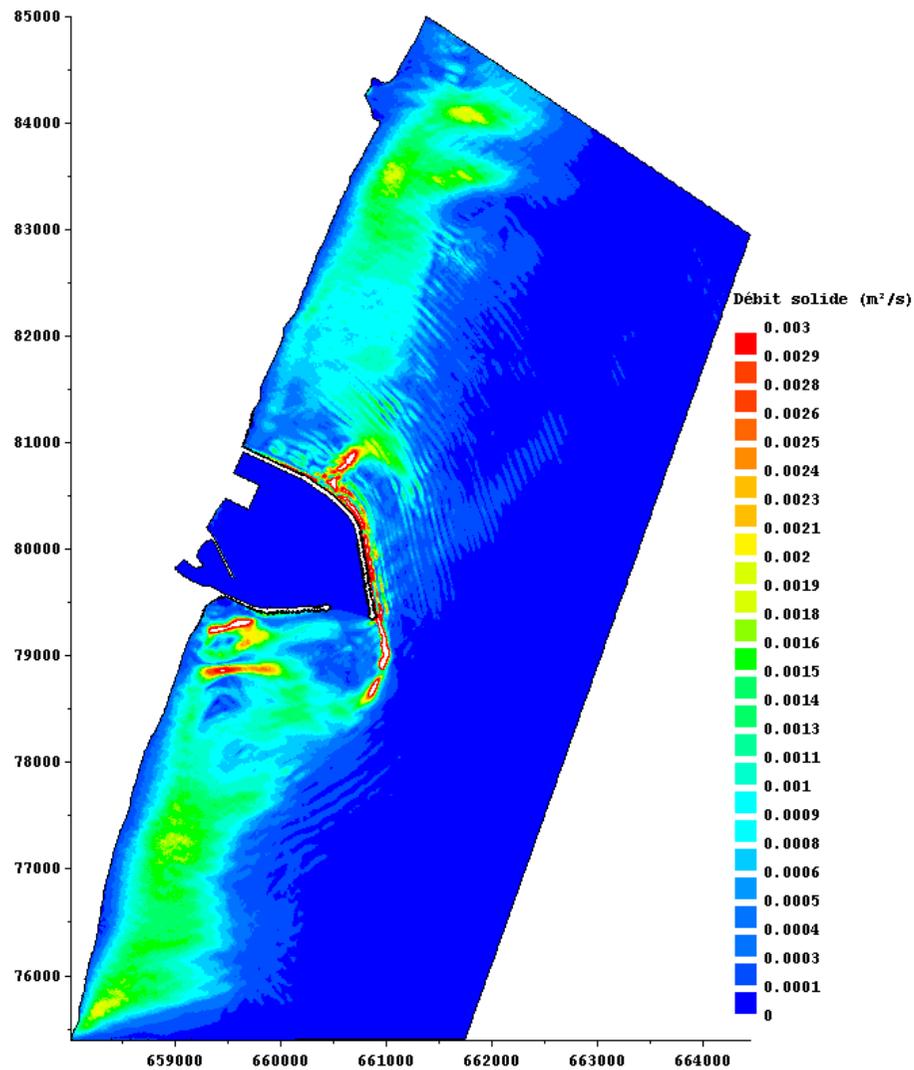
CAS 1 – GRAND PORT – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



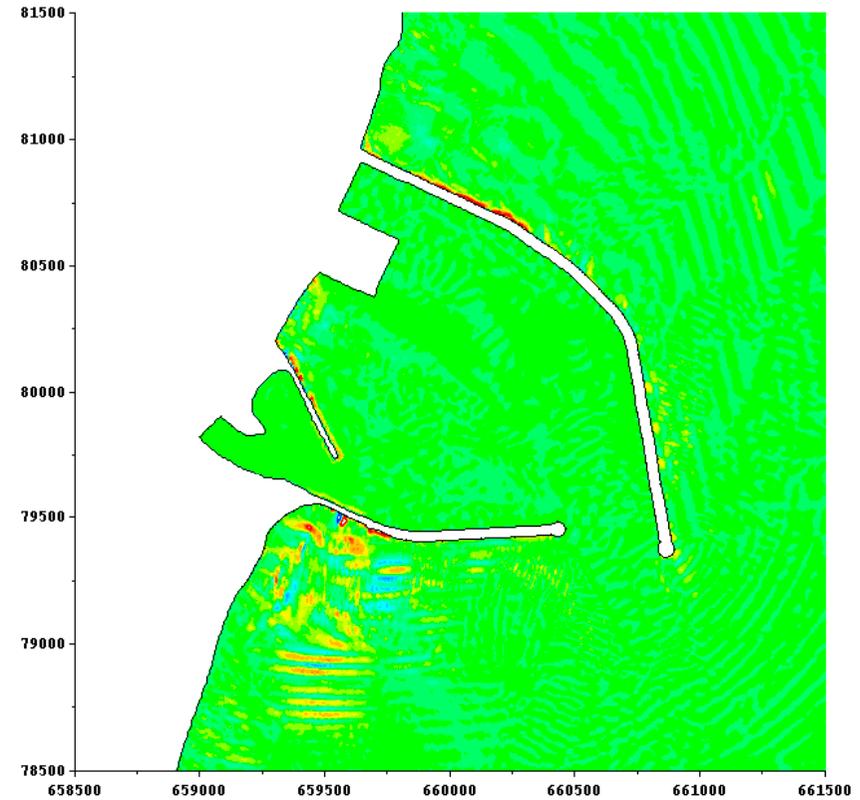
