

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocrate et Populaire

**Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de
l'Aménagement du Littoral**

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR
D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER.
OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL.



Thème :

**Application de la modélisation
numérique pour l'étude de
l'ensablement du port de cap Djinet.**

Présenté par :

- LAYOUNE Adel.
- TIGUERCHA Djillali.

Soutenu le Dimanche 17/07/2011 à 13h, devant la commission de jury composée de :

Mme. BACHARI HOUMA F.	(Maître de conférences A, ENSSMAL)	Présidente
Mr. BELKESSA R.	(Maître de conférences A, ENSSMAL)	Promoteur
Mr. LARID M.	(Maître de conférences A, ENSSMAL)	Examineur
Mr. HEMDANE Y.	(Maître de conférences A, ENSSMAL)	Examineur

Promotion 2011

Sommaire

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Généralités	3
Introduction	4
1. Cadre géographique	4
2. Cadre géologique et stratigraphique	5
2.1. La géologie	5
2.2. La stratigraphie	6
3. Apports fluviaux	7
3.1. Oued Sébaou	7
3.2. Oued Isser	8
4. Facteurs hydrodynamiques	8
4.1. Régime des vents	9
4.2. Régime des houles	9
5. Approche globale sur le port	10
Conclusion	11
Chapitre II : Etude bathymétrique	12
Introduction	13
1. Présentation de l'interface graphique SMS	13
2. La morphologie de la plage	13
2.1. Typologie de la plage	14
2.2. Analyse des profils bathymétriques	16
3. Cartographie et évaluation des zones d'érosion et d'accrétion	20
Conclusion	25
Chapitre III : Modélisation de la propagation potentielle des vagues et des courants généralisés	26
Introduction	27
1. Présentation du modèle « BOUSS2D »	27
2. Le modèle conceptuel	28
2.1. Création du fichier de la grille bathymétrique	28
2.2. Conditions à prendre en compte lors de la création de la grille	28
2.3. Les conditions aux limites	29
2.3.1. Le générateur des vagues	29
2.3.2. La limite terre mer	30
2.3.3. Les limites latérales	30
2.3.4. Les paramètres de la simulation	30
2.4. Les paramètres calculés	30
2.4.1. Les données spatiales à 2D	30
2.4.2. Séries de données en fonction du temps	30
2.4.3. Les données d'animation	31
3. Résultats et discussion	33
3.1. La propagation potentielle des vagues	33
3.2. Les courants moyens potentiels induits par les vagues	39

Sommaire

Conclusion.....	44
Chapitre IV : Etude sédimentologique	45
Introduction	46
1. Etude granulométrique	46
2. Calcul des paramètres granulométriques.....	49
3. Cartographie des indices granulométriques	51
4. Interprétation des résultats granulométriques	51
5. Interprétation de la distribution des paramètres granulométriques	51
Conclusion.....	53
Chapitre V : Simulation du transport sédimentaire	54
Introduction	55
1. Modèle de Gao et Collins.....	55
1.1. Principe du modèle.....	55
1.2. Procédure analytique.....	56
1.3. Limites de calcul des tendances de transport sédimentaire.....	57
1.4. Application du modèle dans la zone de cap Djinet.....	57
1.4.1. Calcul des paramètres granulométriques	57
1.4.2. Détermination de la distance critique D_{cr}	59
1.4.3. Tendance au transport sédimentaire.....	59
1.4.4. Interprétation des résultats	62
2. Potentialité des courants simulés au transport sédimentaire	62
2.1. Calcul de la vitesse critique de cisaillement	63
2.2. Interpolation et extraction des paramètres de calculs	63
2.3. Cartographie des transports potentiels	63
2.4. Interprétation	65
Conclusion.....	65
Chapitre VI : Quantification des transports longitudinaux	66
Introduction	67
1. Quantification des débits solides.....	67
1.1. Quantification du débit solide par la formule de Kamphuis (1991)	67
1.2. Quantification du débit solide par la formule de CERC (1984)	68
2. Résultats et discussions	69
Conclusion.....	70
Conclusion générale	71
Bibliographie	74
Annexes	81

Listes des figures et tableaux

Liste des figures

Figure I.1 : Ensablement du port, A et B : au niveau de la passe d'entrée (2011). C : le long de la jetée principale (LEM, 2009)	4
Figure I.2 : Situation géographique de la zone d'étude (DMATC, 1972)	5
Figure I.3 : Géologie régionale de cap Djinet (Flandrin, 1952).....	6
Figure I.4 : Rose annuelles des vents au large des côtes algériennes (données relatives) (USSMO, 1974)	9
Figure I.5 : Plan de masse du port de cap Djinet (Google Earth digitalisée, 2009).....	11
Figure II.1: Carte bathymétrique de la zone d'étude basée sur les levés topo-bathymétrique effectués par le LEM en Mars 2009.....	15
Figure II.2: Représentation de la zone, en 3D, après amplification de la profondeur par un facteur de 30.....	16
Figure II.3: Représentation des profils bathymétriques.....	17
Figure II.4: Profils (1, 3, 6, 9 et 15) bathymétriques de la zone. Un profil représentatif pour chaque groupe.....	19
Figure II.5: Un exemple d'observation des profils sur SMS et l'extraction des données de dimensions et de variation en fonction du temps	20
Figure II.6: Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Août 2008 et Mars 2009.....	21
Figure II.7: Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Août 2008 et Mars 2009) avec l'évolution diachronique correspondante au niveau du profil 6.....	22
Figure II.8: Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Mars 2009 et Août 2009	23
Figure II.9: Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Mars 2009 et Août 2009) avec l'évolution diachronique correspondante au niveau du profil 6.....	23
Figure II.10: Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Août 2008 et Août 2009	24
Figure II.11: Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Août 2008 et Août 2009) avec l'évolution diachronique correspondante au niveau du profil 6.....	25
Figure III.1: Effet de l'ajout des points sur la création du trait de côte. La carte des données brutes, présentant la discontinuité du trait de côte, en haut et celle des données modifiées en bas	29
Figure III.2: Représentation des profils.....	33
Figure III.3: Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Ouest ($H_s = 2.67$ m et $T_p = 8$ s).....	34
Figure III.4: Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord-ouest ($H_s = 2.64$ m et $T_p = 8$ s)	35
Figure III.5: Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord ($H_s = 2.67$ m et $T_p = 8$ s)	36

Figure III.6 : Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord-est ($H_s = 2.56$ m et $T_p = 8$ s)	37
Figure III.7: Variation cross-shore des hauteurs significatives (H_s) en fonction de la profondeur	38
Figure III.8: Propagation potentielle des vagues du secteur Nord-ouest (H_s amplifié par un facteur de 10)	39
Figure III.9: Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Ouest	40
Figure III.10: Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord-ouest.....	41
Figure III.11 : Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord.....	42
Figure III.12: Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord-est.....	43
Figure IV.1: Courbes cumulatives des échantillons prélevées en Mars 2009	47
Figure IV.2: Courbes cumulatives des échantillons prélevées en Août 2009.....	48
Figure IV.3: Distribution des indices granulométriques.....	52
Figure V.1: Répartition des stations interpolées	58
Figure V.2: Carte des vecteurs résiduels obtenus à l'aide du logiciel GSTA pour la période hivernale (Mars 2009)	60
Figure V.3: Carte des vecteurs résiduels obtenus à l'aide du logiciel GSTA pour la période estivale (Août 2009)	61
Figure V.4: Transport sédimentaire potentiel pour les différentes directions de la houle	64

Liste des tableaux

Tableau I.1: Débits et apports moyens annuels d'oued Sébaou (ANRH, 1999 ; 2007)	7
Tableau I.2: Débits et apports moyens annuels d'oued Isser (ANRH, 1997-2001)	8
Tableau I.3: Fréquences mensuelles des houles au large par direction (USSMO, 1963-1970) .	10
Tableau I.4: Superficies des sous bassins du port de cap Djinet	11
Tableau III.1: Les valeurs des paramètres et les options utilisées pour chaque direction de vagues simulées	32
Tableau IV.1: Résultats de calcul des paramètres granulométriques (Mars 2009)	50
Tableau IV.2: Résultats de calcul des paramètres granulométriques (Août 2009).....	50
Tableau V.1: Relations entre les paramètres granulométriques (en unité de phi) de deux stations A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+.....	56
Tableau V.2: Résultats de l'interpolation des paramètres granulométriques (Mars 2009).....	58
Tableau V.3: Résultats de l'interpolation des paramètres granulométriques (Août 2009).....	59
Tableau VI.1: Pente moyenne et orientation des isobathes dans les régions Est et Ouest du cap Djinet.....	67
Tableau VI.2: Transport potentiels total selon chaque direction de la houle	69
Tableau VI.3: Transit littoral total et brut selon la formule de CERC (1984) et Kamphuis (1991)	69

Listes des symboles et abréviations

Liste des symboles

D_{50}	Diamètre moyen des sédiments
H_s	Hauteur significative
T_p	Période de pic
d_b	Profondeur d'eau au déferlement
ρ_s	Masse volumique du sédiment
ρ_w	Masse volumique de l'eau
ω_s	Vitesse de chute du sédiment.
D	Diamètre moyen du grain
D^*	Diamètre adimensionnel
F	Pente de la plage
H_b	Hauteur de la houle au déferlement
h_{max}	Profondeur maximale
h_{min}	Profondeur minimale
K	Paramètre empirique (0,12)
Lo	Longueur d'onde de la houle au large
Mz	Taille moyenne des sédiments
n	Nombre de vecteurs tendances
n	Facteur de porosité (0,4)
Q	Transport longitudinal
R	Vecteur résultant
$r(x, y)$	Vecteur tendance
S	Débit solide
Sk	Indice de symétrie de la distribution
So	Indice de tri
T	Période
T_{min}	Période minimale
T_p	Période pique de la houle.
U	Vitesse moyenne du courant
$U_{cr.}$	Vitesse de cisaillement critique
α	Angle d'incidence des houles au déferlement
θ_{cr}	Paramètre de mobilité de la particule adimensionnelle
ρ	Densité de l'eau de mer
ρ_s	Densité du sable
τ_{cr}	Tension de cisaillement
Ω	Nombre de Dean
g	Accélération de la gravité
s	Densité relative
ν	Viscosité cinématique de l'eau

Listes des symboles et abréviations

Liste des abréviations

ANRH:	Agence Nationale des R essources H ydrologiques.
ASTM:	A merican S ociety of T esting and M aterials
CEM:	C oastal E ngineering M anuel.
CERC	C oastal E ngineering R esearch C enter
GSTA:	G rain S ize T rend A nalysis.
LEM:	L aboratoire des E tudes M aritimes.
SMS:	S urface-water M odeling S ystem.
TMA:	Le spectre (T EXEL, M ARSEN, A RSLOE).
USSMO:	U S N aval W eather S ervice C ommand.
WSE:	W ater S urface E levation.

Introduction

Introduction :

Durant la construction du port de pêche et de plaisance de cap Djinet un important phénomène d'ensablement est observé, gênant la poursuite des travaux. Après sa réalisation l'ouvrage se trouve avec d'énormes quantités de sable accumulées au niveau de la passe d'entrée bloquant ainsi la circulation des bateaux.

Vu la complexité des processus côtiers qui agissent avec intensités différentes sur la zone d'implantation du port, une étude de l'évolution morphodynamique s'impose. Cette étude consiste à relier les forçages hydrodynamiques, les processus du transport sédimentaire et le développement morphologique à toutes les échelles de temps (Wright et Thom, 1977). Ainsi cette définition schématise bien la démarche qu'on va suivre, en utilisant les données issues du Laboratoire des Etudes Maritimes (LEM) afin de comprendre et diagnostiquer le problème de l'ensablement et contribuer pour trouver des solutions.

Dans ce présent travail, des généralités sur la zone d'étude sont brièvement traitées dans le premier chapitre. Le deuxième chapitre aborde l'étude bathymétrique où on a traité la morphologie sous-marine et son évolution diachronique. Le troisième chapitre porte sur l'étude de l'interaction des forçages hydrodynamiques avec la morphologie sous-marine à l'aide du modèle numérique « Bouss2D ». Le quatrième chapitre est consacré pour l'étude granulométrique suivie par une évaluation des tendances du transport sédimentaire par le modèle de « Gao » et « Collins » et une étude des potentiels des courants moyens modélisés à mobiliser les sédiments dans le cinquième chapitre. Le dernier chapitre consiste à l'estimation des quantités des sédiments transportés le long de la côte. Enfin, en conclusion générale, quelques recommandations et perspectives.

Chapitre I :

Généralités

I. Généralités :

Introduction :

Selon Leclair (1972), le cap Djinet est le seul exemple en Algérie où l'on voit une importante frange sablonneuse ourlée le pied d'un massif (Djinet), formant un saillant du littoral. L'implantation du port de cap Djinet dans cette zone où les transports sédimentaires sont très intenses, dans les différentes directions, a laissé l'optimisation de l'orientation de la passe d'entrée du port sans efficacité face à la pénétration des sédiments. Les processus engendrant l'ensablement qui bloque la circulation des bateaux au niveau de la passe d'entrée (figure I.1) agissent dans une zone beaucoup plus étendue que le site cap Djinet. Un passage sur la situation générale de cette zone en déterminant sa nature, les sources des sédiments et les processus responsables de leur transport, contribue à une meilleure analyse du problème.



Figure I.1 : Ensablement du port. A et B : au niveau de la passe d'entrée (2011), C : le long de la jetée principale (LEM, 2009).

1. Cadre géographique :

Cap Djinet, daïra de Bordj-Menaïl, Wilaya de Boumerdés, est situé à 80 Km à l'Est d'Alger, orienté Est-Ouest. Limité au Nord par la méditerranée, offrant ainsi une large bordure littorale entre les Oueds Isser à l'Ouest et Sébaou à l'Est.

Ce site est caractérisé par un relief peu montagneux dont les versants sont très abrupts (45°) et des terrains en pentes légères de $1/15$ à $1/20$ vers la mer.

La zone d'étude (figure I.2) se limite par les oueds, Sébaou à l'Est et Isser à l'ouest, comprise entre la longitude 3°51'21''E et 3°40'04'' E.

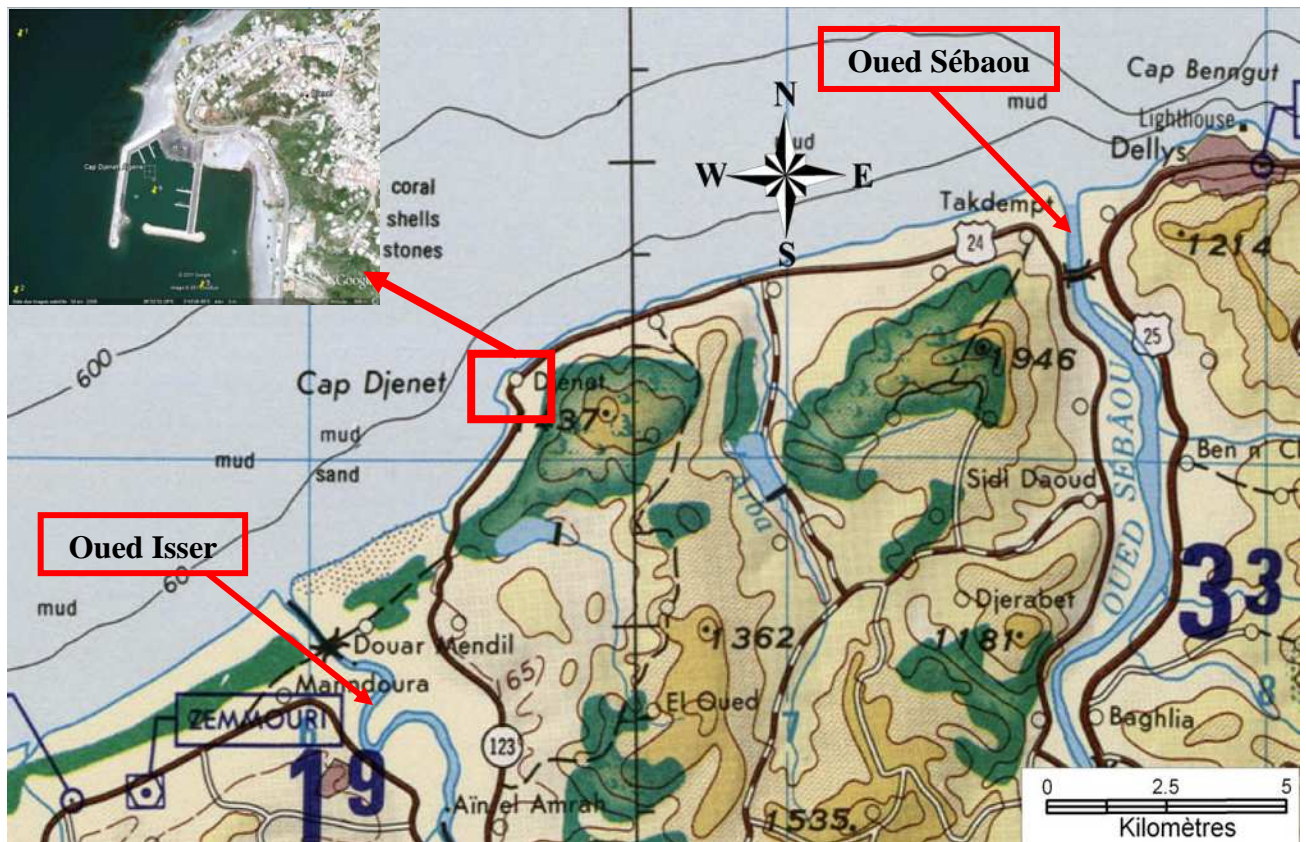


Figure I.2 : Situation géographique de la zone d'étude (DMATC, 1972).

2. Cadre géologique et stratigraphique :

La connaissance des structures de notre zone est désormais nécessaire pour comprendre la consistance de la structure superficielle aux phénomènes d'érosions et d'altérations contrôlant d'une manière ou d'une autre les quantités sédimentaires rejetées en mer.

2.1. La géologie :

La structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de formations plutoniques, métamorphiques et sédimentologiques (figure I. 3).

Les facies plutoniques : affleurent dans les parties élevées de la région (Est de Bordj Menail) ce sont les dykes de granites (roches filoniennes à macro cristaux varies), apparaissent en de petites surfaces dans la région de Thenia formant ainsi les principaux sommets du Djebel Bou-Arous.

Les facies métamorphiques (schistes et phyllades) : les premiers sont composés à la base, de micaschistes à biotite de teinte verte et des schistes à deux micas. Au sommet les roches sont composées de séricitoschistes quartzeux. Ces formations affleurent sur le mont Bou-Arous et

dans la région Est de Bordj-Menaïl. Les secondes correspondent aux schistes satinés gris foncés à quartz, chlorite et séricite affleurent dans le secteur Sud du mont Bou-Arous.

Les facies sédimentaires : représentés par des successions flyschoides de grés micacés et marnes datés successivement de l'Helvétien puis de l'Oligocène ou de l'Aquitaniien (Belkessa, 1991).

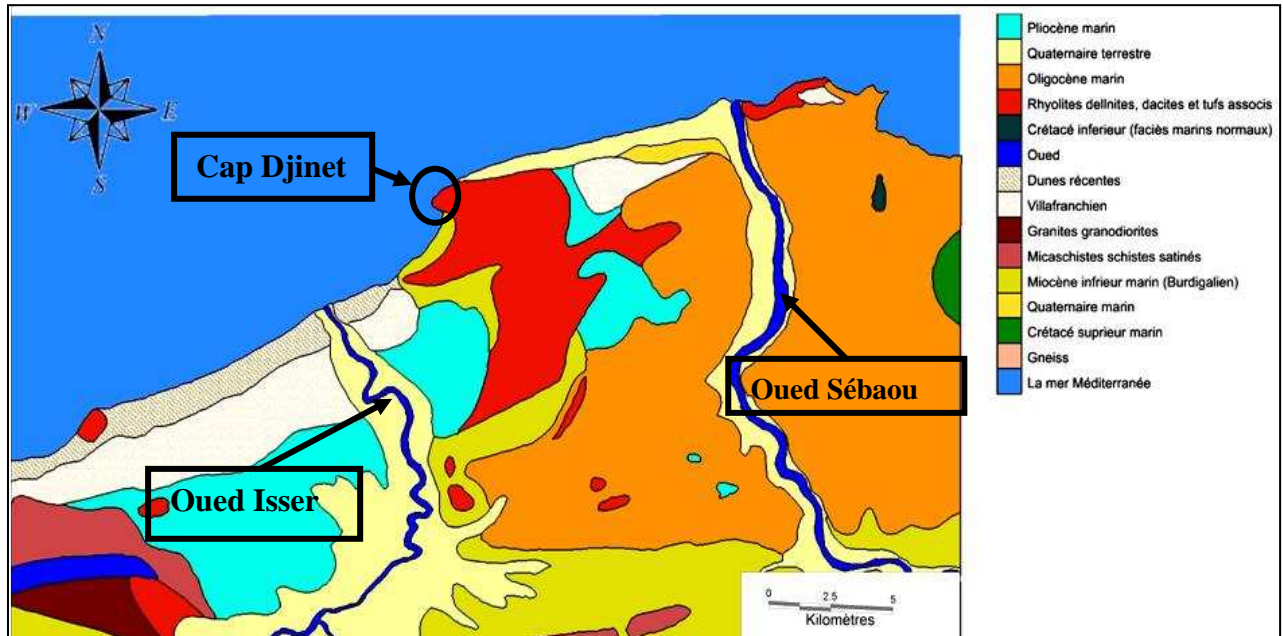


Figure I.3 : Géologie régionale de cap Djinet (Flandrin, 1952).

2.2. La stratigraphie :

Quaternaire : recouvrant la majeure partie de la zone d'étude, il constitue les dépôts de la plaine alluviale de l'oued Isser, ainsi qu'une grande partie des versants de deux rives, alors que les dépôts marins anciens se limitent à la partie Nord.

Crétacé : constitué d'argilites grises ou beiges avec des intrusions de calcaire. Ces terrains affleurent à 5 km au Nord de Bordj-menaïl.

Pliocène marin : caractérisé par des formations sablo-argileuses au niveau des rives de l'oued Isser et argilo-marneuses dans la zone sublittorale.

Miocène : constitué de granite, granodiorite et l'andésite dont quelques pointements sont visibles dans les reliefs de Thénia et du cap Djinet.

Oligocène marin : couvre une grande partie du versant de l'oued Sébaou près de l'embouchure et s'étalant le long des côtes Est du Dellys, constitué essentiellement des schistes, de grés et de sables argileux.

3. Apports fluviatiles :

Afin de comprendre les processus affectant un linéaire côtier, il est nécessaire de quantifier les apports sédimentaires, leurs origines et les lieux de dépôts de ces stocks.

Les principaux apports alimentant cap Djinet ont pour origine :

- L'oued Sébaou à l'Est
- L'oued Isser à l'Ouest

3.1. Oued Sébaou :

Bassin versant :

Le bassin versant d'oued Sébaou occupe la partie centrale de la Kabylie, présente une superficie de 393982 ha répartie en 9 sous bassins versants. Ce oued draine les eaux pluviales vers la mer sur une longueur qui peut atteindre 97 km.

Débits liquides et apports solides :

Nous disposant d'une série de mesures relevées par le service de l'**A.N.R.H** (l'Agence Nationale des Ressources Hydrologiques) à la station de Fréha, les valeurs des débits et des apports annuels les plus significatifs sont reportés dans le (tableau I.1).

Tableau I.1 : Débits et apports moyens annuels d'oued Sébaou (ANRH, 1999 ; 2007) :

Année	Débit liquide (m ³ /s)	Apport solide (hm ³ /an)
1999	4.53	157.23785
2007	31.0128986	321.378776

Le débit moyen annuel d'oued Sébaou est de 17 m³/s ; les apports solides annuels sont évalués à 239 hm³/an, sachant que les débits solides sont estimés à partir des débits liquides et des teneurs en suspension. Selon certains auteurs le transport par charriage est estimé à environ 25% du transport par suspension (Larfi et Remini, 2006), ce qui donne un transport solide total d'environ 298 hm³/an, ainsi, compte tenue de la distance qui sépare le lieu de mesure (Fréha) et l'embouchure, on estime que les apports qui arrivent en mer sont sous estimés.

Une étude du laboratoire d'hydraulique de Delft sur l'oued Sébaou, montre que sur les 400 000 m³ de sédiments rejetés par cet oued, 50% sont dirigés vers l'Est et sont en grande partie repris dans la vallée sous-marine de la Sébaou. Les 50% restants sont dirigés vers l'Ouest (cap Djinet) (Belkessa, 1991).

3.2. Oued Isser :

Bassin versant :

Il occupe une superficie de 3615 km², de type montagneux, se trouve à une altitude moyenne de 750 m et présente une forme allongée sur l'axe Sud-ouest (Ain Boucif/Beni Slimane) à Nord-est (mer Méditerranée) (Larfi et Remini, 2006).

Il est formé en majeure partie de roches tendres vulnérables aux fortes crues et à l'érosion : marnes et argiles. Il se caractérise par un couvert végétal peu dense localisé au centre et représente 20% de la superficie totale (Larfi et Remini, 2006).

Débits liquides et apports solides :

Les données utilisées proviennent de la station hydrologique de Lakhdaria située dans le moyen Isser contrôlant 3115 m² soit 86% du bassin versant. Les valeurs des débits et des apports annuels collectés entre 1997 et 2001, selon la source (ANRH, 1997-2001), sont reportées dans le tableau I.2:

Tableau I.2 : Débits et apports moyens annuels de l'oued Isser (ANRH, 1997-2001) :

Année	Débit liquide (m ³ /s)	Débit solide (hm ³)
1997	40.77	4753.60634
1998	33.55	1571.41365
1999	18.20	1051.24173
2000	104.39	5734.3393
2001	19.12	1949.86995

Les caractéristiques principales de l'écoulement de l'oued Isser pour ces 5 ans sont :

- Débit liquide moyen 43.20 m³/s
- Apport solide moyen 3012 hm³

L'évaluation du transport solide par charriage a été faite par Larfi et Remini (2006), les résultats obtenus ont montré que, le charriage est estimé à 30% en moyenne de la suspension, ce qui donne un apport solide total d'environ 3915 hm³/an.

4. Facteurs hydrodynamiques :

Le régime sédimentologique qui concerne les mouvements des sédiments, est défini comme étant la résultante des actions des divers facteurs hydrodynamiques (vents, vagues, houles et courants) sur les matériaux (meubles ou consolidés) de la côte et des fonds.

4.1. Régime des vents :

C'est le générateur principal de vagues et de courants superficiels agissant sur les transferts sédimentaires de façon directe sur la partie aérienne et par différents agents hydrodynamiques sur la partie immergée (Moulin, 1978).

Les résultats des observations des vents, effectuées au large des côtes algériennes par l'USSMO (1974), sont représentés sous forme d'une rose de vent (figure I.4).

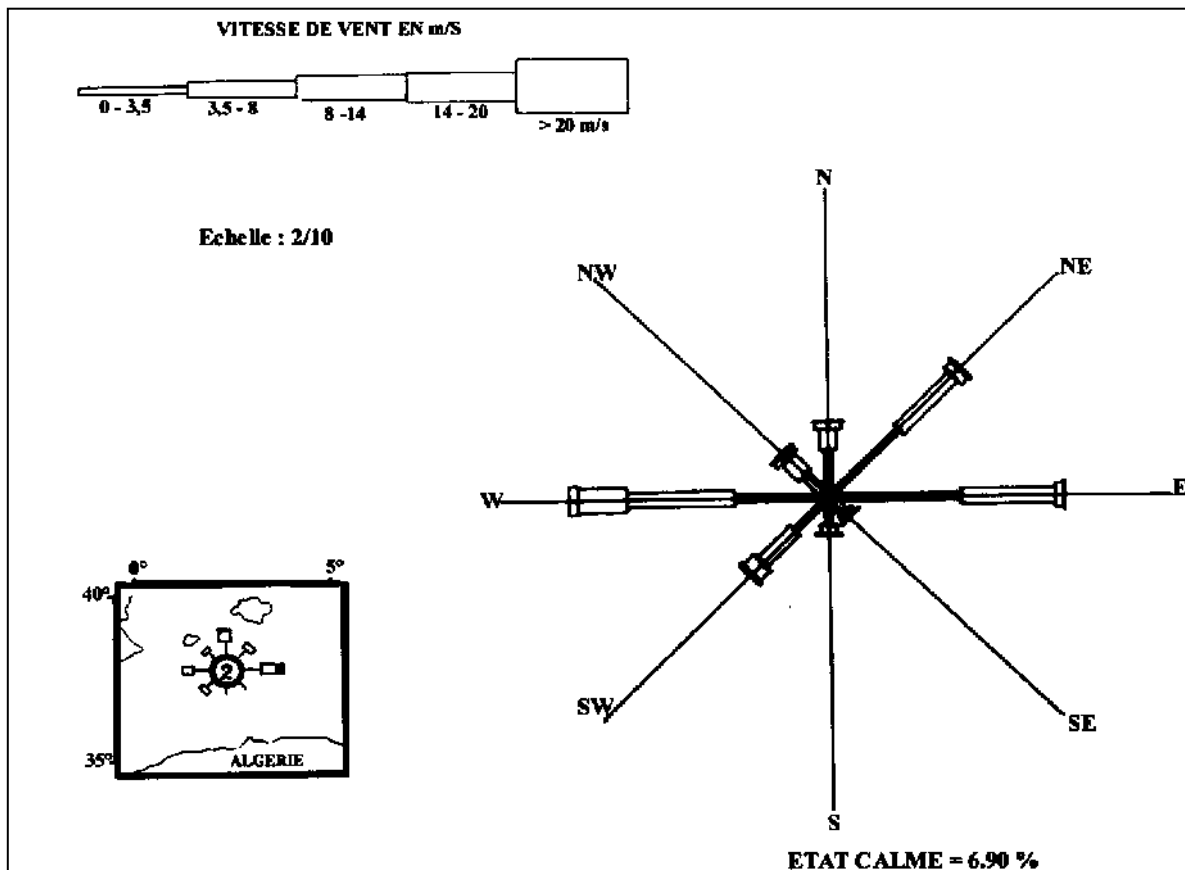


Figure I.4 : Rose annuelles des vents au large des côtes algériennes (données relatives) (USSMO, 1974).

La rose annuelle fait apparaître trois directions essentielles des vents dominants, Ouest, Est et Nord-est avec des fréquences d'apparition respectives de 21.9%, 18.9%, 16.18%. Ils ont une intensité comprise entre 2,5 et 8 m/s. En revanche, lors des tempêtes, les vents d'Ouest peuvent atteindre une vitesse de 20 m/s.

4.2. Régime des houles :

La houle est un agent fondamental des transports sédimentaires, d'une part, elles peuvent provoquer une remise en suspension et un déplacement des matériaux déposés sur les fonds, et d'autre part, elles engendrent lorsqu'elles sont obliques au rivage, un courant de dérive qui transporte des matériaux.

L'analyse de la houle au large, des côtes algériennes située en longitude Est entre 2° et 5° et en latitude Nord entre 36° 50' et 38° est basée sur des observations (tableau I.3) (données relatives) faites par le (USSMO), s'étalant sur une période de 8 ans de 1963 à 1970 regroupant 45000 observations (données relatives).

Tableau I.3 : Fréquences mensuelles des houles au large par direction (données relatives) (USSMO, 1963-1970)

Direction Période	Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord- Ouest
Janvier	8.10	12.90	18.20	5.00	6.50	13.20	28.80	7.30
Février	8.80	13.30	12.60	4.00	6.00	16.90	35.60	5.80
Mars	11.30	12.60	15.80	3.60	4.50	13.30	30.50	9.20
Avril	11.70	15.30	16.00	2.00	4.40	13.70	26.60	10.20
Mai	8.40	26.30	31.90	3.00	3.30	17.20	13.90	6.20
Juin	9.20	29.10	29.80	1.80	1.40	18.20	16.30	2.00
Juillet	5.90	32.50	35.10	1.40	0.90	5.90	16.20	2.00
Août	8.90	27.70	37.40	1.90	1.10	5.00	13.40	4.90
Septembre	6.70	26.40	40.50	2.20	2.30	4.50	14.80	2.50
Octobre	7.80	14.10	20.30	3.20	4.30	14.80	28.80	6.90
Novembre	5.40	5.70	10.00	5.10	8.00	15.90	40.40	9.40
Décembre	10.20	6.20	9.30	4.60	7.40	15.00	37.10	1.00
Total	8.53	18.51	23.08	3.15	4.18	12.80	25.20	5.62

A travers la lecture de ces données, nous notons que les houles les plus fréquentes sont de secteur Ouest, Est et Nord-est avec des fréquences d'apparitions respectives de 25,20% 23,08% et 18,51%. En période hivernale, les houles d'Ouest prédominent, par contre, en période estivale, ce sont les houles d'Est et Nord-est qui sont les plus dominantes.

