

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

**ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES
DE LA MER ET DE L'AMENAGEMENT DU LITTORAL**



MEMOIRE de MAGISTER

Option : **Gestion et Surveillance de l'Environnement Marin et Littoral**

Présenté par : ***OTMANI Housseyn***

Thème :

**Impact des infrastructures maritimes sur le littoral :
Cas du port de Cap Djinet**

Soutenu le **18 Décembre 2014** devant le jury suivant :

Pr. Hamdi Boualem	(Professeur – ENSSMAL)	Président
Pr. Bachari-Houma Fouzia	(Professeur – ENSSMAL)	Examinatrice
Pr. Boulahdid Mostefa	(Professeur – ENSSMAL)	Examineur
Pr. Belkessa Rabah	(Professeur – ENSSMAL)	Directeur de thèse

Remerciements

Au terme de ce travail, je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Je suis très heureux de pouvoir exprimer ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail. Mes plus vifs remerciements s'adressent à :

M. Hamdi B., Professeur à l'ENSSMAL, qui me fait l'honneur de présider ce jury. Qu'il trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance,

Mme. Bachari F., Professeur à l'ENSSMAL, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'elle trouve également dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance ;

M. Boulahid M., Professeur à l'ENSSMAL, qui me fait l'honneur de juger ce mémoire malgré ses nombreuses occupations, pour ses encouragements et son aide ;

M. Belkessa R., qui a encadré et dirigé cette étude et qui par ses conseils et sa disponibilité m'a initié à l'aménagement du littoral ; il m'a fait bénéficier, de son expérience et de ses connaissances judicieuses. Je suis profondément reconnaissant pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour l'empressement qu'il a manifesté à le voir aboutir, puisse-t-il trouver ici la marque de mon profond respect ainsi que mes remerciements les plus sincères.

Je remercie tous mes amis qui m'ont soutenu, je tiens à les remercier aussi pour leur présence, leurs conseils et leurs encouragements.

Résumé :

Le port de Cap Djinet, nouvellement construit, est à l'heure actuelle hors service, en raison de l'ensablement total de sa passe d'entrée. Des quantités de sable très importantes se sont accumulées au niveau du musoir et à l'intérieur du port. Parallèlement la plage Ouest adjacente est menacée de disparition à cause de l'érosion très accrue qui s'y opère.

Un diagnostic sur la zone de Cap Djinet a été établi pour mieux comprendre les processus, les causes de l'ensablement ainsi que l'érosion très prononcée que subissent respectivement le port et la plage adjacente dans cette région, et ce, dans le but d'apporter des éléments de réponses, voir une solution pour arrêter ou atténuer les pertes en sable. Pour ce faire différentes études ; bathymétrique, hydrodynamique, courantologie et sédimentaire ont été réalisées. Plusieurs paramètres peuvent être à l'origine de ces phénomènes d'ensablement et d'érosion, la morphologie sous marine particulière de la région explique la forte activité hydrodynamique due essentiellement à la houle du secteur Nord-Ouest. Le fort régime courantologique combiné à l'activité hydrodynamique rendent ainsi facile la mobilisation des stocks sédimentaires et contribuent par la suite à l'ensablement du port et à l'érosion de la plage Ouest adjacente.

La modélisation du transport sédimentaire suit le raisonnement expliqué par la houle, les courants et par la bathymétrie ce qui confirme nos hypothèses sur les deux phénomènes.

Mots clés : Cap Djinet, ensablement, transport sédimentaire, géodynamique côtière, trait de côte, modélisation, érosion, réfraction, houle, sédiments, plage.

Abstract :

The harbor of Cape Djinet, recently built, is currently out of service due to a total silting of its pass of entrance. Very large amounts of sand accumulated at the pierhead and inside the port. Meanwhile the adjacent West beach is endangered because of the greatly increased erosion that occurs on it. A diagnosis on the Cape area of Djinet was established to better understand the processes and the causes of the silting of the port as well as the very pronounced erosion that undergo the neighboring beach in this region ; in purpose to bring some answers, or ideally a solution to stop or minimize sand loss.

To this end, various studies between bathymetric, hydrodynamic, currentologic and sedimentary were performed. Several parameters can be at the origin of these phenomena of silting and erosion, the particular submarine morphology of the region explains a strong hydrodynamics owed essentially to the swell of the Northwest. The strong currentologic rhythm combined to the hydrodynamic activity make so easy the mobilization of the sedimentary stocks and contribute afterward to to silting of the harbor and the erosion of the adjacent West beach.

The modelling of the sedimentary transport follows the reasoning been understandable by the swell, the currents and by the bathymetry which confirms our hypotheses on both phenomena.

Keywords: Cape Djinet, siltation, sedimentary transport, coastal geodynamics, coastline, modeling, erosion, refraction, swell, sediment, beach.

المخلص:

ميناء رأس جنات حديث النشأة هو في الوقت الراهن خارج الخدمة بسبب حالة ترسب الرمل التي يعيشها ممر الدخول إلى الميناء حيث يوجد هناك كميات كبيرة من الرمال المتراكمة. في الوقت نفسه يعيش الشاطئ الغربي المجاور للميناء حالة تآكل تهدده بالاختفاء. تم القيام بعملية تشخيص كاملة على منطقة رأس جنات وهذا لمحاولة فهم عوامل وأسباب ترسب الرمل والتآكل التي يعيشها الميناء والشاطئ المجاور له، وهذا من أجل تقديم أجابة أو حلول لوقف أو تقليل الخسائر في الرمال. للقيام بهذا التشخيص أجريت عدة دراسات من بينها قياس العمق، دراسة هيدروديناميكية، دراسة التيارات ودراسة الرواسب. عدة عوامل يمكن أن تتسبب في هذه الظواهر مورفولوجيا قاع البحر الفريدة يمكن أن تفسر قوة النظام الهيدروديناميكي، قوة جريان التيار بالاشتراك مع النشاط الهيدروديناميكي تجعل من السهل حشد المخزون الرسوبي والذي يساهم في وقت لاحق في كلتا الظاهرتين الملاحظتين في الميناء والشاطئ. نمذجة تنقل الرواسب تدعم التفسيرات الناتجة عن مختلف الدراسات مما يؤكد الافتراضات المطروحة.

المصطلحات: رأس جنات، ترسب الرمل، نقل الرواسب، جيوديناميكية الساحل، خط الساحل، النمذجة، تآكل خط الساحل، انكسار الأمواج، الرواسب، الشاطئ.

Sommaire

Liste des figures
Liste des tableaux
Liste des photos

Introduction..... 1

CHAPITRE I : CADRE GENERAL D'EVOLUTION ET DIAGNOSTIC

I.1 Situation géographique	2
I.1.1 Baie de Zemmouri	2
I.1.2 Site d'étude.....	2
I.1.3 Présentation du port de Cap Djinet.....	4
I.2 Le cadre géologique et géomorphologique.....	6
I.2.1 Cadre géologique et stratigraphique :	6
I.2.1.1 La géologie :	6
I.2.1.2 La stratigraphie :	7
I.2.2 Aléas sismiques.....	8
I.3 Cadre climatologique et hydrologique.....	9
I.3.1 L'étude des vents :	9
I.3.2 Les précipitations :	11
I.3.3 Les températures.....	13
I.3.4 L'hydrographie	15
I.3.4.1 Oued Isser	16
I.3.4.2 Oued Sebaou	19
I.4 Cadre océanographique.....	21
I.4.1 La houle	21
I.4.2 Les courants	26
I.4.3 La marée	27
I.5 Cadre général d'évolution et diagnostic	29
I.5.1 Généralités sur le transport sédimentaire en milieux côtiers	29
I.5.1.1 Processus affectant les sédiments naturels.....	29
I.5.2 érosions des plages.....	31
I.5.2.1 Généralité et principes	31
I.5.2.2 Les facteurs d'érosion des plages.....	32
I.5.3 Analyse d'état des lieux et évolution de la zone	34

I.5.3.1 Evolution du trait de côte de Cap Djinet.....	34
I.5.3.2 Conséquences directes et problématiques du port	35

CHAPITRE II : ETUDE BATYHMETRIQUE

II.1 Introduction	42
II.1.1 Mode du levé bathymétrique	43
II.1.2 Typologie de la plage	43
II.2 La morphologie sous marine	45
II.2.1 Levé bathymétrique	45
II.2.2 Les profils sous marins :.....	47

CHAPITRE III : ETUDE DE LA REFRACTION DE LA HOULE

III. 1 Introduction	51
III. 2 Principe de calcul de la réfraction de la houle.....	52
III. 3 Donnée de base.....	53
III.3.1 Données bathymétriques	53
III.3.2 Données de houles au large.....	53
III.3.3 Choix du secteur angulaire.....	54
III. 4 Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction	54
III. 5 Résultats et discussion.....	55
III.5.1 Les houles au large de direction Nord-Est	55
III.5.2 Les houles au large de direction Nord.....	56
III.5.3 Les houles au large de direction Nord-Ouest	57
III. 6 Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle	57

CHAPITRE IV: ETUDE COURANTOLOGIQUE

IV.1 Introduction.....	58
IV.2 Principe	58
IV.3 Stratégie du déploiement.....	59
IV.3.1 Positionnement du mouillage.....	59
IV.3.2 Périodes des levés et séquences d'évènements	60
IV.3.3 Technique de mouillage	61
IV.4 Traitement et exploitation des données.....	61
IV.5 Résultats et discussions	62
IV.6 Conclusion	67

CHAPITRE V: ETUDE SEIDEMENTAIRE

V.1 Positionnement des points de prélèvement	68
V.2 Méthode d'analyse au laboratoire	69
V.2.1 La fraction fine	70
V.2.2 la fraction grossière	70
V.2.2.1 Les paramètres de position	70
V.3 Analyse modale	71
V.4 Cartographie et interprétation des indices granulométriques	72
V.4.1 Analyse de la fraction fine	72
V.4.2 Analyse de la fraction grossière	73
V.4.2.1 Les courbes granulométriques	73
V.4.2.2 Les quantiles	75
V.4.3 Calcul des paramètres granulométriques	78
V.4.4 Interprétation des paramètres granulométriques	79
V.5 Conclusion sur l'étude sédimentaire	82

CHAPITRE VI : ETUDE DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE

VI.1 Introduction	83
VI.2 Modélisation transport sédimentaire	83
VI.2.1 Modèle de Gao et Collins :	83
VI.2.2 Principe du modèle	83
VI.2.3 Procédure analytique	85
VI.2.4 Critique et limites de calcul du modèle GSTA	86
VI.3 Application du modèle dans la zone de Cap Djinet	86
VI.3.1 Détermination de la distance critique Dcr	87
VI.3.2 Préparation de la grille d'entrée	87
VI.4 Interprétation des résultats	88
VI.5 Conclusion sur la modélisation de transport sédimentaire	89
VI.6 Quantification du transport sédimentaire	90
VI.6.1 Estimation du transit sédimentaire	90
VI.6.2 Le bilan énergétique annuel	91
VI.6.3 Calcul du bilan énergétique annuel	92
VI.7 Détermination du transit sédimentaire	93
VI.8 Conclusion	93

CHAPITRE VII: IMPACT DE L'INFRASTRUCTURE SUR LA ZONE

VII. 1 Introduction.....	94
VII. 2 L'évolution de la morphologie sous marine	94
VII. 2.1 La bathymétrie	94
VII. 2.2 Les zones à impact.....	97
VII. 3 Évolution du trait de cote.....	98
VII. 3.1 Variation de la ligne de rivage.....	99
VII. 3.2 Évaluation du taux d'évolution de la ligne de rivage	100
VII.4 Conclusion sur l'évolution de la morphologie sous marine et la variabilité de la ligne de rivage	101
VII.5 Recommandation des ouvrages de protection	102
VII.5.1 Les ouvrages longitudinaux.....	102
VII.5.2 Les ouvrages transversaux.....	104
CONCLUSION.....	107

Bibliographie

Annexes

Liste des figures

Figure n°1. 1 : Situation géographique de la zone de Cap Djinet (Google Earth, 2013).....	2
Figure n°1. 2 : Localisation du port de Cap Djinet dans la zone (Google Earth, 2013)	3
Figure n°1. 3: Plan du port de Cap Djinet (in Layoune & Tiguercha; 2011).....	5
Figure n°1. 4 : Géologie régionale de cap Djinet (in Layoune & Tiguercha; 2011).....	8
Figure n°1. 5 : Roses mensuelles des vents au large de Cap Djinet. (SSMO. 1963- 1970).....	10
Figure n°1. 6 : Rose des vents	10
Figure n°1. 7 : Régime des vents dans la zone d'étude (ONM, 2005-2010)	10
Figure n°1. 8 : Précipitations annuelles en mm (ONM, 2005-2010)	11
Figure n°1. 9: Nombre de jours de pluie (ONM, 2005-2010).....	12
Figure n°1. 10: Zones pluviométriques dans la wilaya de Boumerdes (CNERU. 2010).....	12
Figure n°1. 11 : Représentation graphique des moyennes annuelles des Précipitations à la station de Lakhdaria et Baghlia, (A.N.R.H ; 1985-1990).....	13
Figure n°1. 12: Température moyenne en °C (ONM. 2005-2010).	13
Figure n°1. 13: Moyennes annuelles des températures (ONM. 2005-2010).....	14
Figure n°1. 14: Températures annuelles en °C (ONM. 2005-2010)	14
Figure n°1. 15 : Principaux cours d'eau dans la zone d'étude (Google Earth, 2013).....	15
Figure n°1. 16: Schématisation du réseau hydrographique de la zone d'étude (in Akziz 2011)	16
Figure n°1. 17: Bassin versant de l'oued Isser (Akziz 2011, modifiée).....	17
Figure n°1. 18 : Apport solide moyen annuel de l'oued Isser (kg) (ANRH 2008)	19
Figure n°1. 19 : Roses mensuelles des directions des houles (Source ; S.S.M.O).....	22
Figure n°1. 20 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).....	23
Figure n°1. 21: Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).....	24
Figure n°1. 22: Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Otmani, 2013).	26
Figure n°1. 23 : Exemple de la variation maregraphique au cours d'un mois.....	28
Figure n°1.24 : Modes de transports sédimentaires selon la granulométrie (Marion Jaud ; 2011).....	31

Figure n°1.25 : Illustration du principe de Brunn.....	33
Figure n°1.26 : Stations de surveillance du trait de côte entre Oued Isser et Cap Djinet (source, PAC 2005).....	35
Figure n°1.27 : Evolution moyenne du trait de côte du littoral de Cap Djinet sur un période pluriannuelle (1959 – 1999). (Source, PAC 2005).....	35
Figure n°1.27 : Zone abritée en amont de la jetée secondaire du port de Cap Djinet.....	37
Figure n°1.29 : Schématisation des deux principaux phénomènes que connait la zone d'étude.....	39
Figure n°1.30 : Configuration de la plage Ouest du port, avant et après sa construction (Google Earth, Mai 2003 - Avril 2009).....	40
Figure n°1.31 : Régression de la plage Ouest (Google Earth).....	41
Figure n°2.1 : Carte bathymétrique de la zone de Cap Djinet (Données LEM 2009).....	45
Figure n°2.2: Carte bathymétrique en 3D de la zone de Cap Djinet, 2009.....	46
Figure n°2.3: Tracé du profil sous-marin N°5 dans la zone de Cap Djinet.....	47
Figure n°2.4: Profils sous-marins tracés dans la zone de Cap Djinet.....	48
Figure n°3.1 : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction...	54
Figure n°3.2: Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s.....	55
Figure n°3.3: Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s.....	56
Figure n°3.4: Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s.....	57
Figure n°4.1 : Localisation de la station de mouillage ADCP (Google Earth, 2013).....	59
Figure n°4.2 : Schéma de l'installation de l'ADCP.....	61
Figure n°4.3 : Rose des courants relevés lors de la première campagne (LEM, 2013).....	62
Figure n°4.4 : Rose des courants relevés lors de la deuxième campagne (LEM, 2013).....	63
Figure n°4.5 : Rose des courants relevés lors de la troisième campagne (LEM, 2013).....	64
Figure n°4.6 : Rose des courants relevés lors de la quatrième campagne (LEM, 2013).....	65

Figure n°4.7 : Rose des courants relevés lors de la cinquième campagne (LEM, 2013).....	66
Figure n°5.1 : Localisation des stations de prélèvements (Google Earth, 2013).....	68
Figure n°5.2 : Modalité de l'analyse granulométrique.....	69
Figure n°5.3 : Distribution modale dans la région de Cap Djinet.....	70
Figure n°5.4 : Répartition des pélites dans la région de Cap Djinet.....	72
Figure n°5.5 : Courbe unimodale.....	73
Figure n°5.6 : Histogramme unimodale.....	73
Figure n°5.7 : Courbe bimodale.....	74
Figure n°5.8 : Histogramme bimodale.....	74
Figure n°5.9 : Courbe plurimodale.....	74
Figure n°5.10 : Histogramme plurimodale.....	74
Figure n°5.11: Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Cap Djinet.....	75
Figure n°5.12: Répartition des déciles supérieurs (D90) dans la région de Cap Djinet.....	75
Figure n°5.13: Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Cap Djinet.....	76
Figure n°5.14: Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Cap Djinet.....	77
Figure n°5.15: Répartition du diamètre moyen dans la région de Cap Djinet.....	79
Figure n°5.16: Répartition des médianes (Q50) dans la région de Cap Djinet.....	80
Figure n°5.17: Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen.....	81
Figure n°5.18 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen.....	81
Figure n°6.1: Répartition des stations de mesure et interpolée dans la zone d'étude.....	86
Figure n°6.2 : La grille d'entrée dans le model GSTA.....	87
Figure n°6.3 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Cap Djinet, 2009 « Model GSTA ».....	88

Figure n°7.1 : Carte bathymétrique de la zone de Cap Djinet, 2014 (Source de données : Vert et bleu).....	95
Figure n°7.2 : Superposition des levés bathymétriques 2009/2014 dans la zone de Cap Djinet, 2014.....	96
Figure n°7.3 : Zone à impact dans la région de Cap Djinet, 2014.....	97
Figure n°7.4 : Évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet durant les années 2003/2009/2014, (Otmami 2014).....	99
Figure n°7.5 : Évaluation de la variabilité de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet	100
Figure n°7.6 : Variabilité de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet.....	100
Figure n°7.7: Vitesse d'évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet dans la Période 2009-2014.....	101
Figure n°7.7 : Effet d'un mur de protection sur une plage (Paskoff, 1992).....	103
Figure n°7.8 : Mode de mis en place des épis (Camidane, 1996).....	104
Figure n° 7.9 : Impacts des brises-lames sur la ligne du rivage.....	105
Figure n°7.10: Impact des brise-lames sur le processus hydrodynamiques.....	106

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Caractéristiques du port de Cap Djinet	4
Tableau 1.2 : Moyennes annuelles des Précipitations à la station de Lakhdaria et Baghlia, (A.N.R.H ; 1985-1990).....	12
Tableau 1.3 : Moyennes annuelles des apports solides à la station de Lakhdaria. (ANRH,1998)	18
Tableau 1.4 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).....	21
Tableau 1.5: Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	24
Tableau 1.6 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).....	25
Tableau 1.7: Classification de Wentworth (1922).....	30
Tableau 3.1 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude.....	53
Tableau 4.1: Paramètres techniques de la mission.....	60
Tableau 4.2 : Séquence de principal évènement.....	60
Tableau 5.1: Résultats de calcul des paramètres granulométriques.....	79
Tableau 6.1 : Moyennes des résultats obtenus par direction et par période.....	91
Tableau 6.2 : Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle.....	92
Tableau 6.3 : Bilan énergétique annuel du transit sédimentaire par direction et par période...	92
Tableau 6.4 : Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction $f(\alpha)$	92
Tableau 6.5 : Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction.....	93

Liste des photos

Photo n°1.1 : Évacuation des unités de pêche à l'aide d'une grue.....	36
Photo n°1.2 : Passe d'entrée du port de Cap Djinet complètement fermée (Février 2010).....	36
Photo n°1.3 : Passe d'entrée du port de Cap Djinet complètement fermée (Février 2010).....	36
Photo n°1.4 : Zone abritée en amont de la jetée secondaire du port de Cap Djinet.....	37
Photo n°1.5 : Empilement des vagues sur la côte de Zemmouri.....	38
Photo n°1.6 : Attaque marine du de la côte de Zemmouri par les vagues de tempête.....	38
Photo n°1.7 : Érosion marquée de la plage ouest, à proximité directe du port.....	38
Photo n°1.8 : Érosion marquée de la plage ouest, à proximité directe du port.....	38
Photo n°1.9 : Érosion marquée de la plage ouest, à proximité directe du port.....	38
Photo n°1.10 : Érosion de la plage Ouest (avant & après).....	41
Photo n°1.11 : Érosion de la plage Ouest (avant & après).....	41
Photo n°1.12 : Érosion de la plage Ouest (avant & après).....	41
Photo n°1.13 : Érosion de la plage Ouest (avant & après).....	41
Photo n°4.1 : mise en place de l'ADCP (Source : Internet).....	61
Photo n°7.1 : Banc de gravier au niveau de la plage Ouest (Source: Otmani 2014).....	95
Photo n°7.2 : Apparition d'un tombolo au niveau de la plage Ouest (Source: Otmani 2014)...	98
.....	
Photo n°7.3 : Accumulation massive du sable au niveau de l'épi Nord (Source: Otmani 2014)	98
.....	