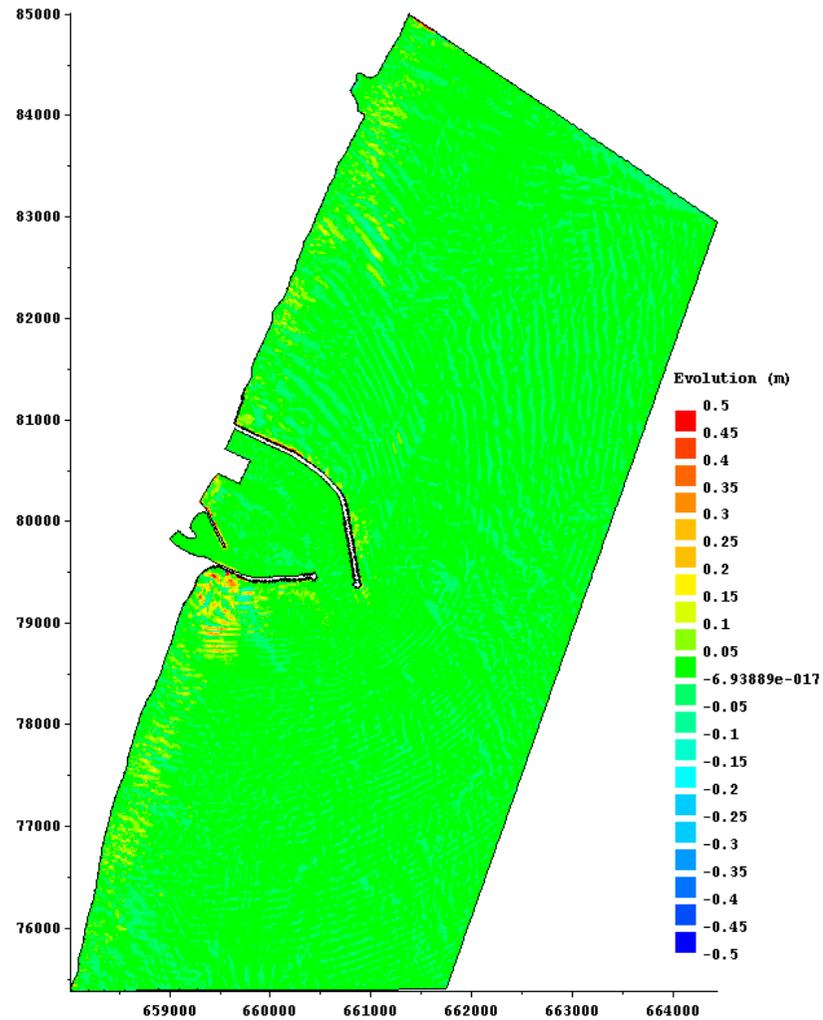
CAS 1 – GRAND PORT - DEBIT SOLIDE



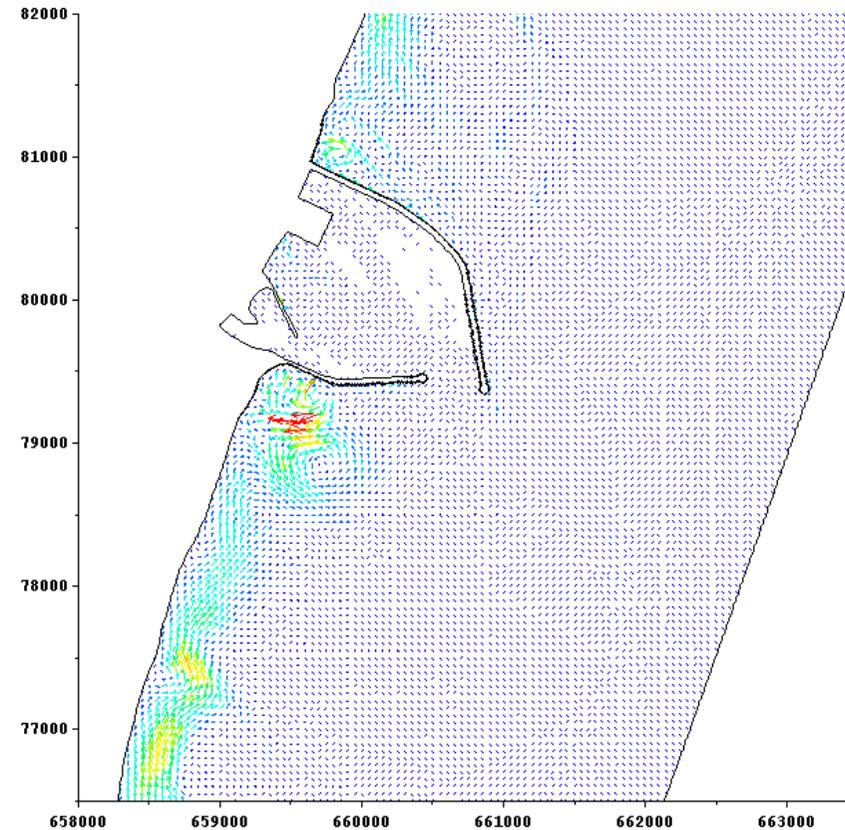