5. Approche globale sur le port :

Présentation :

Le port de pêche et de plaisance de cap Djinet a été implanté en 2008 dans la partie orientale du cap, sa position géographique est de 36°43'29'' N et 3°43'2'' E.

Configuration :

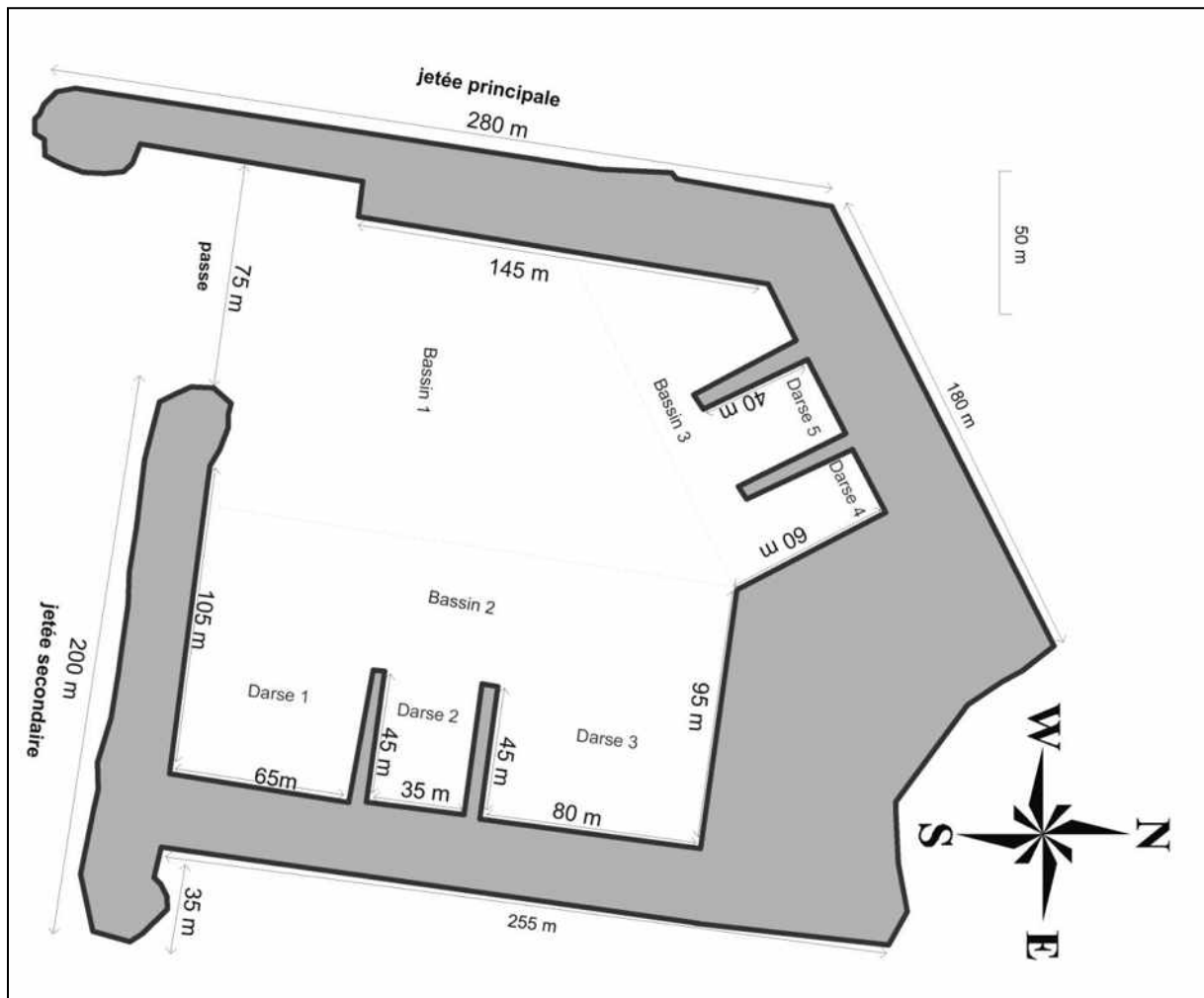
Le port est semi fermé, d'une superficie de 39,6 10³ m², il comprend (figure I.5) :

- Un plan de masse, répartie en 5 darses dont le contact avec le large se fait par la passe d'entrée, d'une largeur de 75 m du côté Sud.
- Un plan d'eau, subdivisé en 3 bassins, permettent l'accostage et l'amarrage des bateaux, leurs surfaces, mesurées à partir de Google Earth (Avril 2009), sont réparties comme suit :

Tableau I.4 : Superficies des sous bassins du port de cap Djinet :

Bassins	Superficie (m ²)
Bassin 1	16 147
Bassin 2	16 865
Bassin 3	6 618

- Quatre appontements fixes de 45 m, assurent une occupation équilibrée du plan d'eau suivant le nombre d'embarcation et le tirant d'eau.

**Figure I.5 :** Plan de masse du port de cap Djinet (Google Earth digitalisée, 2009).**Conclusion :**

La composition géologique des bassins versants des oueds Isser et Sébaou caractérise la nature sédimentologique des apports solides charriés vers la mer. Une fois arrivés en mer, les houles les plus dominantes d'Ouest et d'Est interviennent pour modeler et redistribuer ces sédiments le long de la côte.

Chapitre II :
Etude bathymétrique

II. Etude bathymétrique :

Introduction :

L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution du problème d'ensablement des ports. Des informations si importantes, à l'échelle spatio-temporelle, peuvent être extraites à partir d'une carte bathymétrique et d'un suivi diachronique de la morphologie sous-marine. Une vue générale sur la morphologie peut nous renseigner sur la typologie de la plage, les parcours des courants potentiels... etc. La présence des méga-barres sous-marines, parallèles à la côte, dans la région de cap Djinet (Belkessa, 1991) dont la migration cross-shore peut atteindre le port, nous a poussés à faire un suivi des profils à partir des trois levés bathymétriques. La cartographie des zones d'érosion et d'accrétion et le cubage des sédiments sont des documents très importants qui nous seront de grande utilité.

En plus de ces études, la carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières. L'étude topo-bathymétrique peut aussi nous être utile dans la sélection de l'emplacement et du type de la structure pour se protéger contre la dérive littorale, en utilisant, par exemple, les affleurements et les récifs rocheux.

1. Présentation de l'interface graphique SMS¹ (Surface-water Modeling System) :

Dans ce chapitre et ceux qui suivent, on s'est servi de l'interface graphique « SMS » ou « Surface-water Modeling System » pour l'analyse, le traitement et l'affichage des données.

Le logiciel SMS utilisé dans le présent travail est un environnement complet pour les modèles à une ou deux dimensions, utilisés pour les eaux de surface. Ils couvrent une large gamme d'applications incluant l'analyse de l'écoulement des rivières, des inondations rurales et urbaines, des estuaires, et la modélisation de l'hydrodynamisme, du transport sédimentaire, changement morphologique et la variation du trait de côte. Il peut simuler des milieux de grandes superficies et même de géométries complexes (lagunes, lacs, rivières...etc.). Il admet un nombre de mailles presque illimité (jusqu'à des centaines de milliers d'éléments) (Dhouib, 2010), mais il faut prendre en compte le temps de calcul et la puissance de l'ordinateur utilisé. Dans la présente étude, nous nous sommes servis de la version SMS10.0.1 qui dispose de plusieurs modules. Chacun est conçu pour réaliser une tâche bien déterminée. Il comporte un post-processeur qui permet une représentation graphique des résultats (maillage, champ de vitesses, profils, lignes d'iso-valeurs, animations...etc.)

2. La morphologie de la plage:

La première information qu'on peut extraire de la carte bathymétrique (figure II.1) est l'existence de barres sous-marines. Une première qui longe toute la partie Nord-est de la carte y compris la jetée principale du port (barre Nord-est) et une autre au Sud-ouest (barre Sud-ouest) qui semble être une continuité de la barre Nord-est mais change d'orientation au niveau du profil 3 (figure II.3) pour se diriger vers la jetée secondaire du port. Ces formations sont bien visibles en 3D dans la figure II.2.

¹: Une présentation plus détaillée est disponible sur le lien suivant: <http://www.aquaveo.com>.

2.1. Typologie de la plage :

La morphologie des plages est généralement contrôlée par le climat des vagues et les caractéristiques sédimentaires. On se basant sur ces paramètres, Wright et Short (1984) ont établi une classification de différents profils de plage transversaux observés pour des conditions de vagues données. Ces conditions de vagues incidentes sont caractérisées par Ω le nombre de Dean définit comme :

$$\Omega = \frac{H_s}{T_p \omega_s} \quad (\text{II.1})$$

où H_s et T_p sont les hauteurs et périodes caractéristiques des conditions de vagues et ω_s la vitesse de chute du sédiment.

$\Omega \leq 1$ caractérise des plages réfléchives avec un haut de plage raide où les vagues sont fortement réfléchies (zone de déferlement restreinte), alors que $\Omega \geq 5$ représente des plages dissipatives de pente douce dissipant les vagues sur une grande partie de la plage (longue zone de déferlement). Le domaine intermédiaire compris entre 1 et 5 présente une variété de plages barrées et en forme de terrasses (Grasso, 2009).

On a trouvé $\Omega = 2.16$ pour : $H_s = 2.6 \text{ m}$, $T_p = 8 \text{ s}$ et $\omega_s = 0.15 \text{ m/s}$ estimée à l'aide de la formule de Soulsby (1997) in (Le Hir, 2008) :

$$\omega_s = \frac{v}{D_{50}} [(10.36^2 + 1.049D_*^3)^{0.5} - 10.36] \quad (\text{II.2})$$

Où D_* est le diamètre sédimentologique défini par:

$$D_* = D_{50} \left(\frac{g(s-1)}{v^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (\text{II.3})$$

avec g l'accélération de la gravité, $s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ où ρ_w est la masse volumique de l'eau, ρ_s est la masse volumique du sédiment et v la viscosité cinématique de l'eau et $D_{50} = 0.96 \text{ mm}$ est le diamètre moyen des sédiments (chapitre IV).

Ce paramètre nous confirme que la plage est de type barré. Pour mieux la classifier il faut faire une étude plus approfondie sur une échelle spatiotemporelle plus large. Un passage sur la dynamique de ces barres nous semble très utile pour le diagnostique du problème de l'ensablement du port.

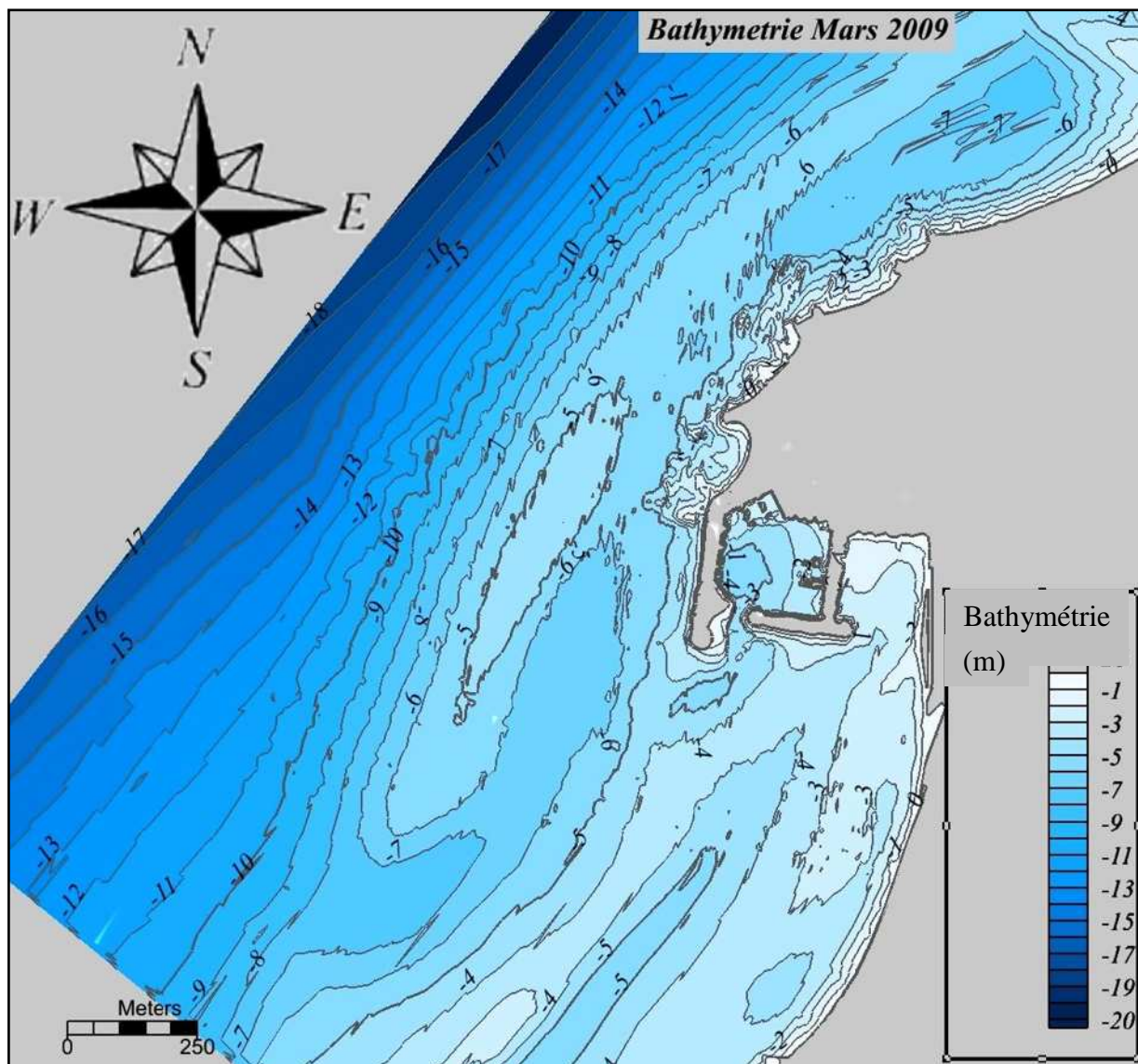


Figure II.1 : Carte bathymétrique de la zone d'étude basée sur les levés topo-bathymétriques effectués par le LEM en Mars (2009).

Les barres sableuses sont un trait caractéristique de la morphologie des plages. Elles ont une très forte influence sur la dynamique du trait de côte (Quartel et *al.*, 2008) dont la position ne dépend que de la morphologie sous-marine (à l'exception de la variation du niveau de la mer). Le transport cross-shore dû aux vagues et les flux transversaux induits par le vent sont largement responsables de l'existence de barres sous-marines et d'autre changement des profils des plages. Ces changements peuvent être lents, dans l'ordre des années, comme ils peuvent surgir rapidement durant les tempêtes avec une échelle de temps très courte, dans l'ordre des heures (Dean et Dalrymple, 2004). Il est communément admis que ces barres sédimentaires migrent lentement vers le bord tout en développant des structures de plus en plus tridimensionnelles, pendant les épisodes de temps calme jusqu'à se connecter avec le haut de plage (Wright et Short, 1984). De même, pendant les épisodes énergétiques, les barres peuvent migrer vers le large rapidement. Cette migration est associée à une disparition des structures tridimensionnelles et une érosion du haut de plage (Wright et Short, 1984).

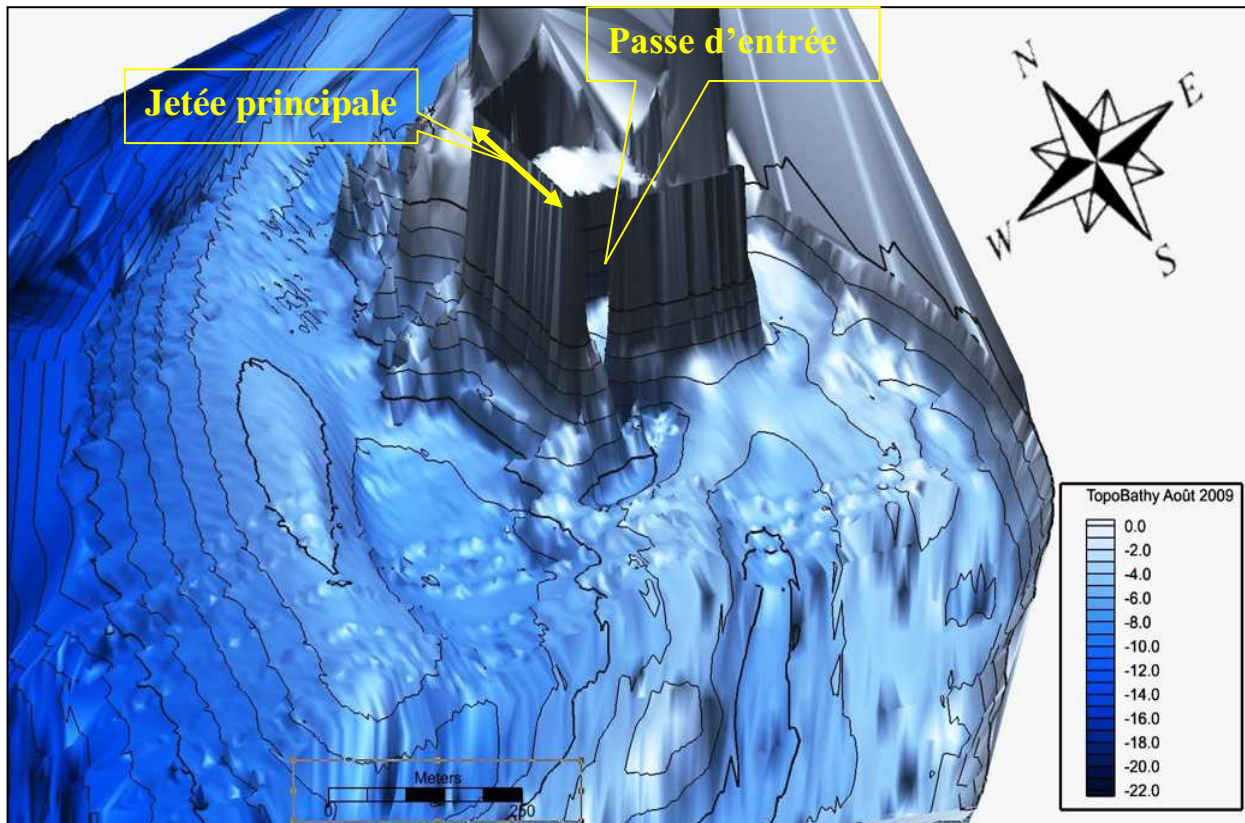


Figure II.2 : Représentation de la zone, en 3D, après amplification de la profondeur par un facteur de 30.

2.2. Analyse des profils bathymétriques :

Malgré le caractère tridimensionnel des plages (Castelle et *al.*, 2007), l'analyse bidimensionnelle des profils de plage transversaux est un point clé de la dynamique globale (Price et Ruessink, 2008). Notre objectif dans cette partie est d'analyser la morphologie des barres qui peuvent être une éventuelle cause de l'accrétion proche du trait de côte et de l'ensablement du port.

Quinze profils cross-shore (figure II.3) sont créés à partir des cartes bathymétriques à l'aide du module « Observation » présent sur SMS. Ces profils ne sont pas parallèles et le pas n'est pas respecté; le tracé de chacun est basé sur des observations sur les cartes en ciblant des morphologies spécifiques; l'origine choisie est le trait de côte de la carte topo-bathymétrique de Mars 2009. On a fait en sorte que chaque profil soit quasi-perpendiculaire aux isobathes pour mettre en évidence les dimensions des barres sous-marines. Des représentations graphiques des profondeurs (figure II.4 et Annexe B) en fonction de la distance cross-shore sont faites pour chacun des profils portant les données des trois cartes bathymétriques (Août 2008, Mars 2009 et Août 2009).

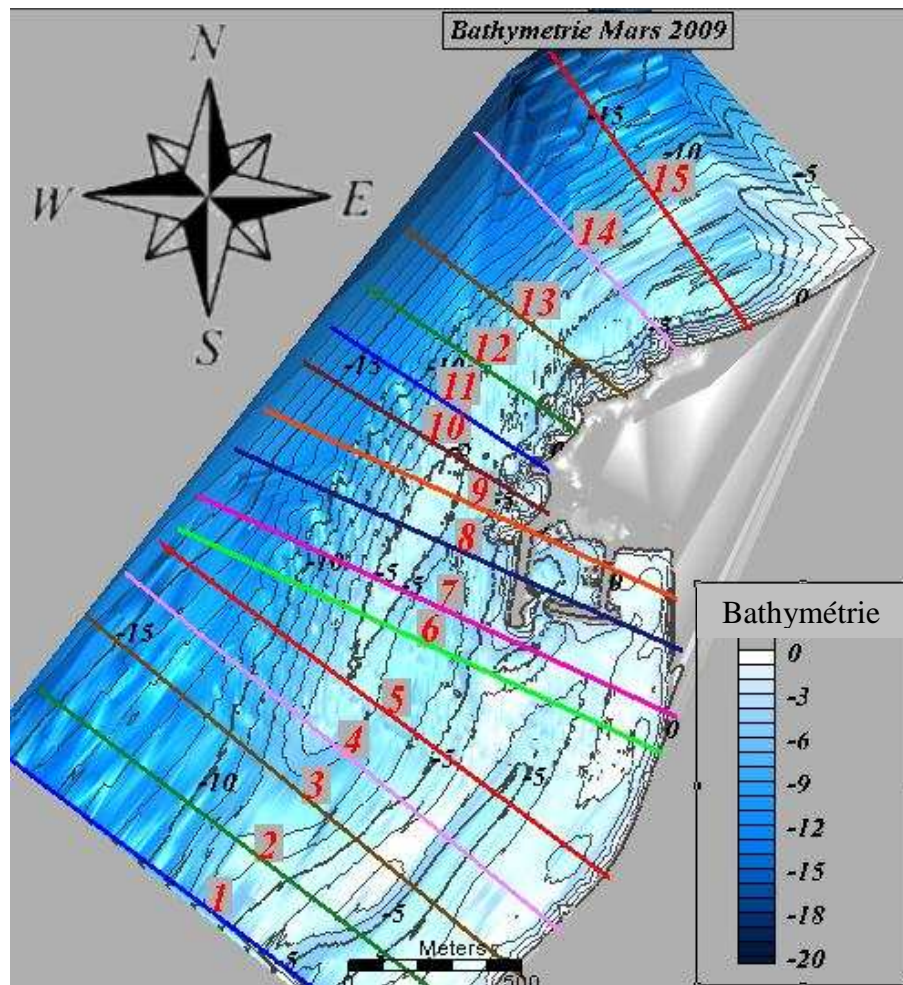
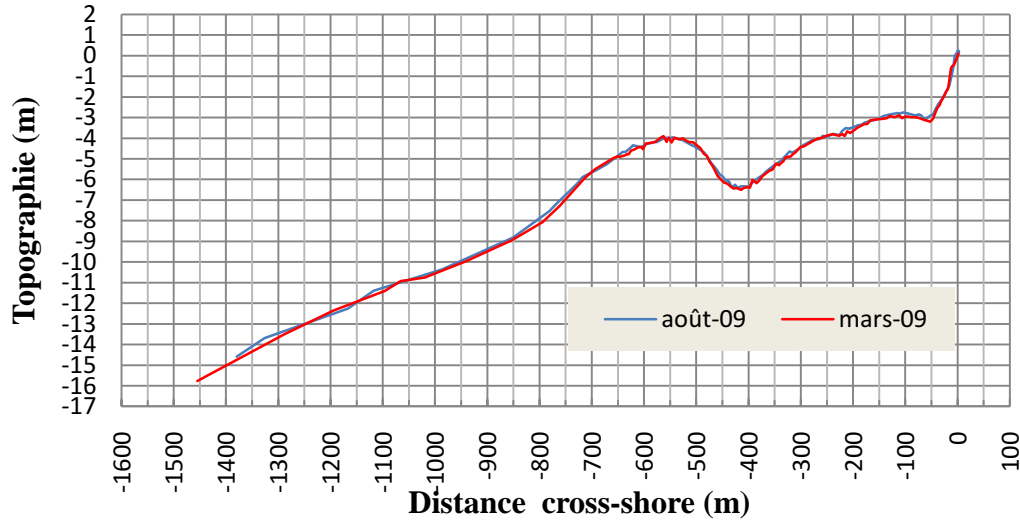


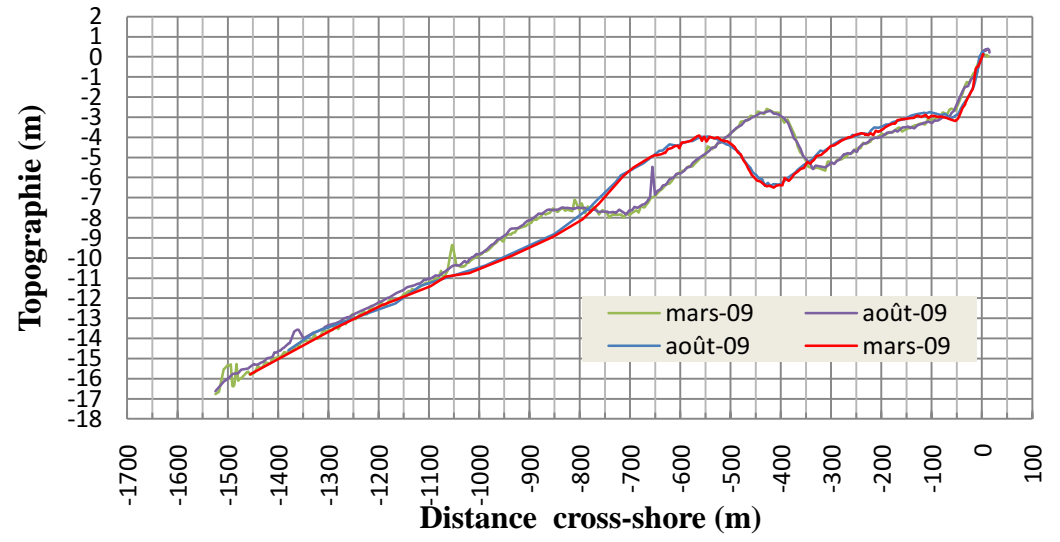
Figure II.3 : Représentation des profils bathymétriques.

Les profils de la zone (figures II.4) illustrent bien les variations transversales et longitudinales dans la morphologie générale de la plage sous-marine. Pour bien illustrer les variations tridimensionnelles, nous avons représenté les profils en groupes selon leurs ressemblances. Au point de vue général ces profils représentent la forme d'une plage à barre unique et discontinue, sauf au niveau de la zone Sud-ouest abritée par le port. La barre présente une asymétrie, une pente plus douce au large et plus raide vers la côte. La figure II.5 représente un exemple d'affichage et de traitement des données sur SMS.

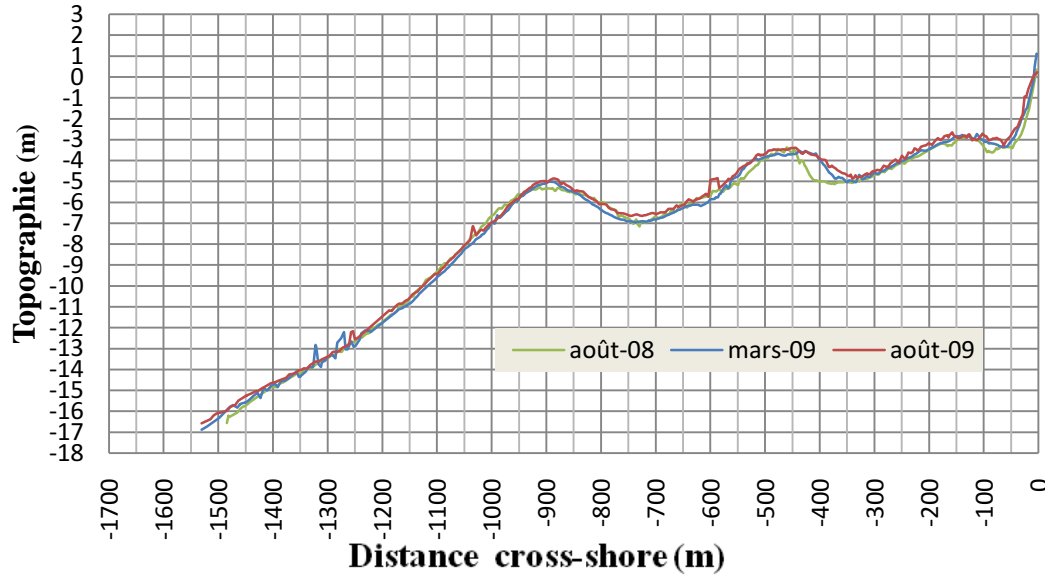
Profil 1



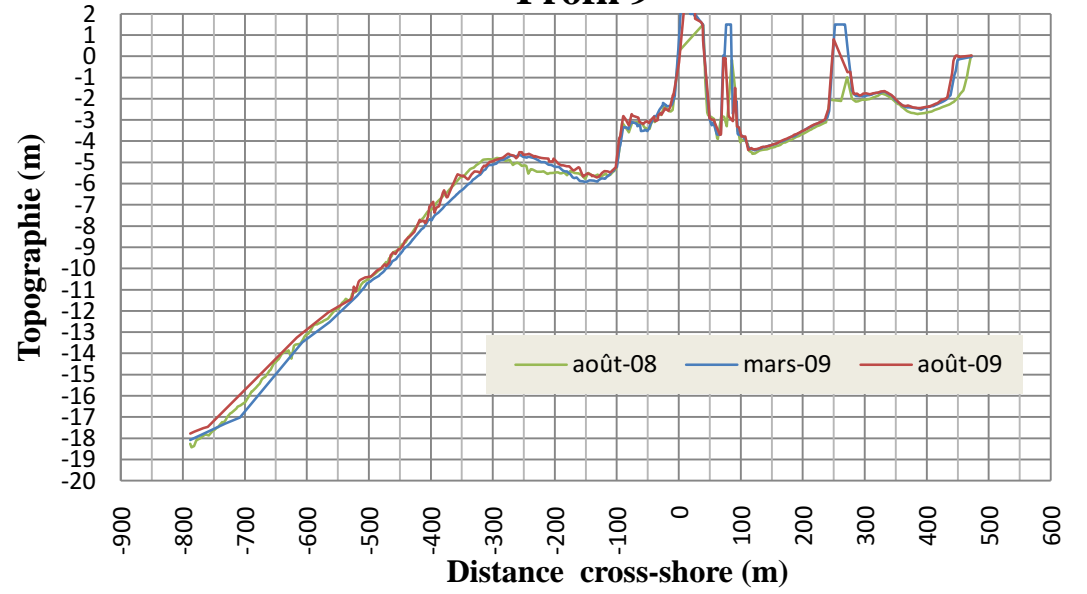
Profil 1



Profil 5



Profil 9



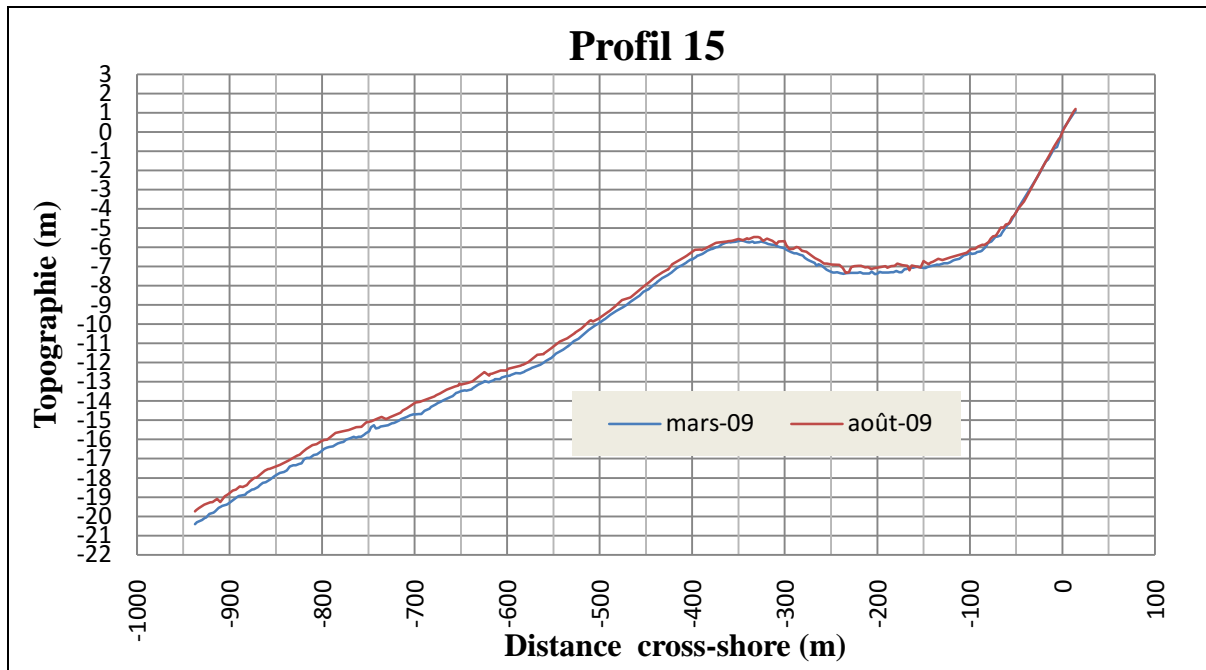


Figure II.4 : Profils (1, 3, 6, 9 et 15) bathymétriques de la zone. Un profil représentatif pour chaque groupe.