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction Générale

Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser (Paskoff, 1993).

La fonctionnalité d'un port dépend des conditions naturelles de son site d'implantation et des facilités ou commodités que permettent les aménagements de ses structures internes. La mise en œuvre des méthodes et moyens de reconnaissance de l'état physique du site s'avère donc d'une importance cruciale.

Les mécanismes hydro-sédimentaires qui provoquent l'ensablement des chenaux de navigation et des bassins du port ne sont pas maîtrisés, faute des techniques appropriées permettant de comprendre les processus de la dynamique sédimentaire.

Durant la construction du port de pêche et de plaisance de Cap Djinet, un important phénomène d'ensablement était observé, gênant la poursuite des travaux. Après sa réalisation, l'ouvrage s'est retrouvé avec d'énormes quantités de sable accumulées au niveau de la passe d'entrée bloquant ainsi la circulation des bateaux. Parallèlement, la plage adjacente à ce port connaît une érosion très accrue du fait de la perturbation de l'équilibre sédimentaire.

La zone de Cap Djinet suscite l'intérêt de beaucoup de chercheurs. Les travaux réalisés visent essentiellement le problème de l'ensablement du port. Cependant, rares sont ceux qui mettent en évidence en plus du problème de l'ensablement ; l'impact sur la zone adjacente à l'ouvrage notamment la plage Ouest dont le linéaire côtier connaît une érosion très prononcée.

L'objectif de notre étude, intitulée « Impact des infrastructures maritimes sur le littoral, cas du port de Cap Djinet », consiste en la mise en évidence de l'impact de l'infrastructure portuaire, déjà installée, sur l'évolution et la dynamique de la morphologie sous marine ainsi que celle du trait de côte.

Pour mener à bien notre travail, ce dernier a été partagé en trois grands volets :

- La collecte de données de base et de terrain.
- L'étude analytique des données avec présentation des résultats.
- La mise en évidence de l'impact de la structure portuaire sur la zone adjacente.

Chapitre I :
Cadre général d'évolution
et diagnostic

I.1 Situation géographique

I.1.1 Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri se situe à une soixantaine de km à l'est d'Alger, c'est une baie ouverte d'environ 40 Km, dont le linéaire côtier s'étale sur 17 Km (voir figure 1.1). Le rivage est orienté SW-NE, et ses coordonnées Lambert sont :

- 3°48'49''Est et 36°48'50'' (Cap Matifou) ;
- 3°43'03''Est et 36°52'35'' (Cap Djinet).

La baie de Zemmouri (ex baie de Courbet) est limitée par :

- La Méditerranée occidentale Au Nord.
- La plaine de la Mitidja au Sud.
- Le Cap Djinet à l'Est.
- Le Cap Matifou à l'Ouest.

I.1.2 Site d'étude

A l'extrême est de la baie de Zemmouri, se situe le port de Cap Djinet. Réalisé en 2007, ce port de pêche et de plaisance est localisé à 25 km à l'est du chef-lieu de la wilaya de Boumerdès.



Figure n°1. 1 : Situation géographique de la zone de Cap Djinet (Google Earth, 2013)



Figure n°1. 2 : Localisation du port de Cap Djinet dans la zone (Google Earth, 2013)

I.1.3 Présentation du port de Cap Djinet

Réalisé pour un montant de plus de 156 milliards de dinars, le port de pêche et de plaisance de Cap Djinet est situé à 25 km à l'est du chef-lieu de wilaya de Boumerdès.

Tableau 1. 1 : Caractéristiques du port de Cap Djinet (L.E.M, 2012)

Données générales	Commune	Djinet
	Daïra	Bordj Menail
	Coordonnées géographiques du site	Longitude : 03°34'E Latitude : 36°48'N
	Capacité d'accueil	15 Sardiniers 50 Petits métiers 50 Plaisanciers
Travaux de réalisation et de suivi	Date d'achèvement des travaux	Décembre 2007
	Date de mise en service	Janvier 2008
	BET chargé de l'étude	Laboratoire d'Études Maritimes
	Entreprise de réalisation	MEDITRAM
	Délai de réalisation	19 mois
	Coût de l'opération	1 565 784 694,74 DA
	Contraintes	Ensablement de la passe d'entrée
Ouvrages de protection	Jetée principale (ml)	425
	Jetée secondaire (ml)	170
	Largeur de la passe d'entrée (m)	40
Ouvrage d'accostage	Tirant d'eau (m)	3,5
	Superficie de terres pleines	17 500 m ²
	Superficie du bassin	4,2 ha
	Longueur des quais (ml)	358
	Longueur des appontements	180
	Nature des appontements	Béton
	Contre digue Est (m)	220
Données techniques	Niveau d'agitation intérieure	4
	Exposition aux vents	4

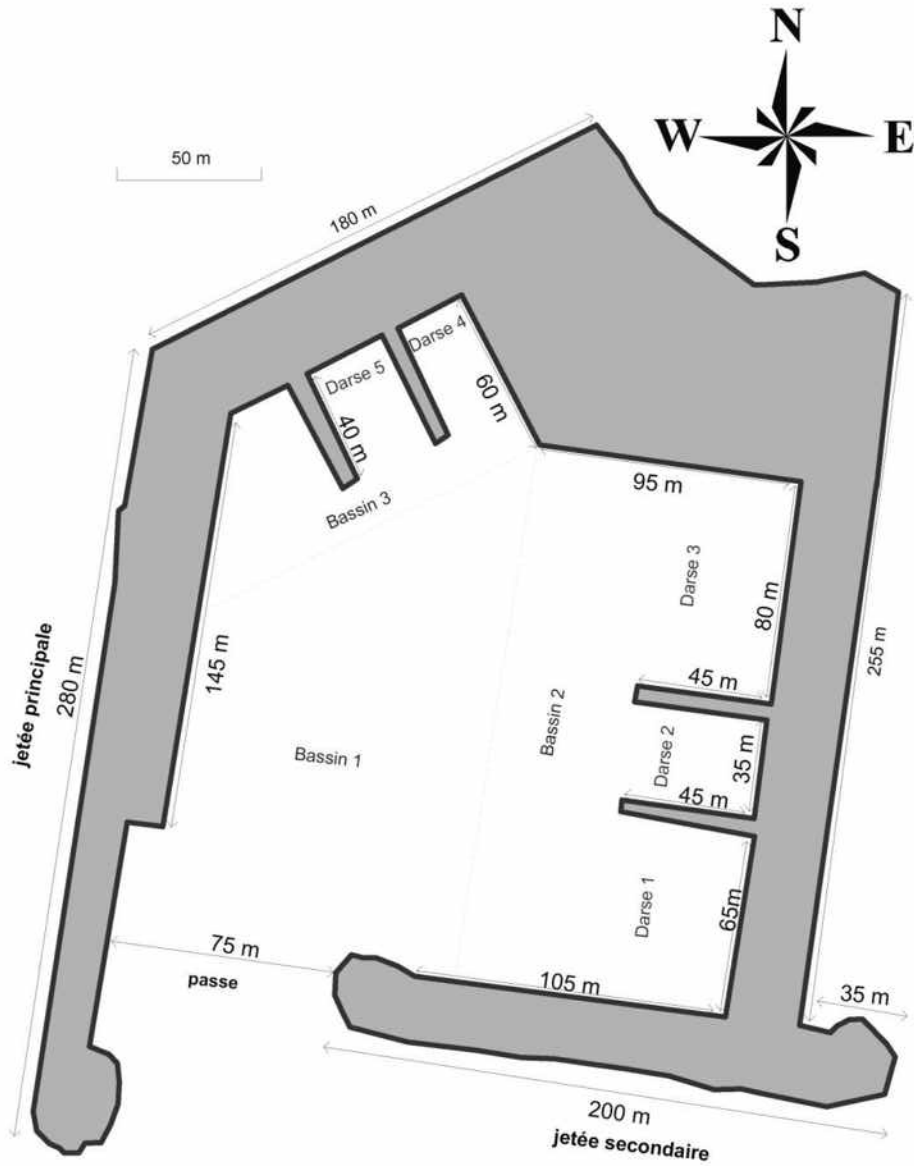


Figure n°1. 3: Plan du port de Cap Djinet (in Layoune & Tiguercha ; 2011)

I.2 Le cadre géologique et géomorphologique

La connaissance de la géologie et de la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines.

En effet, l'analyse de cet aspect est désormais nécessaire dans la mesure où elle apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier est réalisé en vue d'apporter des éléments de réponse sur les différents phénomènes d'érosions et d'altérations contrôlant d'une manière ou d'une autre les quantités sédimentaires rejetées en mer.

I.2.1 Cadre géologique et stratigraphique

I.2.1.1 La géologie

Le site se situe sur une plaine côtière qui est formée par des terrains quaternaires discordants sur les formations plus anciennes et masquent les structures géologiques de la région. Ils se distinguent des terrains qu'ils recouvrent par leurs caractères détritiques. Ils sont constitués essentiellement par les formations suivantes :

- Terrasses marines anciennes.
- Des limons rouges ou sable rubéfiés.
- Des alluvions anciennes et récentes.
- Les formations dunaires
- Les plages actuelles.

Les terrains anciens forment les reliefs méridionaux et constituent le socle cristallophyllien formé de roches métamorphiques (schistes, micaschistes et calcaires plus ou moins métamorphisés), des roches magmatiques (granites, rhyolites et basaltes).

La zone infralittorale est formée par des sédiments de sable grisâtre, fin à moyen. Ils sont issus de la dérive sédimentaire littorale. Ces sédiments participent à la dynamique sédimentaire infralittorale qui se traduit par la formation de dunes hydrauliques très mobiles dans les fonds entre 0 et – 5 mètres.

Ceci montre que la structure géologique de la région d'étude est marquée par la présence de formations plutoniques, métamorphiques et sédimentologiques (figure 2) qui se présentent de la façon suivant :

Les facies plutoniques : affleurent dans les parties élevées de la région (Est de Bordj Menaïl) ce sont les dykes de granites (roches filoniennes à macro cristaux variés), 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'Aquitaniens (Belkessa, 1991).

1.2.1.2 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 sublittoral.

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 de Dellys, constitué essentiellement des schistes, de grés et de sables argileux.

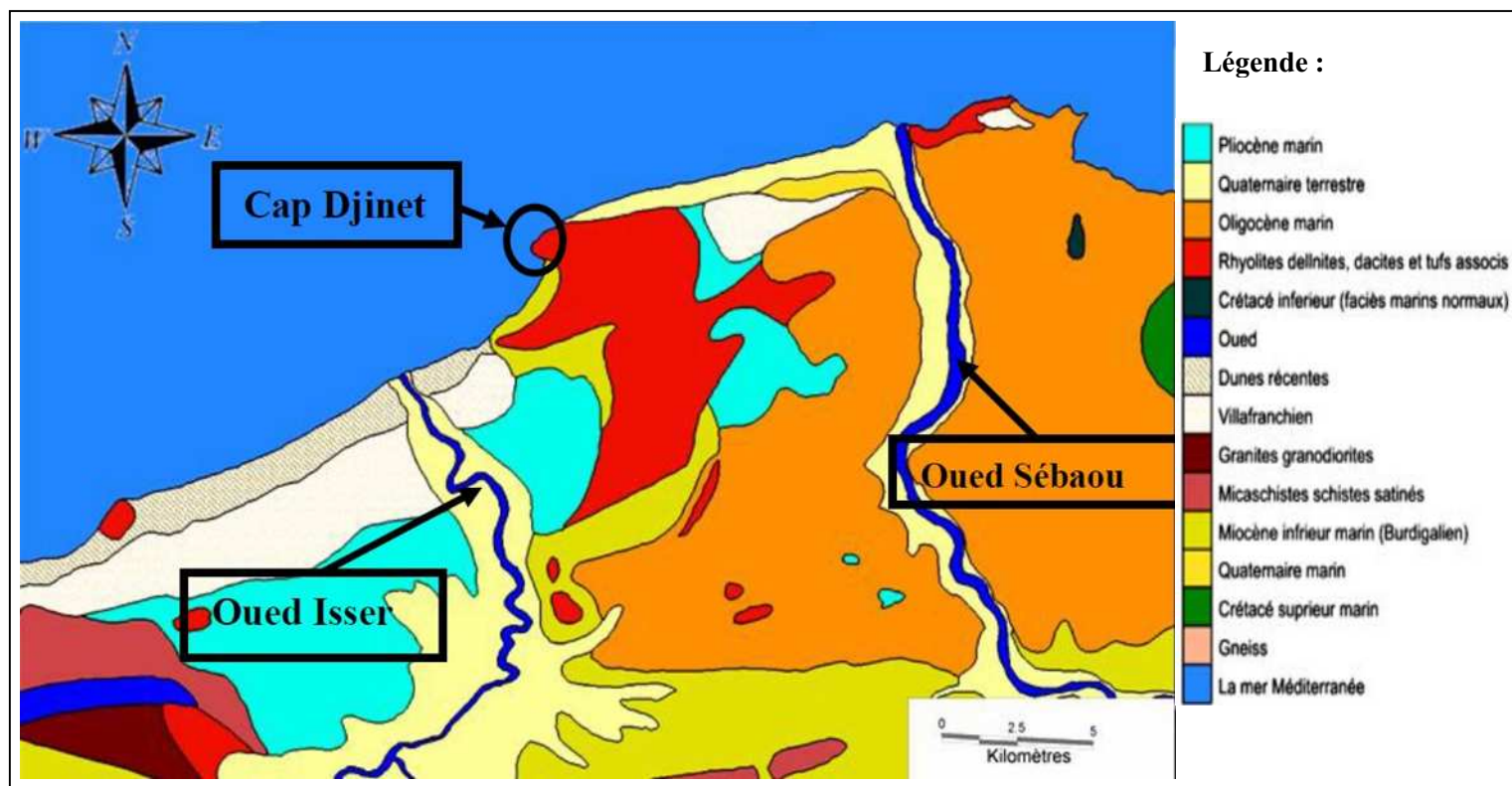


Figure n°1. 4 : Géologie régionale de cap Djinet (in Layoune & Tiguercha; 2011)

I.2.2. Aléas sismiques

La région a été classée moyennement sismique. Seuls les événements les plus importants et les plus récents ont fait l'objet d'une enquête macrosismique. Cependant, le séisme du 21 mai 2003 qui a touché la région de Boumerdès et sa périphérie et dont l'épicentre a été localisé dans la région de Zemmouri est classé parmi les séismes les plus catastrophiques et destructeurs qu'a connus l'Algérie ces dernières années. De fréquents séismes d'intensité faible à moyenne se produisent dans la région en mer. Ceci induit que la région n'est pas à l'abri de tsunamis (annexe 2).

I.3 Cadre climatologique et hydrologique

Données climatologiques

L'irrégularité du régime et l'alternance de deux saisons nettement contrastées constituent les éléments fondamentaux du climat des pays du Sahel.

La proximité de la mer confère à ces régions un climat remarquablement tempéré, dû à l'effet modérateur de la mer. Les données climatiques (précipitations et températures) restent à peu près voisines et uniformes sur le Sahel et dans la plaine de la Mitidja (légères variations dues à la disposition géographique de chaque ensemble).

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques se déployant dans notre zone d'étude et qui sont responsables de toute transformation morpho-sédimentaire.

Les données du climat local sont fournies par l'O.N.M : Observations allant de 2000 jusqu'à 2010 (annexe n°1).

Station : Dellys Afir

Période : 2000 - 2010

Altitude : 8 m - Latitude : 36°55 N - Longitude : 03°57 E

La baie de Zemmouri comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré ; relativement froid et humide en hiver, chaud en été.

I.3.1 L'étude 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.

L'analyse du régime des vents est effectuée à partir de trois sources de données météorologiques :

- les données du Summary of Synoptic Meteorological Observations (S.S.M.O) de 1914 à 1970,
- les données de la station de Dar El Beida de 2000 à 2010,
- les données de Medatlas de 1999 à 2004.