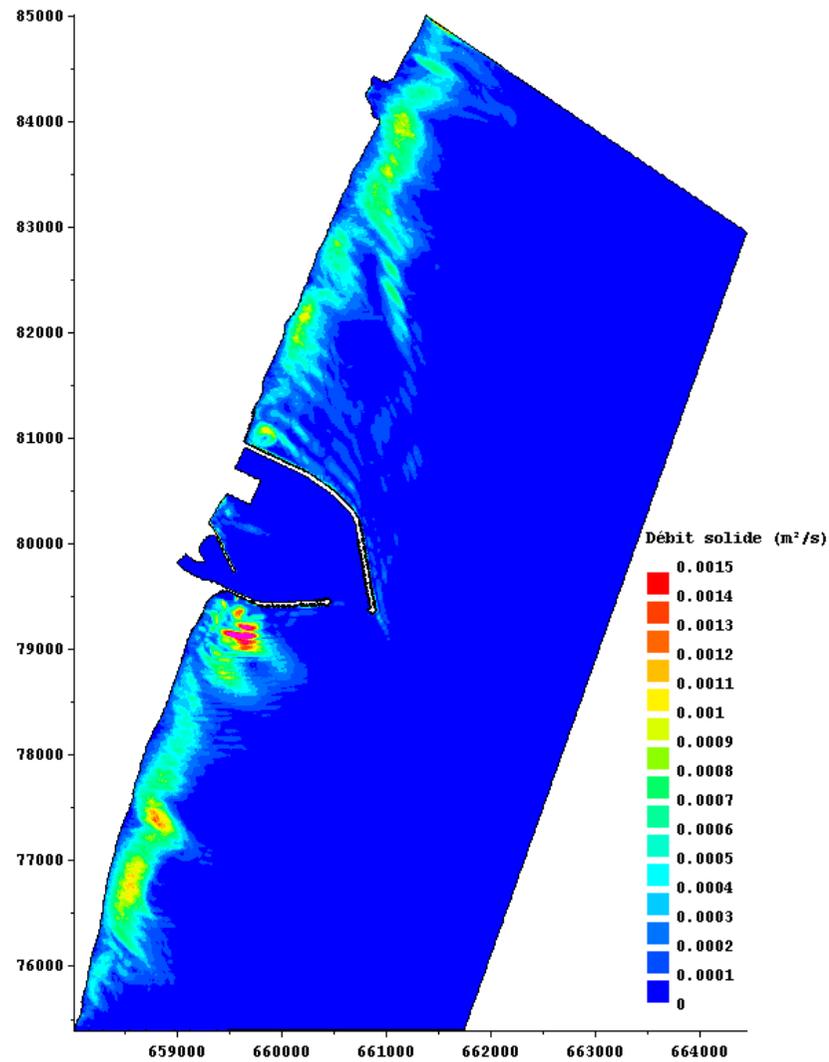
CAS 2 – GRAND PORT – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



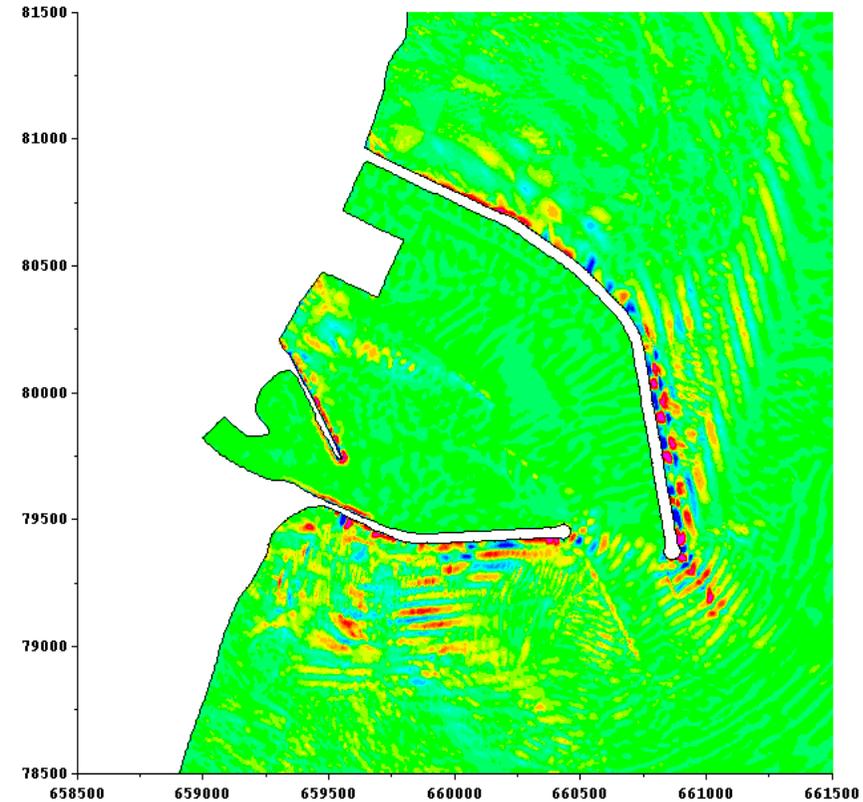