Les profils 1 et 2 : Caractérisés par la présence d'une barre éloignée du trait de côte d'environ 500 mètres et qui a les dimensions suivantes : La barre a 350 m de largeur et une hauteur moyenne de 2.5 m, la profondeur au niveau de la crête est d'environ 3 m. La pente du dos de la barre est au voisinage de 1.3%. La profondeur aux niveaux de la fosse entre la barre et le rivage est entre 5 à 6 m.

Le profil 3 : Ce profil a été créé dans le but de mettre en évidence la zone de rupture de la première barre longeant la jetée principale du port et la région Nord-est. C'est à son niveau que la barre Sud-ouest change d'orientation en direction de la jetée secondaire du port.

Les profils 4, 5, 6 et 7 : Le changement d'orientation de la barre Sud-ouest, la rapproche du rivage en position intermédiaire entre la barre Nord-est et le trait de côte. La figure II.2, après amplification de la profondeur par un facteur de 30, met en évidence la forme de la zone et le contact port-barre. Les dimensions de la barre Nord-est sont bien visibles sur ces profils. Sa largeur varie entre 200 et 250 m, la pente externe est 2.2 %, sa hauteur est de 2m et la profondeur moyenne au niveau de la crête varie entre 4.5 et 5.5 m. Dans la zone intermédiaire entre la barre externe (barre Ouest) et le trait de côte, les quatre profils enregistrent l'existence de deux à trois autres barres dont les hauteurs, les largeurs et les profondeurs au niveau des crêtes sont inférieures à celles des barres Nord-ouest et Nord-est. Cette morphologie particulière et ce caractère dissipatif sont, peut être, dus à la configuration géographique de la zone (abritée par le cap) et aussi à l'installation du port. Le saillant formé au sud-est de la jetée secondaire, qui est probablement le résultat de la migration de la barre vers la côte, peut être une réponse côtière à la structure portuaire.

Les profils 8 et 9 : Ces deux profils traversent le port. La barre Nord-est garde ses dimensions sauf sa pente qui devient un peu plus abrupte (2.7%). On remarque aussi une avancée sensible du trait de côte au niveau de la zone Sud abritée par le port (14 m entre Août 2008 et Août 2009). Ce qui peut être expliqué par le développement du saillant.

Les profils 10, 11, 12, 13, 14 et 15 : Ces profils ont presque la même forme. La barre est plus proche de la côte (300 m), sa pente est de l'ordre de 2.5 %. La profondeur au niveau de la crête est proche de 5 m et sa hauteur est de 1.5 m.

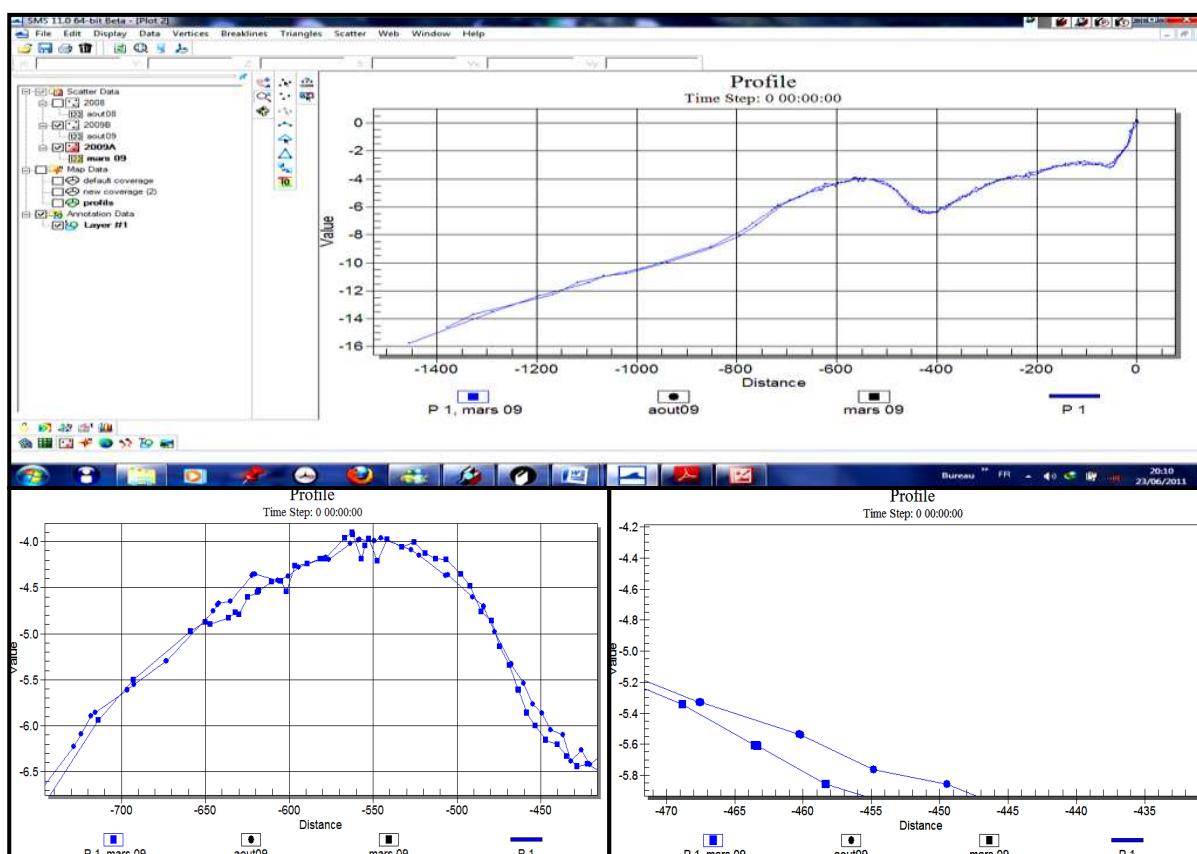


Figure II.5 : Un exemple d'observation des profils sur SMS et l'extraction des données de dimensions et de variation en fonction du temps.

3. Cartographie et évaluation des zones d'érosion et d'accrétion :

Grâce aux fonctions du « Scatter module » disponible sur SMS, on a pu cartographier l'évolution de la morphologie sous-marine entre les trois levés bathymétriques effectués par le LEM (Août 2008, Mars et Août 2009) (figures II. 6, 8 et 10). Ces levés permettent la représentation des évolutions hivernale, estivale et annuelle. La procédure suivie permet aussi le calcul des volumes du sable érodé et accrété, ainsi que le bilan entre l'érosion et l'accrétion dans la zone de calcul, à une résolution d'un mètre carré. Une analyse des profils où sont représentées les deux bathymétries avec la variation morphologique permet de mettre en évidence la dynamique de la barre sous-marine, d'une manière plus claire.

- **Entre Août 2008 et Mars 2009** (figure II.6):

Malgré le phénomène d'érosion qui caractérise ce type de plage pendant la période d'agitation (hivernale), l'accrétion domine sur l'érosion avec un bilan positif proche de 34194 m^3 ce qui

correspond à une couche de 3 cm de gain. Les zones où l'accrétion est très importante sont : La zone abritée par le port et le long du trait de côte de la plage Sud où des valeurs des 2 m sont enregistrées; Au niveau de la passe d'entrée où d'énormes quantités de sable, jusqu'à 5m d'épaisseur, s'adossent sur le musoir. On remarque aussi une accumulation, atteignant des valeurs de 70 cm, le long de la crête de la barre Nord-ouest. Des zones d'érosion sont perceptibles derrière la jetée principale, au niveau du dos et la fosse de la barre et aussi au Sud de la passe du port où des couches supérieures à 1m sont érodées.

Le profil dans la figure II.7 présente une succession transversale d'érosion-accrétion qui se superpose avec un déplacement du profil bathymétrique vers la côte au niveau de la barre sous-marine. Ce critère peut nous servir comme paramètre pour l'étude de la dynamique des barres sableuses.

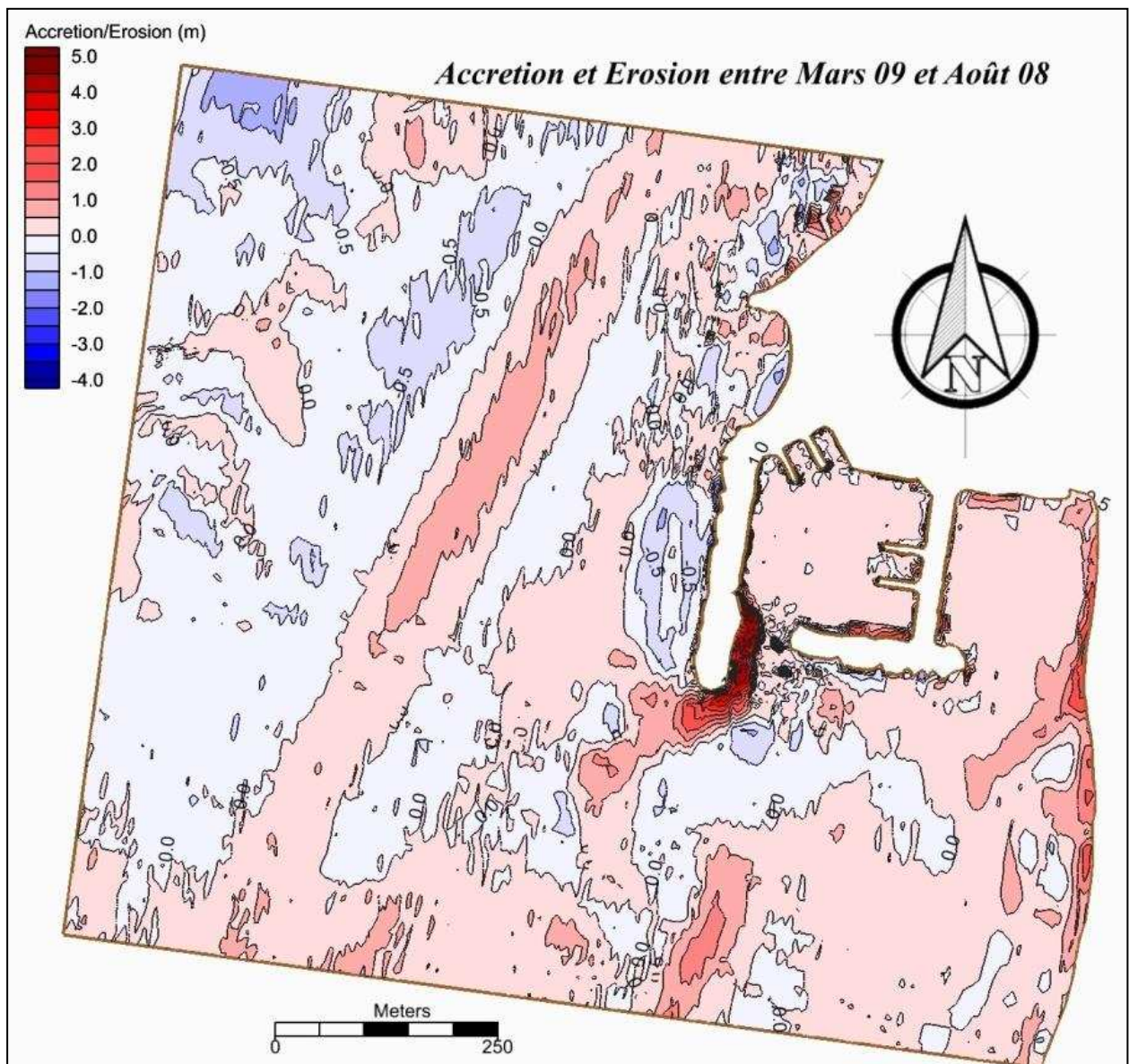


Figure II.6 : Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Août 2008 et Mars 2009.

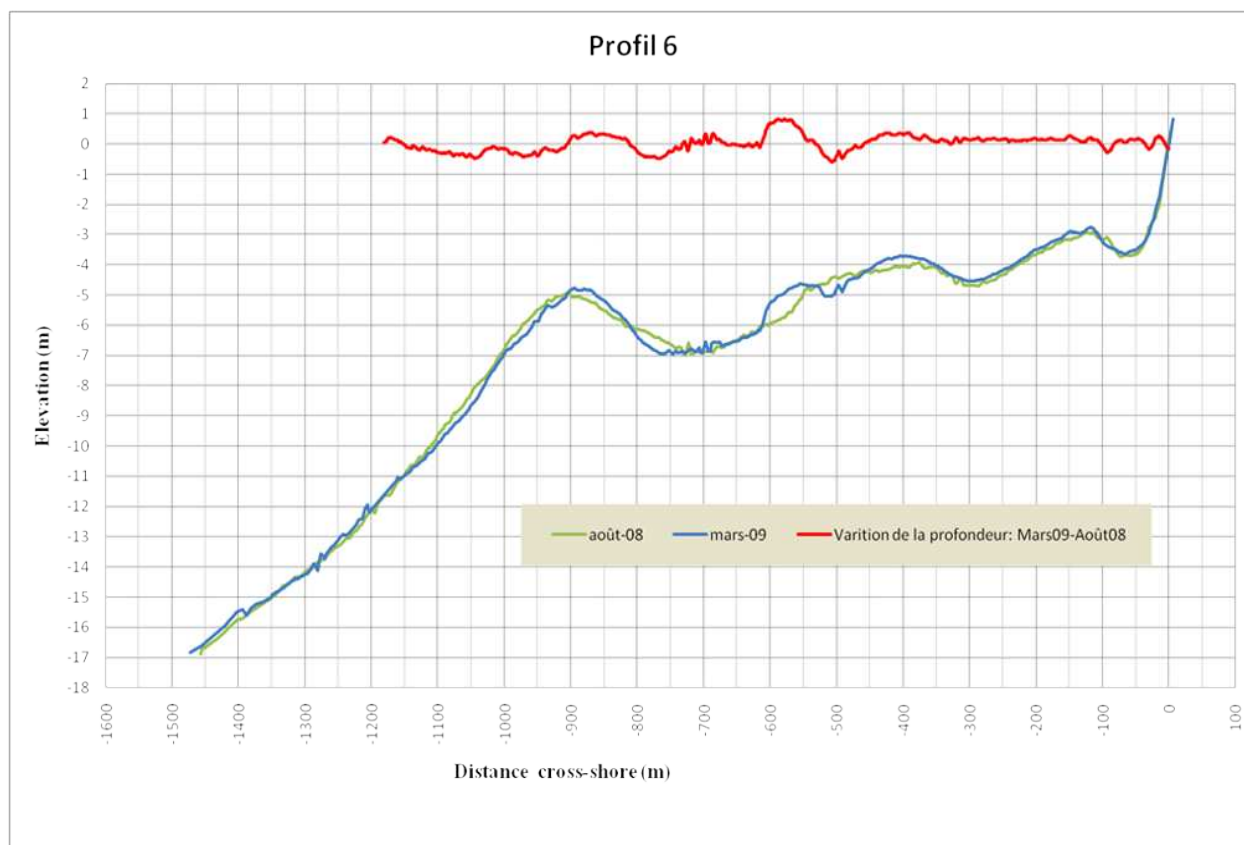


Figure II.7 : Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Août 2008 et Mars 2009) avec l'évolution diachronique correspondante au niveau du profil 6.

- **Entre Août 2009 et Mars 2009** (figure II.8) :

Cette période est caractérisée par des houles de faibles amplitudes qui alimentent les plages. Cela est bien représenté sur la carte (figure II.8) avec un bilan positif de 159267 m^3 , ce qui correspond à une couche de 16 cm. L'accrétion est très importante durant cette période. Les traces du faible hydrodynamisme sont traduites par l'étalement presque homogène des sédiments sur toute la zone (figure II.8). Cependant des zones de forte accrétion existent et les valeurs les plus élevées (de l'ordre de 3 m) se retrouvent au niveau de la partie intérieure de la passe d'entrée où le sable s'adosse sur la jetée principale. Des zones d'érosion sont aussi présentes, et les plus remarquables sont les surfaces aux alentours du musoir, le long de la barre Nord-est et des valeurs de 1 m sont atteintes derrière la jetée principale. L'analyse des profils dans la figure II.9 ne signale aucune mobilité importante des barres durant cette période, mais l'accumulation est bien visible.

- **Entre Août 2008 et Août 2009** (figure II.10) :

Comme on l'a vu dans les deux variations semestrielles l'accrétion est très importante avec un bilan de 193462 m^3 , ce qui est équivalent à une couche de 20 cm. Un maximum d'accumulation, à des valeurs supérieures à 5 m, est enregistré au niveau de la passe d'entrée du port. La zone sous-marine devant le saillant au Sud de la jetée secondaire a aussi subi une accumulation remarquable qui atteint les 2 m en certains points.

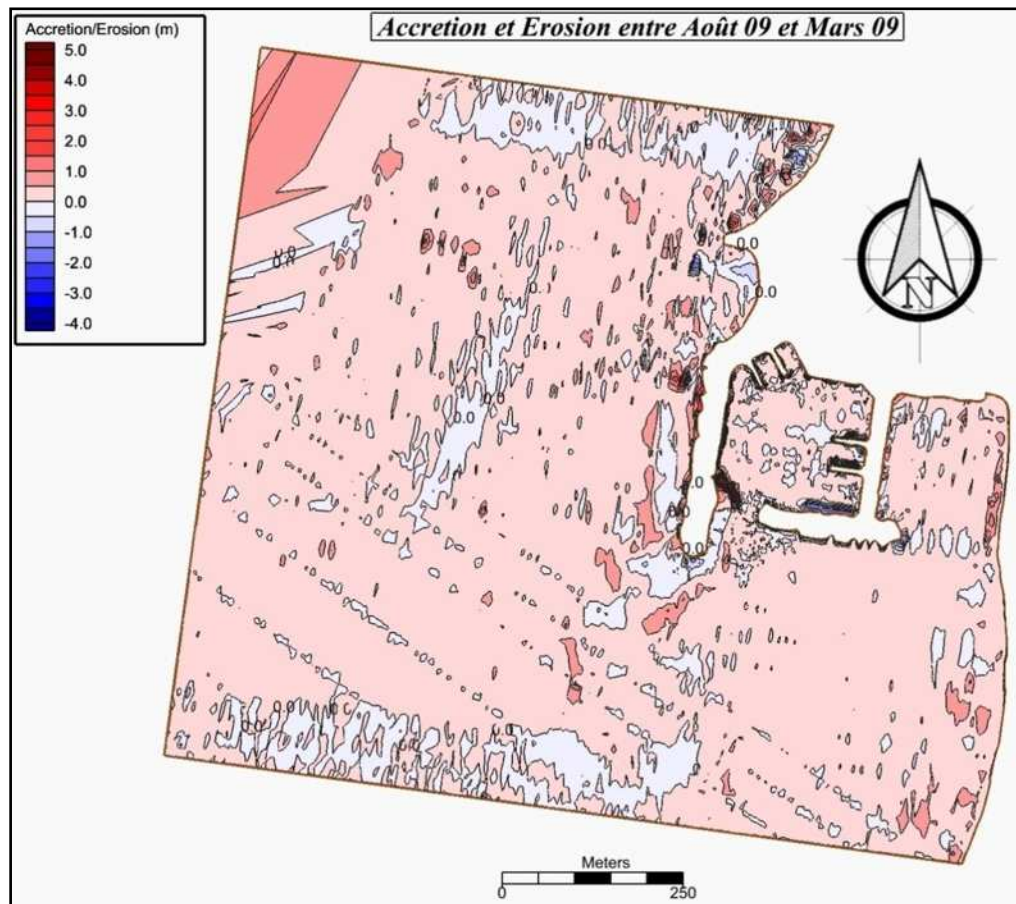


Figure II.8 : Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Mars 2009 et Août 2009

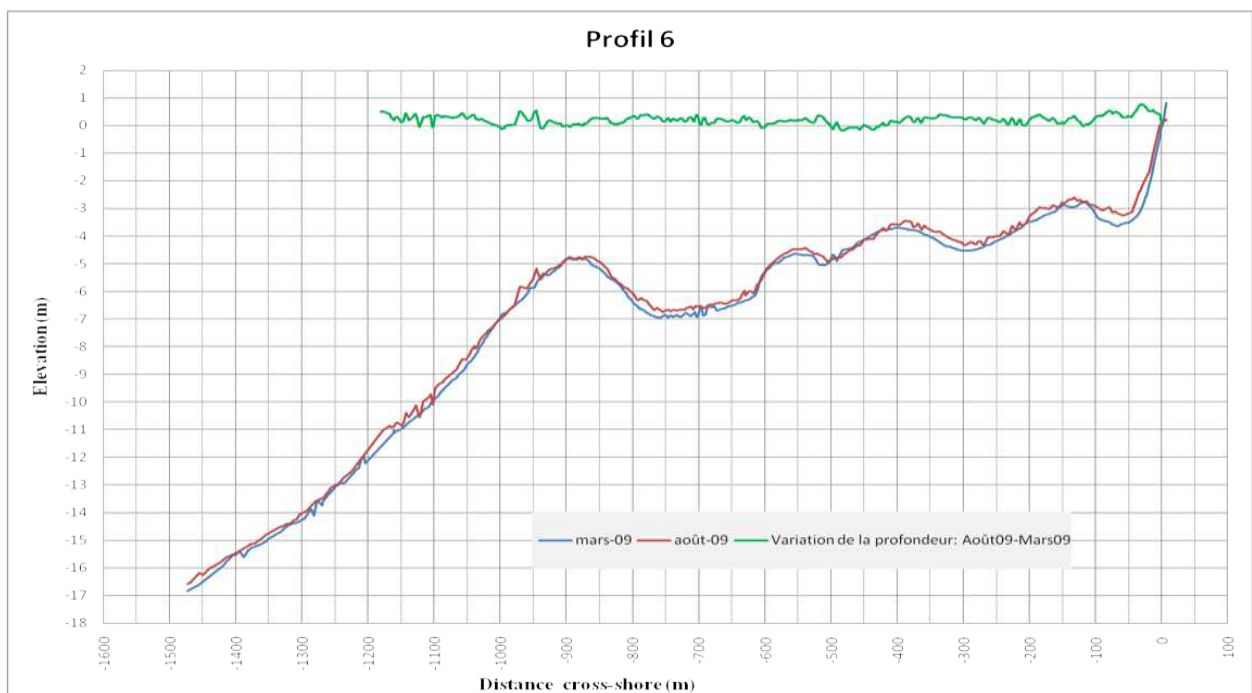


Figure II.9 : Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Mars 2009 et Août 2009) avec l'évolution diachronique correspondante au niveau du profil 6.

La zone longeant la jetée principale subit une érosion de l'ordre des 80 cm. Venant du large vers la côte, on remarque une érosion suivie par une accumulation le long de la barre Nord-ouest. Ce phénomène est bien visible sur les figures II. 10 et 11. Cette succession éclaircit la migration de la barre vers la côte.

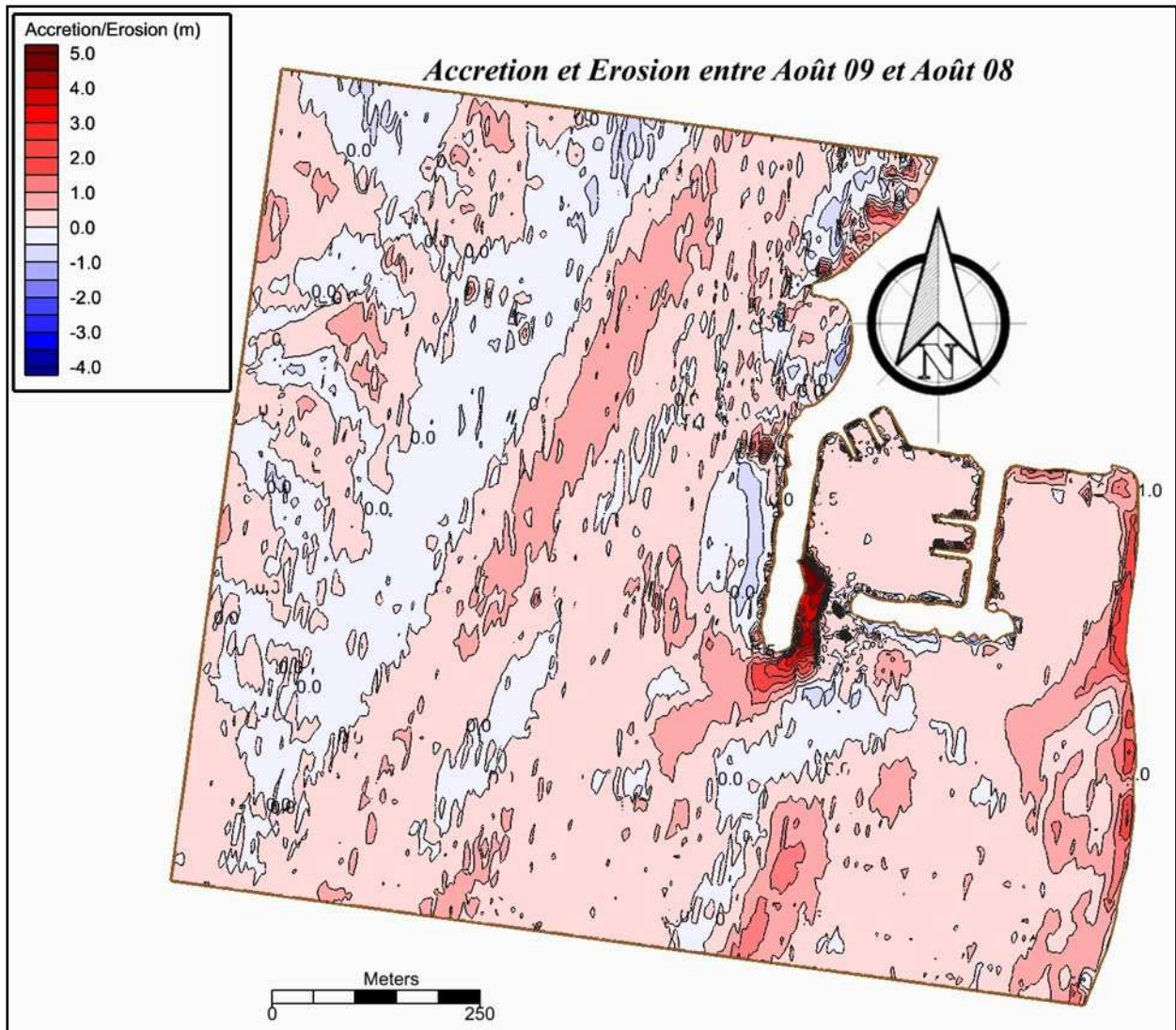


Figure II.10 : Evolution diachronique de la morphologie sous-marine (Accrétion-Erosion) entre Août 2008 et Août 2009.

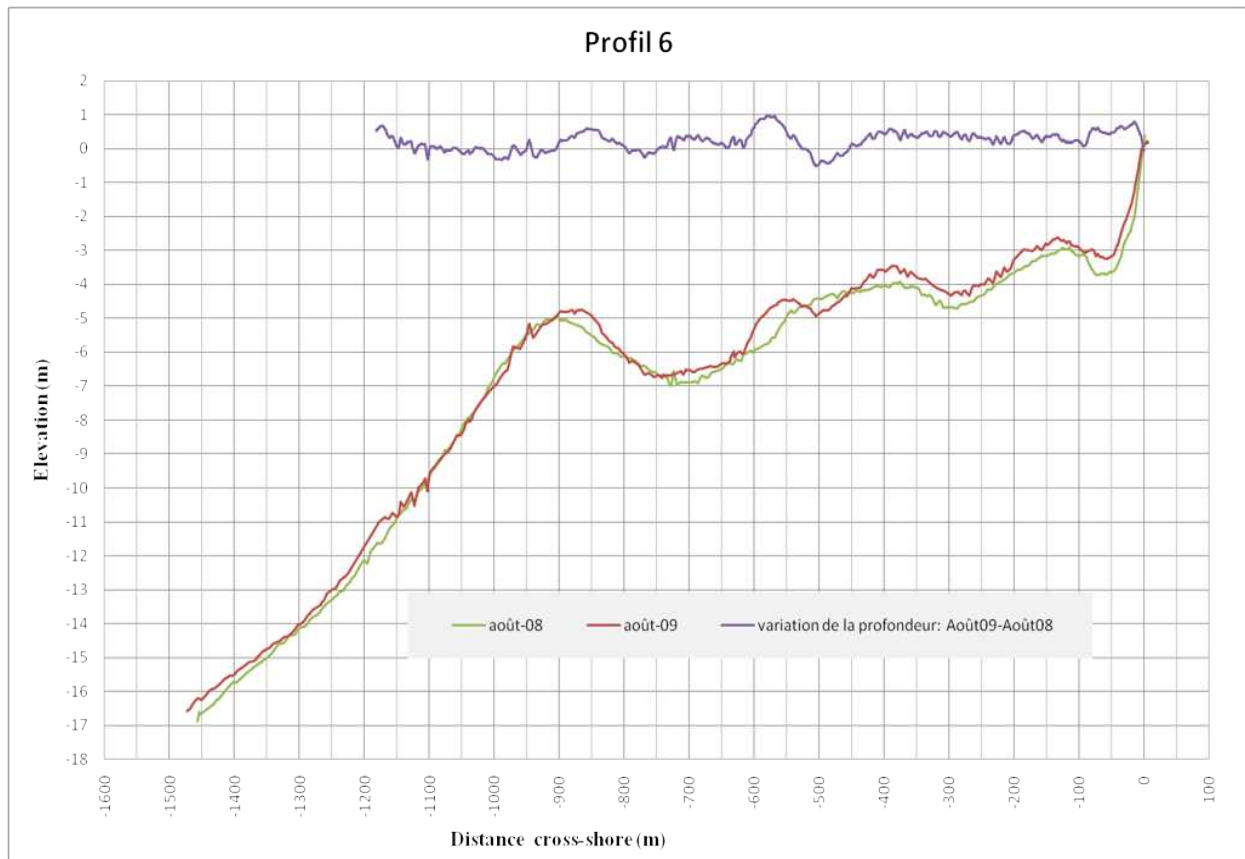


Figure II.11 : Représentation combinée des profondeurs des deux bathymétries (Août 2008 et Août 2009) avec l'évolution diachronique correspondante, au niveau du profil 6.

Conclusion :

A cause de la faible résolution temporelle et de restriction de l'extension spatiale des levés topo-bathymétriques, cette étude n'a pas abouti à des résultats exploitables en ingénierie, mais elle a mis la lumière sur l'existence et la mobilité cross-shore des barres sous-marines qui peuvent présenter une éventuelle source de l'ensablement du port. Durant leur création et/ou leurs migrations cycliques ou événementielles, ces barres peuvent s'adosser sur le port et condamner sa passe d'entrée. Nous jugeons qu'une étude plus approfondie sur la dynamique des barres sous-marines est indispensable pour mieux traiter le problème de l'ensablement du port.

Chapitre III :

Modélisation de la propagation potentielle des
vagues et des courants générés

III. Modélisation de la propagation potentielle des vagues et des courants générés :

Introduction :

L'évaluation précise du climat des vagues est une composante essentielle dans l'étude du problème de l'ensablement des ports. La turbulence et les courants générés par les vagues représentent d'importants mécanismes de forçage pour le transport sédimentaire (Nwogu, et Demirebilek, 2001). Les conditions de vagues les plus importantes pour les projets d'ingénierie côtière sont les hauteurs significatives (H_s), les périodes (T) et les directions. Ces paramètres sont souvent collectés au large, mais durant leur propagation, en s'approchant de la côte, les vagues changent de caractéristiques et seront ainsi la résultante de phénomènes complexes tel que :

- *Shoaling* et réfraction.
- Dissipation de l'énergie après déferlement et friction du fond.
- Réflexion et diffraction près des structures.
- Interaction vague-vague.
- Interaction courant-vague.