- **Données du Summary of Synoptic Meteorological observations (1914 à 1970)**

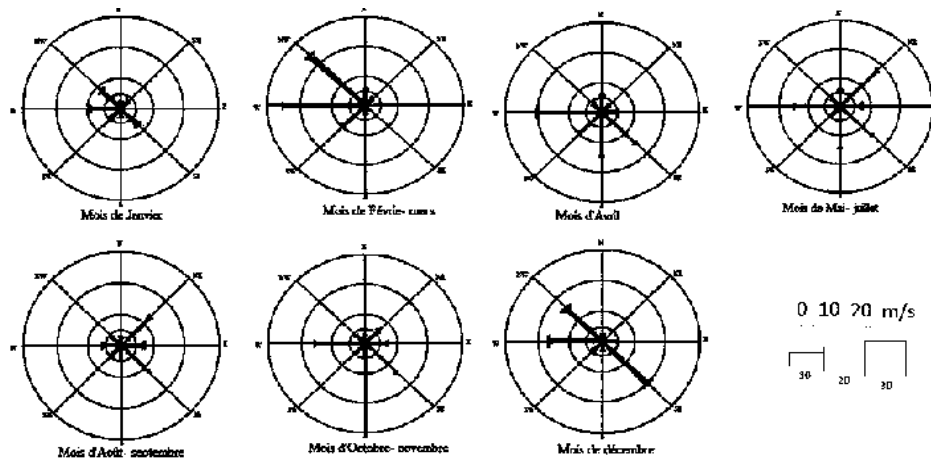
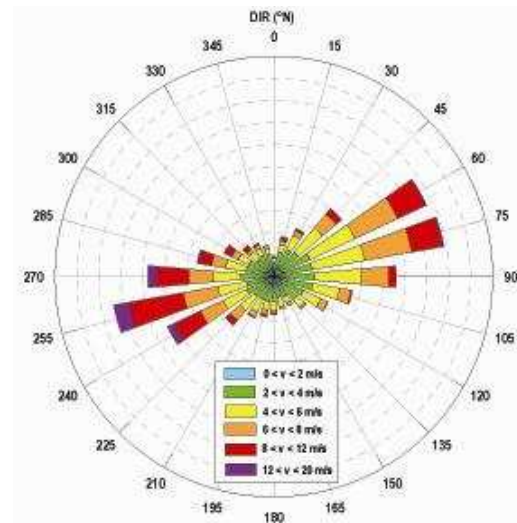


Figure n°1. 5 : Roses mensuelles des vents au large de Cap Djinet. (SSMO. 1963- 1970)

- **Données de Medatlas (1999-2004)**

Figure n°1. 6 : Rose des vents
(Medatlas. 1999- 2004)



- **Données de la station de Dar El Beida (Période 2000 à 2010)**

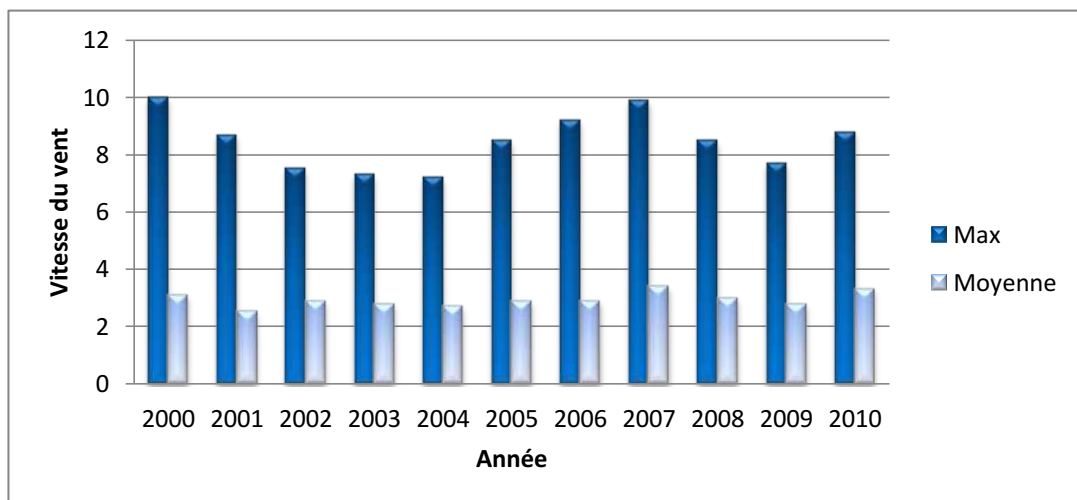


Figure n°1. 7 : Régime des vents dans la zone d'étude (ONM, 2005-2010)

L'analyse statistique des données de vents se résume comme suit :

- Les vents d'Est sont les plus fréquents, avoisinant les 29%. Leur vitesse est faible à modérée, comprise entre 3 et 9 m/s, exceptionnellement (0.1%) les vitesses peuvent atteindre les 12 m/s .

- La direction Nord-Est représente 17.5% des vents annuels, ils sont également faibles à modérés (3 à 8 m/s).

- Le secteur Ouest et relativement la seule direction génératrice de tempêtes (supérieur à 12 m/s), avec une fréquence de l'ordre 1.50%)

I.3.2 Les précipitations

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies qui sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été.

Deux saisons se distinguent : l'une allant du mois de novembre au mois de février où la moyenne mensuelle maximale atteint 1236 mm et l'autre plutôt sèche allant du mois de juin au mois d'octobre avec un minimum de 164 mm (figure n°8). Il existe cependant, une période transitoire entre mars et mai où les précipitations moyennes varient entre 45 et 64 mm (annexe n°1).

Les statistiques par rapport aux jours pluvieux présentent un minimum durant l'année 2000 et un maximum en 2010 (figure n°1.9).

Remarque : les données de l'année 2001 ne sont pas disponibles.

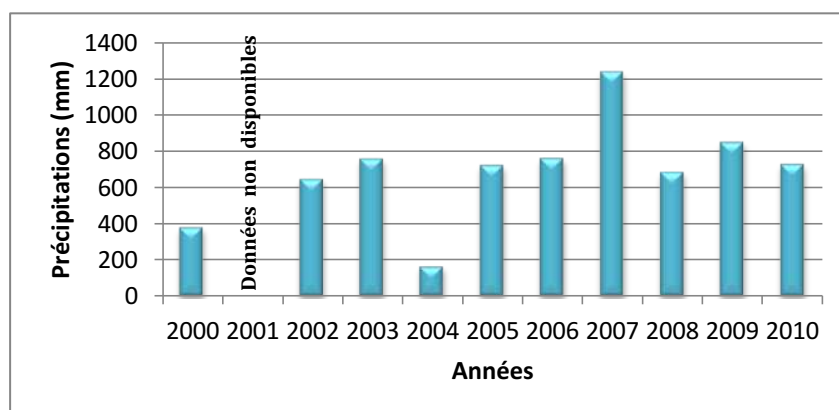


Figure n°1. 8 : Précipitations annuelles en mm (ONM, 2005-2010)

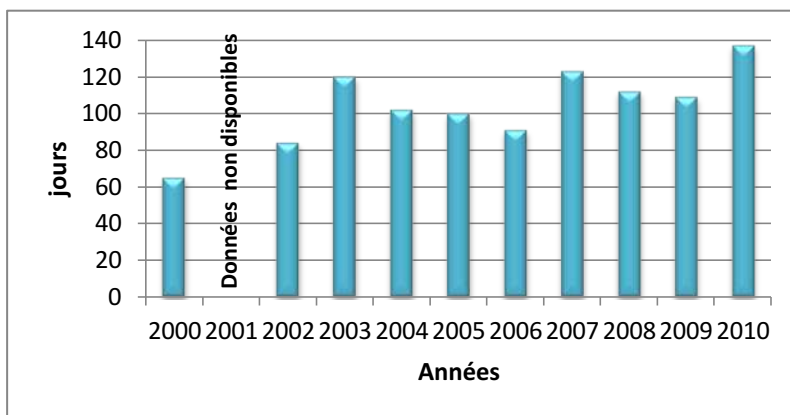


Figure n°1. 9: Nombre de jours de pluie (ONM, 2005-2010)

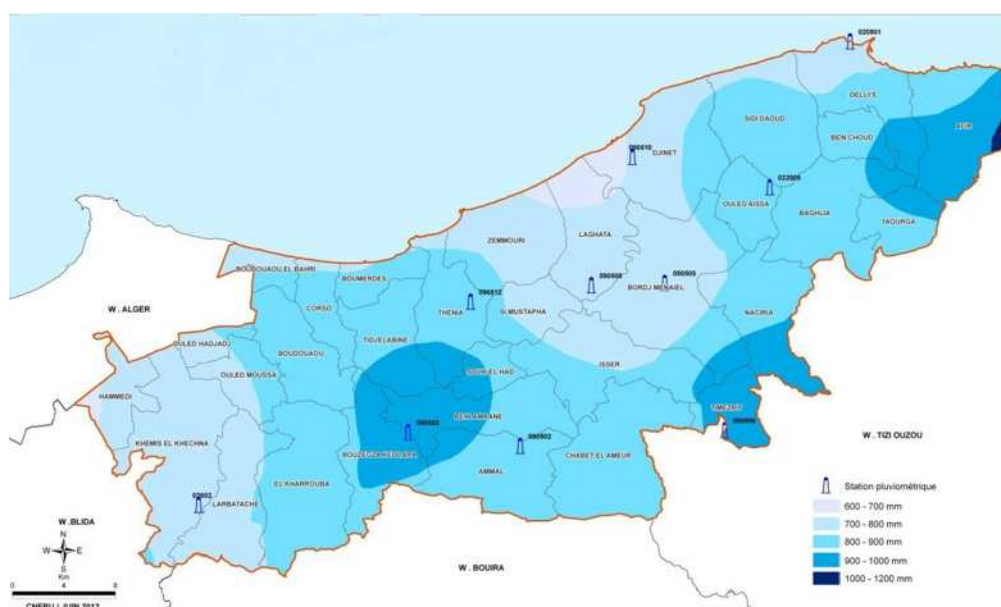


Figure n°1. 10: Zones pluviométriques dans la wilaya de Boumerdes (CNERU. 2010).

Tableau 1. 2 : Moyennes annuelles des Précipitations à la station de Lakhdaria et Baghlia, (A.N.R.H ; 1985-1990)

Pluies totales annuelles (mm)		
Année	Stations	
	Lakhdaria (Isser)	Baghlia (Sebaou)
1985	679,2	750,1
1986	745,1	769,1
1987	512,6	606,1
1988	614,8	658,6
1989	446,9	523,6
1990	660,9	725,1

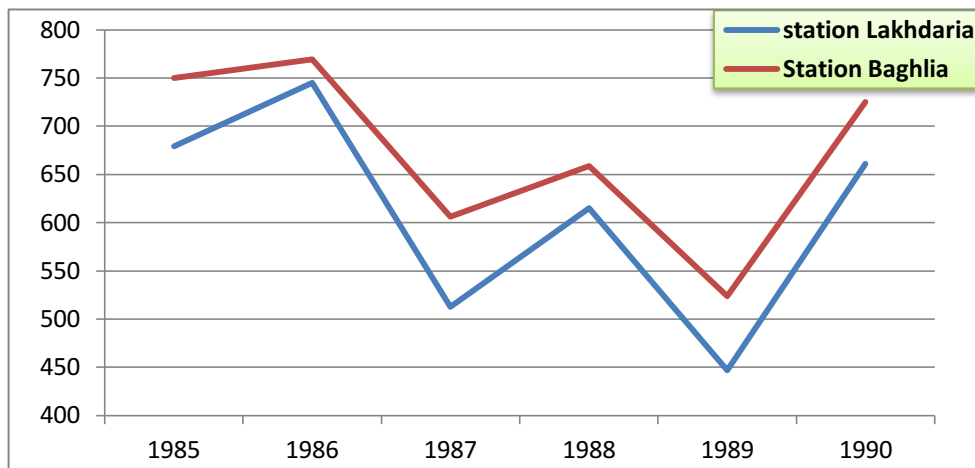


Figure n°1. 11 : Représentation graphique des moyennes annuelles des Précipitations à la station de Lakhdaria et Baghlia, (A.N.R.H ; 1985-1990)

I.3.3 Les températures

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. On distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à octobre où les températures moyennes de l'air varient entre 20°C et 30°C, et se rafraichissent en novembre et une autre saison qui débute en décembre et s'achève en mars où les températures moyennes varient entre 13°C et 18°C.

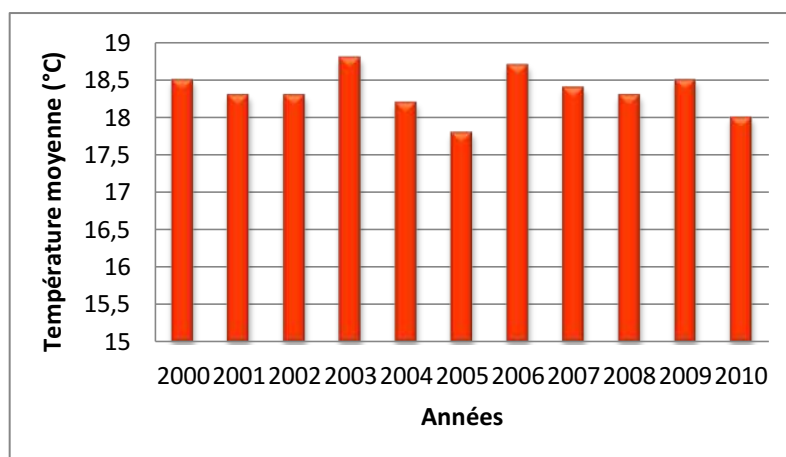


Figure n°1. 12: Températures moyennes en °C (ONM. 2005-2010).

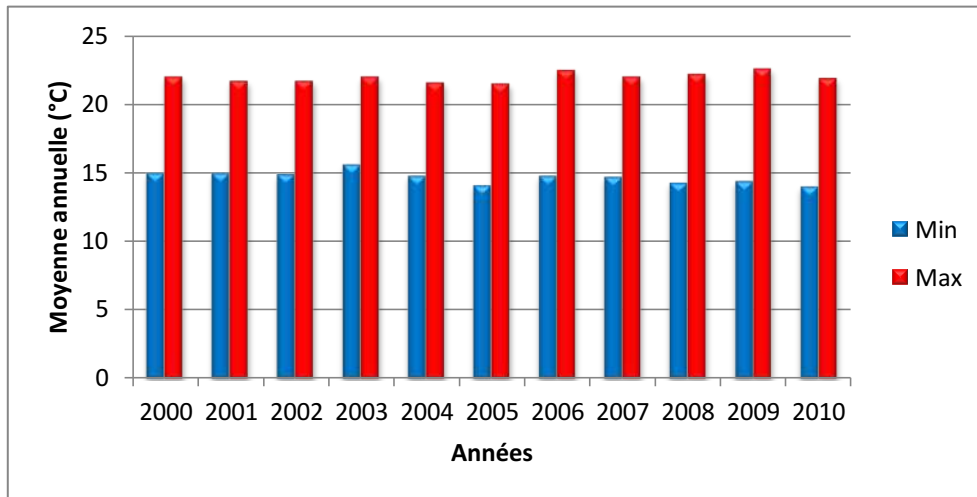


Figure n°1. 13: Moyennes annuelles des températures (ONM. 2005-2010)

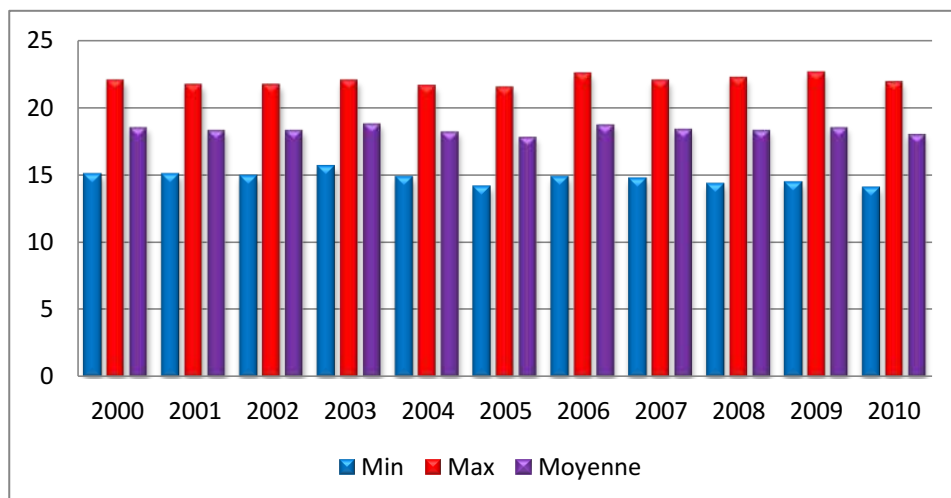


Figure n°1. 14: Températures annuelles en °C (ONM. 2005-2010)

I.3.4 L'hydrographie

Le réseau hydrographique de la région est constitué essentiellement de deux cours d'eau importants : l'Oued Isser distant d'environ 6 km du port de Cap Djinet et dont les coordonnées de son embouchure sur la côte sont $36^{\circ}50'21''\text{N}$ et $3^{\circ}40'1''\text{E}$, ainsi que l'Oued Sebaou distant d'environ 13 km de notre zone d'étude et dont les coordonnées de son embouchure sont $36^{\circ}54'39''\text{N}$ et $3^{\circ}51'17''\text{E}$ (voir figure ci-après).



Figure n°1.15 : Principaux cours d'eau dans la zone d'étude (Google Earth, 2013)

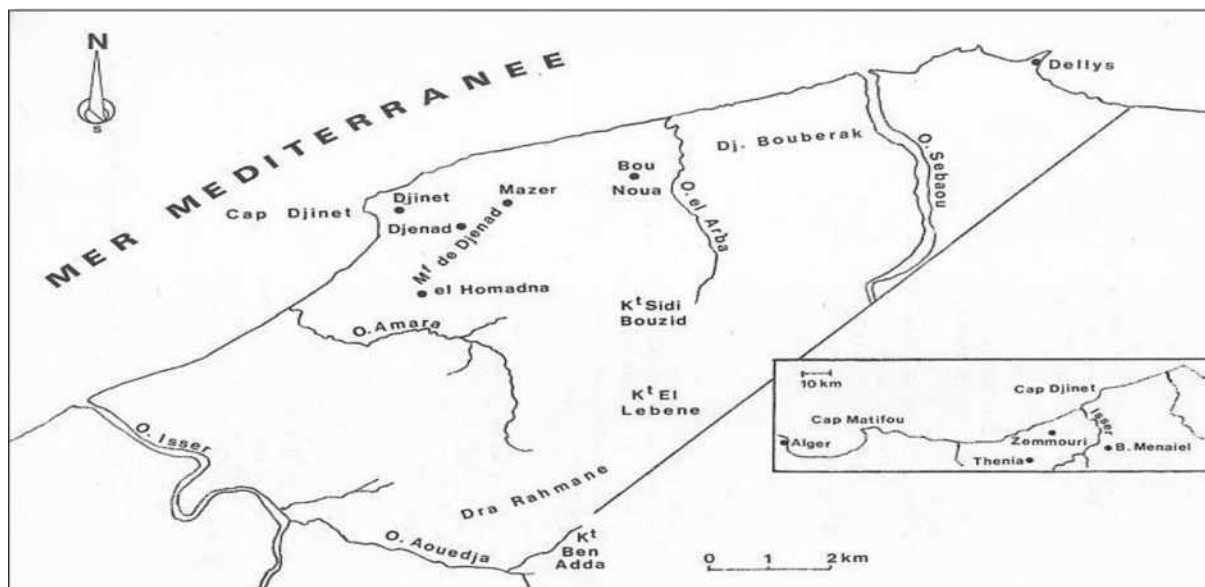


Figure n°1.16 : Schématisation du réseau hydrographique de la zone d'étude (in Akziz 2011)

3.4.1 Oued Isser

Les caractéristiques géomorphologiques, assez spécifiques du bassin versant du bas Isser ont conduit à la formation d'un réseau hydrographique particulièrement dense à l'amont. (Fig. 1.16).