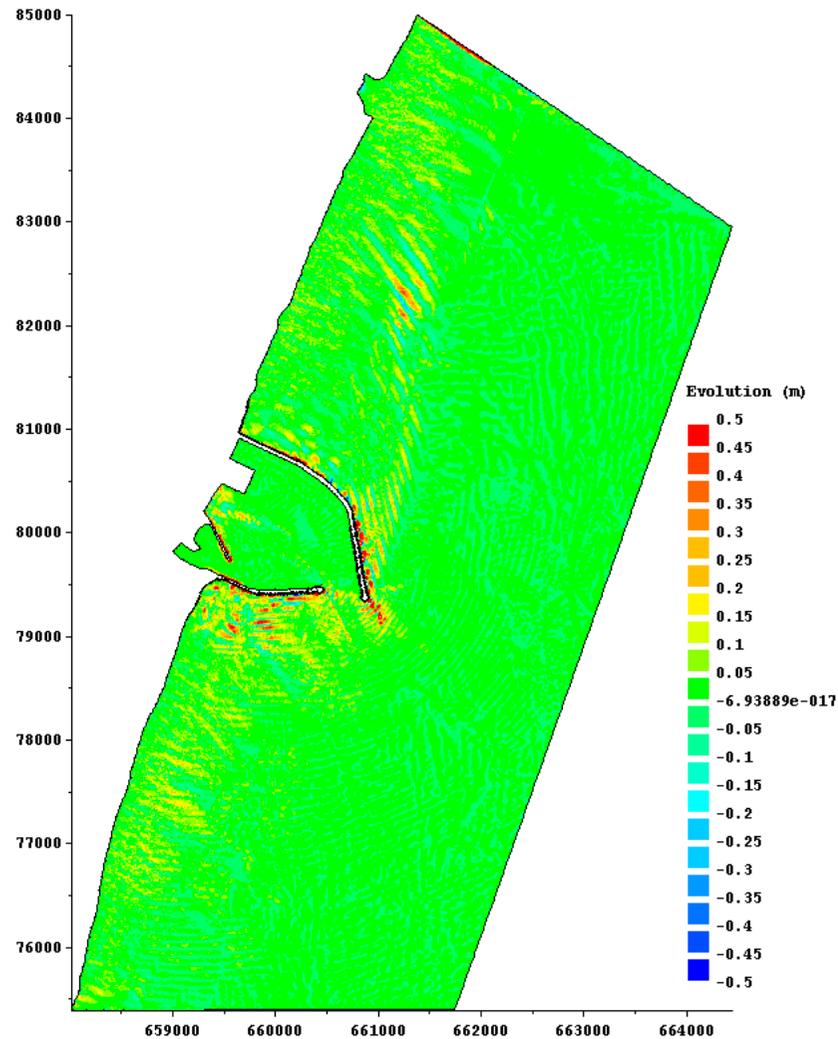
CAS 2 – GRAND PORT - DEBIT SOLIDE



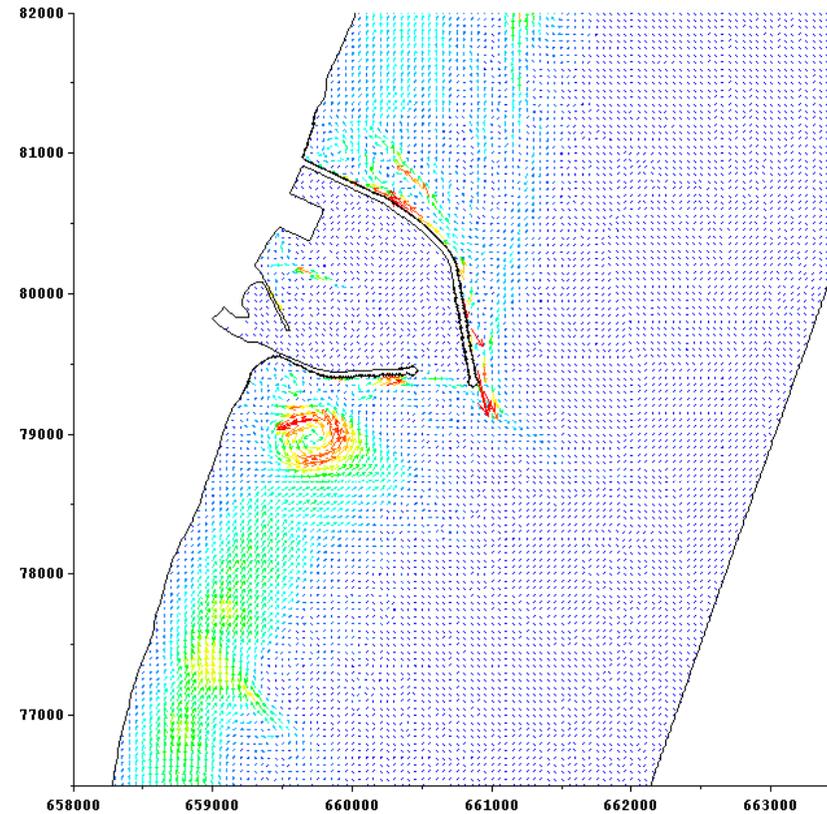
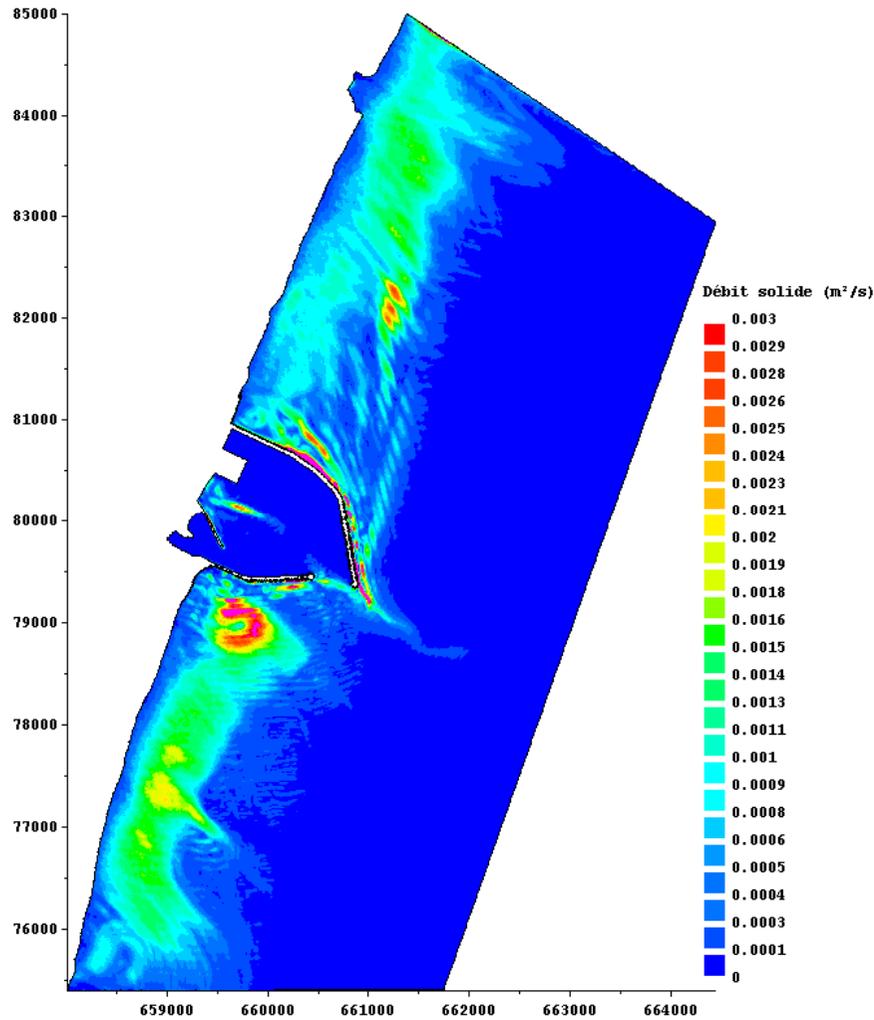