Les mesures *in situ* des vagues et leur modélisation physique sont extrêmement difficiles, onéreuses et lentes. Les houlographes sont souvent loin des sites des projets et les instruments de télédétection ne fournissent pas systématiquement les données de vagues, près des côtes, à la résolution désirée. Et il n'y a pas d'instrument de collecte de données qui peut prévoir l'état de la mer, donc les informations recherchées, concernant la prévision, peuvent être obtenues à l'aide des techniques de modélisation mathématique fiable (Demirebilek et Pahang, 1998).

Vue les données, moyens matériels et intellectuelles disponibles, et les objectifs recherchés (données de vagues et de courants aux alentours du port) on a opté pour l'utilisation d'un modèle de simulation des vagues dans les zones côtières appelé « BOUSS2D ». Pour la configuration des paramètres de modélisation, la création des fichiers *input*, la désignation de l'*output* et l'affichage des résultats, on s'est servi de l'interface graphique **SMS**.

1. Présentation du modèle « BOUSS2D » :

BOUSS2D est un modèle détaillé pour la simulation de la propagation et la transformation des vagues dans les zones côtières et portuaires, basé sur des solutions temps-domaine des équations de type BOUSSINESQ (1872), étendues par Nwogu (1993). Les équations gouvernantes sont validées du large jusqu'aux eaux côtières et peuvent simuler la plupart des phénomènes complexes régissant les caractéristiques des vagues près de la côte, incluant le *shoaling*, réfraction, diffraction, transmission et réflexion partielle ou complète, friction dû au fond, interaction vagues-vagues, déferlement et dissipation, *runup* et *overtopping* des structure, interaction vagues-courants et courants induit par les vagues (Demirebilek, et al 2005).

Ce modèle peut être appliqué à une large variété de problèmes d'ingénierie océanique et côtière incluant la transformation complexe des vagues dans les régions côtières à petit échelle

(1-5 Km), les études d'agitation et de résonance dans les bassins portuaire, le déferlement des vagues sur les obstacles immergés, schémas de courants côtiers induits par le déferlement, l'interaction vagues-courants dans les zones de marée, les vagues infra-gravitaires générées par un train de courtes vagues (gravitaire) et la transformation des vagues autour des îles artificielles.

2. Le modèle conceptuel :

Cette partie évoque une représentation, très abrégée, des paramètres configurés et injectés au modèle via l'interface graphique SMS. Une description détaillée, de ces procédures et les équations gouvernantes, est présente dans le rapport de Nwogu et *al* (2001). Le tableau III.1 représente les valeurs des paramètres et les options utilisées pour chaque direction de vagues simulées.

2.1. Création du fichier de la grille bathymétrique :

Les données topo-bathymétriques utilisées pour la modélisation proviennent de la campagne de mesure effectuée par le LEM en Août 2009. La visualisation du fichier topo-bathymétrique est faite par le « Scatter module » de SMS, sous lequel, on a pu configurer les paramètres d'affichage de la carte bathymétrique. Quelques modifications ont été portées sur les données brutes afin de satisfaire les conditions de fonctionnement du modèle. L'ajout des points (positifs) au niveau de la plage Ouest était indispensable pour assurer la continuité du trait de côte créé par SMS. Et pour intégrer les effets de la structure portuaire sur l'hydrodynamisme, on a ajouté des points extraits du plan de masse du port. Ces modifications ont apporté des améliorations sur le plan d'affichage, qui sont bien visibles dans la figure III.1.

BOUSS2D simule la propagation des vagues à travers une grille cartésienne. Le domaine de calcul est défini comme une région rectangulaire structurée en cellules d'égales dimensions. La grille bathymétrique représente les valeurs des profondeurs/élévation au niveau de chaque nœud avec un signe négatif pour les points en mer et positif pour les points à terre.

2.2. Conditions à prendre en compte durant la création de la grille :

- La grille doit être alignée au maximum avec la direction de la houle qu'on veut générer.
- La profondeur doit être la plus uniforme possible le long du générateur des vagues.
- Les points d'intérêt dans le domaine de calcul doivent être éloignés, au moins d'une longueur d'onde, des limites de la grille.
- L'espacement de la grille doit être choisi pour résoudre la plus faible période (T_{\min}) dans la partie la moins profonde (h_{\min}) du domaine. Typiquement 8 cellule par longueur d'onde dans les zones peu profondes et 20 à 30 pour les longueurs d'onde correspondants aux périodes pic (T_p) dans les zones les plus profondes (h_{\max}).
- La profondeur maximale doit être inférieure à la moitié de la plus faible longueur d'onde.

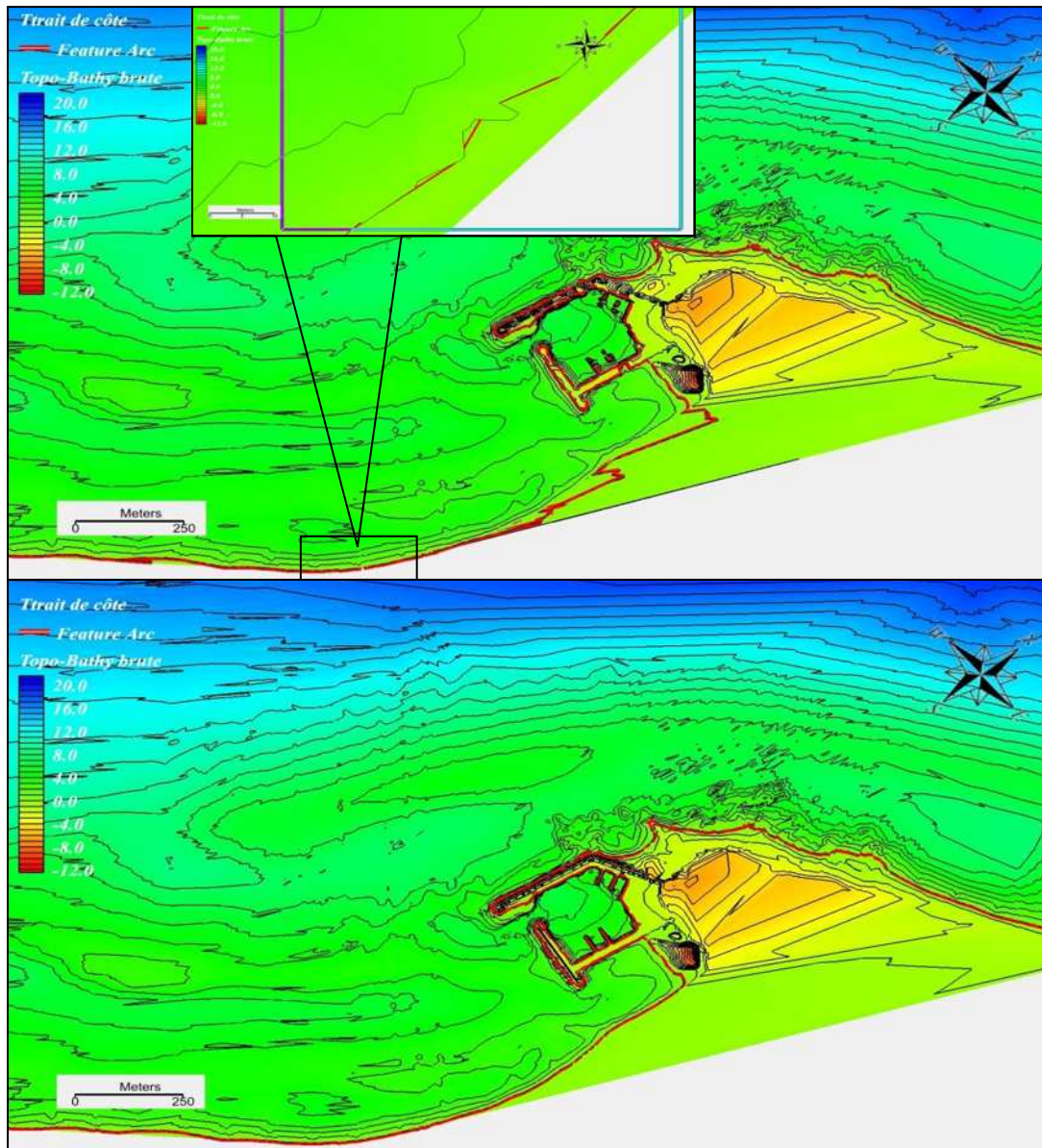


Figure III.1: Effet de l'ajout des points sur la création du trait de côte. La carte des données brutes, représentant la discontinuité du trait de côte, en haut et celle des données modifiées en bas.

2.3. Les conditions aux limites :

Après la création de la grille, toutes les cellules, aux limites du domaine de calcul, sont combinées automatiquement par type : générateur de vagues, limites latérales et le trait de côte.

2.3.1. Le générateur des vagues :

Cette limite est considérée comme une source de forçage du modèle, on y introduit les conditions de vagues qui vont se propager dans le domaine de calcul. On a créé des séries des élévations de la surface d'eau en fonction du temps à l'aide d'un spectre paramétrique de vagues, auquel on a introduit les données de houle au large extraites du rapport du LEM (2009) sur

l'étude de l'ensablement du port. Notre choix s'est porté sur les périodes de 8 s, pas seulement pour leur position intermédiaire entre les conditions extrêmes et les plus observés mais aussi pour pouvoir se référencier aux simulations faites au niveau du LEM, à cause de la non disponibilité des données *in situ* pour valider nos résultats.

2.3.2. La limite terre mer :

Le modèle donne des valeurs par défaut pour cette limite. Le « Dumping coefficient » a une valeur de 0.1 et la largeur de la limite est calculée par le modèle.

2.3.3. Les limites latérales :

On a fixé les valeurs de « Dumping coefficient » à 1 pour empêcher la réflexion des vagues au niveau des limites latérales qui ont des largeurs calculées par modèle.

2.3.4. Les paramètres de la simulation :

« Duration of Numerical Simulation » : Le temps qu'il faut, aux vagues générées, pour atteindre le point le plus loin dans le domaine de calcul. Sa valeur est calculée automatiquement par le modèle mais elle est modifiable.

« Simulation Time-Step » : Calculé automatiquement par le modèle.

« Chezy Coefficient – Bottom friction factor » : La friction du fond dissipe l'énergie, quand les vagues se propagent sur de longues distances, l'effet accumulé de la dissipation de l'énergie due à cette friction fait diminuer significativement la hauteur des vagues (Svendsen, 2006).

« Model Equations Option (Weakly Nonlinear/Fully Nonlinear) » : Cette option permet de choisir entre deux types de modèles selon l'intensité de leur non-linéarité. Notre choix porte sur le « Fully Nonlinear » Pour sa puissance dans le calcul des courants induits par les vagues.

« Wave Breaking Option (Y/N) » : Cette option est activée pour toutes les directions.

« Turbulent length scale » : Contrôle le taux de la dissipation de l'énergie pour les vagues déferlantes et sa valeur doit être égale à H_s .

« Smagorinsky Constant C_s » : Sert à éviter la dissipation excessive des vagues.

« Wave Runup Option (Y/N) » : Ce paramètre est activé.

« Minimum Flooding Depth » : Ce paramètre est utilisé pour contrôler le calcul du *runup*.

2.4. Les paramètres calculés :

Le modèle simule trois types de données : les données spatiales à 2D, séries de données en fonction du temps et les données d'animation.

2.4.1. Les données spatiales à 2D :

- L'élévation moyenne du niveau de la mer : ce paramètre dépend de la durée de la simulation qui doit être assez longue.
- La distribution des hauteurs des vagues dans la zone simulée.
- Les courants moyens dans toute la zone de simulation.

2.4.2. Séries de données en fonction du temps :

Ce sont des enregistrements, en fonction du temps, de WSE (water surface elevation) en un point donné de la grille.

2.4.3. Les données d'animation :

Permettent la représentation de la variation de WSE en fonction du temps dans toute la zone simulée. Les modules de SMS permettent une visualisation de cette animation en 2D et 3D.

La propagation des vagues (agitation et directions) et les courants moyens seront interprétés dans la prochaine partie.

Tableau III.1: Valeurs des paramètres et les options utilisées pour chaque direction de vagues simulées.

		Directions				
		270	315	360	45	
Paramètres						
		Dimension des cellules (m)	5	5	3	5
Conditions aux limites	Le générateur des vagues	Spectre	TMA	TMA	TMA	TMA
		Type du spectre	Unidir.	Unidir.	Unidir.	Unidir.
		Période (s)	8	8	8	8
		H _s (m)	2.67	2.64	2.67	2.56
		Séries de temps	Synth.	Synth.	Synth.	Synth.
		Durées des séries (s)	50	50	50	50
	Trait de côte	Dumping coef. pour le trait de côte	0.1	0.1	0.1	0.1
	Limites latérales	Dumping coef. pour les limites latérales	1	1	1	1
	Les paramètres de la simulation	Sim. Duration (s)	741.98	796.72	799.69	781.77
		Sim. Time-step (s)	0.23	0.23	0.14	0.23
Wave run up		activé	activé	activé	activé	
Min. flooding depth (m)		0.016	0.016	0.016	0.015	
Wave breaking		activé	activé	activé	activé	
Turbulente length scale		2.67	2.64	2.67	2.56	
Non linearity fonction		strong	strong	strong	strong	

Coef. : Coefficient.

Min. Minimum

Sim. : Simulation

Synth. : Synthétisées.

Unidir. : Unidirectionnel.

TMA : Le spectre TMA (Texel, Marsen, Arsløe) est une extension du spectre JONSWAP destinée à représenter les états de mer développés sur des fetchs limités en profondeur finie.

3. Résultats et discussion:

3.1. La propagation potentielle des vagues :

Pendant leur propagation en s'approchant vers la côte, les vagues perdent leur énergie sous l'action du fond, les structures et les courants. Après l'analyse des cartes des hauteurs significatives, on a pu classifier notre zone d'étude en deux parties distinctes selon les quantités d'énergie conservées ou dissipées en termes de H_s :

- La partie nord qui s'étend du musoir jusqu'au nord de la zone où la vague garde la quasi-totalité de son énergie jusqu'à son arrivée au rivage où elle se brise brutalement.
- Et la partie Sud de la zone, abritée par le cap et le port, où Les vagues perdent en hauteur, au fur et à mesure qu'elles s'approchent du rivage. Ces comportements sont bien visibles dans les figures III. 3, 4, 5, 6 et 7.

La figure III.7 illustre bien ces deux types de propagation, en combinant les profils de bathymétrie et ceux de la variation des hauteurs significatives au niveau des Profils 13 et 5 (figure III.2), qui sont bien représentatifs des deux parties, Nord réfléchive et Sud dissipative.

L'effet de la pente dans la dissipation est très perceptible sur les deux profils. La barre, externe du profil (5) et l'unique du profil (11), nous semble désactivées pour ces hauteurs de vagues incidentes. Le fait que la barre soit unique, dans la zone Nord et la profondeur importante au niveau de sa crête laisse les vagues continuer leur propagation sans dissipation importante. Ce qui n'est pas le cas dans la zone Sud, d'une pente plus douce, où une succession de barres internes (une à trois) dissipent l'énergie des vagues durant leur parcours vers le rivage.

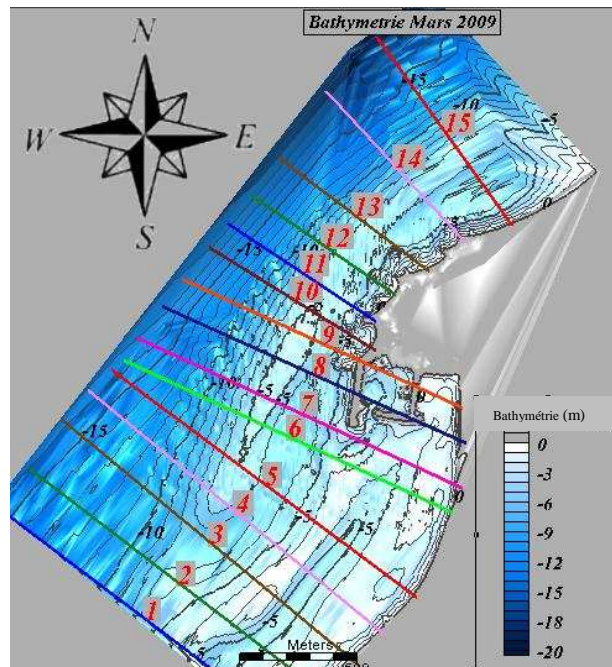


Figure III.2 : Représentation des profils.

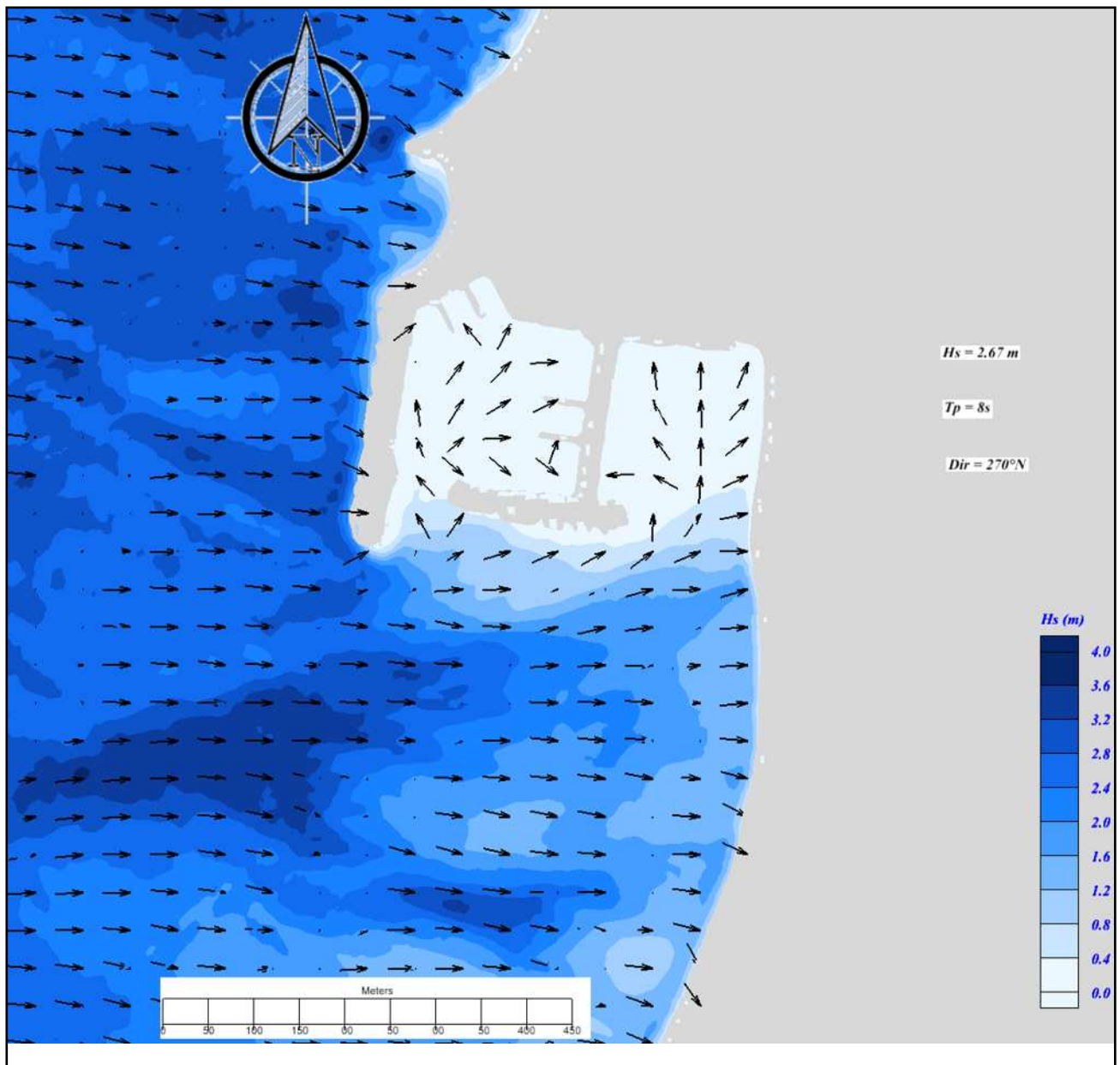


Figure III.3 : Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Ouest ($H_s = 2.67\text{ m}$ et $T_p = 8\text{ s}$).

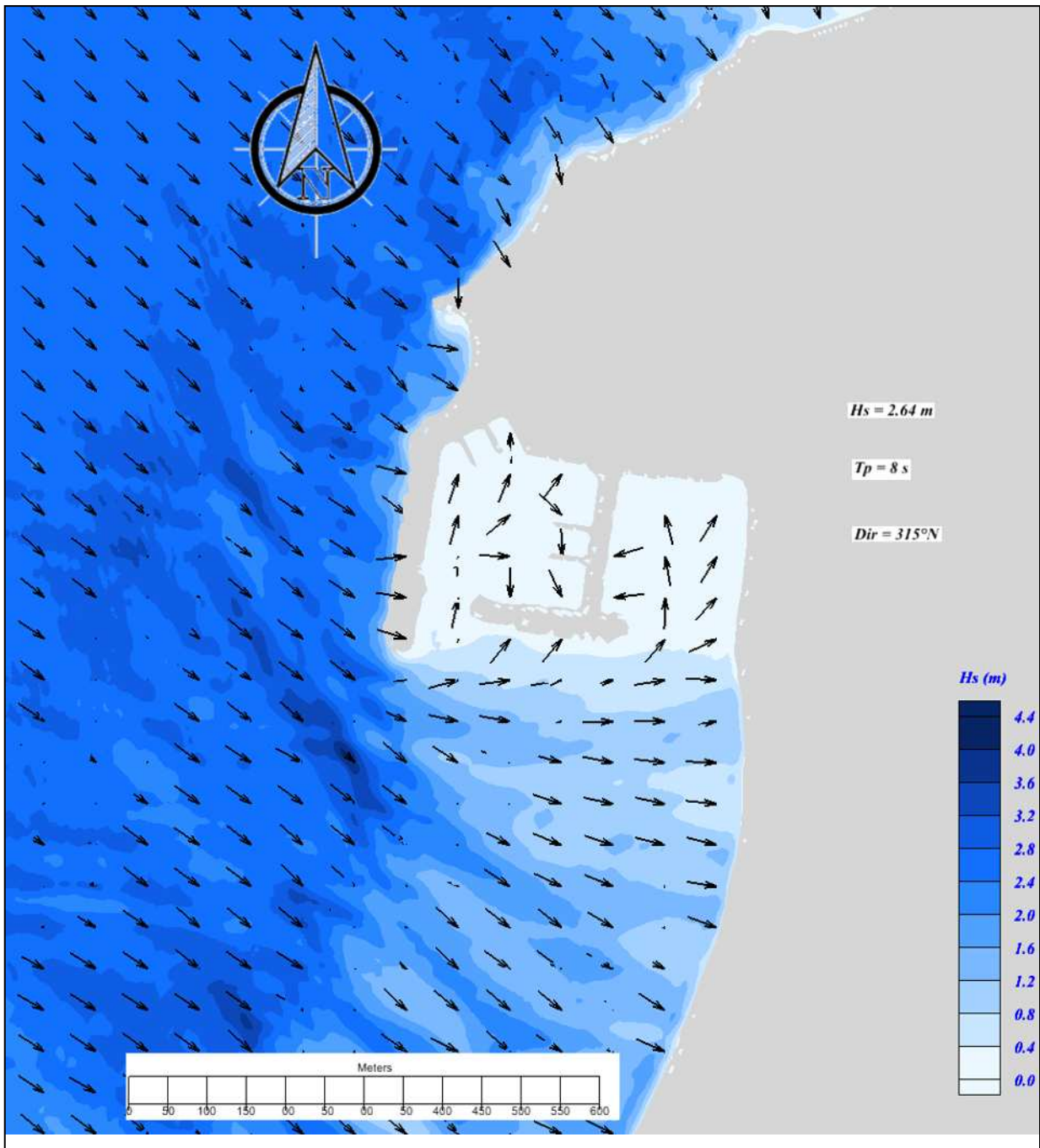


Figure III.4 : Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord-ouest ($H_s = 2.64 \text{ m}$ et $T_p = 8 \text{ s}$).

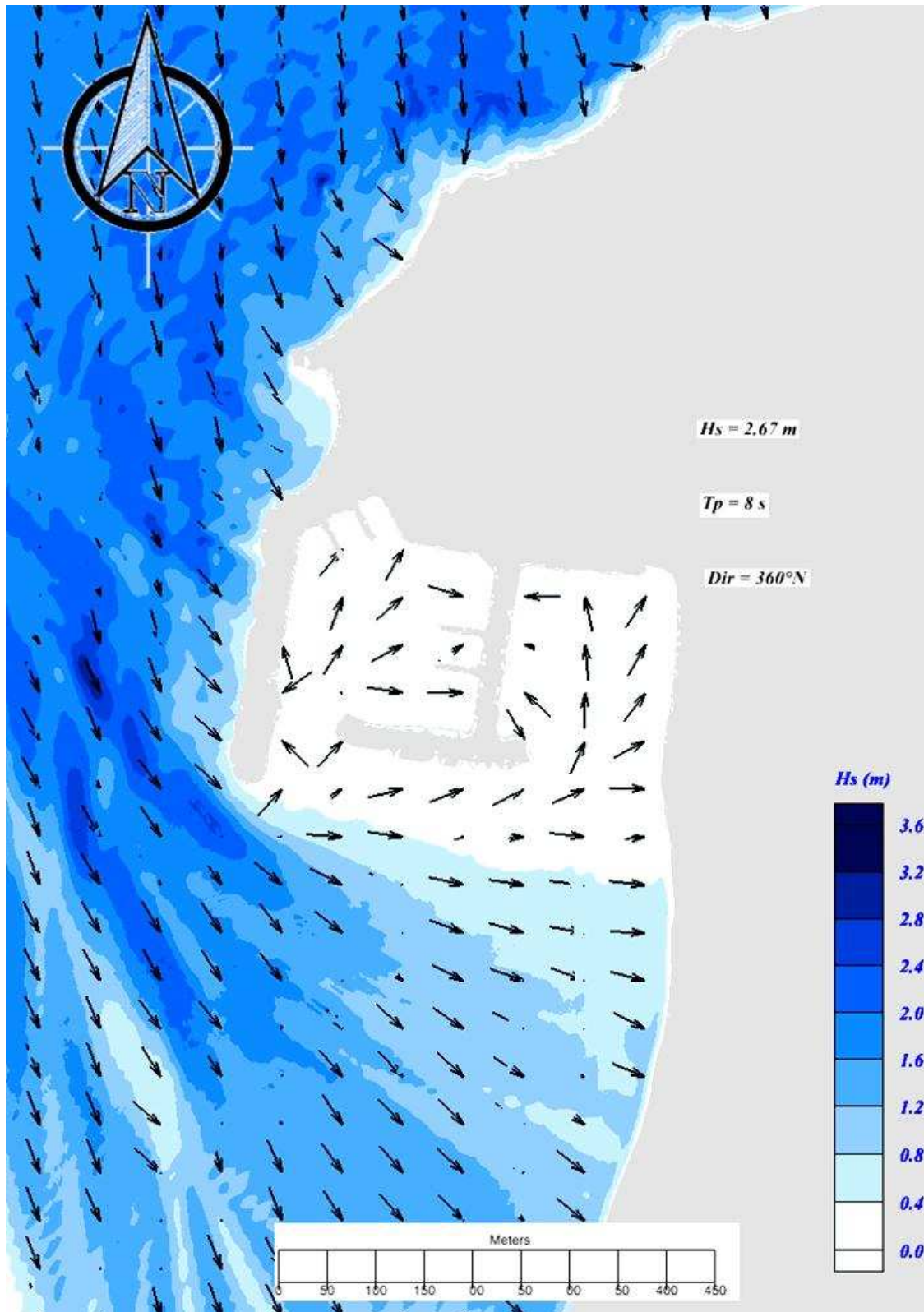


Figure III.5: Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord ($H_s = 2.67 \text{ m}$ et $T_p = 8 \text{ s}$).

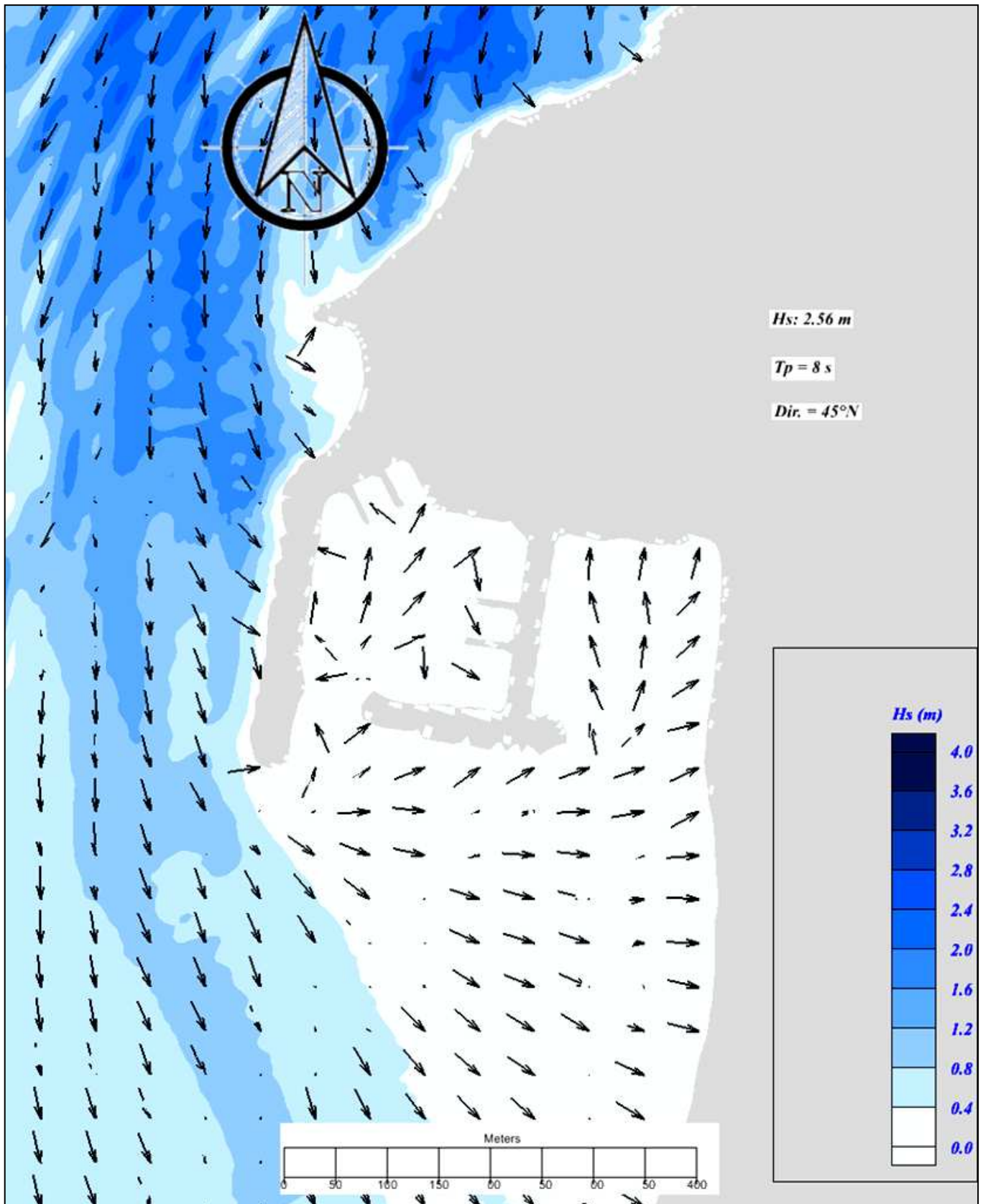


Figure III.6 : Résultats de simulation de la propagation potentielle des vagues du secteur Nord-est ($H_s = 2.56 \text{ m}$ et $T_p = 8 \text{ s}$).

Les deux comportements sont observés pour toutes les directions d'incidence de vagues simulées. Pour les différentes directions en remarque un élargissement de la zone de dissipation au niveau de la partie Sud avec la variation de l'angle d'incidence des vagues, de l'ouest vers l'est. De plus en plus les vagues sont générés de l'Est, elles commencent à se dissiper plus au large. Ce qui peut être expliqué par le rôle protecteur du cap et du port où la houle se diffracte et perd de l'énergie.