Oued Isser prend naissance à 5 km au Sud-ouest de Tablat, son bassin couvre une superficie de 4145 km², il coule sur un lit à topographie irrégulière, constitué de bancs de sables et de graviers.

Il résulte de la jonction au niveau du pont de la traîlle des deux oueds (oued Malah Est et oued Malla Ouest), il présente une dynamique érosive complexe, ce qui entraîne un transport de charges solides considérables dont la concentration moyenne est de 30 g/l (ANRH).

Pour une étude hydrologique de l'Oued, nous avons choisi la station hydrométrique de Lakhdaria, pour sa proximité de l'embouchure de cet Oued.

Nous disposons d'une série de mesures de débit relevées par le service de l'ANRH (Agence Nationale de la Recherche Hydraulique) pendant une période de 35 ans.

Les valeurs du débit solide moyen annuel, ainsi que les valeurs des apports solides moyens annuels ont été obtenues par les deux formules suivantes :

$$Q_s = 8.74 * Q_m^{1.15} \quad \dots\dots (I.1)$$

Où:

Qs: Débit solide (kg/s) (A.N.R.H).

Qm : Débit liquide (Kg/m³)

$$App = Q_s * 86400 * 365 \quad \dots\dots (I.2)$$

Où :

App : Apport solide moyen annuel (kg)

Les résultats obtenus sont regroupés dans le tableau n° 2 et la figure 17.

Recueil des données disponibles d'hydrologie de l'Oued Isser

L'Oued Isser est limité :

- au nord par la mer Méditerranée.
- au nord-est par le massif de cap-Djinet.
- à l'ouest par djebel Bou- Arous (400m d'altitude en moyenne).
- à l'est par les massifs de Raicha et Chender.
- au sud par les contreforts de la dorsale Kabyle et le djebel Ahmed (753 m).

Les caractéristiques géomorphologiques assez spécifiques du bassin versant du bas Isser ont conduit à la formation d'un réseau hydrographique particulièrement dense à l'amont. Il existe une seule station hydrométrique (Gorge de Lakhdaria) située à l'amont du bas Isser et qui quantifie l'ensemble des débits entrants du bassin.

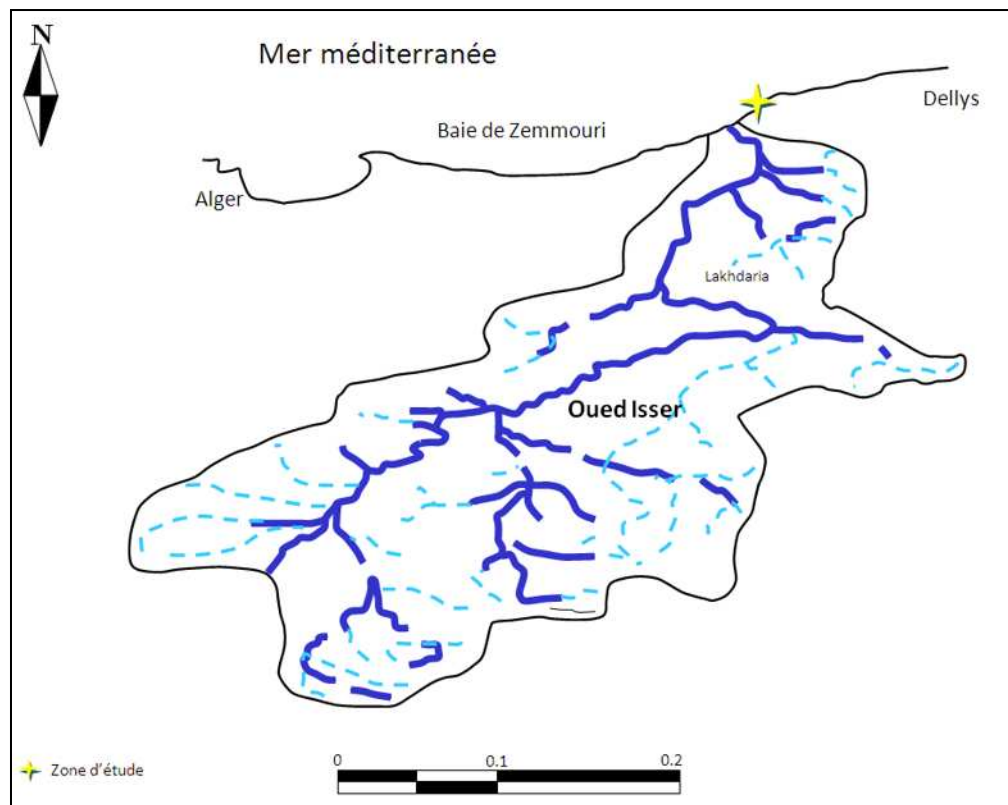


Figure n°1.17 : Bassin versant de l'oued Isser (Akziz 2011, modifiée)

Tableau 1.3 : Moyennes annuelles des apports solides à la station de Lakhdaria. (ANRH, 1998).

Année	Qmoy (m3/s)	Qs (kg/s)	Apports (m ³)
1966	7,22	84,88	26,77 10 ⁵
1967	20,19	276,96	87,34 10 ⁵
1968	6,31	72,70	22,93 10 ⁵
1969	21,79	302,35	95,35 10 ⁵
1970	4,65	51,18	16,14 10 ⁵
1971	27,53	395,63	124,77 10 ⁵
1972	28,86	417,69	131,72 10 ⁵
1973	20,04	274,60	86,60 10 ⁵
1974	5,78	65,72	20,73 10 ⁵
1975	12,94	166,05	52,37 10 ⁵
1976	4,8	53,08	16,74 10 ⁵
1977	3,97	42,67	13,46 10 ⁵
1978	8,35	100,33	31,64 10 ⁵
1979	12,38	157,81	49,77 10 ⁵
1980	52,78	836,28	263,73 10 ⁵
1981	/	/	/
1982	7,81	92,91	29,30 10 ⁵
1983	3,33	34,86	10,99 10 ⁵
1984	8,94	108,53	34,23 10 ⁵
1985	4,33	47,15	14,87 10 ⁵
1986	12,1	153,71	48,48 10 ⁵
1987	1,508	14,02	4,42 10 ⁵
1988	4,82	53,34	16,82 10 ⁵
1989	2,076	20,25	6,38 10 ⁵
1990	4,683	51,60	16,27 10 ⁵
1991	7,138	83,78	26,42 10 ⁵
1992	2,911	29,86	9,42 10 ⁵
1993	2,753	28,01	8,83 10 ⁵
1994	12,26	156,05	49,21 10 ⁵
1995	6,144	70,51	22,23 10 ⁵
moyenne	10,97906897	146,29	46,14 10⁵

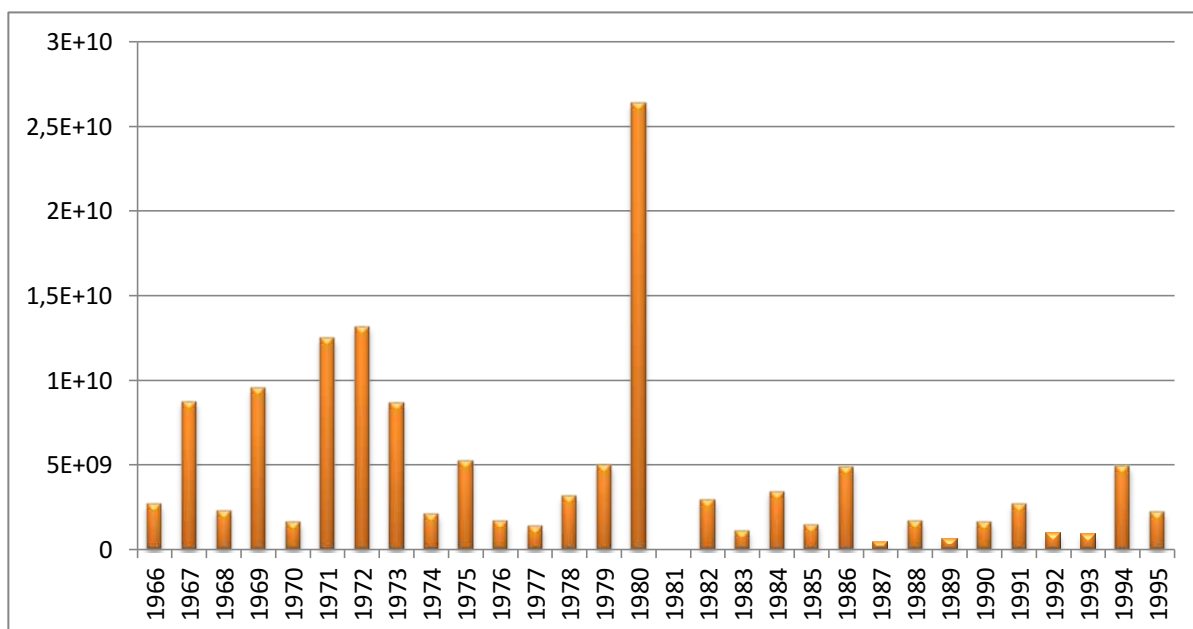


Figure n°1.18 : Apport solide moyen annuel de l'oued Isser (kg) (ANRH 2008).

Les apports solides de l'Oued Isser qui contribuent dans l'alimentation de la baie de Zemmouri en matériel hétérogène paraissent considérables. Toutefois, on constate une diminution progressive de ces apports fluviatiles au cours de ces dernières années.

Les débits de l'oued Isser sont faibles à l'amont, qui pourrait être dû à une probable alimentation de la nappe libre dans cette zone.

Les débits de l'oued augmentent progressivement par endroits au fur et à mesure qu'on s'approche de la zone avale ; les berges ne sont pas colmatées, ce qui laisse supposer une alimentation de l'oued par la nappe.

3.4.2 Oued Sebaou

Oued Sebaou est le principal vecteur hydrologique de la région de la grande Kabylie, il est d'une longueur de 110 km environ depuis sa source à l'amont dans le massif du Djurdjura à une altitude de 1837m. La superficie totale de son bassin versant est de 2510 km² avec une largeur moyenne de 23 km.

Le débit de l'Oued Sebaou est étroitement dépendant du régime pluviométrique et du taux d'infiltration, à cet effet, son débit est nettement fort, mais ses apports terrigènes sont en moyenne bien plus faibles que ceux de l'oued Isser. L'emmagasinement dans le sous-sol est

faible, étant donné la constitution géologique est essentiellement marneuse. L'étude réalisée par la compagnie générale de géophysique dans la vallée du moyen Sebaou, a permis de montrer l'existence d'une nappe profonde qui se situe dans les alluvions grossières. Cette nappe alimente les divers forages existants (in Akziz 2011).

L'augmentation des débits en période hivernale, la lithologie fragile de la zone ainsi que d'autres facteurs (présence de carrières, zone à forte sismicité) font de ces deux oueds des conduites naturelles qui apportent une importante quantité de sédiments du bassin versant vers la zone côtière.

I.4 Cadre océanographique

La dynamique sédimentaire littorale est étroitement dépendante de l'hydrodynamisme ainsi que de l'environnement hydrographique.

Une connaissance approfondie des facteurs majeurs à savoir les houles, les courants et les débits est donc nécessaire, pour déterminer leur action et leur intervention dans le remaniement des sédiments.

I.4.1 La houle

C'est un paramètre hydrodynamique qui dépend directement des vents et qui joue un rôle important dans la zone de déferlement.

Les données de houles existantes sont celles issues :

- Des données du SSMO sur la période 1963 à 1970.
- Des observations de l'Institut Météorologique Royal Néerlandais (KNMI) de 1961 à 1980.

On dispose donc des données de houles de l'U.S. Naval Weather Command intitulé Summary of Synoptic Météorological Observation (SSMO). Ces données couvrent une période de huit ans qui s'étalent de 1963-1970, et qui couvrent un secteur qui se situe en longitude Est de 2° à 5° et en latitude Nord de 36,5° à 38° (tableau n°1.4), permettant d'effectuer une analyse statistique de la houle au large de la région de Zemmouri.

L'analyse de ces données fait ressortir les fréquences d'apparition des différents degrés d'agitation par direction ; ceci a permis d'établir la rose de la houle mensuellement.

Tableau 1.4 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (%) (SSMO, 1963-1970)

Direction Mois	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
Février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
Mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
Avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
Mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3,3	7,2	13,9	5,2
Juin	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
Juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
Août	8,8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
Septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
Octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	14,8	28,8	6,8
Novembre	5,5	5,8	5,8	10	8	15,9	40,4	9,4
Décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
Moyenne	8,52	18,28	18,72	23,08	4,19	11,06	25,23	6,46

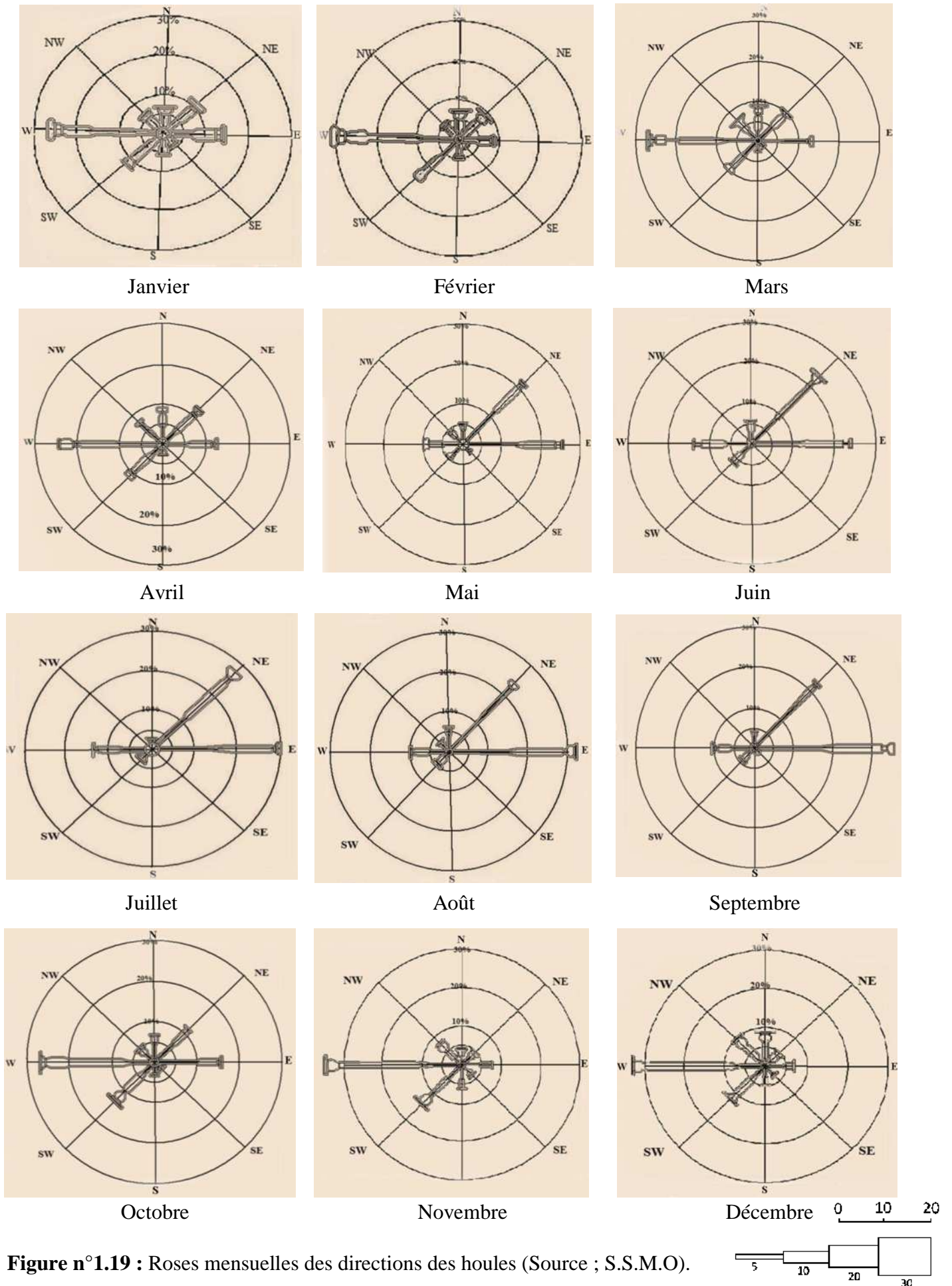


Figure n°1.19 : Roses mensuelles des directions des houles (Source ; S.S.M.O).

Direction de la houle au large

L'analyse du tableau des fréquences d'apparitions des houles par direction et par mois permet de constater ce que :

- Les secteurs Est et Ouest prédominent par les plus grandes fréquences d'apparition établies.
- Le secteur Ouest se caractérise essentiellement par les houles de tempête.
- Les secteurs Nord et Nord-Ouest présentent les fréquences d'apparition les plus faibles.
- Les fréquences d'observations sur l'année montrent que les houles de secteur Est et Ouest sont sensiblement identiques, avec une légère prédominance du secteur Ouest. Durant la période estivale, le secteur Est prédomine.
- Le secteur Nord se caractérise par une répartition assez régulière durant toute l'année.

En conclusion :

- l'agitation provenant des secteurs Ouest et Est est la plus fréquente, néanmoins le secteur Ouest prédomine par les fortes houles.
- Pour le secteur Nord et Nord-ouest, les fréquences d'apparition sont faibles.
- Les houles de tempêtes proviennent essentiellement du secteur Ouest (Fig.1.20).

On déduit que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime des vents.

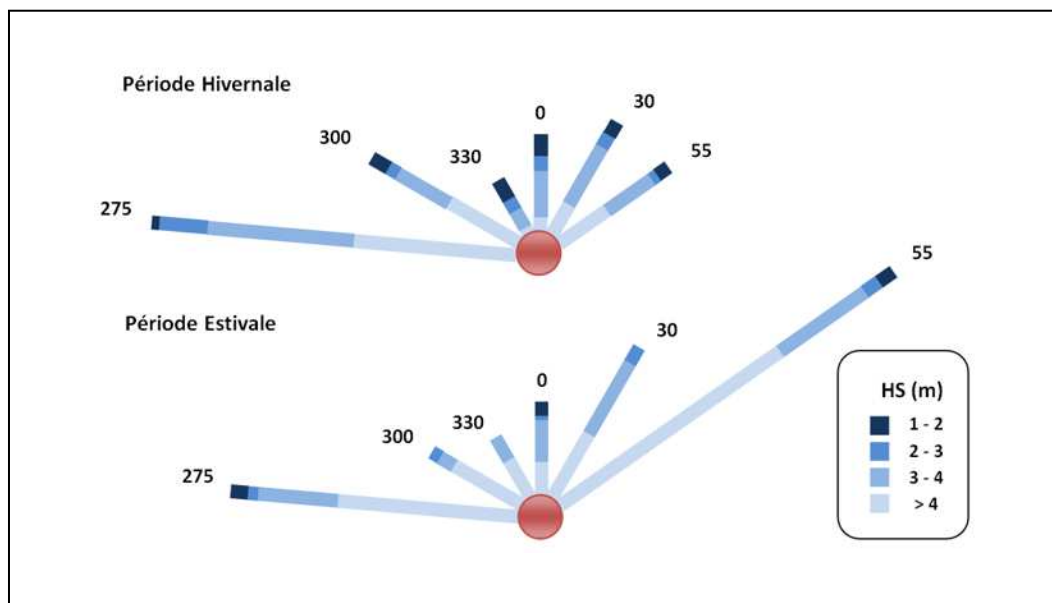


Figure n°1.20 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).