CAS 3 – GRAND PORT – EVOLUTION SEDIMENTAIRE



CAS 3 – GRAND PORT - DEBIT SOLIDE

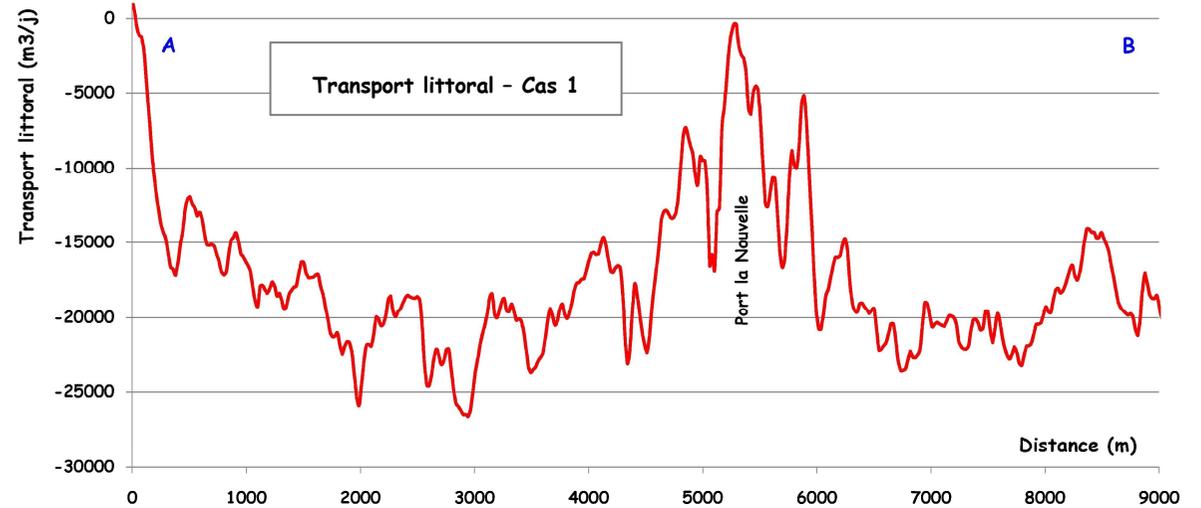
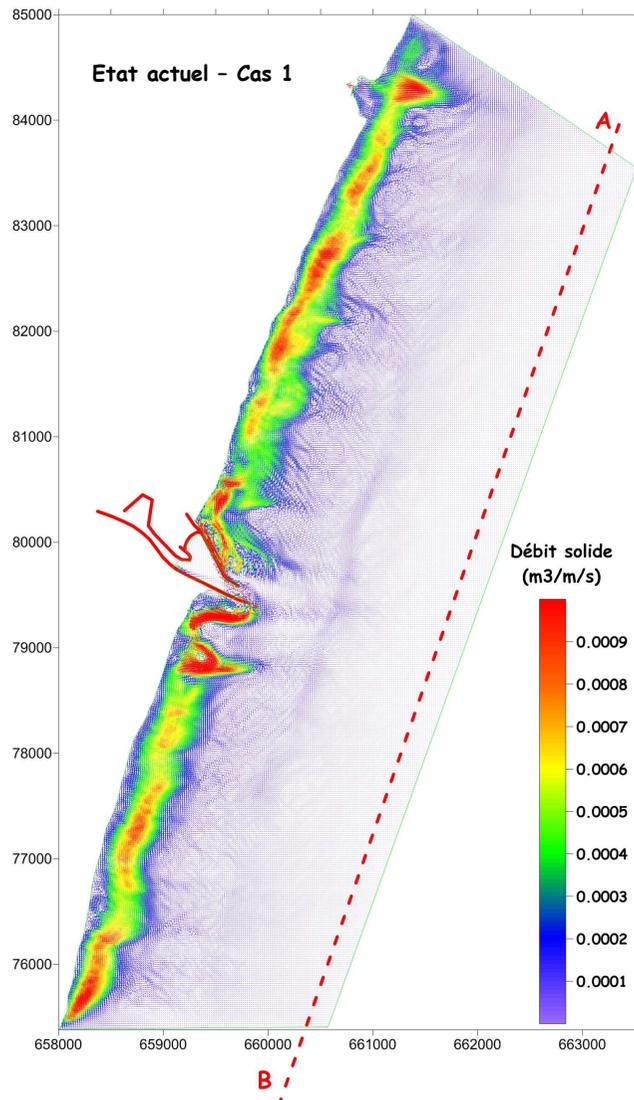