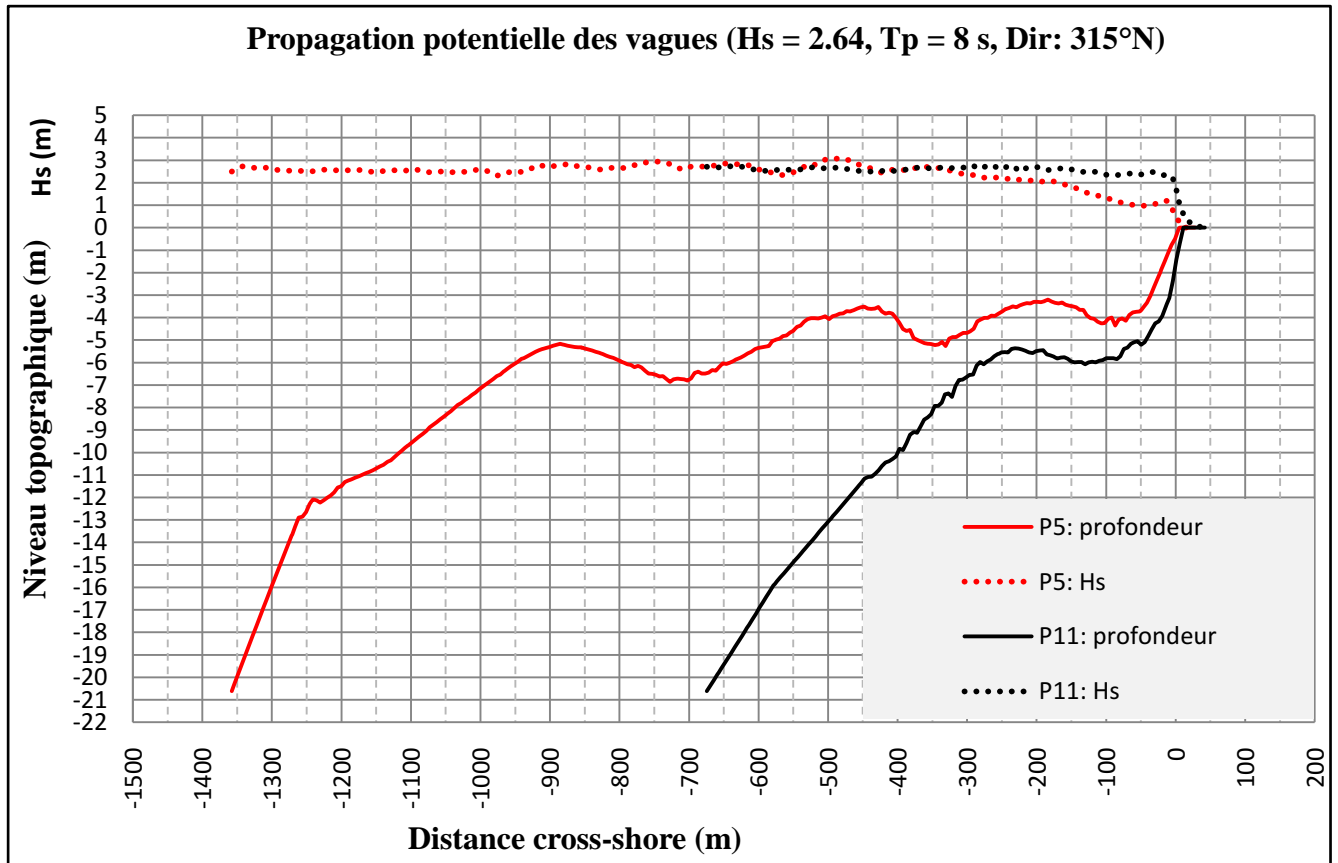


Figure III.7 : Variation cross-shore des hauteurs significatives H_s en fonction de la profondeur.

Pour toutes directions d'incidence, la diffraction se manifeste clairement, au niveau du musoir et à l'extrémité Sud de la jetée secondaire, ainsi que la divergence des orthogonales des vagues au niveau de la plage Sud. A l'exception des vagues du secteur Ouest qui arrivent avec une certaine obliquité susceptible de générer un courant de dérive se dirigeant vers l'Est et des vagues Nord-ouest dont l'obliquité avec le trait de côte, dans la partie Nord (à partir du profil 12), qui a tendance à créer un courant de dérive vers l'est, toutes les vagues qui propagent des autres secteurs arrivent au rivage d'une manière à générer une dérive vers l'Ouest (figure III. 3, 4, 5 et 6).

Il faut noter que la zone (Profil 8) abritée par le port reçoit des vagues frontales pour toutes les directions sous l'effet diffractif du port. Une divergence est enregistrée de part et d'autre de cette zone. Le phénomène de réfraction, diffraction, *shoaling*, sont bien illustrés dans la figure III.8 qui représente en 3D la propagation des vagues venant du Nord-ouest.

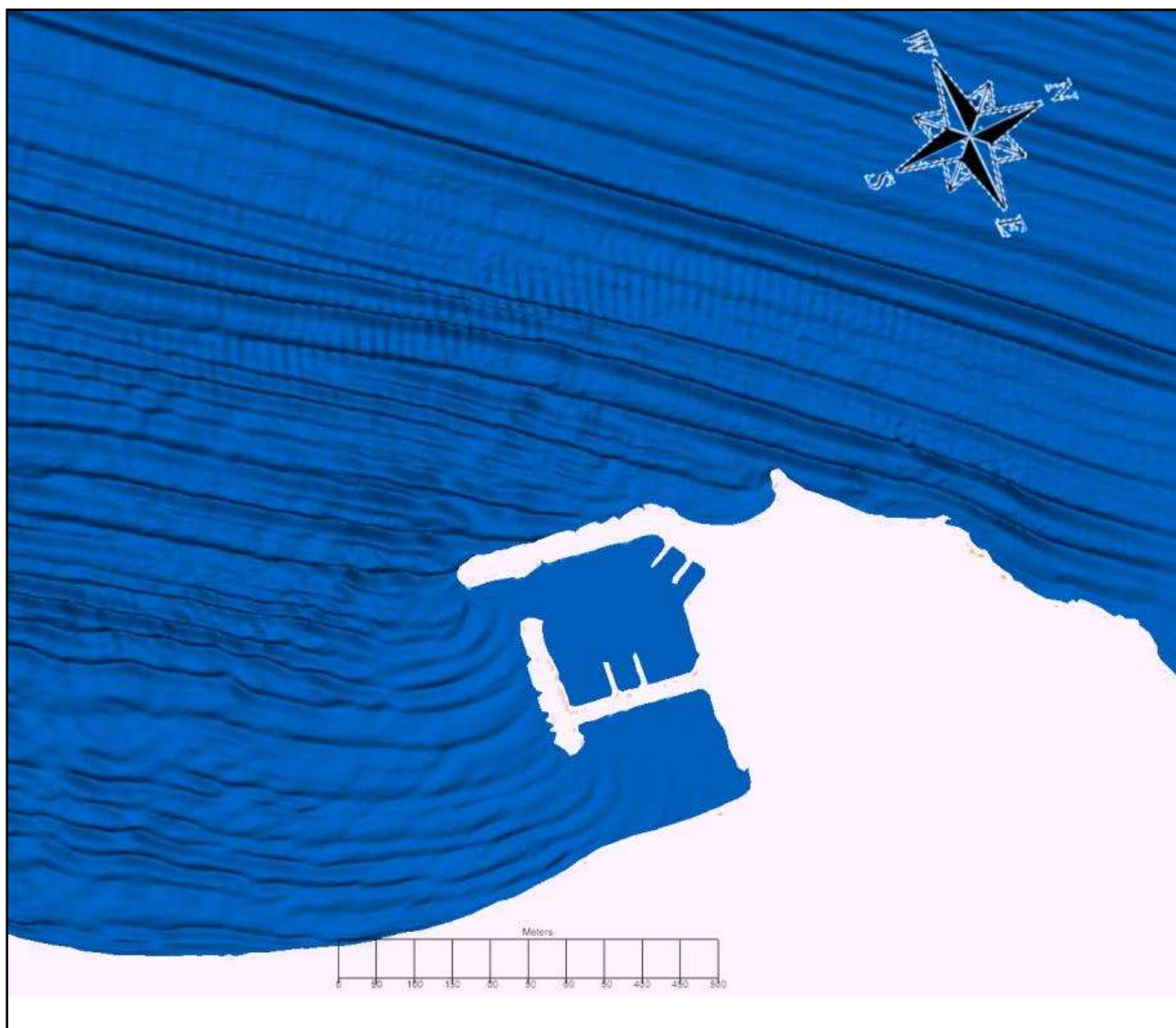


Figure III.8 : Propagation potentielle des vagues du secteur Nord-ouest (H_s amplifié par un facteur de 10).

3.2. Les courants moyens potentiels induits par les vagues:

Le fait de la complexité de la bathymétrie de la zone, où il existe un fort couplage entre l'hydrodynamisme et la morphologie, provoque la génération de différents types de courants moyens (longitudinaux, sagittaux et de retour) qui forment ensemble un système très complexe. Les simulations ont abouti aux résultats présentés dans les figures III. 9, 10, 11 et 12. D'une manière générale les courants générés par les vagues des secteurs Nord-Ouest, Nord et Nord-est se dirigent vers l'Ouest. Ces courants empruntent le chenal entre la barre sous-marine et le rivage. Et seulement ceux générés par les vagues du secteur Ouest qui se dirigent vers l'Est.

Dans la partie nord de la zone les vagues des secteurs Nord et Nord-ouest induisent un puissant courant empruntant le chenal entre la barre et la jetée principale, avec des vitesses pouvant dépasser 1 m/s (figure III. 10 et 11). Les courants induits par les houles du secteur Nord-est (figure III.12) sont fortement influencés par la morphologie de la zone qui les force à changer leur direction Sud-ouest pour se diriger vers le large au niveau du Profil 11 (figure III.2). Les

vagues du secteur Ouest sont les seules qui induisent un courant de dérive se dirigeant vers l'Est (figure III.9).

Dans la partie Sud de la région (plage abrité par le port et le cap), des courants tourbillonnaires, dont les vitesses moyennes de l'ordre de 20 cm/s, sont générés par les vagues des directions Nord-ouest, Nord et Nord-est (figure III. 10, 11 et 12). Cette zone est plus exposée aux vagues du secteur Ouest qui génèrent de puissants courants sagittaux, associés à des cellules tourbillonnaires et longeant la jetée secondaire (figure III.12). Leurs vitesses est assez forte (de l'ordre de 50 cm/s) pour mobiliser le sédiment vers la passe d'entrée. Ils sont probablement le résultat de l'interaction du courant de dérive, dirigé vers le Nord, avec la morphologie de la zone et la jetée secondaire qui les forcent à se diriger au large.

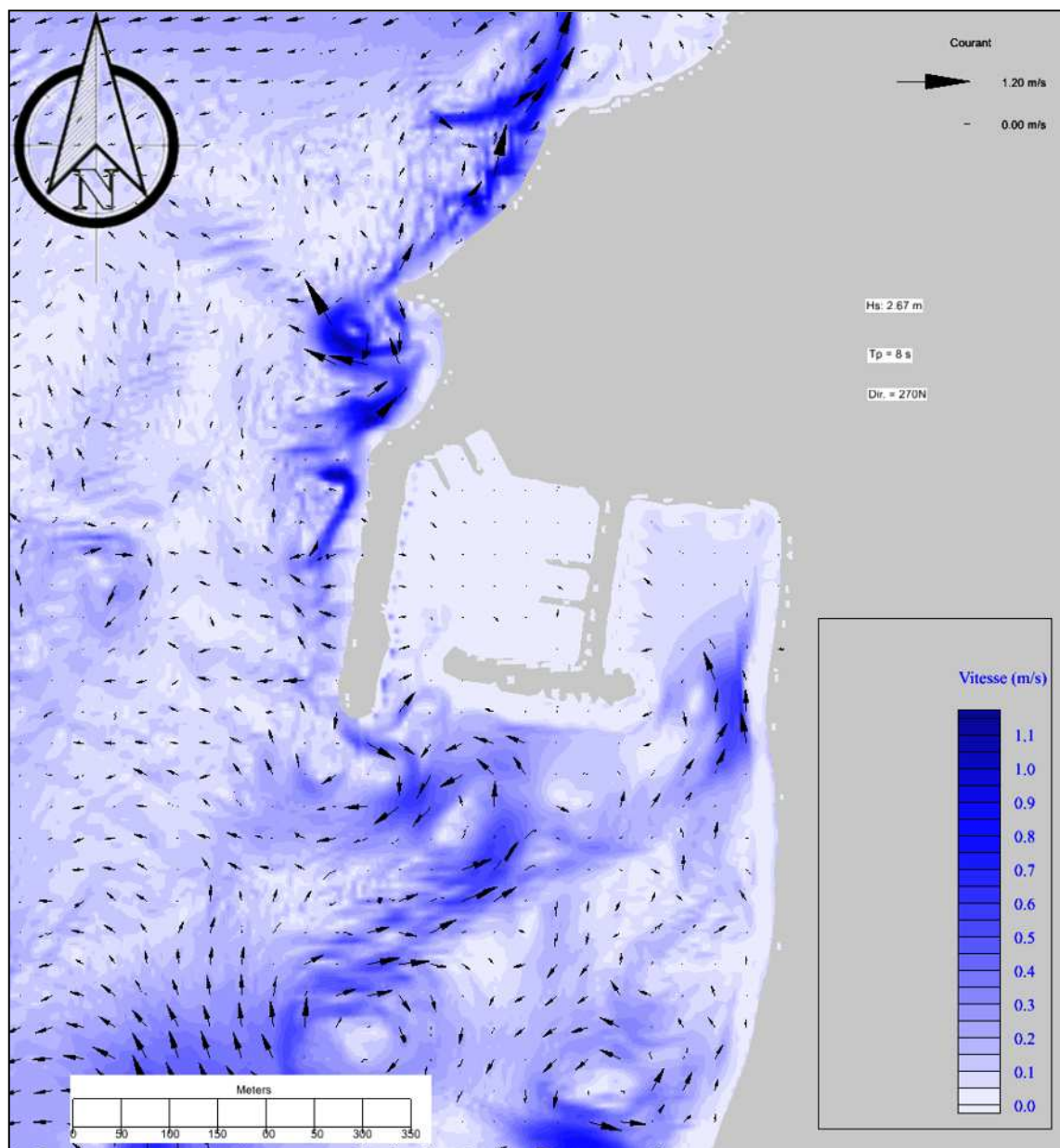


Figure III.9 : Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Ouest.

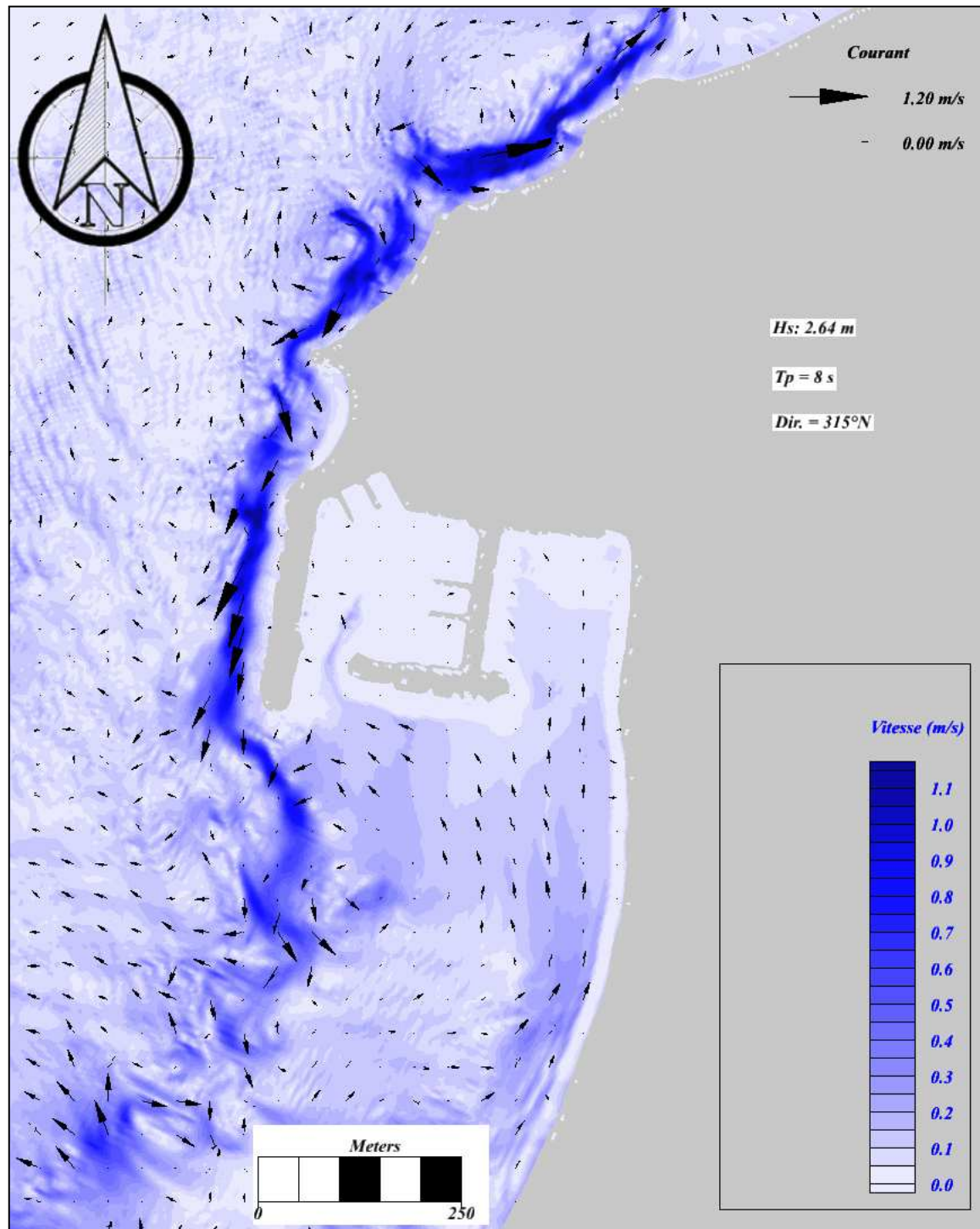


Figure III.10 : Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord-ouest.

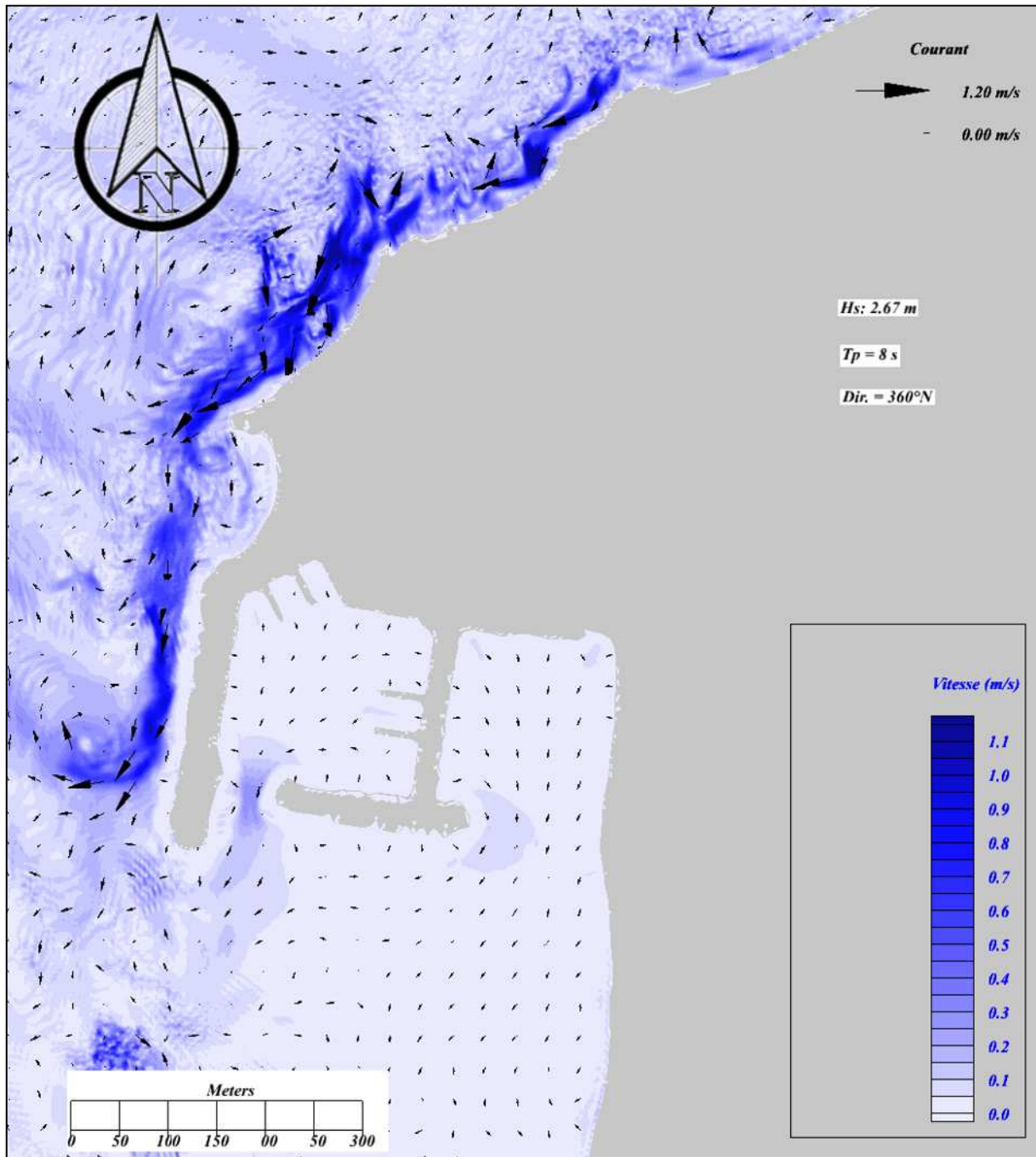


Figure III.11 : Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord.

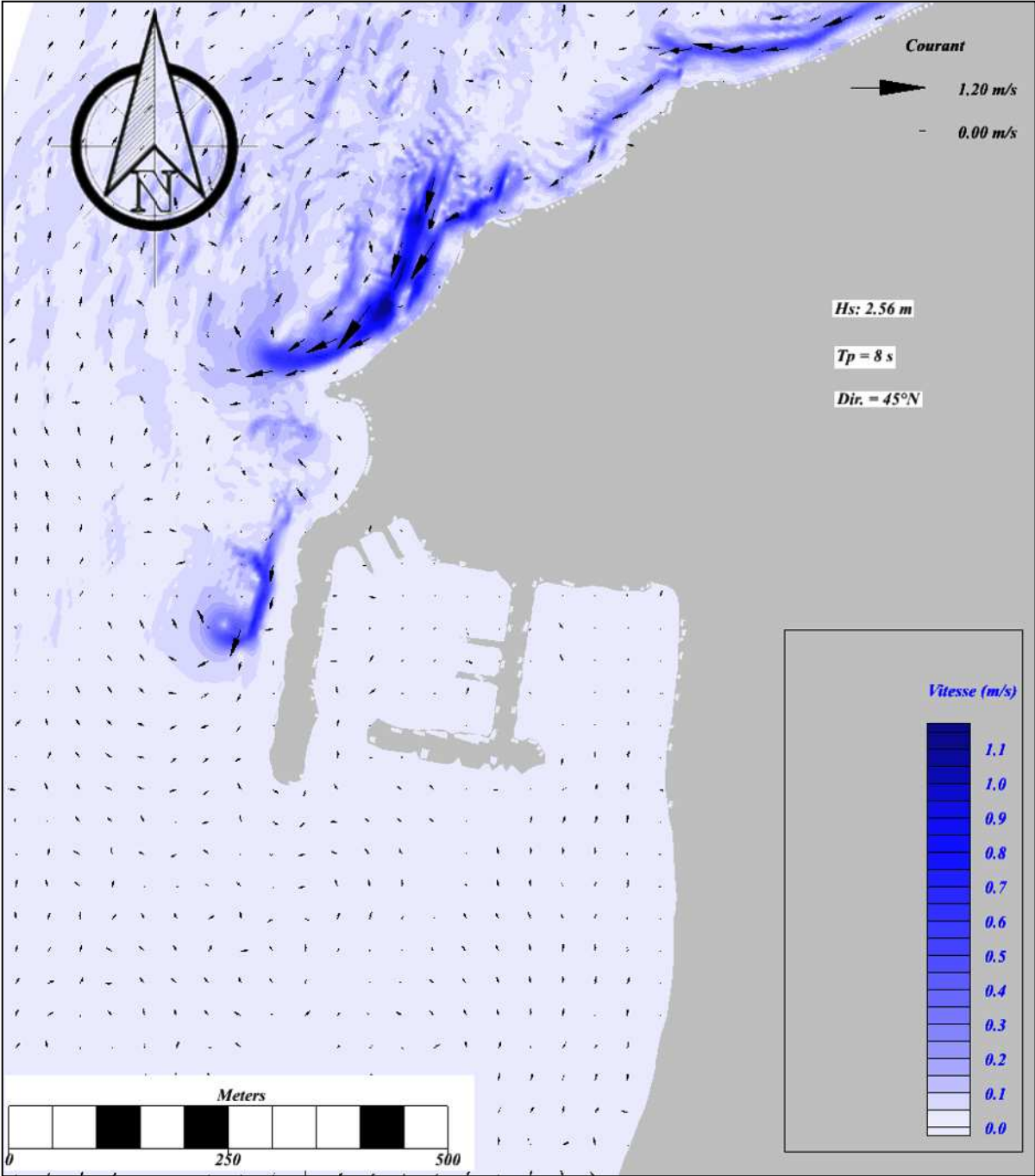


Figure III.12 : Vitesses et directions des courants moyens potentiels induits par les vagues du secteur Nord-est.

Conclusion :

Les résultats de simulation nous ont conduits à séparer la région en deux zones selon leurs réponses à la propagation des vagues venant des différents secteurs.

La zone Nord réfléchive où l'énergie des vagues est conservée durant leur propagation jusqu'à ce qu'elle se libère brutalement près de la côte. A part les vagues du secteur Ouest qui induisent un courant de dérive se dirigeant vers l'Est, toutes les autres vagues générées des secteurs Nord-ouest, Nord et Nord-est induisent un courant de dérive menant vers l'Ouest, longeant la jetée principale du port.

La zone Sud dissipative où l'énergie des vagues est dissipée par la morphologie sous-marine relativement moins profonde et sous l'effet diffractif du port et du cap. La diminution de l'énergie des vagues favorise le dépôt des sédiments. Cette combinaison entre les vagues et la morphologie induit des courants tourbillonnaires capables de transporter les sédiments déposés vers la passe du port.

Tous résultats de modélisation numérique doivent être validés par des mesures *in situ*. Ce qui n'est pas le cas pour notre étude, par conséquent les simulations obtenues ne sont pas valables pour l'utilisation en ingénierie.

Chapitre IV :
Etude sédimentologique

IV. Etude sédimentologique :

Introduction :

La connaissance de la nature des sédiments superficiels est un élément indispensable à une bonne gestion du domaine côtier, elle aide à prédire l'évolution future de la côte proche (Héquette et *al.*, 2005) car les sédiments de la plate-forme participent au budget général du domaine marin incluant le trait de côte. La taille de particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumettent aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (Blott et Pye, 2001 *in* Cordier, 2007) et reflète globalement l'énergie du milieu dans lequel il se trouve (Trentesaux, 2005).

Dans cette partie, nous verrons comment le paramètre de taille des sédiments peut nous renseigner sur les transits sédimentaires et sur leur répartition le long de la côte, afin de déterminer les mouvements sédimentaires responsables de l'ensablement du port de cap Djinet.

1. Etude granulométrique :

Elle consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (Rivière, 1977 *in* Mezouar, 2009). Les deux campagnes réalisées, en Mars et Août 2009, ont permis de procéder à un échantillonnage de la couverture sédimentaire des fonds de cap Djinet, et Les données granulométriques sont obtenues après tamisage au niveau du LEM. Les résultats de l'analyse granulométrique de l'ensemble des échantillons pour les deux campagnes sont représentés sous forme de courbes cumulatives (figure : IV. 1 et 2).

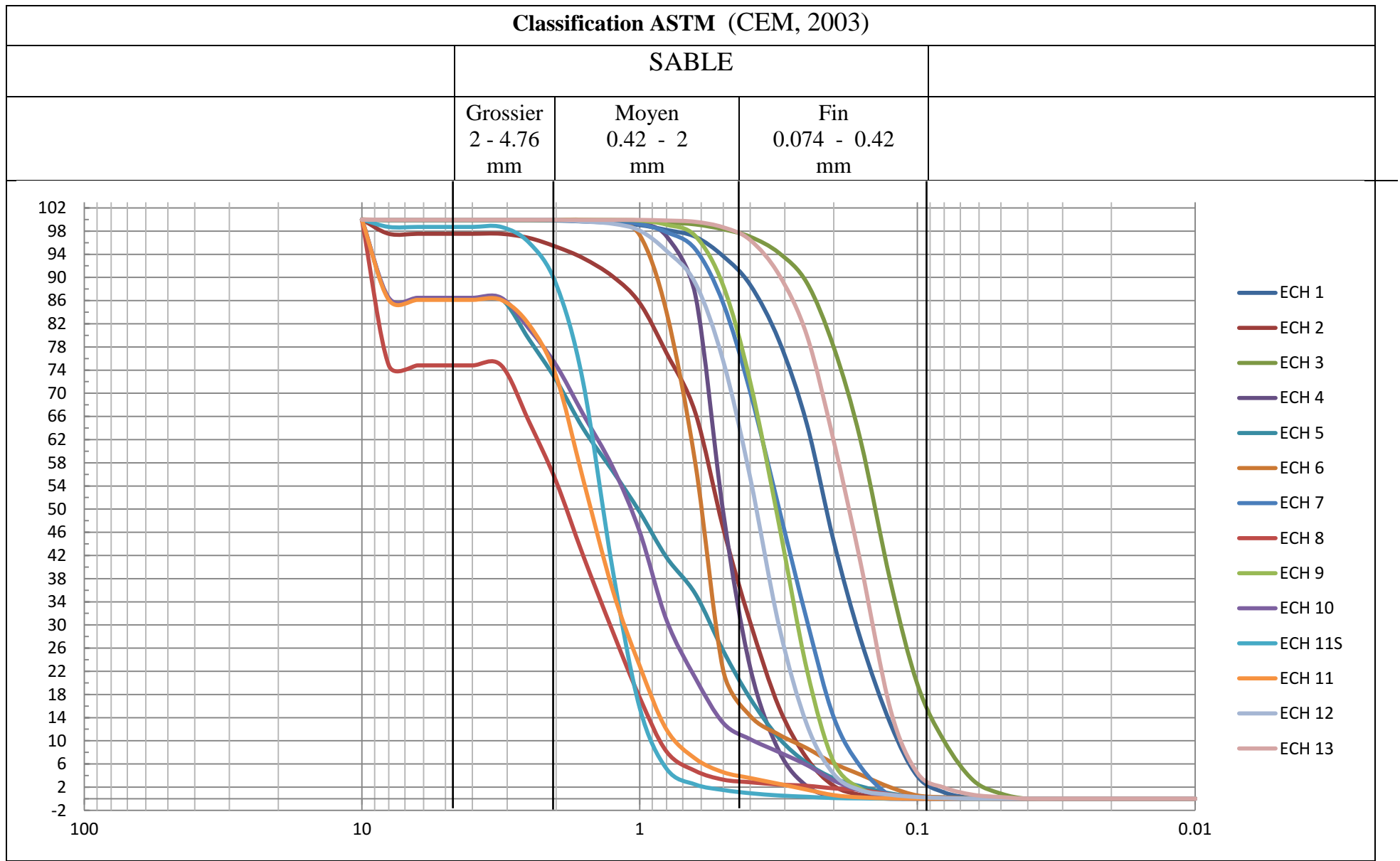


Figure IV.1 : Courbes cumulatives des échantillons prélevées en Mars 2009.