En hiver : Les houles d'Ouest dominant, la majorité des amplitudes sont comprises entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large.

En été : Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes, elles engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest.

L'analyse des données du S.S.M.O présentées sous forme de (tableau n°1.4) et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais) (Figure n°1.21) confirment parfaitement cette répartition :

Tableau n°1.5 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
biennale	4.90	4.93	4.12	7.36	4.16
Quinquennale	5.75	5.67	4.70	8.43	4.87
Décennale	6.38	6.23	5.14	9.22	5.40
Vingtennale	7.02	6.79	5.59	10.02	5.94
Cinquantennale	7.87	7.53	6.17	11.08	6.65
Centennale	8.50	8.08	6.62	11.88	7.18

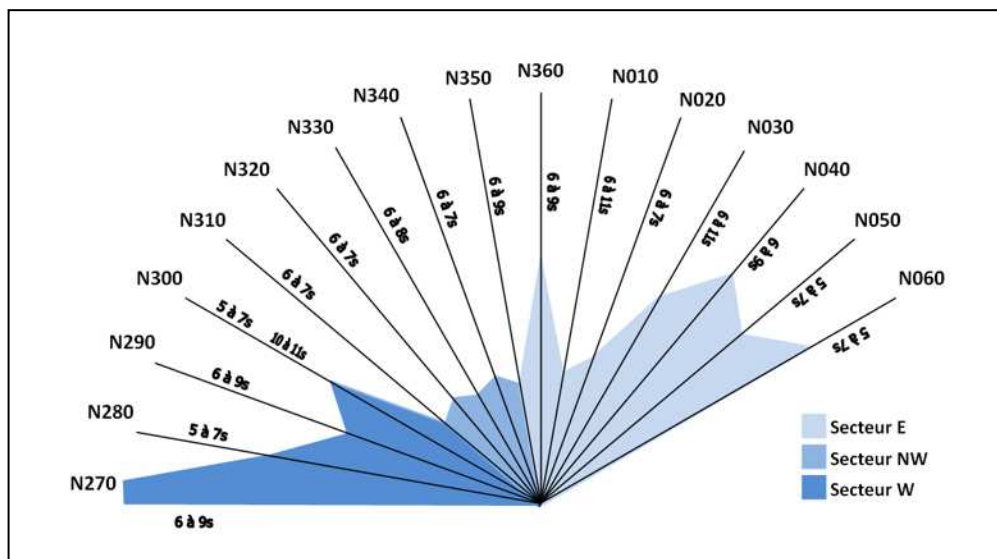


Figure n°1.21 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).

Les données du tableau n°1.5 concordent avec celles observées auparavant (tableau n°1.4), pour les périodes de retour biennales on observe que ce sont les houles essentiellement de direction Ouest qui sont les plus énergétiques avec une valeur de 7.36m. Par contre les houles de direction Est sont les plus faibles avec des valeurs même centennales ne dépassant pas 7m.

Notre zone d'étude est donc exposée aux houles de directions suivantes (Nord, Ouest, et Nord-Ouest).

La répartition des périodes de la houle est donnée par état de la mer dans le tableau ci-dessous

Tableau 1.6 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)

Etat de la mer	Périodes de la houle					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Totale (%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

Les houles observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% la période est $\leq 7s$), seuls 3% des houles ont une période comprise entre 10 et 13s.

- **Les données de la Houle de Météo France**

Les cartes présentées sont issues des données mensuelles des hauteurs totales de la mer ($H_{1/3}$) dans la Méditerranée occidentale. Ces cartographies sont faites à partir du modèle de vagues ERA-Interim du Centre Européen de Prévision et portent sur la période 1989-2008 soit 20 ans (annexe n°2).

Les valeurs notées dans le bassin méditerranéen semblent faibles, elles atteignent les deux mètres durant le mois de janvier, et ce jusqu'au mois d'avril, elles déclinent de virulence au mois de juillet où les hauteurs relevées sont très faibles (inférieures à un mètre), au mois d'octobre, elles recommencent à augmenter, mais dans un espace beaucoup plus réduit (sud de la France). Il est important de mentionner que les valeurs schématisées sont des moyennes (entre 1989-2008).

La mer méditerranée constitue un bassin abrité loin d'être exposé aux vents mis à part les saisonniers dont on cite : le Mistral, le Levante et La Lombarde.

I.4.2 Les courants

Le courant marin ou courant océanique est défini comme une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée.

Les courants sont responsables de l'état dynamique des sédiments (érosion, transport et sédimentation).

- **Le courant côtier de retour**

Participe activement à l'érosion côtière de la zone d'étude, c'est le courant compensateur sur le fond qui s'effectue en direction du large résultant du retour des masses d'eau déployées par la houle sur la côte. Leur effet est remarquable surtout par mauvais temps généralement en hiver.

- **Les courants de la dérive littorale :**

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique. Elle donne naissance à un courant de dérive littoral, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60° .

Ce courant parallèle au rivage, converge souvent dans les baies et diverge au niveau des caps, se manifeste dans la zone de déferlement des vagues.

Il joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments et assure le transport latéral de ces derniers le long de la côte. La dispersion des sables et les graviers de la frange littorale (fond de -10m) est capitale dans le maintien en équilibre et l'alimentation des plages.

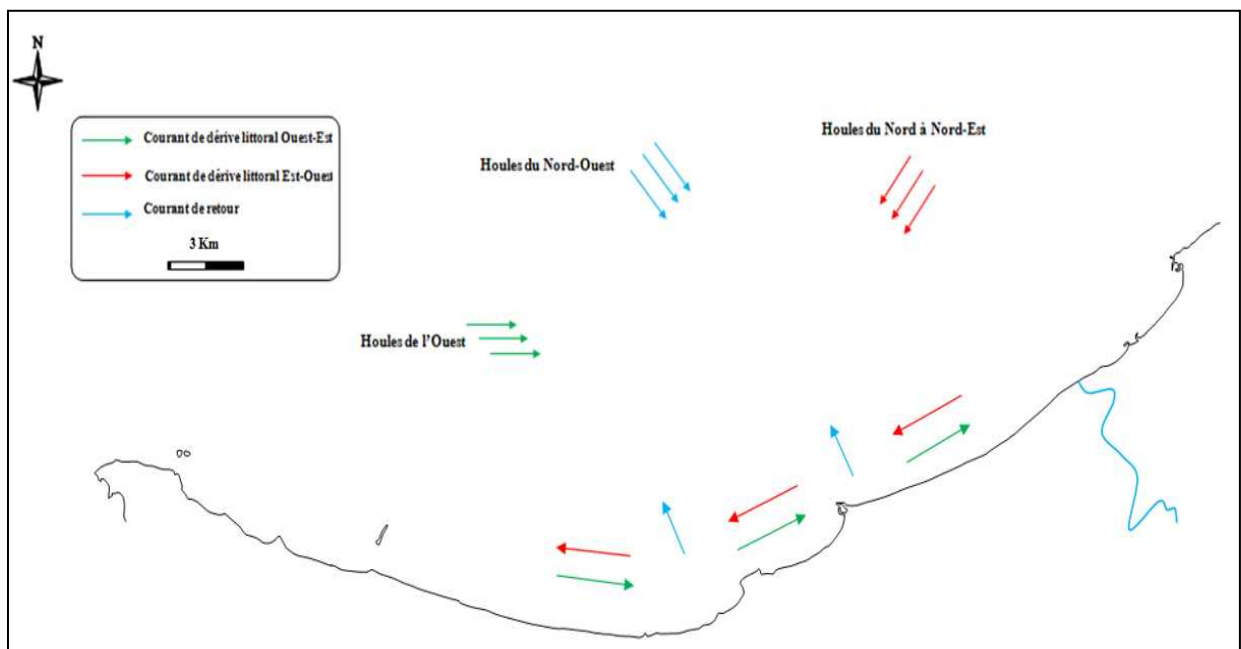


Figure n°1.22 : Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude.

L'étude courantologique de la région a porté sur plusieurs missions, effectuées par (L.C.H.F, 1970), et qui ont trouvé que :

- Les vents du Nord-Est génèrent des courants de direction Ouest, vers le port.
- Les vents du secteur Nord, Nord-Ouest ont révélé les courants de direction Est et Nord-Est à l'opposé du port.

I.4.3 La marée

La marée en mer Méditerranée et en particulier sur des côtes algériennes est relativement faible. Elle est la conséquence de deux phénomènes distincts :

- Marée barométrique ; liée à la variation de conditions climatologiques (pressions et vents). L'effet du relief barométrique conduit à une variation de l'ordre de 13,2 mm par millimètre de mercure.

- Marée astronomique ; liée à l'action de la lune et du soleil sur la mer. La variation annuelle moyenne de la pression est de l'ordre de 4mm, qui conduit à une variation moyenne du plan d'eau de 5,3cm.

L'effet du vent est plus important puisque la variation du niveau d'eau peut atteindre 10 à 12 cm et plus rarement 20cm.

Bien que la marée soit faible sur la côte algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type microtidal, il est recommandé de prendre en considération ce marnage notamment pour notre zone d'étude qui est caractérisée par une pente douce, ce qui conduit à un risque de l'amplification des phénomènes d'inondation.

D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tel que les météotsunamis et les seiches. De forts vents marins locaux peuvent aussi, par action directe sur la surface de la mer, entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau. Le niveau de la surface de la mer pourrait ainsi atteindre une surélévation maximale de 1 m environ, du fait des phénomènes ci-dessus.

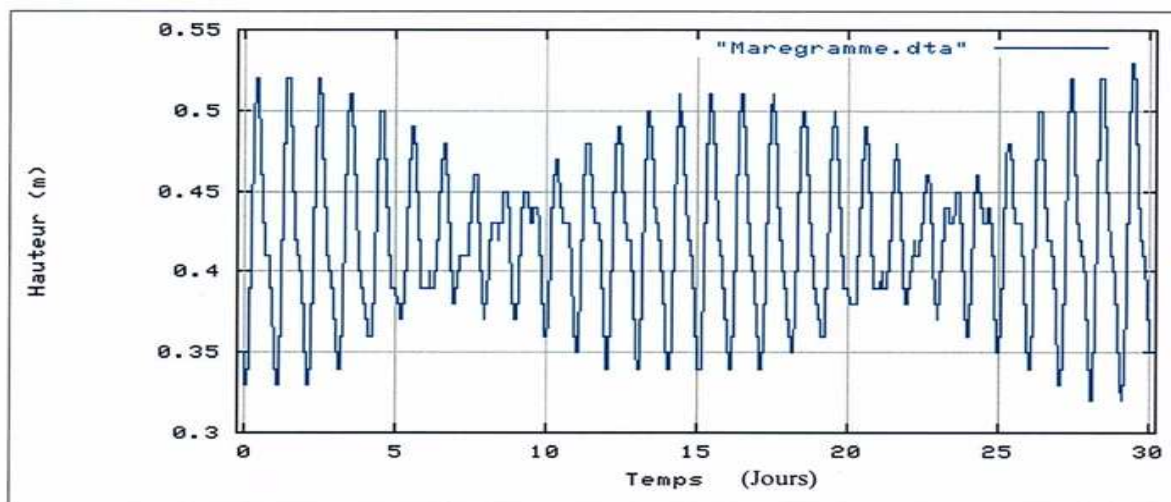


Figure n°1.23 : Exemple de la variation marégraphique au cours d'un mois.

I.5 Cadre général d'évolution et diagnostic

I.5.1 Généralités sur le transport sédimentaire en milieux côtiers

Cette partie est consacrée à la description des processus physiques influençant le transport sédimentaire et à leur modélisation. Tout d'abord, nous rappelons quelques définitions concernant les sédiments et leurs modes de transport, les différents processus influençant le transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens.

I.5.1.1 Processus affectant les sédiments naturels

A) Sédiments, définitions et classification

Les sédiments sont généralement issus de l'altération des formations continentales superficielles et de l'activité biologique in situ, etc. L'altération constitue l'ensemble des mécanismes qui libèrent les particules des roches et soustraient les éléments dissous à la surface terrestre, avant que n'interviennent les processus d'érosion, puis de transport et de dépôt. Les sédiments sont de nature très variée selon les roches dont ils dérivent et sont dominés par des silicates, surtout le quartz pour les fractions grossières, et les minéraux argileux et les carbonates d'origine biogénique (Chauchat.J, 2007).

Le spectre granulométrique est très étendu, depuis les fines poussières jusqu'aux gigantesques blocs, et les sédiments ont des formes très variées, ils sont curviformes, allongés, aplatis ou en feuillets mais rarement sphériques. Ces formes compliquent beaucoup la mesure de la taille des particules et introduisent des incertitudes.

L'analyse des tailles fait appel à une échelle partagée en classe granulométrique, dont la progression est géométrique par commodité historique. La progression la plus utilisée est celle de Wentworth, 1922, pour laquelle chaque classe principale correspond à un diamètre du double ou de la moitié de la classe voisine, la classe de base correspondant à 1 mm (Tab. n°6)

Tableau n°1.7 Classification de Wentworth (1922).

Nom en français		Nom en anglais		Taille	
Blocs		Boulders		≥ 256	
Gros cailloux		Cobbles		64 - 256	
Graviers		Gravels		≤ 256	
Petits cailloux		Pebbles		32 - 64	
Granules		Granules		4 - 32	
Sable	Sable très grossier	Sand	Very coarse sand	1-2	
	Sable grossier		Coarse sand	0.5-1	
	Sable moyen		Medium sand	0.25- 0.5	
	Sable fin		Fine sand	0.125- 0.25	
	Sable très fin		Very fine sand	0.0625-0.125	
Silt	Silt grossier	Silt	Coarse silt	0.0312-0.0625	
	Silt moyen		Medium silt	0.0156-0.0312	
	Silt fin		Fine silt	0.0078-0.0156	
	Silt très fin		Very fine silt	0.00390625-0.0078	
Argile		Clay		0.0001-0.00390625	
Colloïde		Colloid		< 0.0001	

B) Modes de transport des sédiments

D'après Chauchat (2007), il existe trois modes de transport des particules : le roulement ou charriage, la saltation et la suspension. Ces trois modes peuvent se produire simultanément et les particules concernées par chaque mode dépendent des conditions d'écoulement (contrainte de cisaillement sur le fond)

- **Le transport par roulement ou charriage** concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement ;

- **Le transport par saltation** apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci ;

- **Le transport en suspension (ou suspended load)** se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement.

D'après Bagnold (1973) la distinction principale se fait entre le transport en suspension et le transport par charriage sur le fond (bed load) comprenant le roulement et la saltation. Dans le cas du transport par roulement et par saltation, l'impulsion fournie par le fluide est sur l'horizontale contrairement au transport en suspension.

Les sédiments non-cohésifs peuvent être transportés par ces trois modes, charriage sur le fond, saltation et transport en suspension. Par contre, les sédiments cohésifs sont principalement transportés en suspension (suspended load) et leur érodabilité varie en fonction de l'état de consolidation des dépôts de vase sur le fond (Chauchat.J, 2007).

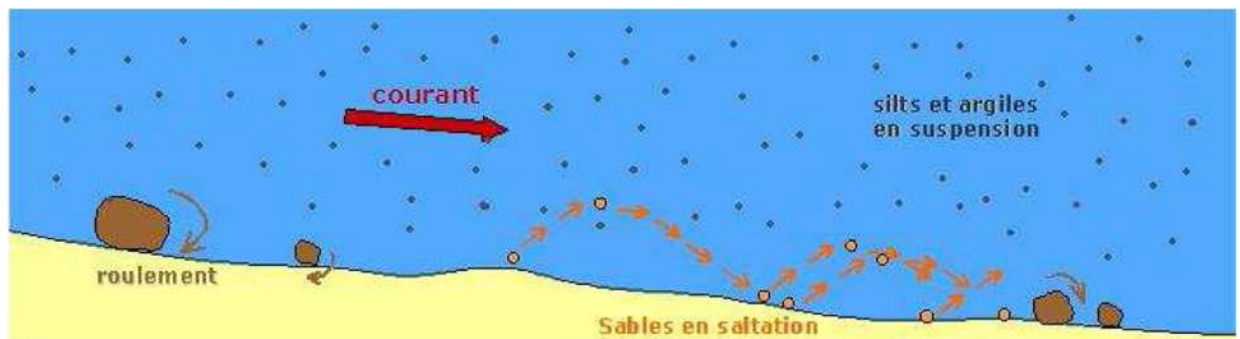


Figure n°1.24 : Modes de transports sédimentaires selon la granulométrie (Marion Jaud ; 2011)

I.5.2 érosions des plages

I.5.2.1 Généralités et principes

Une plage est un milieu mobile qui correspond à des zones de dépôts et de transfert incessant de sédiments meubles. Son budget sédimentaire est défini comme la somme algébrique de l'alimentation et de l'ablation des matériaux détritiques.

La côte algérienne subit aussi des transformations en raison de l'intervention d'agents morphogéniques qui ne leurs sont pas spécifiques, tels que les vents, les eaux de ruissellement et d'infiltration etc. dont l'efficacité, peut s'avérer accrue, au contact terre/mer.

I.5.2.2 Les facteurs d'érosion des plages

En générale les causes de l'érosion et les menaces qui pèsent sur la zone se résument en

a- Facteurs naturels

- **L'épuisement du stock sédimentaire côtier**

Le budget sédimentaire, fait la balance entre les sédiments entrant et sortant du système côtier. Si ce budget est positif, la plage s'élargit et la côte prograde. S'il est négatif, la plage démaigrît et la côte recule.

L'activité humaine intense sur les zones côtières est à l'origine du déséquilibre des écosystèmes littoraux, et l'aménagement des bassins versants conjugués à certains facteurs naturels entraînent l'érosion des plages et la détérioration des herbiers. Ces actions provoquent une rupture du régime sédimentaire qui se manifeste par une « pénurie sédimentaire ».

Le stock sédimentaire côtier d'aujourd'hui est pour l'essentiel hérité, ainsi, nous connaissons une pénurie en apport « frais » de sédiments, accentué par les éléments naturels (courants, houles et vents).

- **Les phénomènes tectoniques** (mouvement des plaques, séismes sous-marins...)

Ils peuvent avoir des conséquences non négligeables sur l'évolution du trait de côte. Ils provoquent des mouvements tant horizontaux que verticaux. Ils peuvent par conséquent créer des déformations de quelques centimètres par siècle (~10cm par siècle), susceptibles de modifier la disposition d'un rivage et d'en augmenter l'érosion.