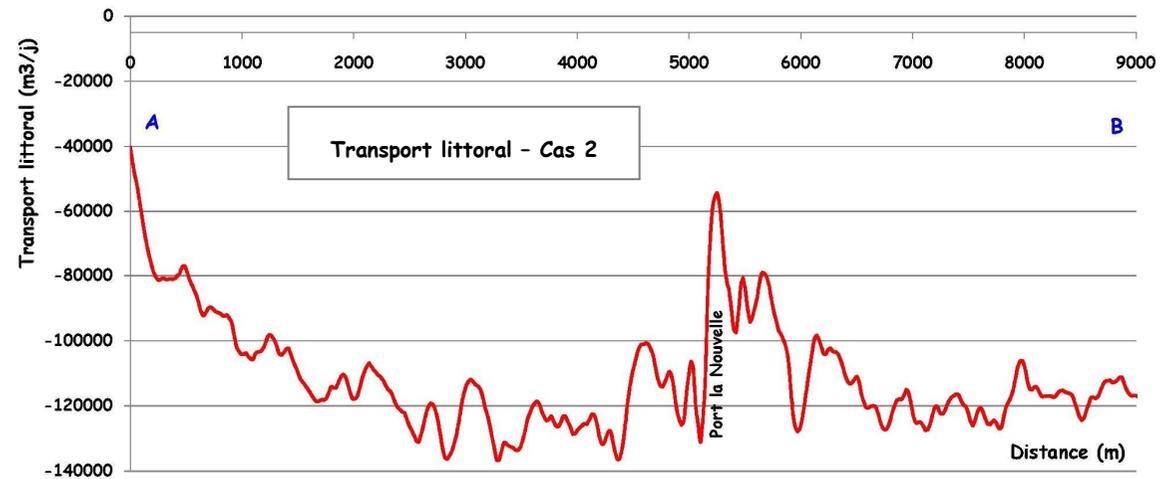
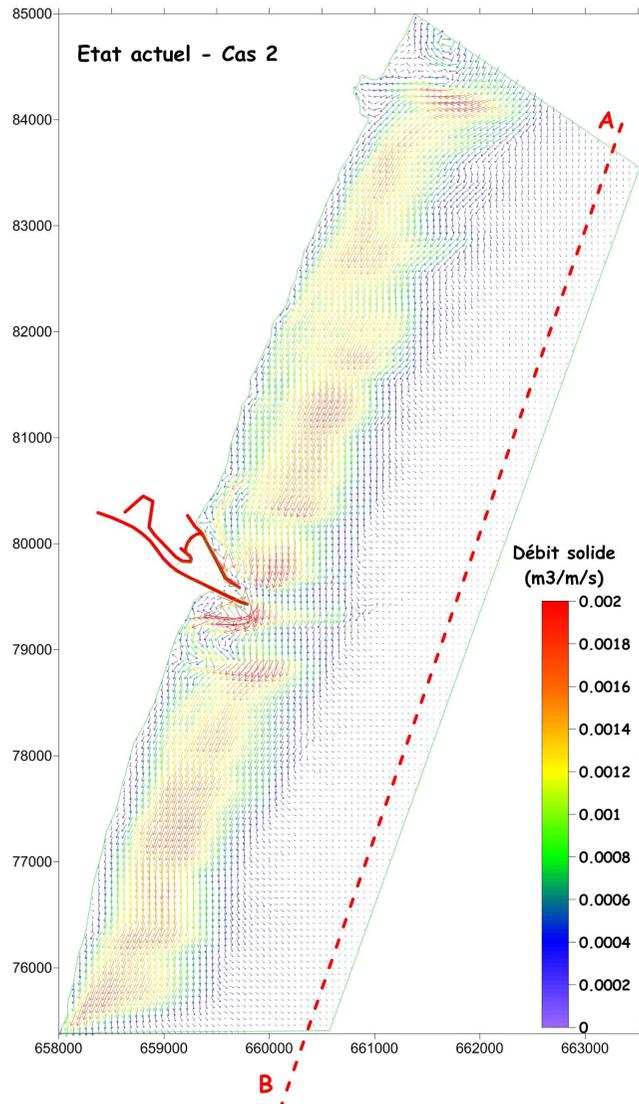
CAS 4 – GRAND PORT – EVOLUTION SEDIMENTAIRE