Classification ASTM (CEM, 2003)

SABLE

Grossier 2 - 4.76 mm	Moyen 0.42 - 2 mm	Fin 0.074 - 0.42 mm
----------------------------	-------------------------	---------------------------

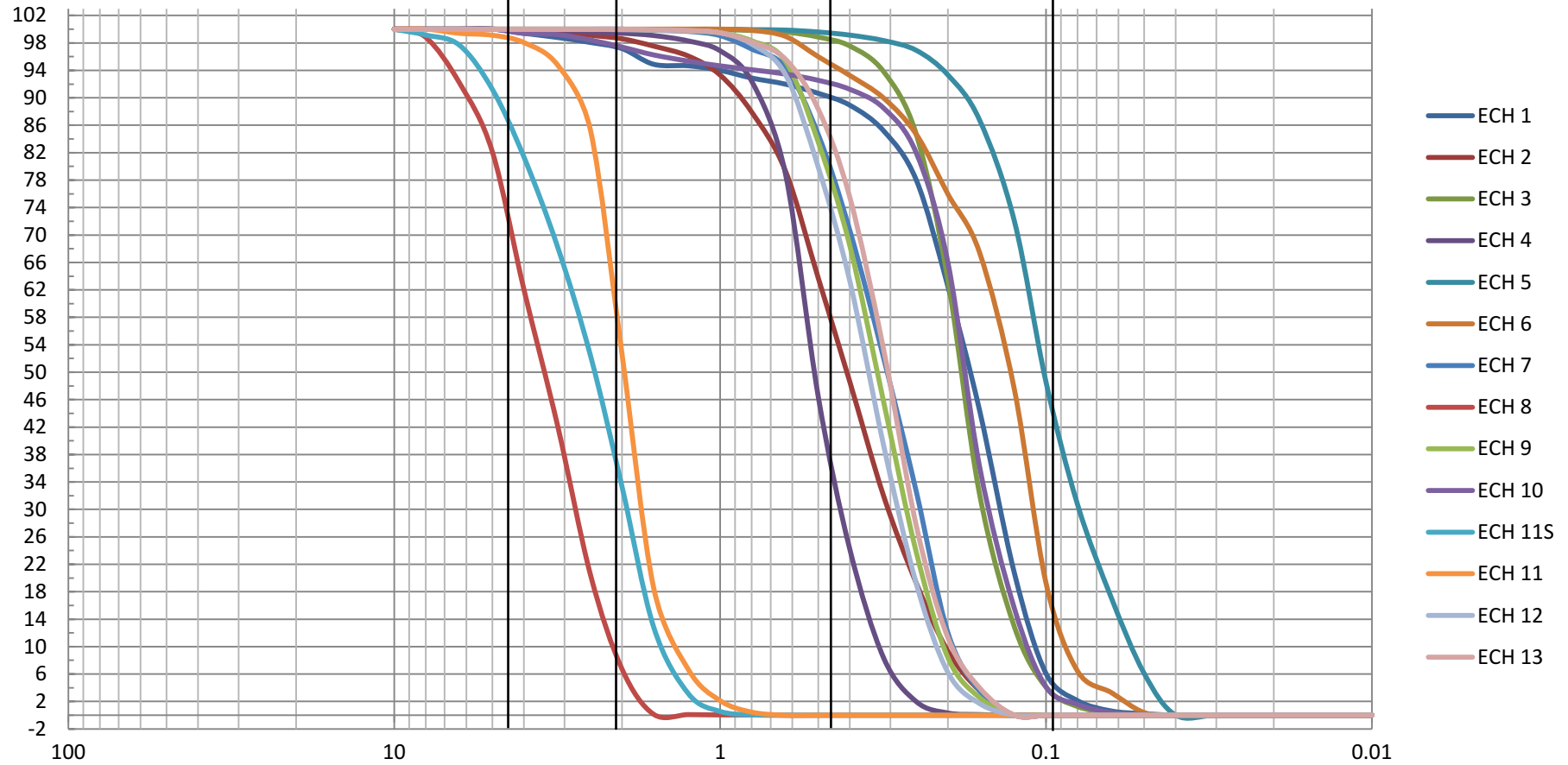


Figure IV.2 : Courbes cumulatives des échantillons prélevées en Août 2009.

2. Calcul des paramètres granulométriques :

L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (Bui et *al.*, 1990 in Cordier, 2007). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont : la taille moyenne des sédiments (Mz), l'indice de tri (So), l'indice de symétrie de la distribution (Sk).

Les méthodes de calcul de ces paramètres ont été obtenues par les formules de Folk et Ward (1957) qui nécessite l'élimination de la fraction coquillière de l'échantillon:

- **Indice central (diamètre moyen) :** permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléoécoulement (Losson et Corbonnois 2006).

$$Mz = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \quad (IV.1)$$

où $\phi = -\log_2(D)$ qui est le logarithme à base de 2 du diamètre D en millimètre

- **Le tri :** il donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley, 1987)

$$So = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \quad (IV.2)$$

- **Indice d'asymétrie (Skewness) :** ce paramètre indique sur l'enrichissement en particules grossières (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines (asymétrie positive) ou s'il y'a symétrie. Il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions du transport (Losson et Corbonnois 2006).

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} + 2(\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2(\phi_{50})}{2(\phi_{95} - \phi_5)} \quad (IV.3)$$

Tableau IV. 1 : Résultats de calcul des paramètres granulométriques (Mars 2009) :

échantillon	ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{50}	ϕ_{84}	ϕ_{95}	Mz	So	Sk	D. moyen	Tri	asymétrie
p1	3.26	2.90	2.23	1.52	0.90	2.22	-0.70	0.08	sable fin	très bon tri	Symétrique
p2	2.10	1.67	0.95	0.80	-0.90	1.14	-0.67	-0.21	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les grossiers
p3	3.87	3.42	2.81	2.17	1.59	2.80	-0.66	0.05	sable fin	très bon tri	Symétrique
p4	1.80	1.46	1.00	0.70	0.44	1.05	-0.40	-0.19	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les grossiers
p5	2.11	1.39	-0.30	-1.52	-3.23	-0.14	-1.54	-0.03	sable moyen	très bon tri	Symétrique
p6	2.46	1.20	0.73	0.32	0.09	0.75	-0.58	-0.26	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les grossiers
p7	2.69	2.29	1.68	1.03	0.67	1.67	-0.62	0.02	sable fin	très bon tri	Symétrique
p8	0.61	0.05	-0.88	-3.14	-3.26	-1.32	-1.38	0.32	sable moyen	très bon tri	forte asymétrie vers les fines
p9	2.38	2.10	1.63	1.10	0.78	1.61	-0.49	0.06	sable fin	très bon tri	Symétrique
p10	2.11	0.86	-0.10	-1.48	-3.21	-0.24	-1.39	0.17	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les grossiers
p11	0.33	0.00	-0.44	-0.89	-1.25	-0.44	-0.46	0.02	sable moyen	très bon tri	Symétrique
p12	2.88	1.98	1.40	0.82	0.30	1.40	-0.68	-0.07	sable fin	très bon tri	Symétrique
p13	3.30	3.00	2.50	1.90	1.40	2.47	-0.56	0.12	sable fin	très bon tri	asymétrie vers les grossiers

Tableau IV. 2 : Résultats de calcul des paramètres granulométriques (Août 2009) :

échantillon	ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{50}	ϕ_{84}	ϕ_{95}	Mz	So	Sk	D. moyen	Tri	Asymétrie
p1	3.32	3.08	2.56	1.73	-0.68	2.46	-0.94	0.42	sable fin	très bon tri	forte asymétrie vers les fines
p2	2.56	2.10	1.30	0.51	-0.16	1.30	-0.81	0.03	sable fin	très bon tri	Symétrique
p3	3.28	2.93	2.45	2.02	1.60	2.47	-0.48	-0.02	sable fin	très bon tri	Symétrique
p4	1.80	1.49	0.96	0.57	0.21	1.01	-0.47	-0.10	sable moyen	très bon tri	Symétrique
p5	4.36	4.02	3.30	2.73	2.22	3.35	-0.65	-0.05	sable fin	très bon tri	Symétrique
p6	3.71	3.38	2.97	2.03	1.14	2.79	-0.73	0.41	sable fin	très bon tri	forte asymétrie vers les fines
p7	2.57	2.25	1.70	1.20	0.64	1.72	-0.55	0.03	sable fin	très bon tri	Symétrique
p8	-0.94	-1.24	-1.79	-2.37	-2.78	-1.80	-0.56	0.05	sable grossier	très bon tri	Symétrique
p9	2.46	2.15	1.58	0.99	0.69	1.57	-0.56	0.01	sable fin	très bon tri	Symétrique
p10	3.29	2.99	2.49	1.93	-0.22	2.47	-0.80	0.30	sable fin	très bon tri	forte asymétrie vers les fines
p11	-0.25	-0.63	-0.97	-1.31	-1.67	-0.97	-0.39	-0.01	sable moyen	très bon tri	Symétrique
p12	2.38	2.08	1.51	0.91	0.60	1.50	-0.56	0.02	sable fin	très bon tri	Symétrique
p13	2.60	2.21	1.71	1.13	0.71	1.68	-0.56	0.07	sable fin	très bon tri	Symétrique

3. Cartographie des indices granulométriques :

La cartographie de la distribution spatiale des trois paramètres granulométriques peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et les conditions de dépôt (Friedman, 1979 ; Bui et *al*, 1990 in Cordier, 2007).

Les prélèvements superficiels réalisés dans la région de cap Djinet en Mars et Août 2009 ont permis de cartographier la couverture sédimentaire des fonds marins. L'interpolation est utilisée ici afin de prédire les valeurs prises par ces variables distribuées spatialement dans les endroits non échantillonnés.

4. Interprétation des résultats granulométriques :

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments de surface de la plage sous-marine, ont en général, la forme d'un S à forte pente (serrée), bien redressée indiquant l'homogénéité des stocks sableux et les conditions d'énergie adaptées à la charge transportée.

La couverture sédimentaire de cap Djinet est composée dans sa globalité par une majorité de sable fin qui représente 78%, 46% des échantillons prélevés respectivement en Août et Mars 2009 (tableau IV. 1 et 2). Les sables moyens constituent 15%, 46% de la totalité des échantillons. Les sables grossiers ne représentent que 7% des échantillons récoltés en Août. En Mars la fraction grossière est totalement absente

En période estivale (Août), le lit sableux change de caractéristiques, le diamètre moyen de 70% des échantillons a diminué, la couverture sédimentaire de la plage sous-marine est constituée principalement de sable fin. Ceci est expliqué par une diminution énergétique de l'hydrodynamisme pendant cette période.

5. Interprétation de la distribution des paramètres granulométriques :

- **Diamètres moyens :**

Les processus de répartition des sédiments dans la plage sous-marine de cap Djinet semblent être plus intenses dans une direction cross-shore que dans une direction long-shore (figure IV. 3.A et 3.B). Une variabilité maximale de la taille des grains est observée dans la direction perpendiculaire à la côte. Les changements de faciès sédimentaires se font préférentiellement dans cette direction.

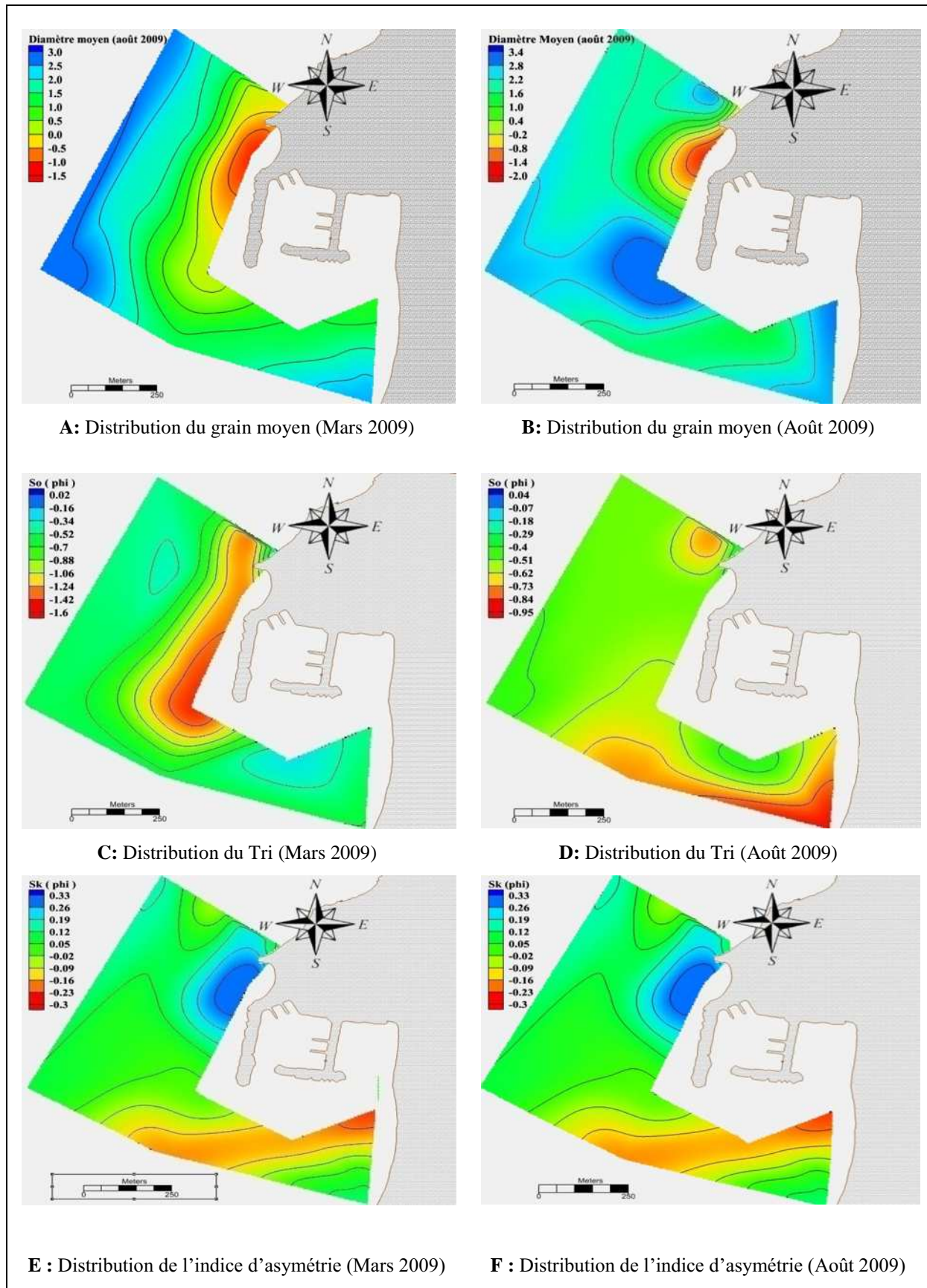


Figure IV. 3 : Distribution des indices granulométriques.

En effet les particules grossières se localisent au niveau de la petite baie, formée entre l'épi et la jetée principale, traduisant les forçage hydrodynamiques les plus intenses qui sont associés et qui mobilisent les particules de taille très petite et laissent celle de taille plus importante à leur place, les particules fines sont ensuite transportées et déposées au niveau des fonds plus profonds où intervient le courant de retour comme agent transporteur.

Une autre distribution plus ou moins étalée de la taille des sédiments (principalement les sables grossiers) a été constaté, qui se fait dans le sens Nord-Sud. Cela peut être expliqué par la présence d'un courant de dérive dû aux houles du Nord et Nord-est.

- **Le tri (So) :**

100% des échantillons dans notre zone d'étude ont $So < 0.35$, donc nous sommes en présence d'un sédiment très bien classé. Ceci peut être expliqué par l'hydrodynamisme faible enregistré dans cette zone et l'absence également de la fraction coquillère.

- **Indice d'asymétrie (Sk) :**

Les valeurs négatives de l'indice d'asymétrie sont représentées sous forme de bande linéaire orientée ENE-WSW (figure IV. 3.E et 3.F) révélatrices d'une asymétrie des particules vers les grossiers traduisant un excès en particules grossières. On constate également que les valeurs de Sk augmentent progressivement de part et d'autre de cette bande, traduisant un enrichissement progressif en particules fines et diminuent dans le même sens de l'orientation de la bande.

L'explication la plus pertinente qui peut être à l'origine de cette distribution est la présence d'un courant sagittal orienté ENE-WSW formé par la convergence de deux courants de dérive, l'un du secteur Nord et l'autre du secteur Sud.

Conclusion :

Le granoclassement décroissant des sédiments du Nord vers le Sud se traduit par leur déplacement suivant l'orientation du granoclassement, ainsi que les résultats obtenus pour l'indice d'asymétrie, traduisent la présence d'un courant sagittal orienté ENE-WSW dans la zone abrité du cap.

Chapitre V :
Simulation du transport sédimentaire

V. Simulation du transport sédimentaire :

Introduction :

Afin de déterminer la trajectoire des particules sédimentaires responsables de l'ensablement du port de cap Djinet, on a essayé de simuler les tendances aux transports par le modèle de GSTA (Grain Size Trend Analysis), ainsi, estimé la capacité des courants moyens à mobiliser les sédiments en cartographiant la différence entre la vitesse du courant moyen et la vitesse critique pour le début d'entraînement des sédiments.

1. Modèle de Gao et Collins :

La méthode d'analyse de Gao et Collins (1991, 1992, 1994a et 1994b) consiste à effectuer des prélèvements de sédiments superficiels selon un quadrillage régulier. Cette méthode est basée sur la probabilité d'occurrence d'une direction nette de transport en fonction des points de prélèvements adjacents. Ce modèle permet d'obtenir une carte de représentation des directions de transport sédimentaire potentiel, dans laquelle la probabilité de transport entre deux points d'échantillonnage est proportionnelle à la longueur du vecteur résiduel (Bertier, 2009).

1.1. Principe du modèle :

Le principe du modèle repose sur le postulat que la répartition des sédiments sur le fond résulte des processus de transport sédimentaire (Mc Laren, 1981 ; Mc Laren et Bowles, 1985 ; Gao et Collins, 1990, 1992 *in* Cordier, 2007).

L'érosion, le transport par traction, saltation ou suspension, le dépôt sélectif ou total ainsi que le mélange de sédiments en provenance de différentes sources, sont à l'origine de la variation de la distribution spatiale des paramètres granulométriques. Les directions privilégiées du transport sédimentaire peuvent être décrites par l'évolution de la taille moyenne (Mz), du tri (So) et de la symétrie de la distribution sédimentaire (Sk) (Mc Laren, 1981).

Par comparaison de (3) paramètre, 2^3 cas possibles peuvent apparaître entre un échantillon et son voisin, reconnu par le modèle de Gao et Collins (1992)

- 1 $Mz_1 \geq Mz_2$; $So_1 \geq So_2$; $Sk_1 \leq Sk_2$
- 2 $Mz_1 \leq Mz_2$; $So_1 \geq So_2$; $Sk_1 \geq Sk_2$
- 3 $Mz_1 \geq Mz_2$; $So_1 \geq So_2$; $Sk_1 \geq Sk_2$
- 4 $Mz_1 \leq Mz_2$; $So_1 \geq So_2$; $Sk_1 \leq Sk_2$
- 5 $Mz_1 \geq Mz_2$; $So_1 \leq So_2$; $Sk_1 \leq Sk_2$
- 6 $Mz_1 \leq Mz_2$; $So_1 \leq So_2$; $Sk_1 \geq Sk_2$
- 7 $Mz_1 \geq Mz_2$; $So_1 \leq So_2$; $Sk_1 \geq Sk_2$
- 8 $Mz_1 \leq Mz_2$; $So_1 \leq So_2$; $Sk_1 \leq Sk_2$

Partant du principe que le dépôt est mieux trié dans la direction du transport sédimentaire, deux cas d'évolution peuvent alors être rencontrés, qui représentent avec une plus grande probabilité les réelles tendances de transport sédimentaire, les transports de type FB- et CB+ (Gao et al, 1994 *in* Mezouar, 2009).

Le tableau V.1 définit ces deux cas de transport et présente les relations requises par les paramètres granulométriques, exprimés en unité phi (ϕ), pour un transport allant d'une station A vers une station B.

Tableau V. 1: Relations entre les paramètres granulométriques (en unité de phi) de deux station A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+.

Cas	Définition	Relations
FB-	Le sédiment est érodé à sa source, transporté puis totalement déposé. Le sédiment résultant du dépôt est plus fin, mieux trié et présente une asymétrie vers les particules grossières (asymétrie < 0 en unité ϕ).	$Mz_1 \leq Mz_2$ $So_1 \geq So_2$ $Sk_1 \geq Sk_2$
CB+	Le sédiment érodé à sa source est transporté et subit un dépôt sélectif le long du trajet de son transport du fait d'une diminution de l'énergie de l'agent de transport. Le sédiment qui résulte de ce transport est plus grossier, mieux trié avec une asymétrie vers les particules fines (asymétrie > 0 en unité ϕ).	$Mz_1 \geq Mz_2$ $So_1 \geq So_2$ $Sk_1 \leq Sk_2$

Le cas FB- correspond à des processus de transport de faible énergie et le cas CB+, des processus de forte énergie.

1.2. Procédure analytique :

- Détermination des paramètres granulométriques
- Détermination de la distance critique (D_{cr}) entre les échantillons :

La sélection des stations voisines pour le calcul des vecteurs initiaux se fait dans un rayon inférieur ou égal à une distance critique D_{cr} . Cette valeur représente généralement la distance maximale séparant deux points voisins afin d'inclure le maximum de points dans le calcul des vecteurs de transport et pour qu'il n'aurait pas de vecteurs nuls. Il apparaît alors évident que les caractéristiques de la grille d'échantillonnage influencent fortement les résultats du modèle. C'est pour cette raison que Gao et Collins (1994) recommandent l'utilisation d'une grille d'échantillonnage uniforme, et Asselman (1999) propose d'interpoler les paramètres granulométriques distribués selon une grille irrégulière, afin d'obtenir une grille uniforme pour chacun d'entre eux.

- Comparaison entre les trois paramètres granulométriques entre deux échantillons : Quand la relation pour un transport FB- ou CB+ est respectée (tableau V.1), un vecteur de transport est assigné au point de calcul. Le transport total est obtenu en sommant et en moyennant tous les vecteurs de transport obtenus pour une même station. Dans ce cas la résultante R de ces vecteurs peut s'exprimer par :

$$\vec{R}(x, y) = \sum_{n=1}^n \vec{r}(x, y) \quad (\text{V.1})$$

Avec :

n : nombre de vecteurs tendances ; $\vec{r}(x, y)$: vecteur tendance ; \vec{R} : vecteur résultant et (x, y) : coordonnées du vecteur

- Les vecteurs transport (modèle résiduel) : cette étape permet aux autres sites sans vecteurs, qui ne rependent pas au deux cas, de leur allouer des vecteurs, le calcul de ces vecteurs est obtenu par l'équation suivante :

$$\vec{R}_{av}(x, y) = \frac{1}{K+1} + \left[\vec{r}(x, y) + \sum_1^K \vec{R}_j \right] \quad (\text{V.2})$$

Avec :

$\vec{r}(x, y)$: le vecteur des points sélectionnés; \vec{R}_j : les vecteurs voisin ; K : nombre totale de sites voisins ayant impérativement un voisin

1.3. Limites de calcul des tendances de transport sédimentaire :

- La pertinence du choix de D_{cr}
- Une grille non uniforme peut induire des erreurs dans la définition des directions des vecteurs de transport en fonction du nombre de stations voisines comprises dans le cercle de rayon D_{cr} (Le Roux, 1994a, 1994b *in* Mezouar, 2009).

1.4. Application du modèle dans la zone de cap Djinet :

1.4.1. Calcul des paramètres granulométriques :

Les résultats de calcul de ces paramètres au niveau de cap Djinet ont été représentés dans le tableau V. 1 et 2. Mais en raison de l'éloignement des stations de prélèvements, on a procédé à une interpolation des paramètres granulométrique (Q 5, Q 16, Q 50, Q 84, Q 95) afin d'attribuer pour chaque station nouvelle (figure V.1) ces trois indices granulométriques : la moyenne (Mz), le tri (So), l'asymétrie (Sk).

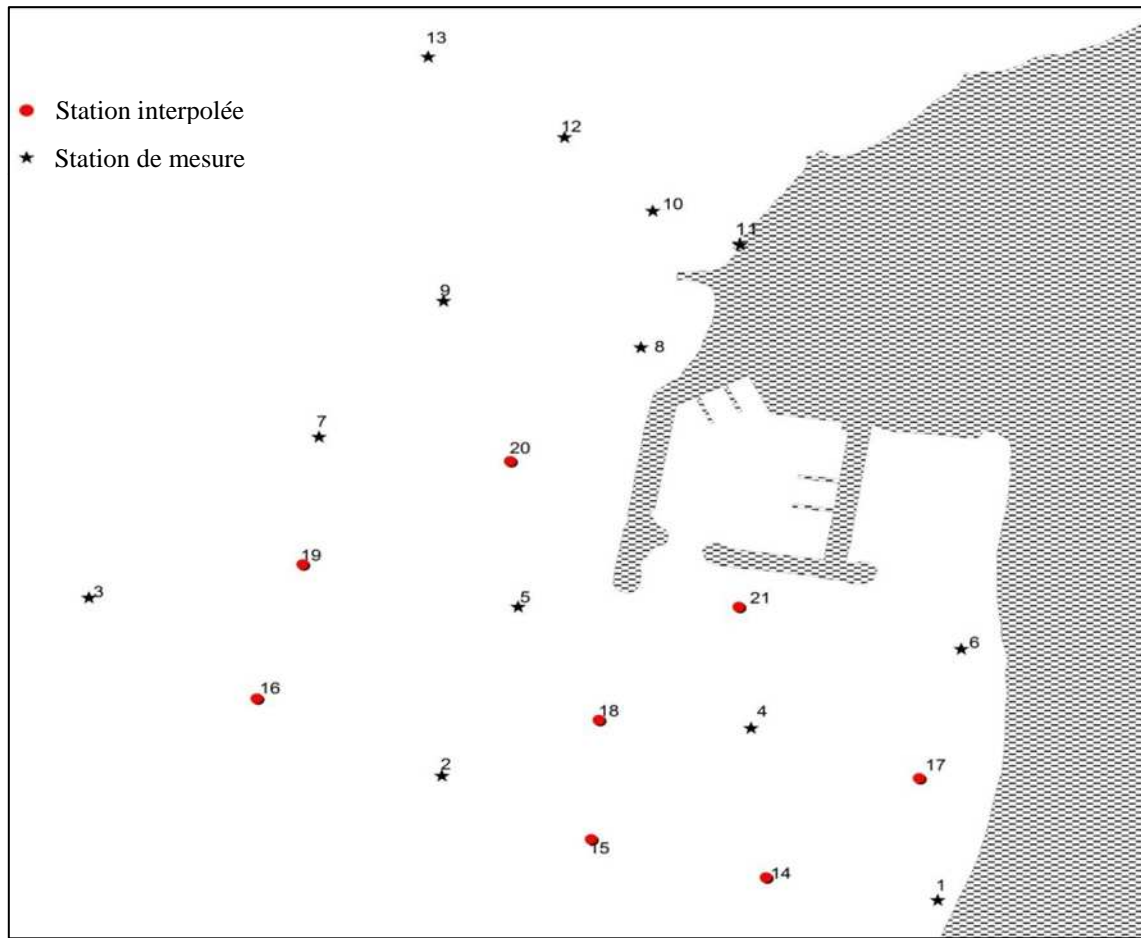


Figure V. 1: Répartition des stations interpolées.

Tableau V. 2: Résultats de l'interpolation des paramètres granulométriques (Mars 2009) :

Station	stations voisines	x	y	Q5	Q16	Q50	Q84	Q95	D. moyen	tri	Asymétrie
P14	15.4.1.17	563 943.7	4 080 708.9	2.384	1.940	1.346	0.891	0.313	1.392	-0.576	-0.068
P15	2.18.4.14	563 744.5	4 080 759.7	1.968	1.546	0.833	0.498	-0.563	0.959	-0.645	-0.128
P16	3.19.5.2	563 363.0	4 080 949.4	2.743	2.212	1.214	0.503	-0.716	1.309	-0.951	-0.026
P17	6.4.14.1	564 116.6	4 080 846.1	2.507	1.853	1.320	0.847	0.477	1.340	-0.559	-0.114
P18	4.2.5.15	563 752.0	4 080 923.1	2.003	1.507	0.550	-0.007	-1.230	0.683	-0.868	-0.082
P19	7.3.5.16	563 413.7	4 081 133.6	2.890	2.367	1.397	0.560	-0.323	1.441	-0.939	-0.002
P20	7.8.9.5	563 648.6	4 081 276.5	1.948	1.458	0.533	-0.633	-1.260	0.453	-1.008	0.116
P21	5.18.4	563 909.8	4081 079.1	2.384	1.940	1.346	0.891	0.313	1.392	-0.576	-0.068

Tableau V. 3: Résultats de l'interpolation des paramètres granulométriques (Août 2009) :

Station	stations voisines	x	y	Q5	Q16	Q50	Q84	Q95	D. moyen	tri	asymétrie
P14	15.4.1.17	563 943.7	4 080 708.9	2.621	2.316	1.764	1.132	0.006	1.737	-0.692	0.206
P15	2.18.4.14	563 744.5	4 080 759.7	2.422	2.042	1.371	0.783	0.269	1.399	-0.641	-0.021
P16	3.19.5.2	563 363.0	4 080 949.4	3.401	3.029	2.383	1.811	1.287	2.408	-0.625	-0.011
P17	6.4.14.1	564 116.6	4 080 846.1	2.943	2.650	2.163	1.443	0.223	2.086	-0.714	0.310
P18	4.2.5.15	563 752.0	4 080 923.1	2.907	2.537	1.853	1.270	0.757	1.887	-0.642	-0.029
P19	7.3.5.16	563 413.7	4 081 133.6	3.403	3.067	2.483	1.983	1.487	2.511	-0.561	-0.018
P20	7.8.9.5	563 648.6	4 081 276.5	2.113	1.795	1.198	0.638	0.193	1.210	-0.580	0.007
P21	5.18.4	563 909.8	4081 079.1	2.621	2.316	1.764	1.132	0.006	1.737	-0.692	0.206

1.4.2. Détermination de la distance critique D_{cr} :

La valeur de la distance critique employé dans notre modèle est égale à 250 m, obtenue en mesurant à l'aide de la règle dont dispose le logiciel Mapinfo, la distance maximale que peut avoir deux échantillons voisins.

1.4.3. Tendances au transport sédimentaire :

La simulation des tendances au transport sédimentaire par le modèle GSTA sont représentées dans les figures V. 2 et 3.

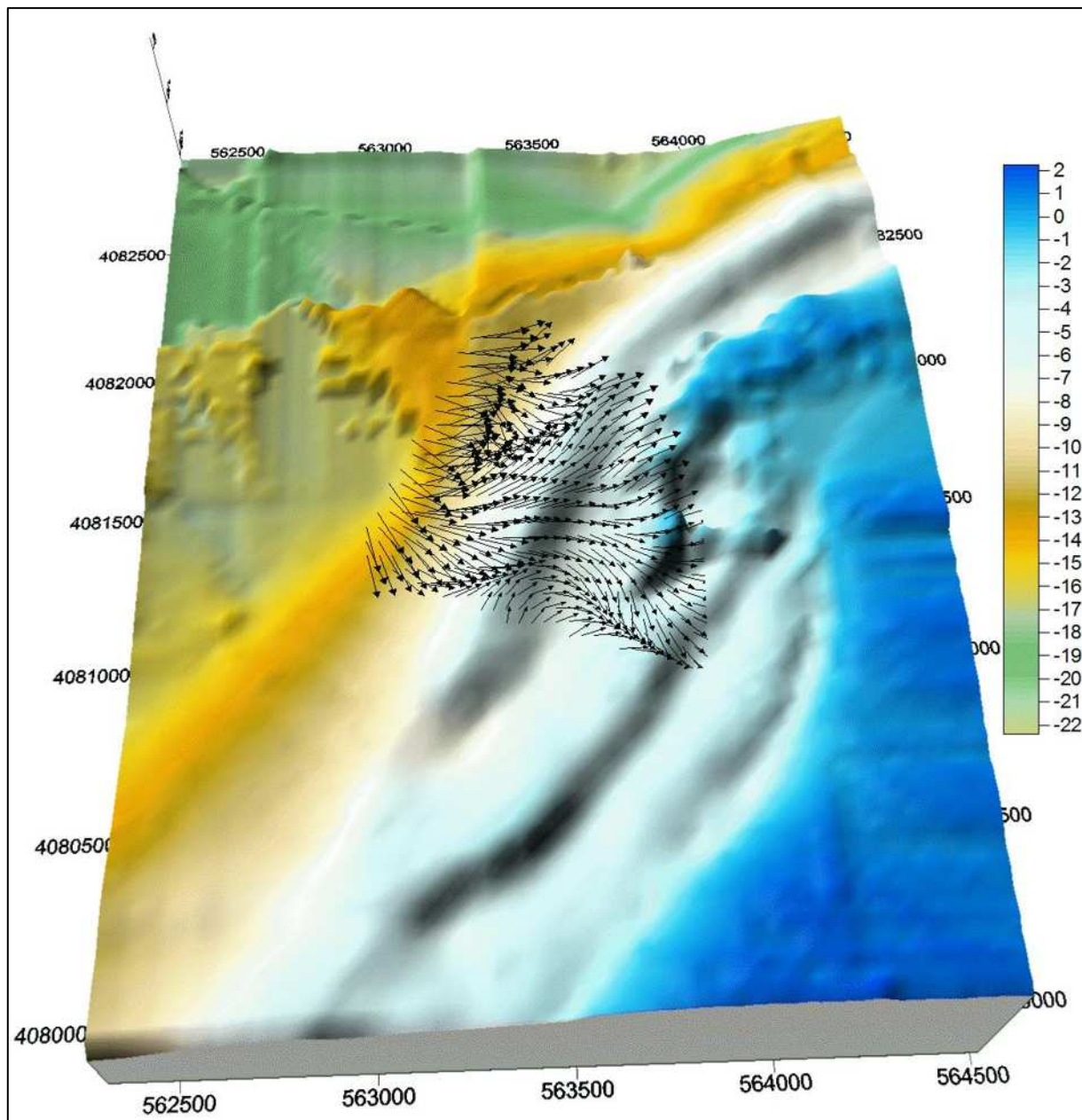


Figure V. 2: Carte des vecteurs résiduels obtenus à l'aide du logiciel GSTA pour la période hivernale (Mars 2009).