- **Élévation contemporaine du niveau marin**

Le niveau de la mer augmente d'une façon permanente par dilatation thermique, mais aussi par la surcote et lors des tempêtes.

L'élévation du niveau de la mer provoque un démaigrissement et un recul des plages (principe de Brunn). Le profil transversal de la plage migre parallèlement à lui-même vers la terre par érosion de la partie haute. Le matériau enlevé s'accumule sur l'avant plage de telle sorte que l'épaisseur de la tranche d'eau littorale reste constante (figure n°12).

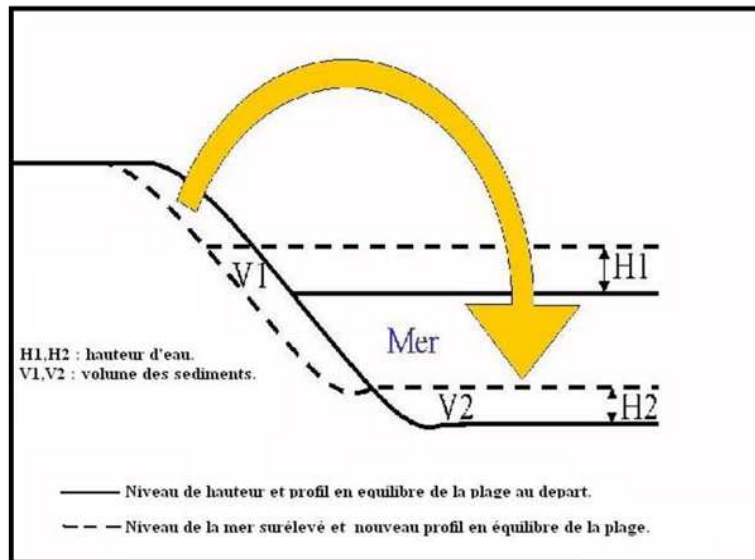


Figure n°1.25 : Illustration du principe de Brunn.

- **Les tempêtes**

Les houles et les vagues associées à des pleines mers de vives eaux, attaquent les hautes plages et peuvent emporter le cordon littoral et submerger l'arrière plage causant des dégâts parfois irréversibles.

b- Facteurs anthropiques

- **Les aménagements et l'artificialisation du littoral**

Favorise l'accélération de l'érosion en bordures des ouvrages, tout en augmentant le déficit sédimentaire.

- **La fréquentation humaine**

Elle concerne sur-fréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, aussi l'extraction des matériaux modifie les échanges sédimentaires.

- **L'exploitation de dunes sableuses**

Les dunes constituent, dans les zones où elles existent, une bonne protection naturelle par

- Le barrage qu'elles offrent aux houles et marées de tempête, empêchant les eaux d'inonder des zones basses intérieures ;
- La réserve de sable qu'elles constituent pour l'alimentation de la plage.

L'extraction et l'utilisation de sable des plages et des dunes pour les besoins de constructions (ce phénomène était constaté autre fois dans notre zone d'étude) contribuent à l'accélération de l'érosion côtière.

L'arasement des dunes bordières déstabilise les plages, or les dunes participent activement à l'équilibre des plages du fait qu'elles constituent une réserve en sable, ce qui leurs procurent un rôle protecteur en cas de déferlement des vagues de tempêtes, ce déséquilibre à été observé dans la zone où on remarque des recouvrements des escaliers par le sable.

- **Les constructions très proches du trait de côte**

Les édifices construits trop proche du trait de côte ne tiennent pas longtemps. L'attaque de la construction commence à sa base par déflation du sable sous jacent et affaissement, la fondation petit à petit se trouve à découvert et déstabilise les édifices ; à la moindre tempête l'effondrement commence.

- **La pollution**

Principale contrainte pour le développement récréatif, purement de nature anthropique, causé par tous rejets domestiques ou industriels (solides qu'ils soient ou liquides), provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu.

I.5.1 Analyse d'état des lieux et évolution de la zone

I.5.1.1 Evolution du trait de côte de Cap Djinet

De la centrale thermique à cap Djinet, durant la période allant de 1972 à 1985, on enregistre un net recul du trait de côte sur l'ensemble des stations (localement plus de 10 mètres par an). De 1985 à 1999 un fort recul du trait de côte atteignant ou dépassant localement 5 mètres par an peut être observé au niveau de l'ensemble des stations (Fig.24). (Source, Programme d'Aménagement Côtière. PAC 2005).

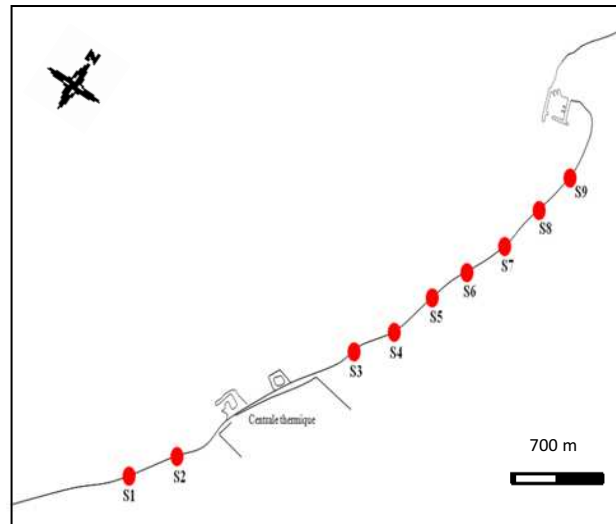


Figure n°1.26 : Stations de surveillance du trait de côte entre Oued Isser et Cap Djinet (source, PAC 2005)

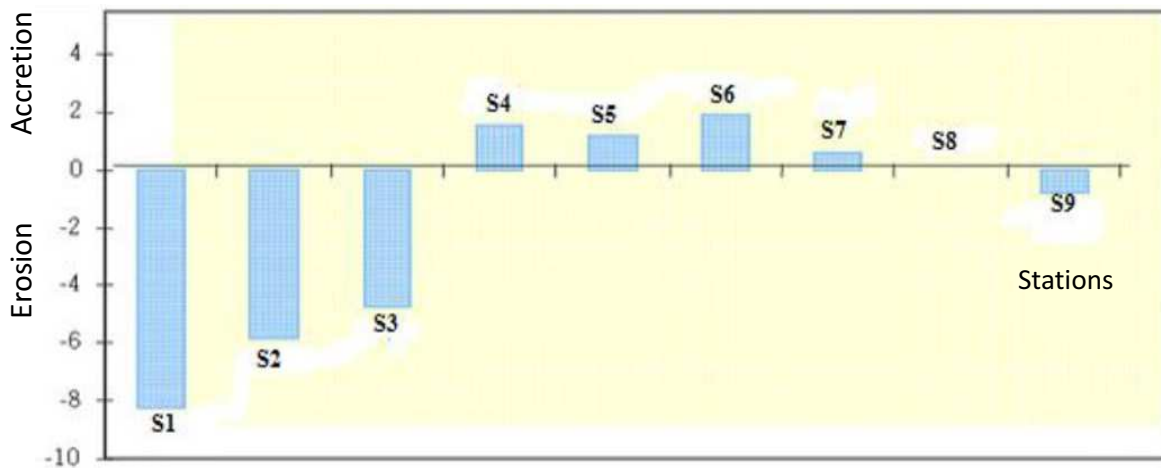


Figure n°1.27 : Evolution moyenne du trait de côte du littoral de Cap Djinet sur une période pluriannuelle (1959 – 1999). (Source, PAC 2005)

I.5.1.2 Conséquences directes et problématiques du port

Le port de Cap Djinet est hors service. En effet, quelques mois seulement après l'achèvement des travaux en décembre 2007, cette infrastructure a fait face à un sérieux problème d'ensablement total de sa passe d'entrée. En effet, des quantités de sable très importantes se sont accumulées au niveau du musoir sur une distance d'environ 50m à l'intérieur du port.

En raison de cet ensablement, les navires de pêche ne peuvent ni accoster ni appareiller. Les unités de pêche amarrées au quai se sont retrouvées coincées à l'intérieur du port et leurs propriétaires ont dû recourir à leur évacuation à l'aide d'une grue.



Photo n°1.1 Évacuation des unités de pêche à l'aide d'une grue.

Comme le montrent si bien les photos ci-dessous, le port est devenu un véritable piège à sédiments, sa passe d'entrée s'est complètement fermée en février 2010.



Photo n°1.2 & 1.3 Passe d'entrée du port de Cap Djinet complètement fermée (Février 2010)

Après plusieurs opérations de dragages, la passe d'entrée est dégagée aujourd'hui mais le tirant d'eau reste faible. Ce port, devant accueillir 115 unités de pêche et de plaisance, ne s'apparente donc aujourd'hui qu'à une plage d'échouage et n'accueille, comme nous l'avons constaté sur site, que quelques petits-métiers.

Les petites embarcations, petits métiers, n'excédant pas une longueur de 6m avec un tirant d'eau inférieur à 1 mètre peuvent entrer dans le port, mais au ralenti. Des opérations de dragage sont nécessaires.

L'activité de pêche est très timide, presque insignifiante à l'intérieur du port. Actuellement, l'activité des petits métiers est concentrée en amont de la jetée secondaire, à proximité de la poissonnerie. En effet, les unités de pêches ont trouvé refuge dans la zone abritée, schématisée ci-dessous, un plan d'eau naturel abrité du mauvais temps.

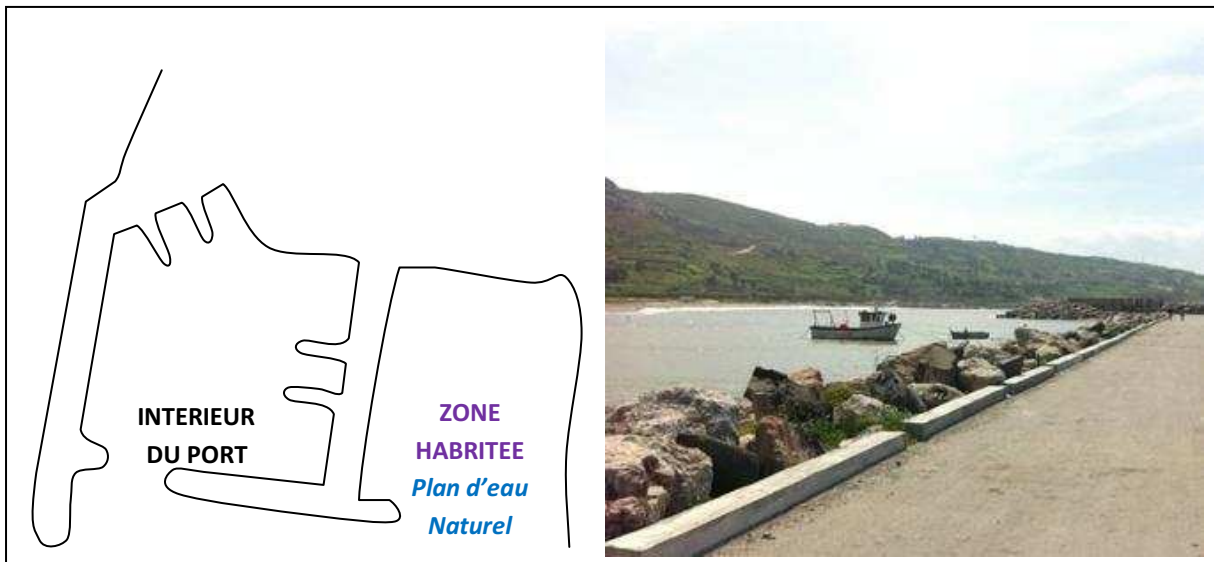


Figure n°1.28 & Photo n°1.4 : Zone abritée en amont de la jetée secondaire du port de Cap Djinet.

L'ensablement accéléré que connaît le port de Cap Djinet est dû en grande partie aux nombreux défauts de conception du port si bien que sa configuration actuelle (orientation et dimensionnement) constitue un obstacle aux courants marins sous l'effet desquels les sédiments ont transité massivement à l'intérieur du port, bloquant, non seulement, l'accès des embarcations à l'intérieur de celui-ci mais menaçant de les faire échouer également portant ainsi préjudice à la mise en service du port de Cap Djinet et le menaçant de "paralysie".

Les facteurs climatiques et marins, vraisemblablement sous-estimés, n'ont pas épargné les erreurs de conception du port. En effet, la région de Zemmouri est une potentielle surcote marine qui connaît un hydrodynamisme très important conduisant à un empilement notable des vagues sur la côte (voir figure 29 & 30) et au transport de sédiments en quantités très importantes.



Photo n°1.5 Empilement des vagues sur la côte de Zemmouri.



Photo n°1.6 Attaque marine de la côte de Zemmouri par les vagues de tempête.

Phénomène accompagnant l'ensablement du port de Cap Djinet et encore négligé, l'érosion de la plage ouest est un phénomène réel constaté lors de notre sortie. En effet la plage Ouest à proximité directe du port connaît une érosion accrue comme le montre les photos ci-dessous.

Le haut de plage se désagrège dangereusement et le sédiment est emporté par la mer qui avance de manière impressionnante et ronge ainsi le trait de côte de façon importante menaçant éminemment la route en parallèle si aucune intervention n'est envisagée.



Photo n°1.7, 1.8 & 1.9 Érosion marquée de la plage ouest, à proximité directe du port.

La figure 32 schématise les deux phénomènes que connaît le port de Cap Djinet et montre que l'érosion de la plage est l'impact direct de l'ensablement du port qui constitue un obstacle au transport sédimentaire.

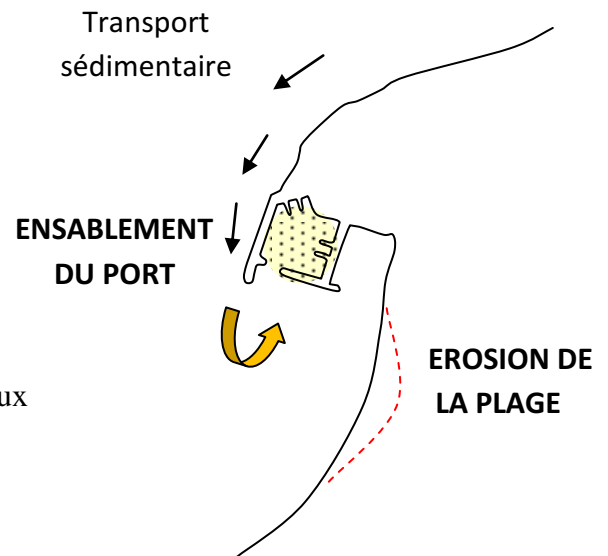


Figure n°1.29 : Schématisation des deux principaux phénomènes que connaît la zone d'étude.



Figure n°1.30 : Configuration de la plage Ouest du port, avant et après sa construction.
(Google Earth, Mai 2003 - Avril 2009)



Figure n°1.31 : Régression de la plage Ouest (Google Earth)



Photo n° 1.10/11/12 & 13 : Érosion de la plage Ouest (avant & après).

Chapitre II:

Etude bathymétrique

II.1 Introduction

La profondeur des fonds marins est une donnée essentielle pour un grand nombre de domaines d'activité : scientifique, économique et politique. La bathymétrie, science de la mesure des profondeurs de l'océan, a des applications aussi diverses que la gestion des ressources minérales et vivantes et l'aménagement des habitats sous-marins. (Tassan & Sturm, 1986 ; David, 1988 ; Grid-Geneva, 2000)

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.

II.1.1 Mode du levé bathymétrique

Le levé bathymétrique consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un récepteur GPS et d'un échosondeur.

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK ; Real Time Kinematic) permet de mesurer un point à une précision inférieure à cinq centimètres (<5 cm). Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées).

Pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS

L'échosondeur calcule la profondeur à partir des mesures effectuées par le transducteur, le résultat de ces deux opérations aboutit à la connaissance des coordonnées du point bathymétrique mesuré.

Ces données fournies par le LEM ont été exploitées à l'aide du logiciel Surfer pour la réalisation d'une carte d'isobathes et une carte en 3D de la bathymétrie.

II.1.2 Typologie de la plage

La morphologie des plages est généralement contrôlée par le climat des vagues et les caractéristiques sédimentaires. En 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 défini comme :

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

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 : $H_s = 2.6$ m, $T_p = 8$ s et $\omega_s = 0.15$ m/s estimée à l'aide de la formule de Soulsby (1997) *in* (Le Hir, 2008) :

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

Où D_* est le diamètre sédimentologique défini par :

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

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 la viscosité cinématique de l'eau et D est le diamètre moyen des sédiments (chapitre V).

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 diagnostic du problème de l'ensablement du port.

II.2 La morphologie sous-marine

II.2.1 Levé bathymétrique

La carte marine est un document offrant toutes les garanties pour la navigation (Signalisation des hauts fonds). C'est aussi un moyen de connaissance de la dynamique sédimentaire, ainsi elle nous permet de définir la morphologie sous-marine (figure 2.1).