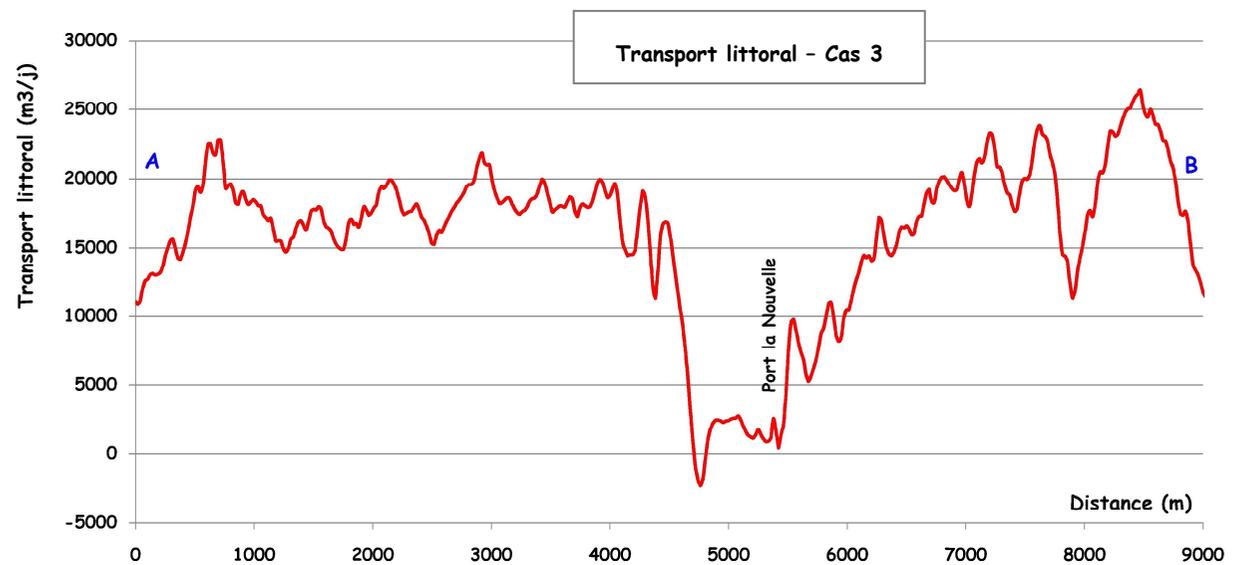
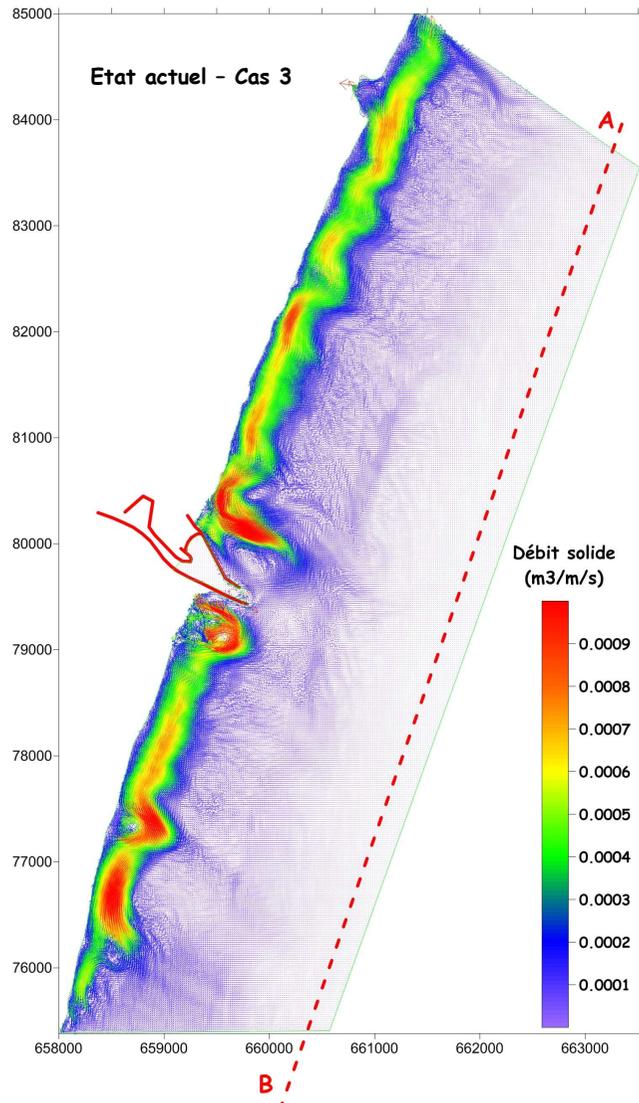


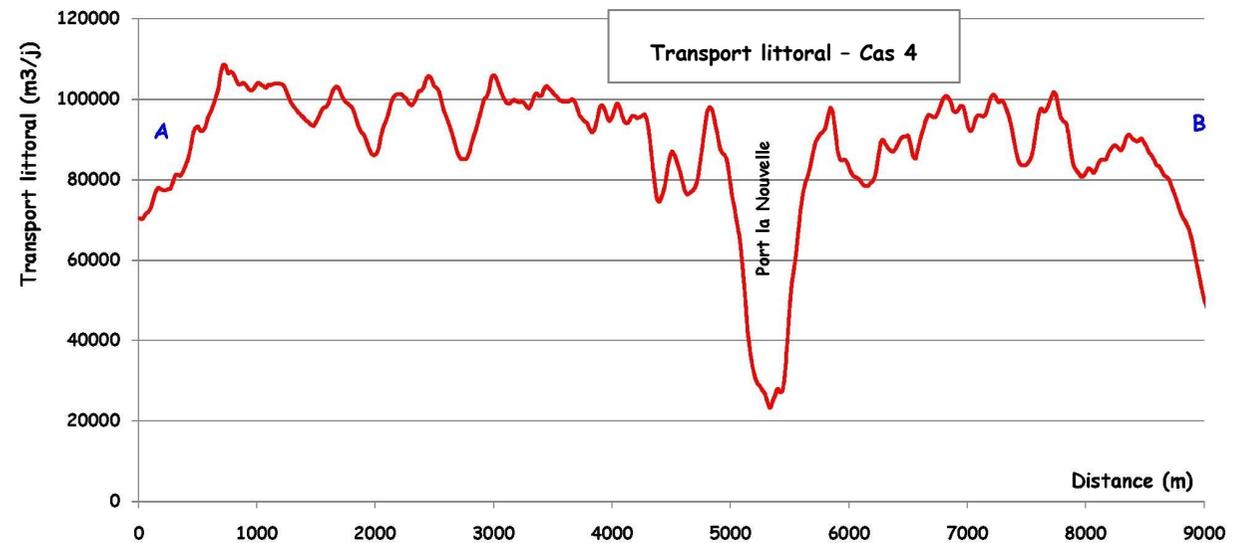
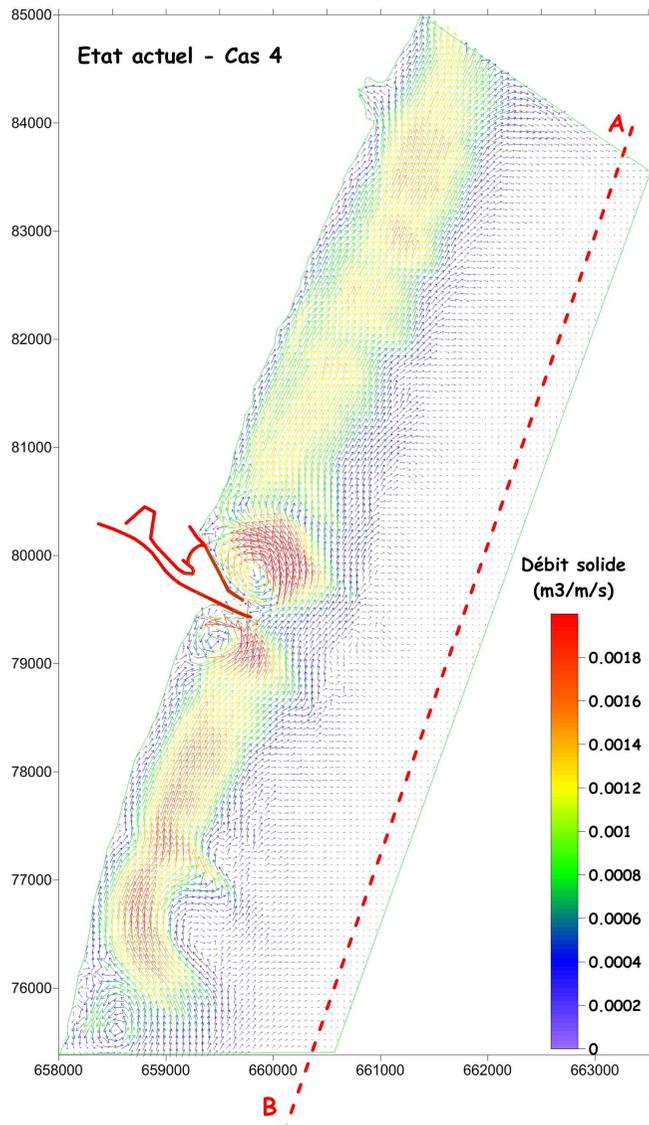
CAS 4 – GRAND PORT - DEBIT SOLIDE

Annexe E :
ANALYSE DU TRANSIT LITTORAL









Annexe F :
ESTIMATION DE VOLUMES :
SECTEURS ETUDIÉS