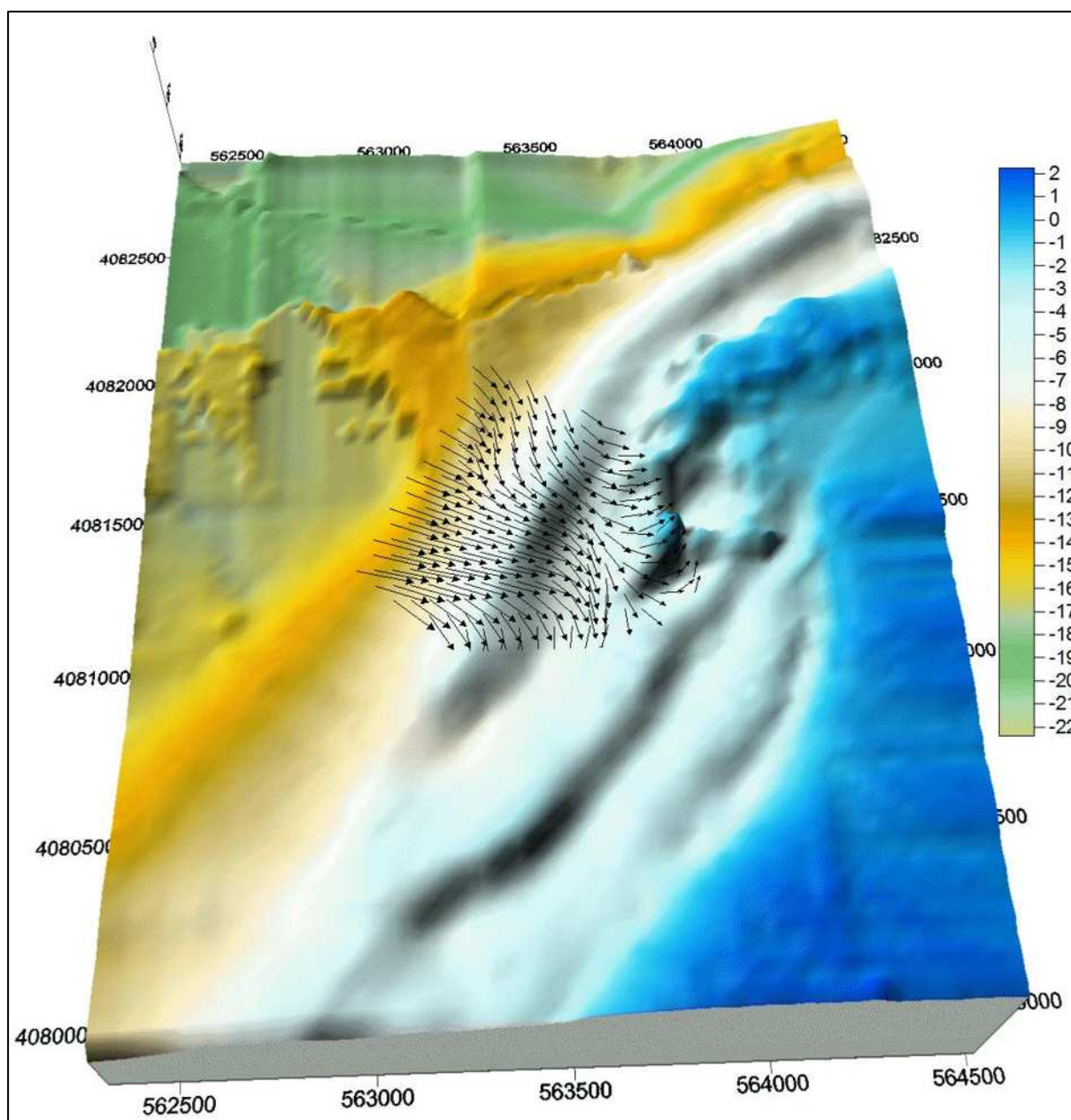


Figure V. 3: Carte des vecteurs résiduels obtenus à l'aide du logiciel GSTA pour la période estivale (Août 2009).

1.4.4. Interprétation des résultats :

En période hivernale, la majorité des vecteurs de tendances au transport sédimentaire (figure V.2), montre un déplacement des sédiments dans le sens large-côte. En effet, dans les zones les plus profondes (-13 à -15 m), les vecteurs de tendances semblent être perpendiculaires aux isobathes, mais dès qu'ils dépassent le sommet de la première barre sous-marine, deux sens divergeant tendanciel au transport sédimentaire se distinguent. Le premier est parallèle au trait de côte du cap, se dirigeant vers le Nord-est et l'autre vers le Sud-est qui est lui perpendiculaire à l'axe de la barre intermédiaire. Cette divergence, est liée directement au déplacement des masses d'eaux sur le fond, qui sont eux même conditionnées par la morphologie sous-marine et par conséquent la divergence peut être expliquée par la présence d'un relief sous-marin (rochers) qui dévie l'écoulement de part et d'autre. La déviation Sud-est des sédiments a une forte probabilité d'être à l'origine de l'ensablement du port. L'explication peut être donnée par le processus suivant : lorsque les sédiments se dirigent vers le Sud-est, l'alimentation de la barre intermédiaire devienne très active, et par conséquent la barre progresse longitudinalement vers l'Est jusqu'à atteindre la passe du port, ce qui traduit la formation d'une petite plage derrière la jetée secondaire (selon les témoignages de certains pêcheurs).

Le même phénomène de divergence des particules sédimentaire est observé en été (figure V.3), mais avec un axe différent orienté Nord-ouest Sud-est. Les sédiments transportés vers l'Est contournent l'extrémité de la jetée principale et sont introduits dans le port par diffraction. Par contre les sédiments transportés vers l'Ouest, qui présentent les transports majoritaires, sont accumulés à l'Ouest de la barre intermédiaire. Ce qui explique l'élargissement de la barre à ce niveau. La divergence des particules sédimentaires peut être provoquée par le rétrécissement constaté entre la barre externe et la côte, avant la jetée principale. A la sortie de ce rétrécissement le courant de dérive de Nord-est diverge drainant avec lui les particules sableuses.

2. Potentialité des courants simulés au transport sédimentaire :

Les courants induits par les vagues sont les principaux agents du transport sédimentaire en zone intertidale (Dehouck, 2006). Pour pallier au manque de mesures de transport sédimentaire sur le site, nous avons décidé de calculer la vitesse critique de cisaillement, nous donnant la vitesse nécessaire à la mise en mouvement des sédiments ainsi que les vitesses de cisaillement sur le fond sous l'interaction de la houle et des courants.

En calculant la différence entre les vitesses moyennes des courants (U) et les vitesses critiques pour le début d'entraînement des sédiments (U_{cr}), nous pouvons voir quand le transport sédimentaire potentiel est plus ou moins important. En effet, les vitesses des courants moyens pour chaque direction de la houle ont été extraites à travers les résultats de simulation obtenus dans le chapitre III.

2.1. Calcul de la vitesse critique de cisaillement :

La vitesse critique de cisaillement est liée à la taille du sédiment présent sur la plage sous-marine, pour cela nous avons utilisé le diamètre moyen des grains (M_Z) issus de la compagnie Mars (2009). Ce paramètre nous permet d'obtenir D^* (diamètre adimensionnel) puis de calculer le paramètre Θ_{cr} (paramètre de mobilité de la particule adimensionnelle) utile dans la formule du calcul de la tension de cisaillement τ_{cr} et la vitesse de cisaillement critique U_{cr} .

Les vitesses critiques de cisaillement ont été calculées à l'aide des formules de Van Rijn (1990)

$$U_{cr} = \left[\frac{\tau_{cr}}{\rho_w} \right]^{1/6} \quad (V.3)$$

τ_{cr} : est la tension de cisaillement donnée par :

$$\tau_{cr} = (\rho_s - \rho_w) g \Theta_{cr} M_Z \quad (V.4)$$

Θ_{cr} : est le paramètre de mobilité de la particule adimensionnelle donné par :

$$\Theta_{cr} = 0.14 (D^*)^{-0.64} \quad (V.5)$$

D^* : diamètre adimensionnelle donné par :

$$D^* = M_Z \left[\frac{(\rho_s - \rho_w) g}{\rho_w v^2} \right]^{1/3} \quad (V.6)$$

2.2. Interpolation et extraction des paramètres de calculs :

Le module « scatter » du SMS, permet l'extraction par interpolation, des valeurs de la vitesse moyenne du courant (U), du diamètre moyen (M_Z) et de la bathymétrie à partir des données de mesures et de simulations, sous forme d'une grille à 10 m de résolution et cela pour manipuler les différents paramètres sous les mêmes coordonnées géographiques.

2.3. Cartographie des transports potentiels :

L'ordre des grandeurs du transport potentiel ont été calculés par soustraction des valeurs de la vitesse critique de celles des vitesses moyennes du courant $X = U - U_{cr}$. Les valeurs obtenues sont ensuite cartographiées (figure V.4) selon les différentes directions de la houle.

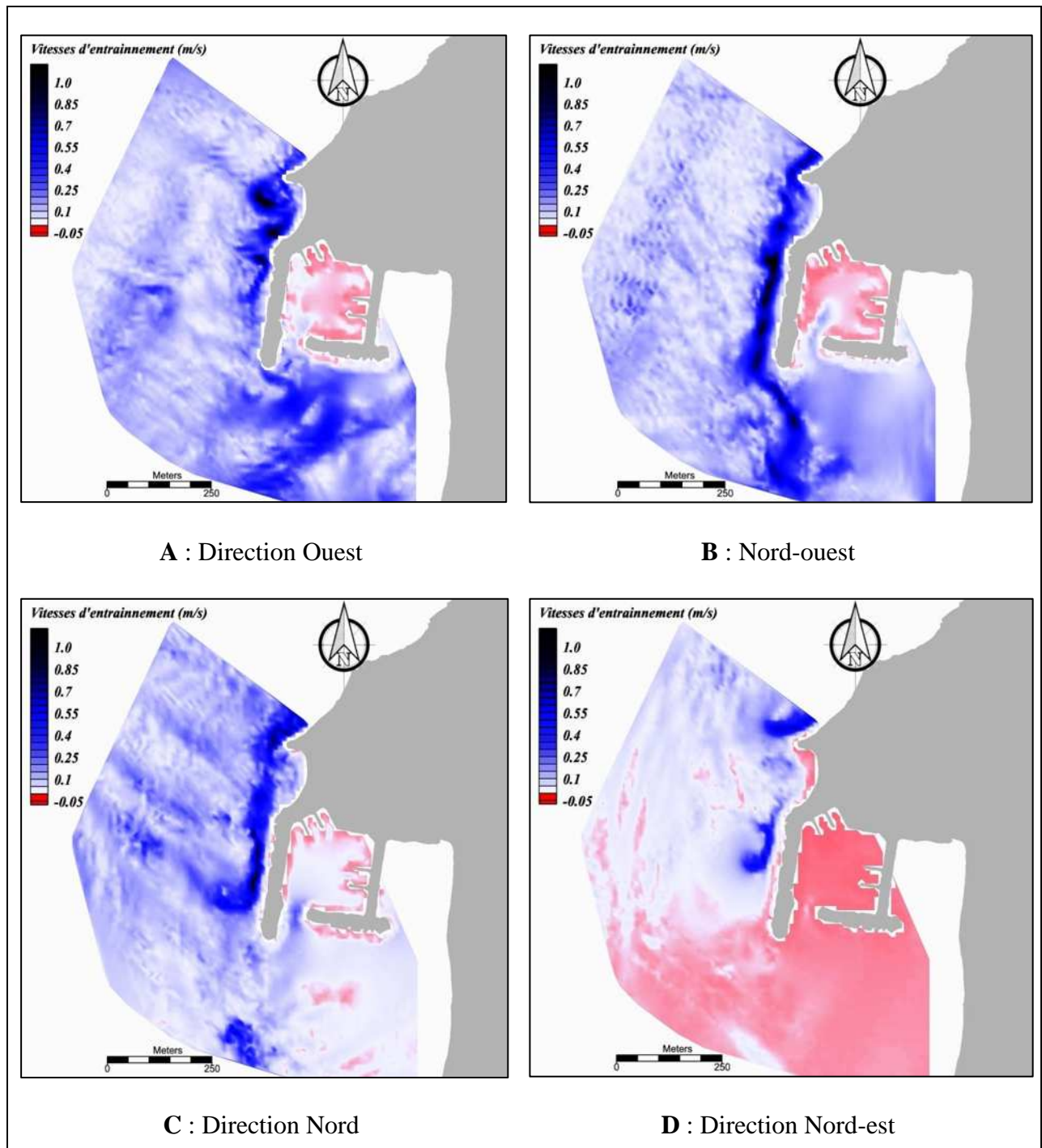


Figure V.4 : Transport sédimentaire potentiel pour les différentes directions de la houle.

2.4. Interprétation :

Le transport sédimentaire potentiel le plus important associé aux courants moyens se manifeste pour les trois directions de la houle (O, NO, N) sous forme de bande longitudinale (figure V. 4, A, B et C) dont les écarts entre les vitesses du courant moyen et celles des vitesses critiques peuvent atteindre 1 m/s. De même, le transport est caractérisé par deux sens du transport sédimentaire, l'un mobilise les particules vers le Nord causé par les houles de l'Ouest et l'autre mobilise les particules vers le Sud favorisé par les houles du Nord-ouest, Nord et Nord-est.

Pour la direction Nord-est (figure V.4A), le transport potentiel n'est pas vraiment important par rapport aux autres directions, les mobilisations les plus faibles sont marquées dans la zone abritée par le cap.

On peut conclure que la mobilisation importante des particules vers le Nord peut être la cause directe de l'ensablement de la passe d'entrée du port durant l'impact des houles de l'Ouest, de même pour les autres directions de la houle mais, ici, l'ensablement serait causé par l'intervention du phénomène de diffraction qui dévie les sédiments à l'intérieur du port.

Conclusion

Selon ces résultats, le transport sédimentaire potentiel le plus important au niveau de cap Djinet, se fait parallèlement au trait de côte. Caractérisé par deux sens tendanciel au déplacement particulaire. L'un transportant les sédiments vers le Sud, une partie de ces sédiments contournent l'extrémité de la jetée principale, et par diffraction s'introduisent à l'intérieur du port. L'autre transportant les sédiments vers l'Est, observé notamment à l'Est du cap au niveau de la barre externe. Ce transport se converge directement vers la passe d'entrée du port qui peut provoquer de forte accumulation.

Chapitre VI :
Quantification des transports longitudinaux

VI. Quantification des transports longitudinaux :

Introduction :

Dans la zone littorale, des quantités importantes de sables sont transportées sous l'action de la houle et des courants. Quand les vagues atteignent la côte et déferlent sur la plage, elles génèrent des courants côtiers qui interagissent avec les vagues incidentes pour transporter le sédiment (Masselink *et al*, 2006).

1. Quantification des débits solides :

La quantification des débits solides transportés le long de la côte de cap Djinet a été calculée par les deux méthodes les plus utilisées : CERC (1984) et Kamphuis (1991). En raison des différences morphologiques (pentes, tableau VI.1, et orientations des isobathes) à l'Est et à l'Ouest du cap, les débits solides ont été quantifiés pour les deux zones.

Les paramètres utilisés dans les formules ont été obtenus en analysant les données du USSMO intégrées au modèle BOUSS2D. En effet ce modèle nous a permis de déterminer l'angle moyen que font les vagues avec l'isobathe 2.5 m, considéré comme la profondeur moyenne de déferlement.

Les calculs du transit ont été menés pour les directions dominantes de la houle au large (O, NO, N, NE, E), pour trois combinaisons de périodes ($T = 6$; $T = 8$; $T = 10$), aux quelles est exposée la zone. Les volumes ainsi obtenus sont multipliés par les fréquences d'apparition des houles.

Tableau VI. 1 : Pente moyenne et orientation des isobathes dans les régions Est et Ouest du cap Djinet.

	Région Ouest	Région Est
Pente moyenne	0.0108	0.0246
Orientation des isobathes	225 N	240 N

1.1. Quantification du débit solide par la formule de Kamphuis (1991) :

La formule de Kamphuis *et al*, (1991) a été développée à l'aide d'un grand nombre de données de terrain et de laboratoire, et prend en compte la granularité du sédiment, la pente de la plage et correspond à l'aboutissement de près de 15 années de recherche (Bertin, 2008), elle s'écrit :

$$S = 2.7 (H_{br})^2 \cdot (T_p)^{1.5} \cdot (F)^{0.75} \cdot (D)^{-0.25} \cdot \sin(2\alpha)^{0.6}$$

Avec :

S : débit solide (kg/s) ; **D** : diamètre moyen du grain (m) ; **H_b** : hauteur de la houle au déferlement (m) ; **α** : angle d'incidence de la houle (°) ; **F** : pente de la plage (°) ; **T_p** : période pique de la houle.

1.2. Quantification du débit solide par la formule de CERC (1984) :

La formule du CERC (1984) est la plus utilisée à travers le monde. Sa définition originale provient des travaux d'Inman et Komar (1970) à partir de traceurs fluorescents. Cette formule s'appuie sur la composante énergétique des vagues en relation avec l'incidence des houles déferlantes avec le rivage. Elle s'écrit :

$$Q = K * \frac{\rho\sqrt{g}}{16\sqrt{\gamma(\rho_s-\rho)(1-n)}} H_b^{5/2} \cdot \sin(2\alpha) \quad (VI.1)$$

Avec :

Q : transport longitudinal (m³.s⁻¹) ; **n** : facteur de porosité (0,4) ; **α** : angle d'incidence des houles au déferlement ; **ρ_s** : densité du sable (2650 kg/ m³) ; **ρ** : densité de l'eau de mer (1025 kg/ m³) ; **K** : paramètre empirique (0,12) ; **H_b** : hauteur au déferlement est calculée à partir de la formule de Goda (1970) récemment validée et améliorée par Rattanapitikon & Shibayama (2000) :

$$H_b = 0.17L_0 \left\{ 1 - \exp \left[\frac{\pi d_b}{L_0} k \right] \right\} \quad (VI.2)$$

Avec :

K = 16,21 tanβ² - 7,07tanβ - 1,55 ; **β** : pente de la plage (°) ; **L₀** : Longueur d'onde de la houle au large (m) ; **d_b** : Profondeur d'eau au déferlement (m)

$$d_b = LN \left[\frac{1}{\frac{0.56H_0(\frac{H_0}{L_0})^{-0.2}}{1 - \frac{0.18H_0}{L_0}}} \right] \cdot \frac{H_0}{1.53 \pi (1 + 15 \tan \beta^{0.8})} \quad (VI.3)$$

2. Résultats et discussions :

Les résultats obtenus des transports sédimentaires pour les deux régions et pour les 5 directions de la houle sont représentés dans les deux tableaux VI. 2 et 3 ci-dessous, Pour l'ensemble des paramètres calculés voir annexe C. 1 et 2.

Tableau VI.2: Transport potentiel total selon chaque direction de la houle :

Formule Direction	Région Est		Région Ouest	
	CERC (m ³ /an)	Kamphuis (m ³ /an)	CERC (m ³ /an)	Kamphuis (m ³ /an)
Ouest	243 201	111 092	178 250	77 119
Nord-est	42 469	19 329	24 757	5 694
Nord	59 204	20 403	85 964	19 128
Nord-est	100 987	51 458	176 725	33 019
Est	475 113	185 023	873 606	108 627

Le transport longitudinal total calculé au niveau de cap Djinet est très important, puisque il varie de $5 \cdot 10^3$ à $8 \cdot 10^5$ m³/an selon les secteurs (tableau VI.2). Les transports les plus élevés sont causés par les houles de directions Est, Nord-est et Ouest.

Tableau VI.3 : Transit littoral total et brut (m³/an) selon la formule de CERC (1984) et Kamphuis (1991) :

Formules	Région Ouest		Région Est	
	CERC 1984	Kamph 1991	CERC 1984	Kamph 1991
Volumes sédimentaires				
Volume déplacé vers l'Est (m ³ /an)	178250	77119	285671	130421
Volume déplacé vers l'Ouest (m ³ /an)	1211968	166469	635306	256885
Volume résultant de l'Est vers l'Ouest (m ³ /an)	1033718	89350	349635	126464

Dans la région Ouest du cap, la formule de CERC donne : un transport total vers l'Ouest de l'ordre de $1211968 \text{ m}^3/\text{an}$, un transport total vers l'Est d'environ $178250 \text{ m}^3/\text{an}$ donc un transport brut vers l'Ouest de l'ordre de $1033718 \text{ m}^3/\text{an}$. Une prédominance pareille dans le sens du transport a été trouvé par la formule de Kamphuis, mais avec des volumes plus au mois faible.

Dans la région Est du cap, les volumes calculés par la formule de Kamphuis représentent la moitié des quantités obtenues par la formule de CERC, cette dernière donne : un transport total vers l'Ouest de l'ordre de $635306 \text{ m}^3/\text{an}$, un transport total vers l'Est d'environ $285671 \text{ m}^3/\text{an}$ donc un transport brut vers l'Ouest de l'ordre de $349635 \text{ m}^3/\text{an}$.

Nous remarquons que, le transit sédimentaire prédominant dans les deux régions se dirige vers l'Ouest avec des quantités brutes de sédiments qui peuvent atteindre $1033718 \text{ m}^3/\text{an}$ dans la région Ouest et $349635 \text{ m}^3/\text{an}$ dans la région Est.

Conclusion :

Les formules ont montré l'importance des volumes transportés le long de la côte, cela a été confirmé par le calcul du cubage des sédiments entre Août 2008 et Août 2009 dont le volume brut est égal à $193462 \text{ m}^3/\text{an}$ pour une superficie de 945794 m^2 .

L'étude de l'ensablement des ports s'intéresse beaucoup plus aux transports totaux qu'aux transports bruts puisque tout les sens du transport sédimentaire peuvent provoquer leur ensablement.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Conclusion générale :

Les divers résultats obtenus dans les différents chapitres traités, dans lesquels on a essayé de décortiquer l'ensemble complexe des processus côtiers qui déterminent l'ensablement du port en agissant sur les différentes parties de la zone, nous mènent aux conclusions suivantes :

En termes de prise de décision, la première cause de l'ensablement du port est due à son implantation dans une région où les mouvements sédimentaires sont très importants. D'énormes quantités de sable rejetées par les deux grands oueds, Sébaou et Isser cernant la zone, transitent le long de la côte. Une fois les sédiments arrivés en mer, ils sont remodelés et redistribués par les forçages hydrodynamiques. Les résultats des simulations numériques, même s'ils ne sont pas validés par des mesures *in situ*, ont pu nous renseigner sur la propagation des vagues et le comportement des courants moyens induits dans la zone, et nous mener à déduire les transports sédimentaires résultants.

La configuration morphologique, traitée dans le chapitre II, est caractérisée par la présence des barres sous-marines dont les migrations cross-shore, observées sur les profils, peuvent atteindre le port. Leurs nombres, leurs dimensions, leurs positions par rapport au trait de côte et surtout les profondeurs au niveau de leurs crêtes sont des paramètres qui interagissent avec l'hydrodynamisme local. Cela nous mène à diviser la zone en deux parties distinctes, une au Nord plus ou moins réfléchive et l'autre au Sud, abritée par le cap et le port, plus ou moins dissipative selon les résultats de modélisation de la propagation des vagues de période $T_p = 8s$.

Dans la partie Nord de la région, caractérisée par une profondeur relativement importante et une pente abrupte, les vagues conservent, lors de leur propagation, la quasi-totalité de leur énergie pour se libérer ensuite brutalement près du rivage. Ce processus se traduit par le grossissement de la taille des grains. Les vagues des secteurs Nord-ouest, Nord et Nord-est arrivent à la côte avec une certaine obliquité engendrant des courants de dérive qui s'écoulent vers le Sud avec des vitesses élevées (peuvent dépasser 1 m/s derrière la jetée principale pour les vagues du secteur Nord-ouest). Le granoclassement décroissant du Nord au Sud, observé dans l'étude granulométrique, justifie l'entraînement des sédiments par ces courants. Les vagues d'Ouest sont les seules qui sont susceptibles de générer un courant de dérive se dirigeant vers l'Est. Dans cette zone, les transports sédimentaires sont importants et sont estimés à environ $635000 \text{ m}^3/\text{an}$ vers l'Ouest et $285000 \text{ m}^3/\text{an}$ vers l'Est selon la formule de CERC (1984).

Conclusion générale

La partie Sud est déterminée par la dissipation de l'énergie des vagues qui est due à la morphologie, relativement peu profonde, caractérisée par la présence des barres internes, entre la barre externe et le trait de côte. Cette diminution des amplitudes des vagues est de plus en plus importante, avec la variation des secteurs de leurs générations de l'Ouest vers l'Est, sous l'effet diffractif du cap et du port qui abrite la plage Sud. L'analyse des profils, des variations cross-shore des hauteurs significatives des vagues, superposés avec la bathymétrie a montré l'effet du fond et des barres internes, en particulier, sur l'atténuation de l'énergie des vagues. Cette dissipation favorise le dépôt des sédiments et le faible hydrodynamisme est traduit par la granulométrie, relativement fine, obtenue dans le chapitre IV. Les vagues du secteur Ouest génèrent des courants qui se dirigent vers la structure portuaire qui les force à changer leur direction et quitter la plage en longeant la jetée secondaire et formant un courant sagittal. Dans ce cas le port joue le rôle d'épi en piégeant les sédiments transportés. Les vagues provenant des autres directions, sous l'action de la complexité morphologique, induisent des courants tourbillonnaires assez puissants pour mobiliser le sable et le transporter vers le bassin portuaire. La cartographie des potentiels au transport sédimentaire traduit l'importante capacité du courant à entraîner les particules sédimentaires. Les transports sédimentaires, sont plus importants dans cette zone, considérés à environ $1,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$ vers l'Ouest et $178000 \text{ m}^3/\text{an}$ vers l'Est, d'après la formule de CERC (1984).

Les résultats obtenus par le modèle GSTA de Gao et Collins ont montré que les sédiments sont transportés du Nord vers le Sud longeant la jetée principale et contourne le musoir pour s'introduire dans le bassin portuaire sous l'effet de la diffraction.

Nous jugeons qu'il est indispensable de prendre en compte les deux sens des transports sédimentaires longitudinal et transversal (cross-shore), avec les variations morphologiques résultantes. Alors, une étude plus approfondie sur la dynamique des barres sous-marines est impérativement nécessaire pour une meilleure compréhension des impacts de ces mécanismes sur le problème de l'ensablement du port. Dans l'attente de solutions, efficaces à long terme, basées sur des études plus concrètes et plus approfondies qui mettront la lumière sur tout les processus susceptibles de provoquer l'ensablement de la pesse d'entrée, une exploitation du sable qui bloque la circulation des bateaux par dragage continu, peut être envisager comme solution provisoire.

Bibliographie

Bibliographie

Aagaard, T., Black, K. P., et Greenwood, B. (2002). Cross-shore suspended transport in the surf zone: a field-based parametrization. *Marine Geology* , 185, 283-302.

Abdoun, M., et Idri, S. (1994). Etude morphosédimentaire et perspectives d'aménagement dans le site de Djinet. Mémoire d'ingénieur, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 104 p.

Alloui, L. S. (1999). L'extraction des granulats marins en Algérie : problématique et perspective cas de la baie d'Alger, baie de Zemmouri. Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 110 p.

Aubry, A. (2010). Processus hydrodynamiques et bilans morpho-sédimentaires d'un littoral macrotidal en accrétion : étude in situ et par télédétection spatiale. Application aux Hemmes de Marck, Nord pas-de-calais, (France). Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 326 p.

Belkessa, R. (1991). Evolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure. Thèse de Magister, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 162 p.

Benzaid, N. (1995). Etude d'impact sur l'environnement d'un port de plaisance à cap Djinet wilaya de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 74 p.

Bertier, J. (2009). Analyse multi-échelles de la morphodynamique d'une plage artificielle, avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France). Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 303 p.

Bertin, X. (2008). Morphodynamique séculaire, architecture interne et modélisation d'un système baie/embouchure tidale : le Pertuis de Maumusson et la baie de Marennes-Oléron. Thèse de Doctorat, Université de la Rochelle, La Rochelle, 198 p.

Boukhari, B., et Saoud, I. (2009). Contribution à l'étude hydrodynamique et mouvements sédimentaires dans la presque ile de Sidi Fredj (Alger Ouest). Mémoire d'ingénieur, École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 32 p.

Camenen, B., et Larson, M. (2007). A unified sediment transport formulation for coastal inlet application. Technical Report ERDC/CHL CR-07-1, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 247p.

Castelle, B., Bonneton, P., Dupuis, H., et Sénéchal, N. (2007). Double bar beach dynamics on the high-energy meso-macrotidal French Aquitanian coast : a review. *Marine Geology* , 245, 141-159.

Cauchat, J. (2007). Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens. Thèse de Doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie, Caen, 213 p.

Bibliographie

- Certain, R. (2004).** Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le Golfe du Lion (Languedoc-Roussillon). Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, Perpignan, 209 p.
- Certain, R., et Barusseau, R. (2004).** Modélisation conceptuel de l'évolution morphodynamique des barres sédimentaires d'une plage microtidale (Sete, France). VIIIèmes Journées Nationales Génie Civil – Génie Côtier, Compiègne, Paralia, (pp. 175-183).
- Chaibi, M., Sabatier, F., et Maanan, M. (2009).** Quantification du transport sédimentaire longshore : application à la baie d'El Haouzia (région d'El Jadida, Maroc). Bulletin de l'Institut Scientifique n°31, section Sciences de la Terre , 21-27.
- Chamley, H. (1987).** Sédimentologie. DUNOD, Paris, 175 p.
- Cordier, E. (2007).** Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage/La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires. Thèse de Doctorat, Université De la Reunion, la Reunion, 193 p.
- Dean, R. G., et Dalrymple, R. A. (2004).** Coastal Processes with Engineering Applications. Cambridge University Press, Cambridge, 475 p.
- Dehouck, A. (2006).** Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère). Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Ecole Doctorale des Sciences de la Mer, Brest, 263 p.
- Demirbilek, Z., et Pachang, V. (1998).** CGWAVE : Acoastal surface water wave model of the mild slope equation. Coastal and Hydraulics Laboratory Technical Report CHL-98-26, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 112 p.
- Demirbilek, Z., Zundel, A., et Nwogu, O. (2005).** BOUSS-2D Wave Model in the SMS: 1. Graphical Interface. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-I-69, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 26 p.
- Dhouib, F. (2010).** Modélisation hydrodynamique et évolution du trait de côte : application à la frange côtière de Sfax. Mémoire du Mastère, L'École Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Sfax, 112 p.
- Dreano, J. (2009).** Dynamique et morphologie de dépôts sédimentaires en chenal expérimental. Thèse de Doctorat, Université de Rennes I, Rennes, 161 p.
- Ferrer, P. (2010).** Morphodynamique à multi-échelles du trait de côte (prisme sableux) du golfe du Lion depuis le dernier optimum climatique. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan via Domitia, Perpignan, 255 p.
- Gao, S. (1996).** A Fortran program for grain-size analysis to define net sediment transport. Computers and Geosciences , 22 (4), 449-452.
- Gao, S., & Collins, M. (1991).** A critique of the "McLaren method" for defining sediment. Journal of Sedimentary Petrology , 61, 143-146.