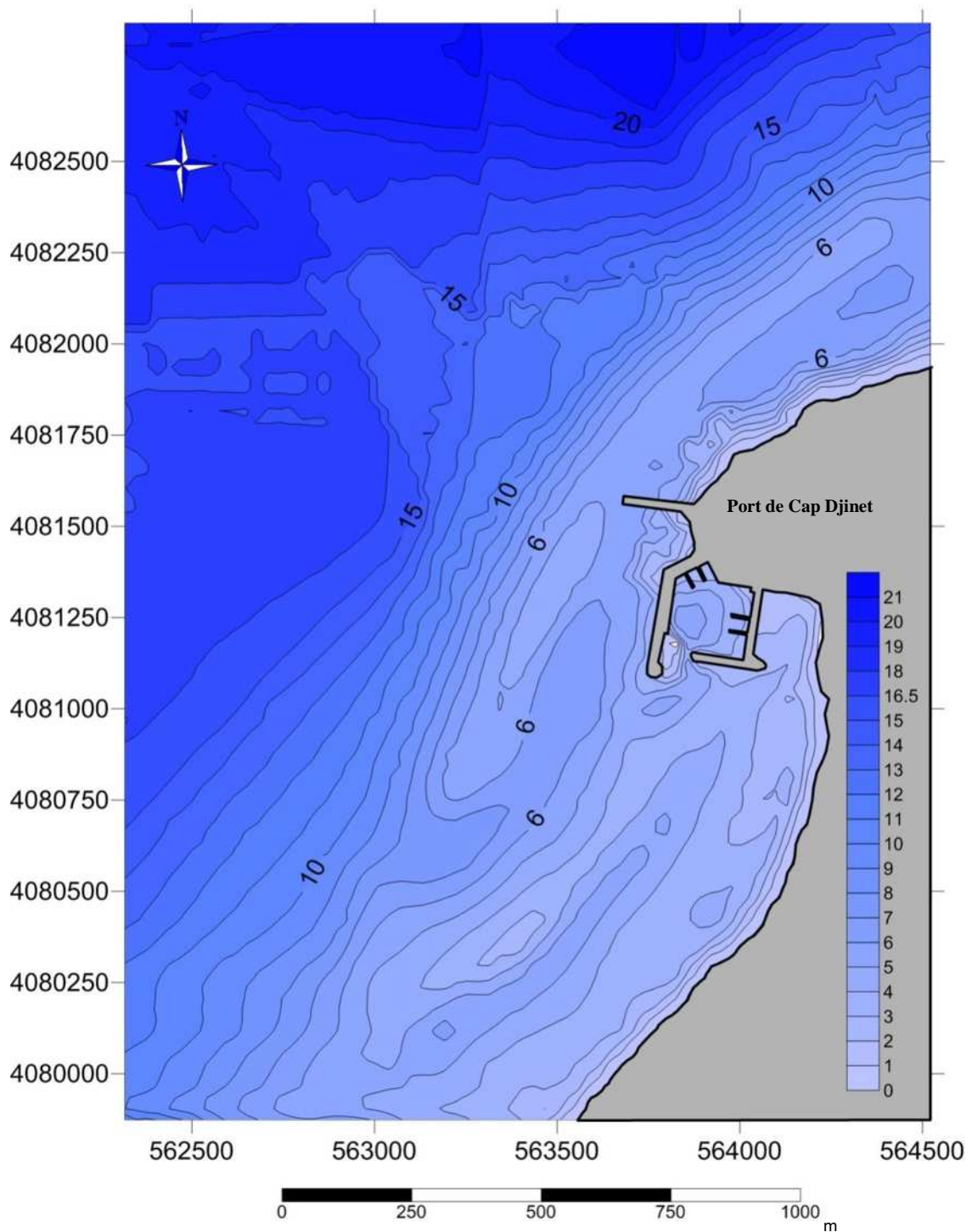


Figure n°2.1 : Carte bathymétrique de la zone de Cap Djinet (Données LEM 2009)

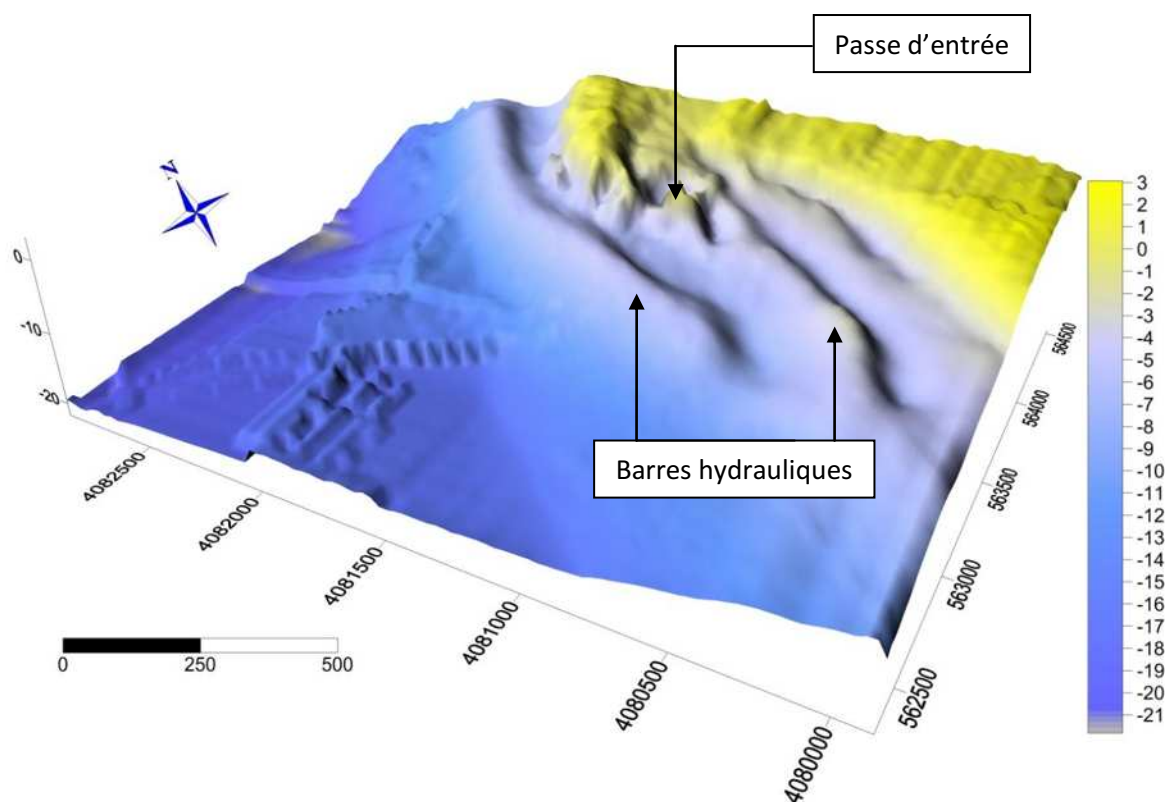


Figure n°2.2 : Carte bathymétrique en 3D de la zone de Cap Djinet, 2009

Analyse et commentaire :

Deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence,

- **La zone côtière** : qui s'étale de 1 à 7m, présente une pente moyenne de 1.9%, elle montre des isobathes généralement perturbées et une morphologie particulière caractérisée par la présence d'une ride d'avant côte discontinue, bien développée à l'approche de la côte.

Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles. Par conséquent, cette zone est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

- **La zone au large** : Entre 07-20m, présente des isobathes parallèles au rivage, elles sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. Cependant, à l'Est de Cap Djinet, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement un petit chenal avec une pente moyenne de 1 %.

- Processus de formation des barres :

Lors des fortes turbulences, causées par les tempêtes et les vents locaux, le haut de plage et la dune se dégarnissent, et les sables arrachés s'accumulent dans la zone externe au déferlement, en donnant un nouveau profil de plage défini par une barre et une fosse. La barre, alimentée par le courant de dérive littoral, s'étend latéralement tout en restant parallèle au rivage ; et est interrompue par des espaces inter-barre causés par le courant de retour.

Dans les mers à faibles marées et généralement en plage droite, il existe un état morphologique caractérisé par un profil ayant une barre et une fosse disposées parallèlement au rivage.

Le flanc interne de la barre où se produit le premier déferlement descend abruptement vers la fosse de lévigation où ce processus s'avère absent, car la profondeur est très grande pour l'énergie restante, le déferlement reprend une série successive sur le talus de la plage jusqu'à la ligne de rivage.

Lors du déferlement des courants de dérive, des particules en suspension sont mis en évidence. Le transport de ces particules à lieu sur la première ligne par des rouleaux, par conséquent, c'est sur la barre où s'observent les éléments les plus grossiers.

II.2.2 Les profils sous-marins :

L'étude et l'analyse des profils transversaux et longitudinaux ont permis de déceler la morphologie du fond marin (figure n°2.3).

Cinq profils sont tracés sur la carte bathymétrique afin d'étudier au mieux la morphologie sous-marine et comprendre l'évolution du fond (annexe n°4).

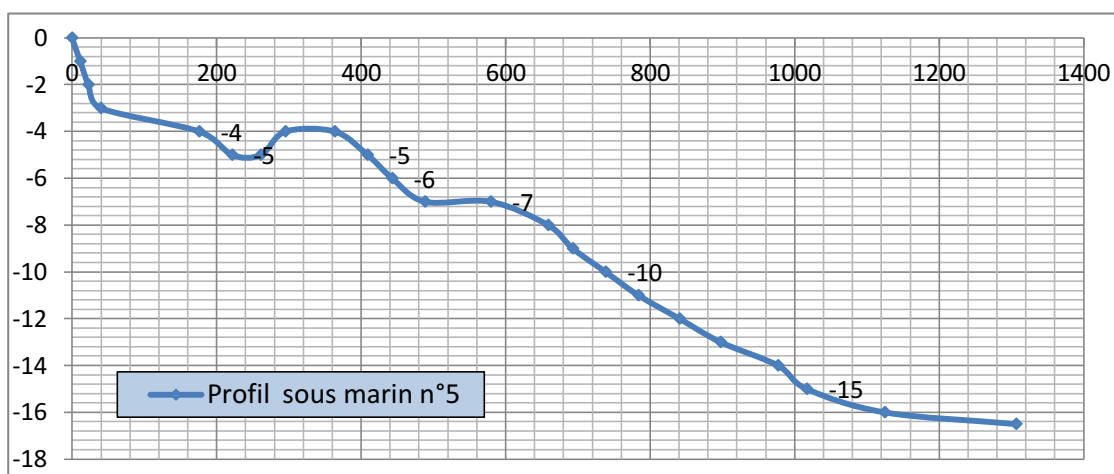


Figure n°2.3 : Tracé du profil sous-marin N°5 dans la zone de Cap Djinet.

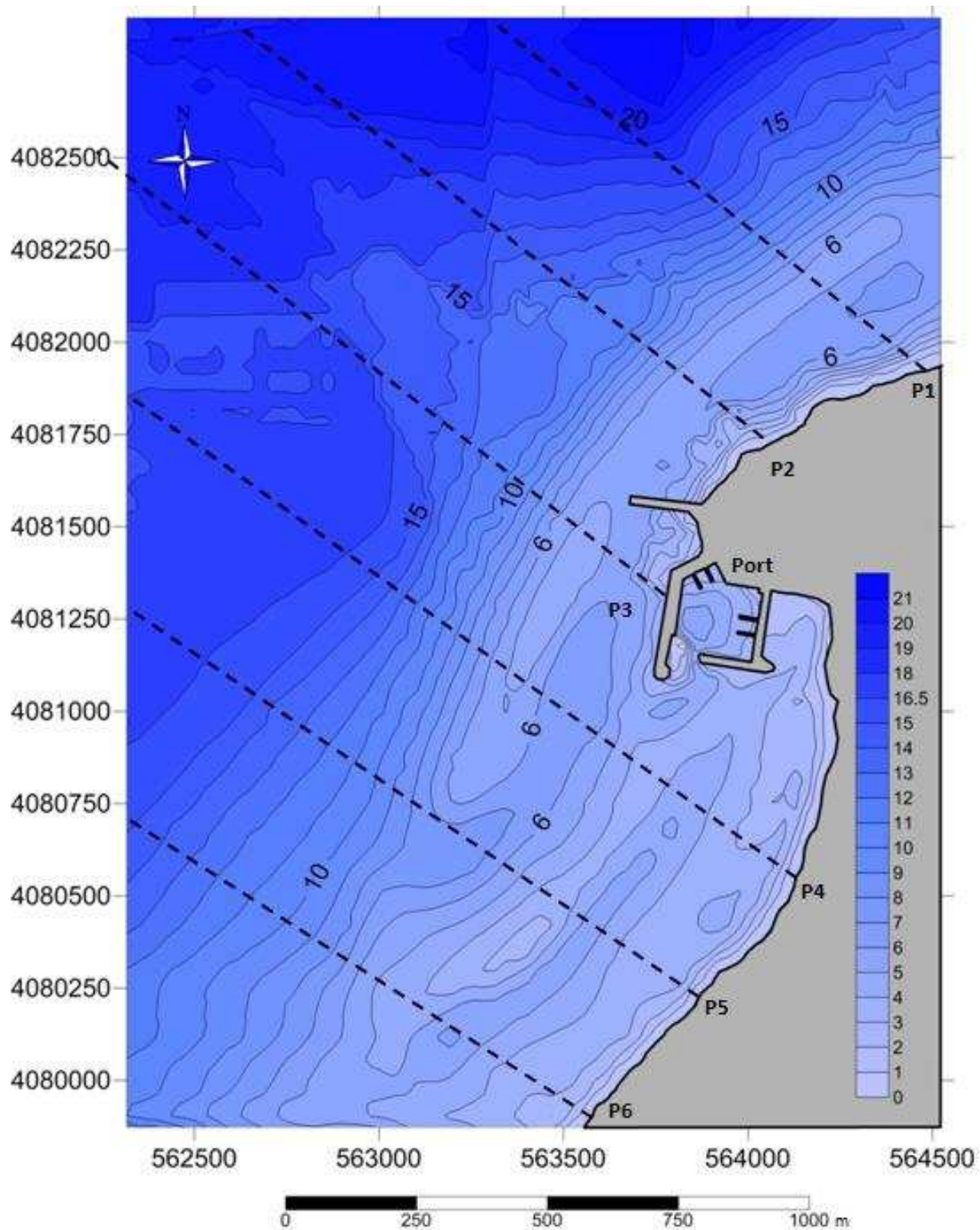


Figure n°2.4 : Profils sous-marins tracés dans la zone de Cap Djinet.

- **Profil 01 :**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 6 mètres de profondeur, il se stabilise entre 5 et 6 mètres, vers la zone des barres hydrauliques. Au-delà, une rupture de pente modérée est observée, puis le profil continue à évoluer en pente douce jusqu'à 20 m de profondeur. La pente générale est de 1.94 %.

- **Profil 02**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à -5 mètres de profondeur, se stabilise en plateau jusqu'à -6 m, replonge jusqu'à -10 mètres de profondeur, puis entame une évolution vers le large en pente modérée jusqu'à -20 mètres de profondeur. La pente générale est de 1.62 %.

- **Profil 03**

Le profil démarre à -3 mètres au pied de la jetée principale et descend en pente modérée qui s'accroît entre -6 et -10 mètres de profondeur, avance en pente douce, puis entame une rupture de pente à -17 m de fond et continue par un replat en pente douce vers le large. La pente générale est de 1.45 %.

- **Profil 04, 05 et 06**

Les profils illustrent bien la présence et la forme de barre hydraulique ; vers la zone des -4 à -6 mètres nous observons une chute de façon brutale pour former une fosse de lévigation suivie d'une barre de déferlement, vers le large, les profils ne présentent aucune morphologie particulière ; ils descendent en pente douce à modérée. Les pentes générales de ces profils sont respectivement de l'ordre de 1.16%, 1.25% et 1.46 %.

II.2.3 Conclusion sur l'étude bathymétrique

D'une manière générale, le fond marin de notre zone d'étude se caractérise par un relief monotone et étagé par endroits.

L'étude des profils a mis la lumière sur une morphologie particulière caractérisée par l'existence d'une mobilité cross-shore des barres sous-marine 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.

Vers le large, à partir de -7 mètres de profondeur, les isobathes sont généralement parallèles à la côte, la pente générale du fond est de l'ordre de 1%.

L'implantation du port de Cap Djinet promet d'influencer la dynamique sédimentaire des hauts fonds ainsi que des plages aériennes adjacentes ; ceci aura un impact direct sur la morphologie sous-marine qui se trouvera changé très rapidement.

Chapitre III :

Etude de la réfraction de la houle

III.1 Introduction

Le domaine littoral forme une interface complexe entre continent et océan. Il constitue une frontière particulière qui reste, à l'heure actuelle, encore mal connue. Ainsi, les différents processus dynamiques, sédimentaires et leurs relations n'ont jamais été intégralement analysés (Desmazes, 2005).

L'hydrodynamique littorale a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique des fluides en milieu littoral. Son intérêt est fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale (Garlan et al. 2011).

Les vagues jouent un rôle particulièrement important dans l'hydrodynamique littoral, elles agissent en effet comme un « moteur » pour la circulation, notamment dans la zone de déferlement. En effet, les conditions hydrodynamiques liées aux vagues se trouvent fortement modifiées en faible profondeur, sous l'action combinée de multiples processus (influence de la bathymétrie, réflexion, réfraction, déferlement, effets non linéaires...) dont la plupart contrôlent la dissipation ou la concentration d'énergie de la houle incidente. Dans le cadre de cette étude, nous nous intéresserons à la réfraction de la houle.

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte (direction et hauteur).

La connaissance des caractéristiques de la houle (direction, amplitude, période) permet d'apprécier et de comprendre les phénomènes qui se produisent dans la zone de déferlement et serviront de données d'entrée pour la quantification du transport sédimentaire ainsi qu'au dimensionnement des ouvrages maritimes.

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 Demirbilek, 2001). Les caractéristiques des 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 :

- 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 (Demirbilek et Pahang, 1998).

La propagation de la houle entre le large et la côte, étudiée avec le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore), développé par l'université de DELFT, est basée sur les données bathymétriques obtenues des cartes nautiques du SHOM ainsi qu'à la bathymétrie réalisée sur terrain.

III. 2 Principe de calcul de la réfraction de la houle

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = \frac{H_{slocal}}{H_{slarge}} \quad \dots\dots (III.1)$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages ;
- Frottement sur le fond ;
- Déferlement.

III. 3 Donnée de base

III.3.1 Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte publiée par le service hydrographique des Forces Navales. Alger Publication 1979 ; édition 1998 intitulée « Mer Méditerranée côte d'Algérie, de Ras Matifou à Ras Tedles-échelle : 1/120000 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissance sur site réalisée au mois d'aout 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de l'ensablement du port de Cap Djinet.

III.3.2 Données de houles au large

Les données du Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO consiste en des observations de navire sur la période allant de 1963 à 1970).

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes ($>10S$), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles (tableau n°3.1).

Tableau 3.1 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude

Périodes	Direction de la houle au large		
	N 315°	N 360°	N 45°
6s	Hs =1,10m	Hs =1,00m	Hs =1,09m
8s	Hs =2,64m	Hs =2,67m	Hs =2,56m
10s	Hs =4,53m	Hs =4,92m	Hs =5,05m

III.3.3 Choix du secteur angulaire

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposées, d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi trois (03) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (tableau n°3.1) :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N)
- Une direction de houle à incidence oblique (360°N)
- La direction de (45°N) qui est plus au moins énergétique peut atteindre notre zone d'étude par réfraction.

III. 4 Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction

Afin de procéder à l'étude de la réfraction, deux logiciels sont couplés ; il s'agit du logiciel des SIG *Mapinfo* comme surface de saisie, de préparation des données et d'acquisition de résultats, ainsi que le logiciel *SWAN* (Simulating waves Nearshore) comme calculateur. L'étude de la propagation de la houle sur un site réel comporte trois phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous :

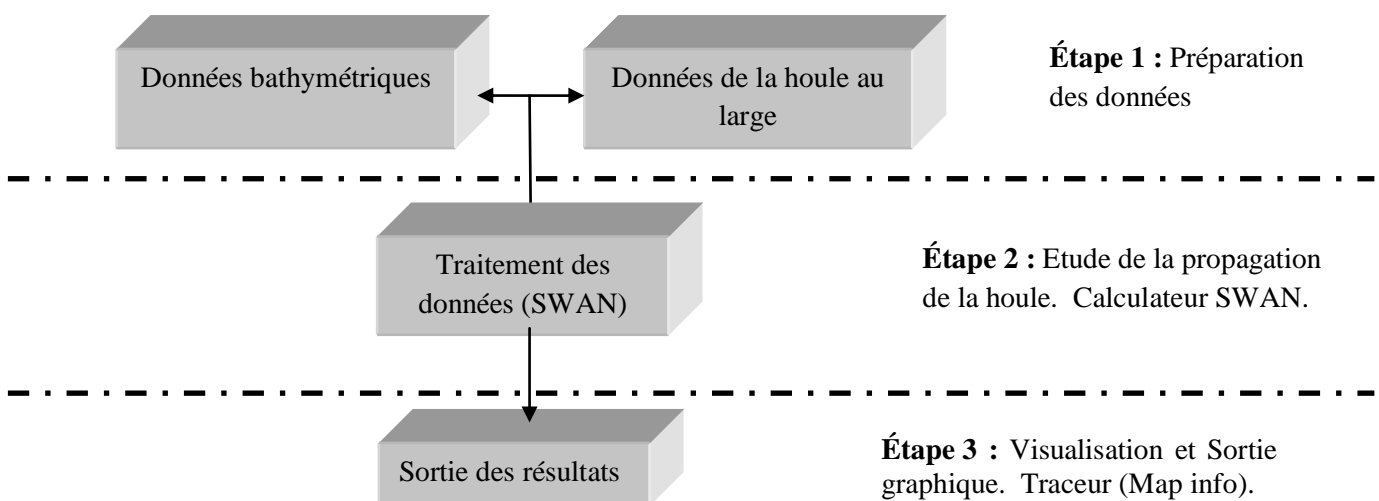


Figure n°3.1 : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.