Bibliographie

- Gao, S., & Collins, M. (1992).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size. *Sedimentary Geology* , 80, 47-60.
- Gao, S., & Collins, M. (1994a).** Analysis of grain-size trends for defining sediment transport. *Journal of Coastal Research* , 10 (1), 70-78.
- Gao, S., & Collins, M. (1994b).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"-reply. *Sedimentary Geology* , 90, 157-159.
- Garnaud, S. (2002).** La sédimentation fine sur une plate-forme interne actuelle macrotidale: la baie de Seine sud-orientale (France). Thèse de Doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie, Caen, 297 p .
- Goda, Y. (1970).** A synthesis of breaker indices. *Trans. JSCE* , 2, 277-230.
- Grasso, F. (2009).** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages. Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I, Grenoble, 165 p.
- Gratiot, N. (2007).** Rôles de l'hétérogénéité des sédiments de fond et des interactions houle-courant sur l'hydrodynamique et la dynamique sédimentaire en zone subtidale, applications en Manche orientale et à la pointe de la Bretagne. Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 469 p.
- Héquette, A., Hemdane, Y., & Anthony, E. J. (2008).** Determination of Sediment Transport Paths in Macrotidal Shoreface Environments: A Comparison of Grain-Size Trend Analysis with Near-Bed Current Measurements. *Journal of Coastal Research*, 24 (3), 695–707.
- Hughes, S. A., et Hales, L. Z. (2007).** Monitoring Completed Navigation Projects Program: Shoaling of Aguadilla Harbor, Puerto Rico. Coastal and Hydraulics Laboratory Technical Report ERDC/CHL TR-07-2, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 195 p.
- Jeanson, M. (2009).** Morphodynamique du littoral de MAYOTTE des processus au réseau de surveillance. Thèse de Doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 347 p.
- Kamphuis, J. W. (1991).** Alongshore sediment transport rate. *J. Waterways, Port, Coast. Ocean. Eng* , 117, 624–640.
- Komar, P., & Inman, D. (1970).** Longshore sand transport on beaches. *Journal of Geophysical Research* , 75, 227-230.
- Larfi, B., et Remini, B. (2006).** Le transport solide dans le bassin versant de l'oued Isser impact sur l'envasement du barrage de Beni amrane (Algérie). *Laboratoire de Recherche en Hydraulique Souterraine et de Surface. Larhyss Journal* (5), 63-73.
- Le Hir, P. (2008).** Aide mémoire de dynamique sédimentaire (éd. 7). Publication de l'IFREMER, Brest, 74p.

Bibliographie

- Leclaire, L. (1972).** La sédimentation Holecène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléaire. Thèse Université de Paris, memoire de Meséum d'histoire naturelle, serie C, 391 p.
- LEM. (2009).** Etude d'aménagement d'un port de pêche et de plaisance à cap Djinet: Etude d'ensablement du paort. Laboratoire d'Etudes Maritimes, Alger, 46 p.
- Lippmann, T., et Holman, R. (1990).** The Spatial and Temporal Variability of Sand Bar Morphology. *Journal of Geophysical Research* , 95 (C7), 11575-11590.
- Losson, B., et Corbonnois, J. (2006).** Les modes de sédimentation détritique: nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *Geologica Belgica* , 9 (3-4), 257-265.
- Mas, V. (2009).** Caractérisation de l'activité hydrosédimentaire dans le système turbiditique du Var (NO Méditerranée) et de son enregistrement dans l'archive sédimentaire. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, Bordeaux, 203 p.
- Masselink, G., Kroon, A., & Davidson-Arnott, R. G. (2006).** Morphodynamics of intertidal bars in wave-dominated coastal settings — A review. *Geomorphology*, 73, 33-49.
- McLaren, P. (1981).** An interpretation of trends in grain size. *J. Sed. Pet* , 51, 611-624.
- McLaren, P., & Bowles, D. (1985).** The effect of sediment transport on grain-size distribution. *Journal of Sedimentary Petrology* , 55 (4), 457-470.
- Mezouar, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. Thèse de Doctorat, Université technique de construction de Bucarest, Bucarest, 404 p.
- Morellato, D. (2008).** Dynamique des plages sableuses soumises à l'action des vagues de la marée et des rechargements artificiels. Thèse de doctorat, CETMEF, Paris, 265 .
- Nwogu, O. (1993).** Alternative forme of Boussinesq equations for nearshore wave propagation. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* , 119 (6), 618-638.
- Nwogu, O., et Demirbilek, Z. (2001).** BOUSS-2D: A Boussinesq wave model for coastal regions and harbors. Coastal and Hydraulics Laboratory Technical Report ERDC/CHL-TR-01-25, U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, MS, 90 p.
- Price, T. D., et Ruessink, B. G. (2008).** Morphodynamic zone variability on a microtidal barred beach. *Marine Geology* , 251, 98-109.
- Quartel, S., Kroon, A., et Ruessink, B. G. (2009).** Seasonal accretion and erosion patterns of a microtidal sandy beach. *Marine Geology* , 250 (1-2), 19-33.
- Reeve, D., Chadwik, A., et Fleming, C. (2004).** Coastal Engineering: Processes, Theory and Disign Practice. Spon Press, London, 461 p.

Bibliographie

- Rivière, A. (1977).** Méthode de granulométrie. Techniques et interprétation. Masson, Paris, 167 p.
- Ruessink, B. G., Kuriyama, Y., Reniers, A. J., Roelvink, J. A., et Walstra, D. J. (2007).** Modeling cross-shore sandbar behavior on the timescale of weeks. *J. Geophys. Res.*, 112 (F03010).
- Samat, O. (2007).** Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages microtidale le cas du Languedoc et du delta de Rhône. Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille I, Marseille, 264 p.
- Sawaragi, T. (1995).** Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions. Development in Geotechnical Engineering, Tokyo, 478 p.
- Short, A. D., et Wright, L. D. (1983).** Physical Variability of Sandy Beaches. In A. McLachlan, et T. Erasmus (Ed.), *Sandy beaches as ecosystems*. The Hague, Dr. W. Junk Publishers, (pp. 133-144).
- Soulsby, R. L. (1997).** Dynamics of marine sands, A manual for practical applications. Thomas Telford Services Ltd, London, 249 p.
- Stephanian, A. (2002).** Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barre : Omaha beach (Normandie). Thèse de Doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie, Caen, 276 p.
- Suanez, S. (2009).** La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation: Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamiques analysés à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne. Mémoire présenté en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Caen/Basse-Normandie, Caen, 212 p.
- Svendsen, I. A. (2006).** Introduction to Nearshore Hydrodynamics. World of Scientific Publishing Company, Cambridge, 744 p.
- Trentesaux, A. (2005).** Enregistrement de processus sédimentaires pléistocènes Exemples de plates-formes détritiques et de bassins profonds Mer du Nord et mers de Chine. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, Université des Sciences et Technologies de Lille, 82 p.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2003).** Coastal Engineering Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, 41 p.
- Ulses, C. (2005).** Dynamique océanique et transport de la matière particulaire dans le Golfe du Lion : crue, tempête et période hivernale. Thèse de doctorat, Université Toulouse III-Paul Sabatier, Toulouse, 249 p.
- Van Rijn, L. C. (1990).** Principales of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans. Aqua Publications, Amsterdam, 343 p.
- Weill, P. (2010).** Formation et évolution de cheniers en contexte macrotidale. Approches expérimentales et in situ. Thèse de Doctorat, Université de Caen/Basse-Normandie, Caen, 259 p.

Bibliographie

Wright, L. D., et Short, A. D. (1984). Morphodynamic Variability Of Surf Zones And Beaches: A Synthesis. *Marine Geology* , 56, 93-118.

Zemenzer, S. (1994). Ensablement du port par transport sédimentaire : simulation et application du modèle de Gao et Collins au port de Sidi-Fredj. Mémoire d'ingénieur, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral, Alger, 51 p.

Cartes:

Carte géologique de l'Algérie, Flandrin, M. 2ème édition, (1952). Jeu de 6 feuilles avec légende. Alger Nord, 1/50 000. Service géologique de l'Algérie.

Topography map of Alger (Algeria). DMATC 3ème Edition (1972). Defense Mapping Agency Topographic Center, Washington.

Annexes

Annexe A.1 : Photos montrant l'état de l'ensablement du port (source google earth, 2009).

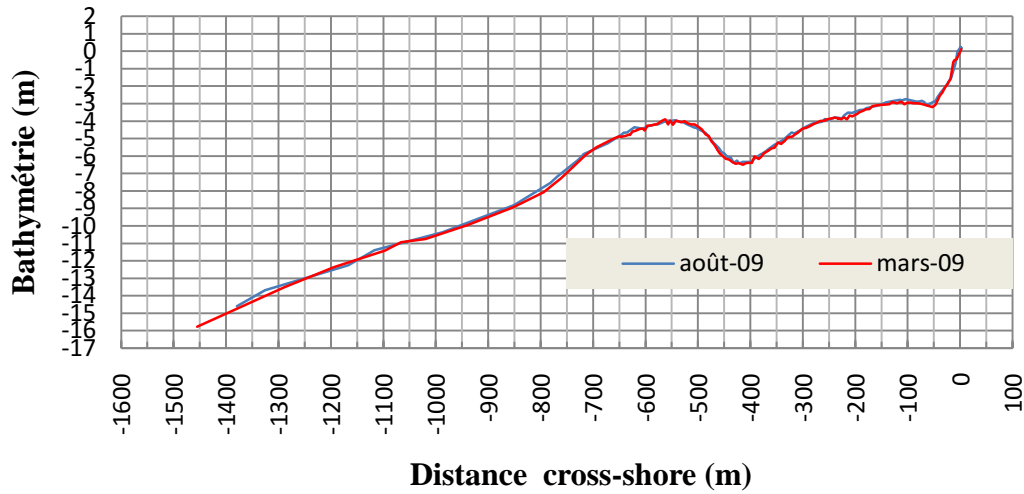


Annexe A.2 : Photos prises lors de notre visite au port de cap Djinet, montrant l'état de son ensablement (2011).

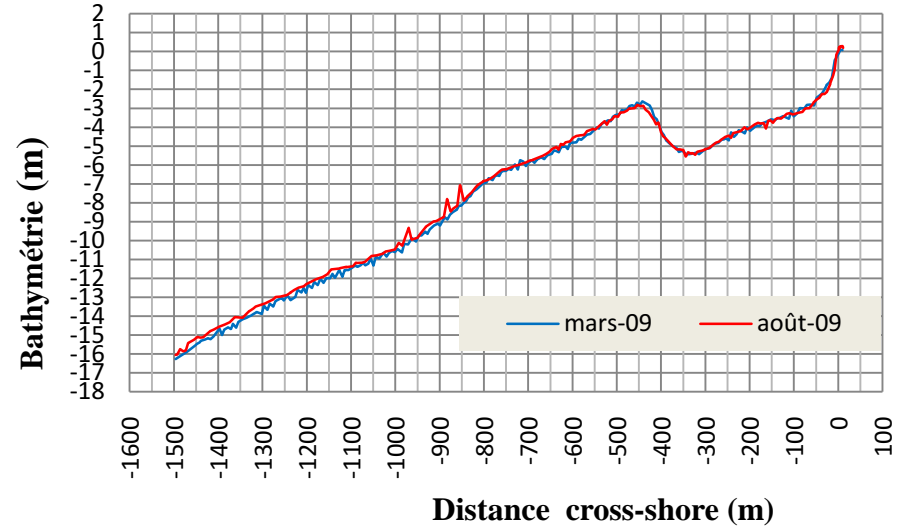


Annexe B : Profils (1, 2,...et 15) bathymétriques de la zone. Un profil représentatif pour chaque groupe.

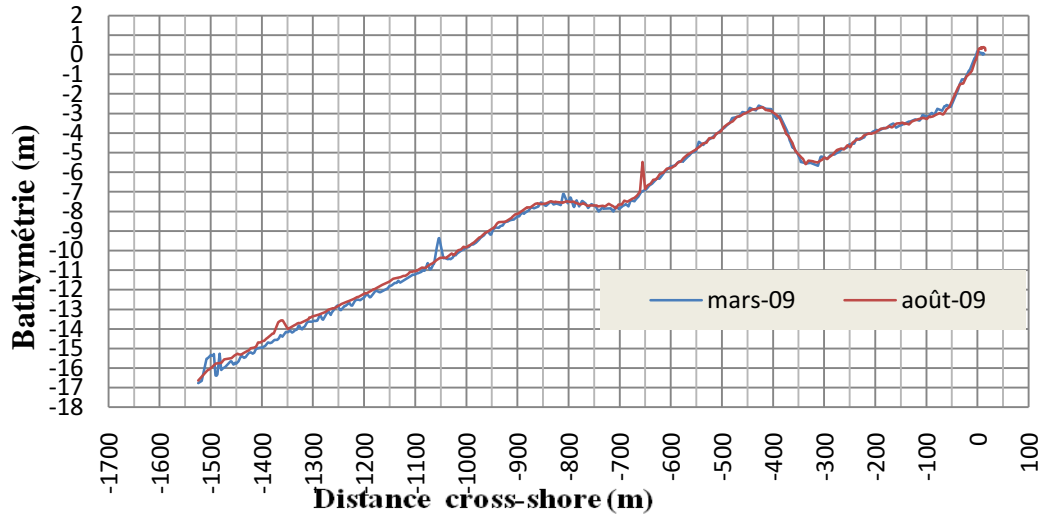
Profil 1



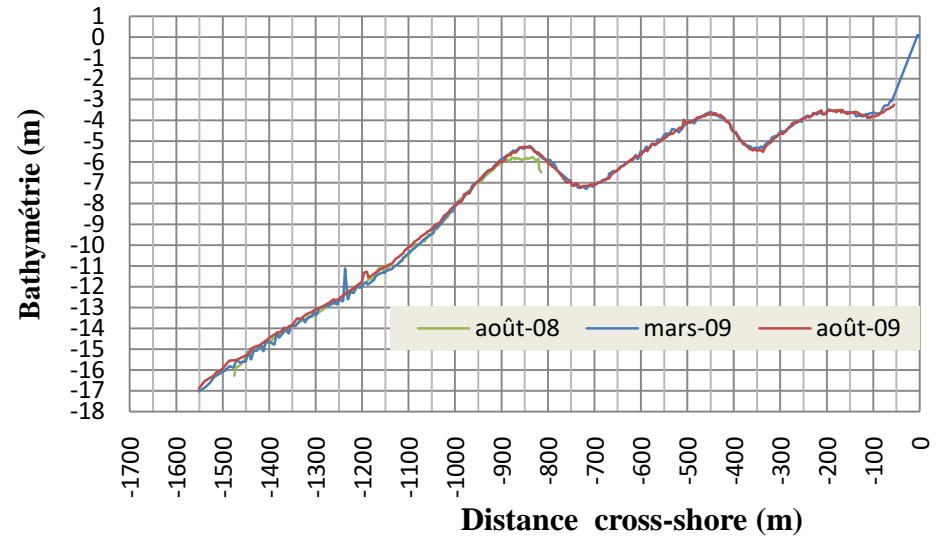
Profil 2

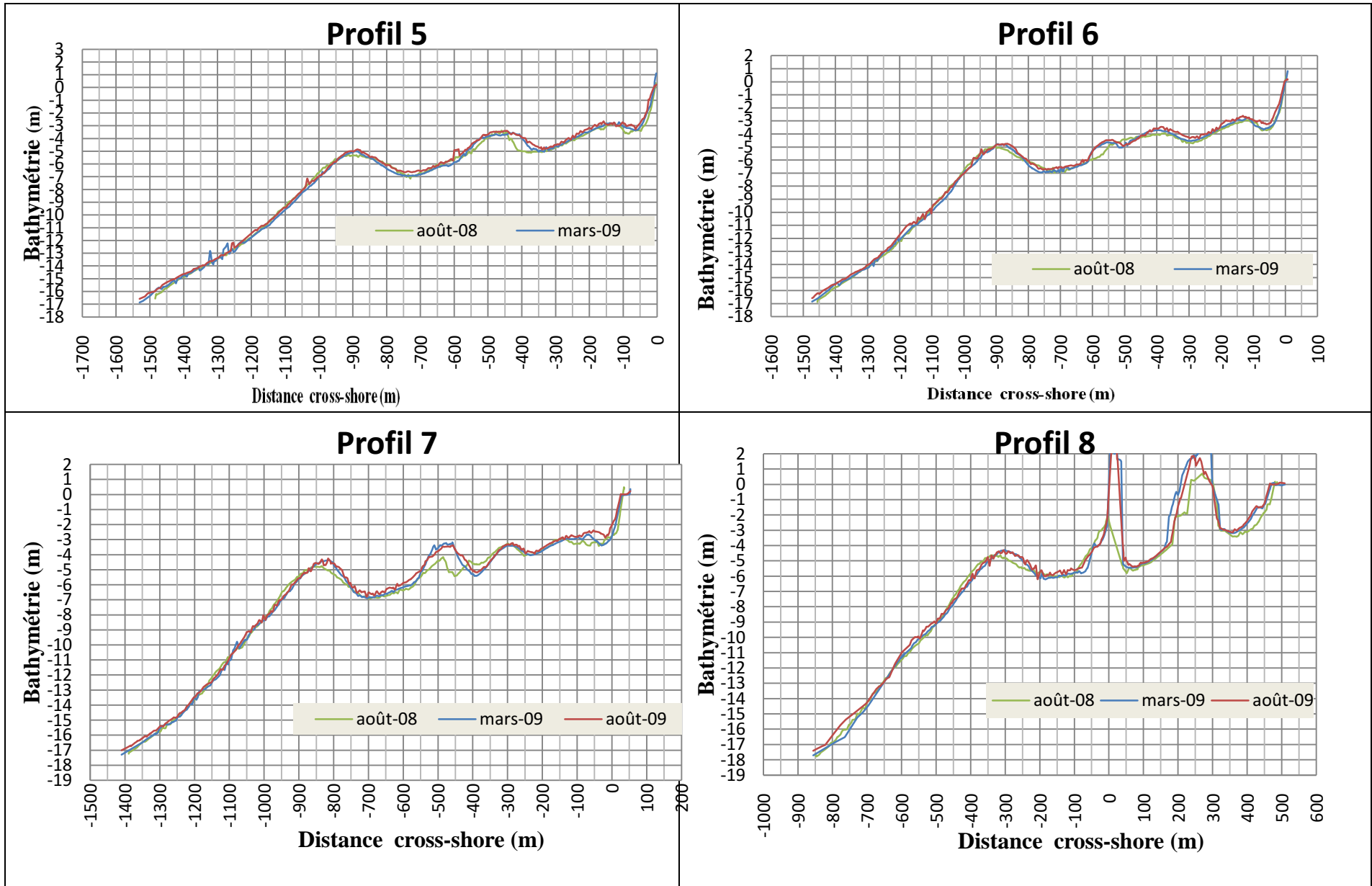


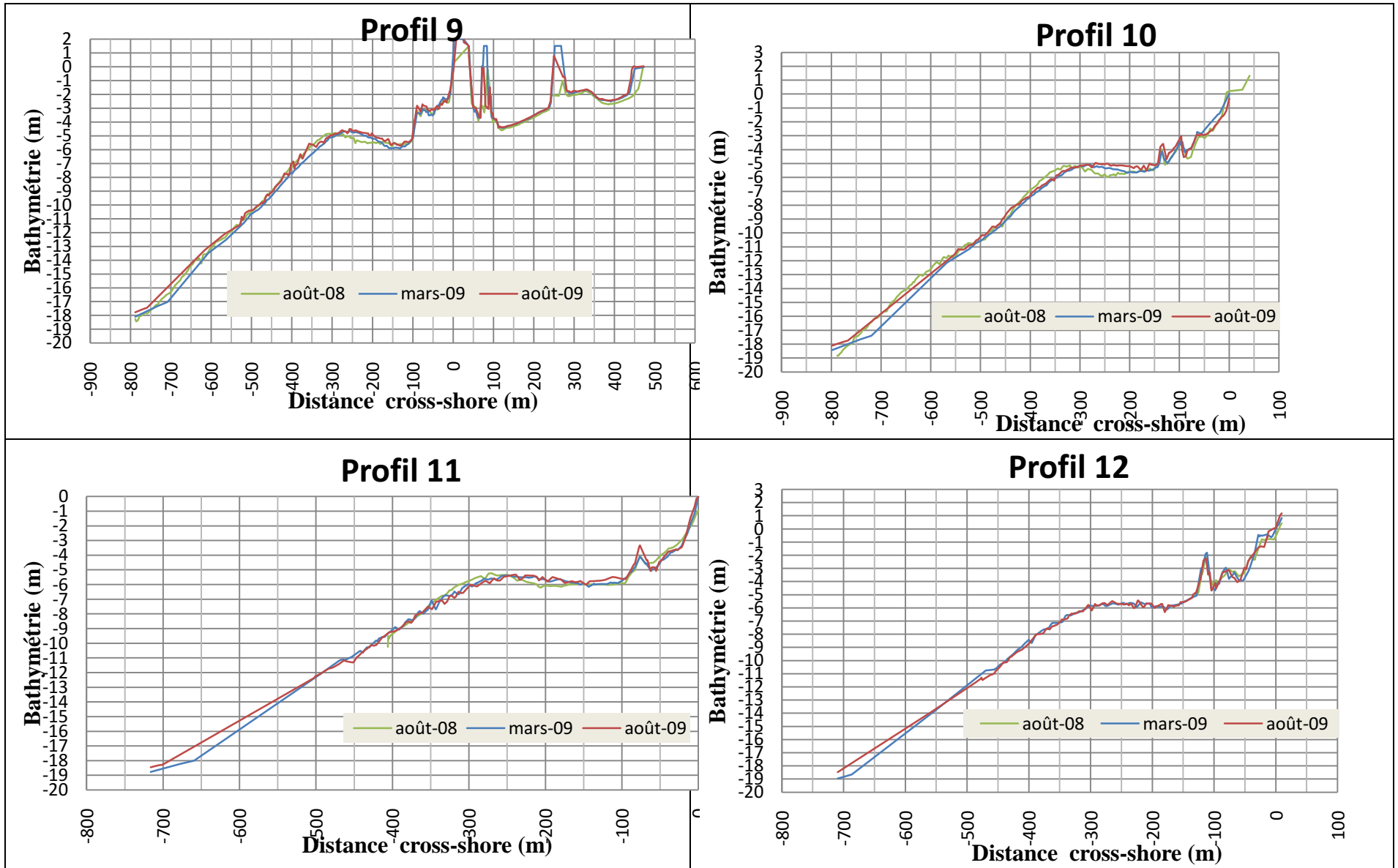
Profil 3

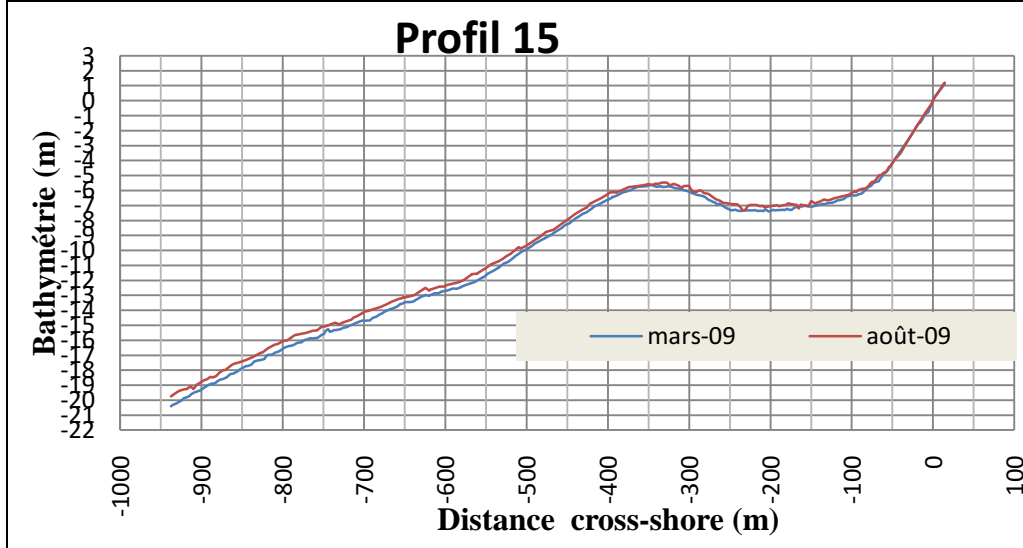
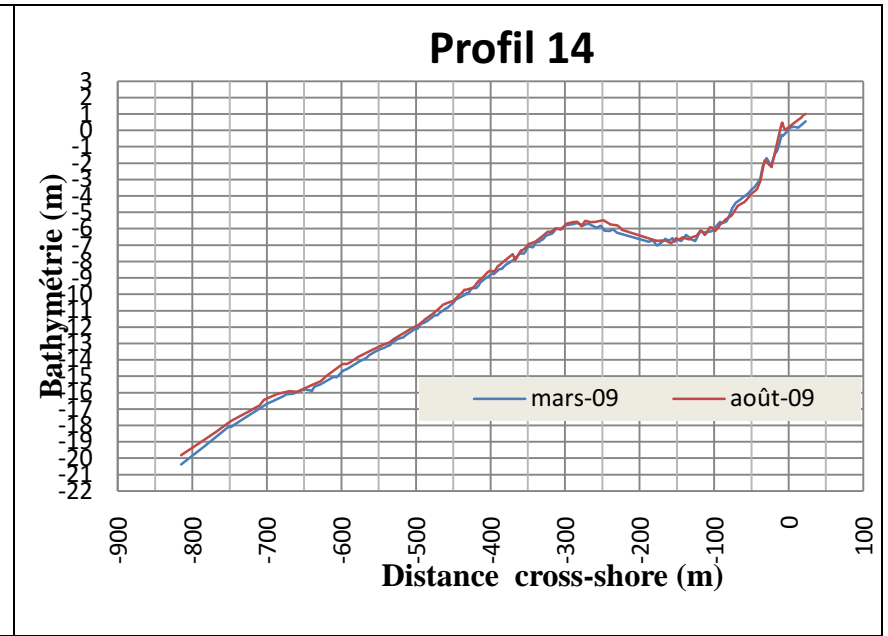
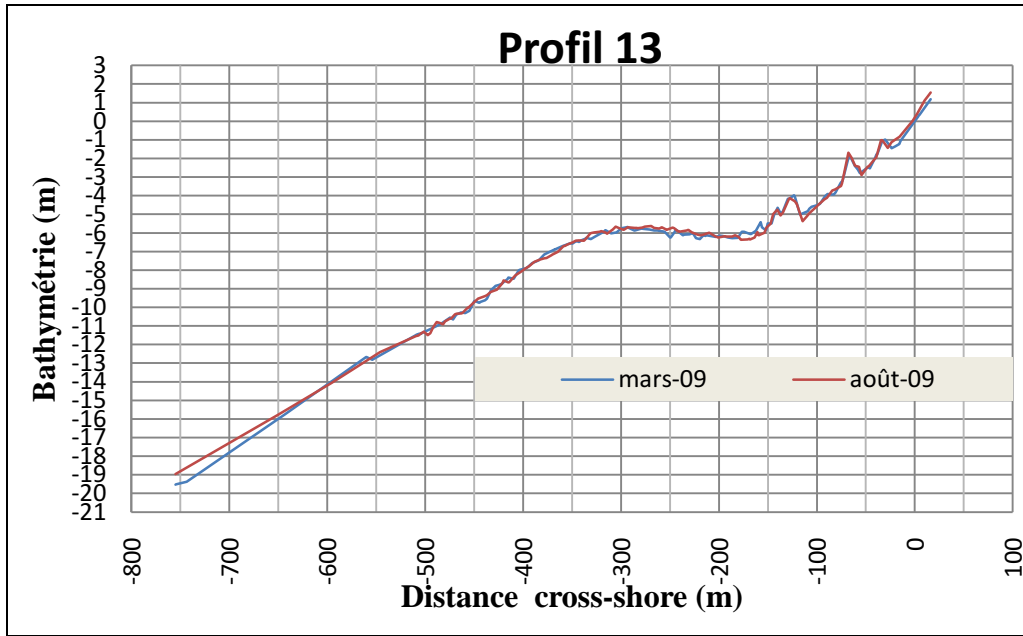


Profil 4









Annexe C

Annexe C.1 : Transit littoral total dans la région Est selon les formules de CERC (1984) et Kamphuis (1991) :

	T	H _b	L ₀	H ₀	d _b	γ	α	penne	k2	Kamphuis (m3/an)	CERC (m 3/an)	dir	FREQ	CERC/freq	TOT CERC	Kamph/freq	TOT Kamph
O	6	1.050	56.16	1.19	1.283	0.82	24	0.0108	-1.62	167907	395691	E	0.2249	88991	178250	37762	77119.4
	8	2.258	99.84	2.67	2.794	0.81	24	0.0108	-1.62	1195156	2699783	E	0.02423	65416		28959	
	10	4.454	156	5.54	5.623	0.79	24	0.0108	-1.62	6499130	14902278	E	0.0016	23844		10399	
NO	6	0.985	56.16	1.1	1.199	0.82	85	0.0108	-1.62	61740	824134	O	0.06178	50915	1211968	3814	166469
	8	2.237	99.84	2.64	2.767	0.81	85	0.0108	-1.62	490395	6458981	O	0.003833	24757		1880	
	10	3.775	156	4.53	4.696	0.80	85	0.0108	-1.62	1950846	23952186	O	0	0		0	
N	6	4.727	56.16	7.09	7.526	0.63	62	0.0108	-1.62	135065	600440	O	0.07981	47921	1211968	10780	166469
	8	5.693	99.84	8.09	7.998	0.71	62	0.0108	-1.62	1276218	5860713	O	0.0052	30476		6636	
	10	6.724	156	9.09	8.943	0.75	62	0.0108	-1.62	5707905	25223945	O	0.0003	7567		1712	
NE	6	0.978	56.16	1.09	1.189	0.82	68	0.0108	-1.62	139755	752757	O	0.178	133991	1211968	24876	166469
	8	2.182	99.84	2.56	2.693	0.81	68	0.0108	-1.62	1071345	5639492	O	0.0048	27070		5142	
	10	4.127	156	5.05	5.173	0.80	68	0.0108	-1.62	5358253	27973139	O	0.00056	15665		3001	
E	6	1.933	56.16	2.5	2.491	0.78	70	0.0108	-1.62	470655	3785122	O	0.2308	873606		108627	

Annexe C

Annexe C.2 : Transit littoral total dans la région Ouest selon les formules de CERC (1984) et Kamphuis (1991).

	T	H _b	L ₀	H ₀	d _b	γ	α	penne	k2	Kamph (m ³ /an)	CERC (m ³ /an)	dir	FREQ	CERC/freq	TOT CERC	Kamph/freq	TOT Kamph
O	6	1.05	56.16	1.19	1.283	0.819	24	0.025	-1.624	241145.9	538317.36	E	0.2249	1E+05	285671.2	54233.7	130422
	8	2.258	99.84	2.67	2.794	0.808	24	0.025	-1.624	1723667	3687894	E	0.02423	89358		41764.4	
	10	4.454	156	5.54	5.623	0.792	24	0.025	-1.624	9434103	20485337	E	0.0016	32777		15094.6	
NO	6	0.985	56.16	1.1	1.199	0.822	85	0.025	-1.624	209228.7	461763.53	O	0.06178	28528		12926.2	
	8	2.237	99.84	2.64	2.767	0.809	85	0.025	-1.624	1670525	3637278.2	O	0.00383	13942		6403.12	
	10	3.775	156	4.53	4.696	0.804	85	0.025	-1.624	6658396	13513704	O	0	0		0	
N	6	4.727	56.16	7.09	7.526	0.628	62	0.025	-1.624	143594.5	412199.09	O	0.07981	32898	635305.5	11460.3	256885.61
	8	5.693	99.84	8.09	7.998	0.712	62	0.025	-1.624	1366049	4049991.6	O	0.0052	21060		7103.45	
	10	6.724	156	9.09	8.943	0.752	62	0.025	-1.624	6131454	17491242	O	0.0003	5247		1839.44	
NE	6	0.978	56.16	1.09	1.189	0.822	68	0.025	-1.624	217445.3	429489.07	O	0.178	76449		38705.3	
	8	2.182	99.84	2.56	2.693	0.81	68	0.025	-1.624	1674801	3232455.4	O	0.0048	15516		8039.04	
	10	4.127	156	5.05	5.173	0.798	68	0.025	-1.624	8418353	16111861	O	0.00056	9023		4714.28	
E	6	1.933	56.16	2.5	2.491	0.776	70	0.025	-1.624	801663.1	2058549	O	0.2308	5E+05	185024		