III. 5 Résultats et discussion

Les hauteurs des houles de période égale à 10s sont les plus prépondérantes au large, de ce fait, l'étude se focalisera sur une période de 10s dans les 4 secteurs suivants : Nord, Nord-Est et Nord-Ouest.

III.5.1 Les houles au large de direction Nord-Est

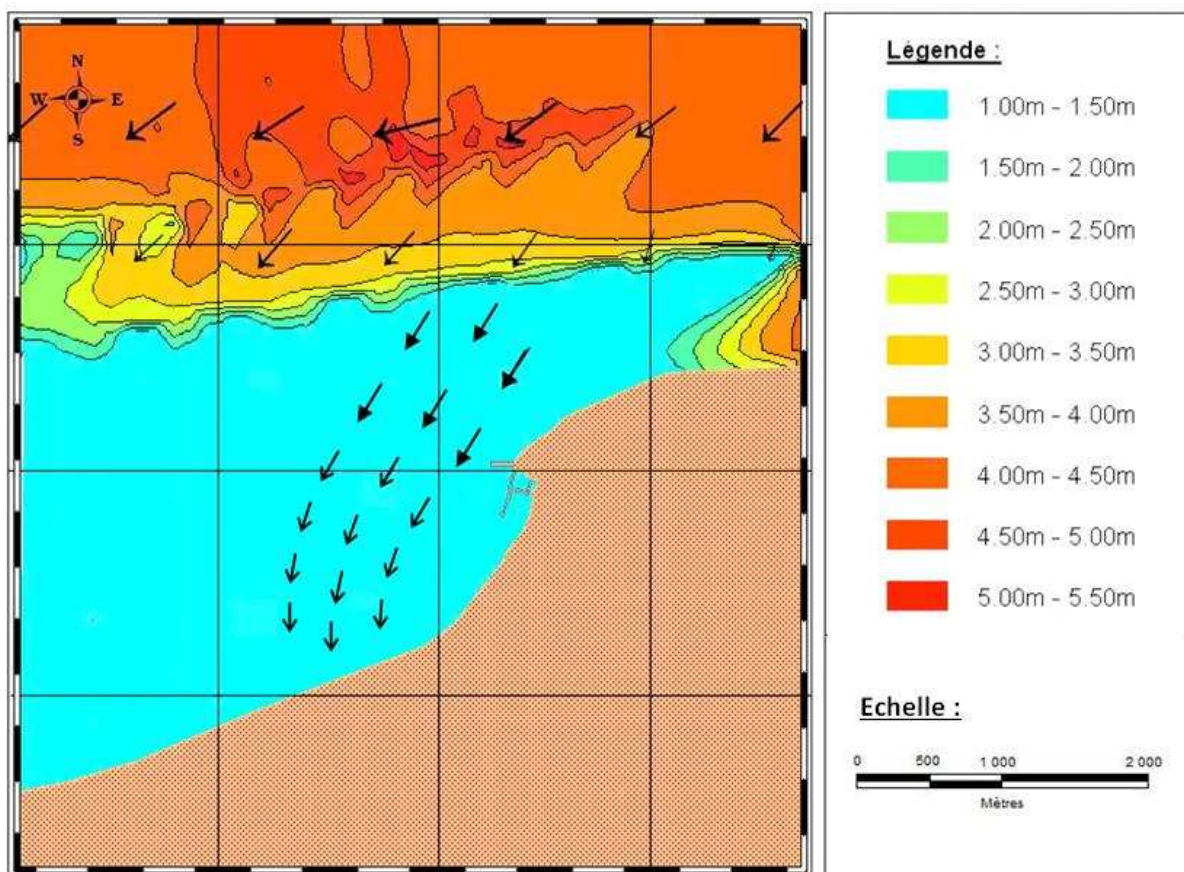


Figure n°3.2 : Réfraction de la houle pour une direction $45^{\circ}N$ et une période de 10s.

Commentaire :

La figure3.2 présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Est et de période de 10 secondes (annexe n°5), la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, la houle semble ne pas conserver son énergie du large, la zone apparaît naturellement abrité par le Cap. Les orthogonales pivotent légèrement à l'approche du rivage vers les directions Nord et Nord-Est de la zone.

III.5.2 Les houles au large de direction Nord

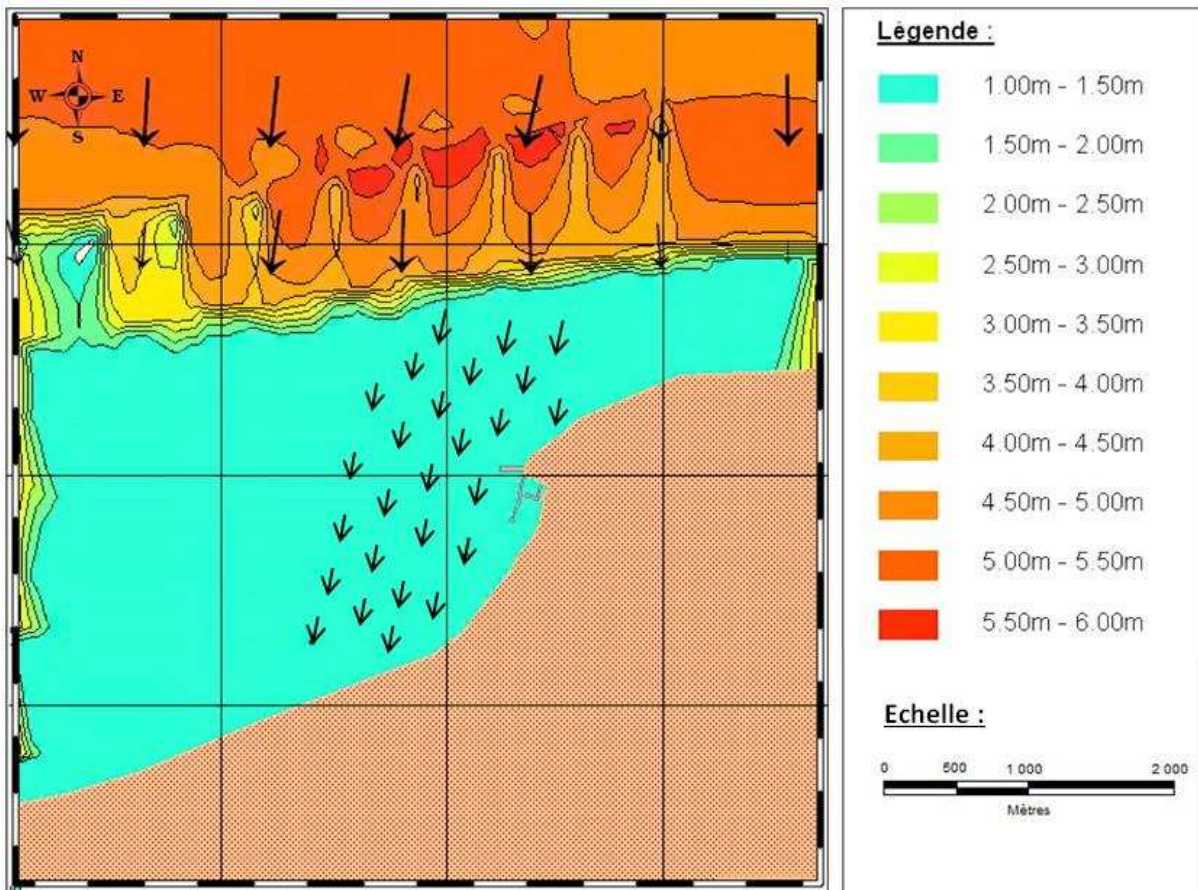


Figure n°3.3 : Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s.

Commentaire :

La figure 3.3 illustre les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et de période de 10 secondes, la propagation se fait latéralement à la ligne de rivage de la zone, cette houle semble influencer par son énergie le transport sédimentaire dans la zone.

III.5.3 Les houles au large de direction Nord-Ouest

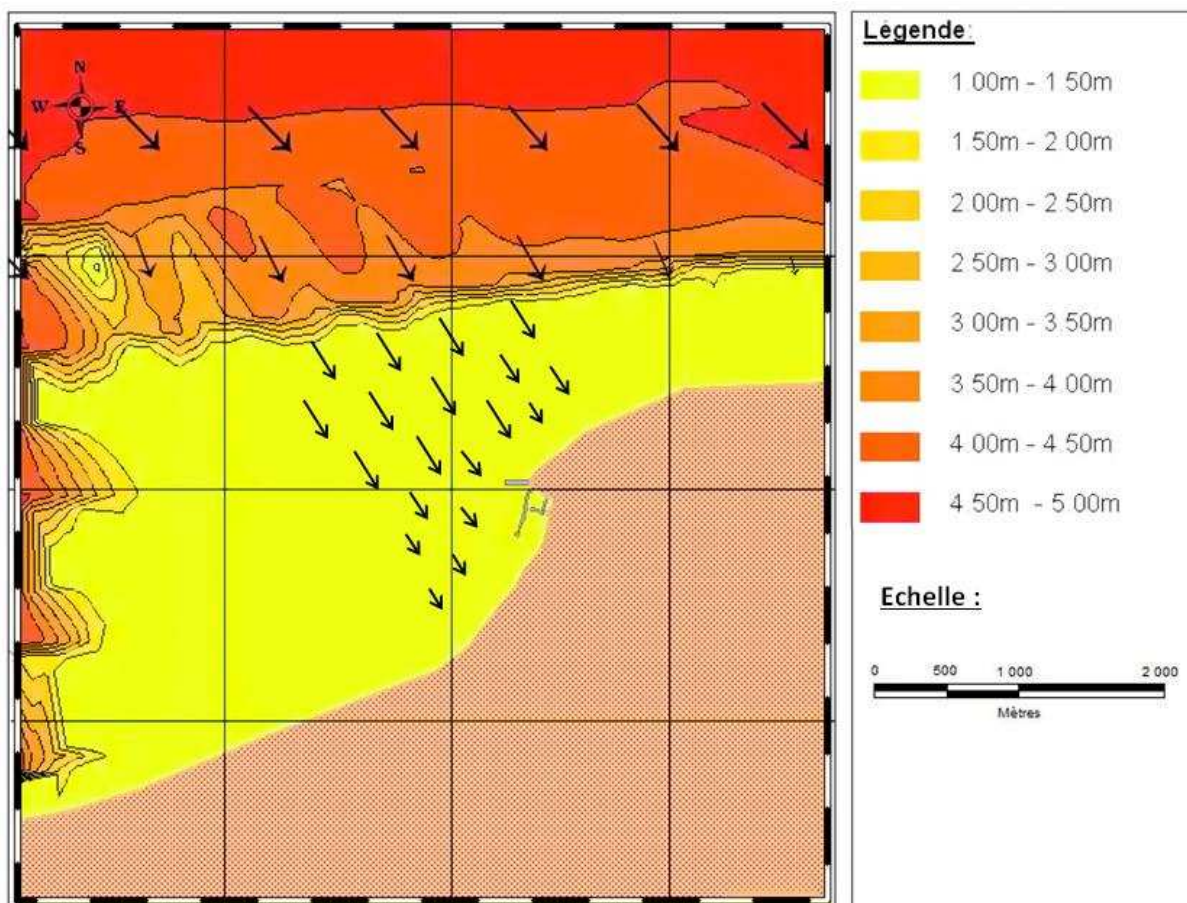


Figure n°3.4 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s.

Commentaire :

Sur la figure 3.4 présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest et de période de 10 secondes, la propagation semble se faire de façon quasi-frontale. La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone d'étude.

III. 6 Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer la zone de Cap Djinet sont les houles du Nord-Ouest, elles sont responsables de transit littoral, et doivent être prises dans tout dimensionnement d'ouvrages dans la zone d'étude.

Aussi, les houles du secteur Nord et Nord-Est sont responsables du transport sédimentaire dans le profil.

Chapitre IV:

Etude courantologique

IV.1 Introduction

Plusieurs types de courants agissent le long des côtes sableuses et sont responsables des transports sédimentaires, ce qui fait d'eux un facteur important dans l'évolution des littoraux meubles.

Ces courants sont engendrés par divers phénomènes météorologiques et marins, ce qui explique leur variété et leurs répercussions morpho-sédimentaires distinctes sur les côtes. Ils peuvent être responsables du transport de quantités considérables de sédiments vers le large. Les courants de retour et les courants de dérive littorale déjà abordés dans le premier chapitre (figure 1.22) sont responsables de la mobilisation et de la dispersion d'une grande partie des sédiments côtiers au large.

La seule manière directe d'acquérir les données de courant est d'immerger un enregistreur adapté pour la collecte de ces données ; le courantomètre.

Fonctionnant sur le principe de l'effet doppler, le courantomètre mis en place sur le site de Cap Djinet enregistre la vitesse et la direction du courant dans plusieurs tranches d'eau en allant du fond vers la surface de la mer, à une fréquence de mesure préalablement définie, pour cela il a été procédé lors de la campagne, au mouillage du courantomètre au près de la côte à environ 2 Km de la zone d'étude.

L'objectif principal du projet réside dans la compréhension et la détermination du comportement des courants marins dans le Cap Djinet et cela en mettant en place une stratégie d'acquisition de données d'une grande amplitude spatiale et temporelle.

IV.2 Principe

Le courantomètre acoustique profileur, appelé ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), peut mesurer et enregistrer les courants jusqu'à une distance de 20m de l'instrument. Il utilise l'effet Doppler ; des objets suspendus dans la colonne d'eau réfléchissent les impulsions sonores émises par les ADCPs, lorsque le signal réfléchi revient, l'ADCP se transforme d'émetteur en récepteur. Suivant le temps de trajet entre l'émission et la réception, une information concernant la vitesse et la direction du courant peut être obtenue à différents niveaux de la colonne d'eau. En employant les vitesses observées des différentes couches, des profils verticaux peuvent être mesurés où ils auraient autrement exigé un nombre considérable de courantomètres classiques.

IV.3 Stratégie du déploiement

IV.3.1 Positionnement du mouillage

Le courantomètre acoustique a été placé à 15 mètres de profondeur (figure 4.1). Les coordonnées du mouillage sont mentionnées en X, Y dans le tableau 4.1 :



Figure n°4.1 : Localisation de la station de mouillage ADCP (Google Earth, 2013).

Le courantomètre a été configuré pour l'enregistrement de la vitesse et de la direction des courants chaque deux (2) minutes, la profondeur de la première cellule est de 1m au-dessus du fond.

La configuration de l'appareil a été effectuée en utilisant le logiciel SONTEK SOFTWARE (Tableau n°4.1).

Tableau 4.1: Paramètres techniques de la mission.

Paramètre	Détail
Instrument	ARGONAUT XR. SONTEK
Profondeur de déploiement	15m
Position	X= 560900.31 Y= 4079846.15
Nombre de cellules	7 cellules
Taille de la cellule	2 m
Profondeur de la première cellule	14 m
Durée de déploiement	Une année
Récupérations intermédiaires	Chaque 30 a 40 jours de déploiement

IV.3.2 Périodes des levés et séquences d'évènements

Tableau 4.2 : Séquence de principal évènement.

Date	Activité
Première campagne	
15 Mars 2012	Déploiement de l'ADCP
22 Avril 2012	Récupération de l'ADCP & données enregistrées
Deuxième campagne	
30 Juillet 2012	Déploiement de l'ADCP
23 Aout 2012	Récupération de l'ADCP & données enregistrées
Troisième campagne	
28 Aout 2012	Déploiement de l'ADCP
20 Septembre 2012	Récupération de l'ADCP & données enregistrées
Quatrième campagne	
31 Mars 2013	Déploiement de l'ADCP
07 Mai 2013	Récupération de l'ADCP & données enregistrées
Cinquième campagne	
05 Septembre 2013	Déploiement de l'ADCP
24 Novembre 2013	Récupération de l'ADCP & données enregistrées

IV.3.3 Technique de mouillage

Avant le déploiement du courantomètre ; il a été pris en considération la réalisation d'une ligne de mouillage et les différents éléments la constituant.

En effet, l'ADCP est équipé d'un trépied (figure n°4.2) ce dernier est doté de lests pesant chacun 44 kg. Le poids de la structure d'environ 130 kg est donc uniformément réparti sur le trépied.

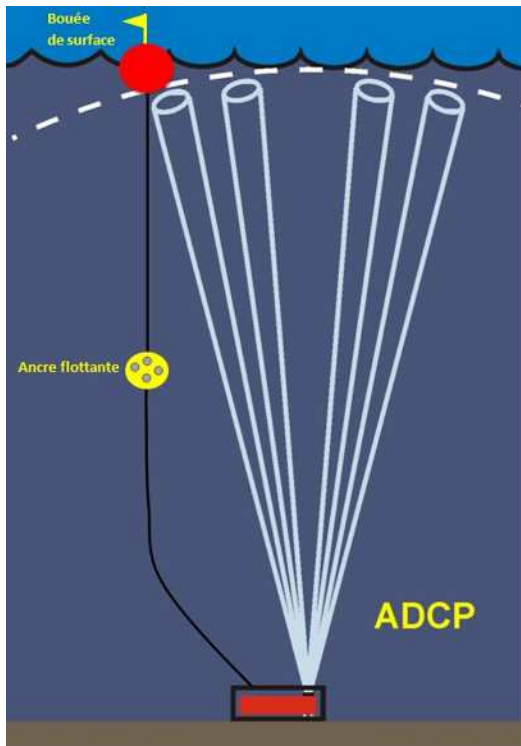


Figure n°4.2 : Schéma de l'installation de l'ADCP



Photo n°4.1 : Mise en place de l'ADCP (Source : Internet).

IV.4 Traitement et exploitation des données

Les données brutes du courant ont été au préalable réorganisées et traitées en utilisant le logiciel de Microsoft Excel, en effet il a été procédé comme suit :

- La détermination des moyennes de la composante Nord du courant pour les 7 cellules.
- La détermination des moyennes de la composante Est du courant pour les 7 cellules.
- La détermination des moyennes de la direction du courant pour les 7 cellules.

Les moyennes (vitesses et direction du courant) ainsi obtenues sont exportées vers le logiciel Mike21 de DHI ; ce dernier a permis à travers une représentation graphique (rose de courant), de voir les orientations dominantes du courant et les différentes directions vers lesquelles les courants sont importants.

IV.5 Résultats et discussions

Les résultats de l'étude courantologique de la zone de Cap Djinet sont présentés comme suit :

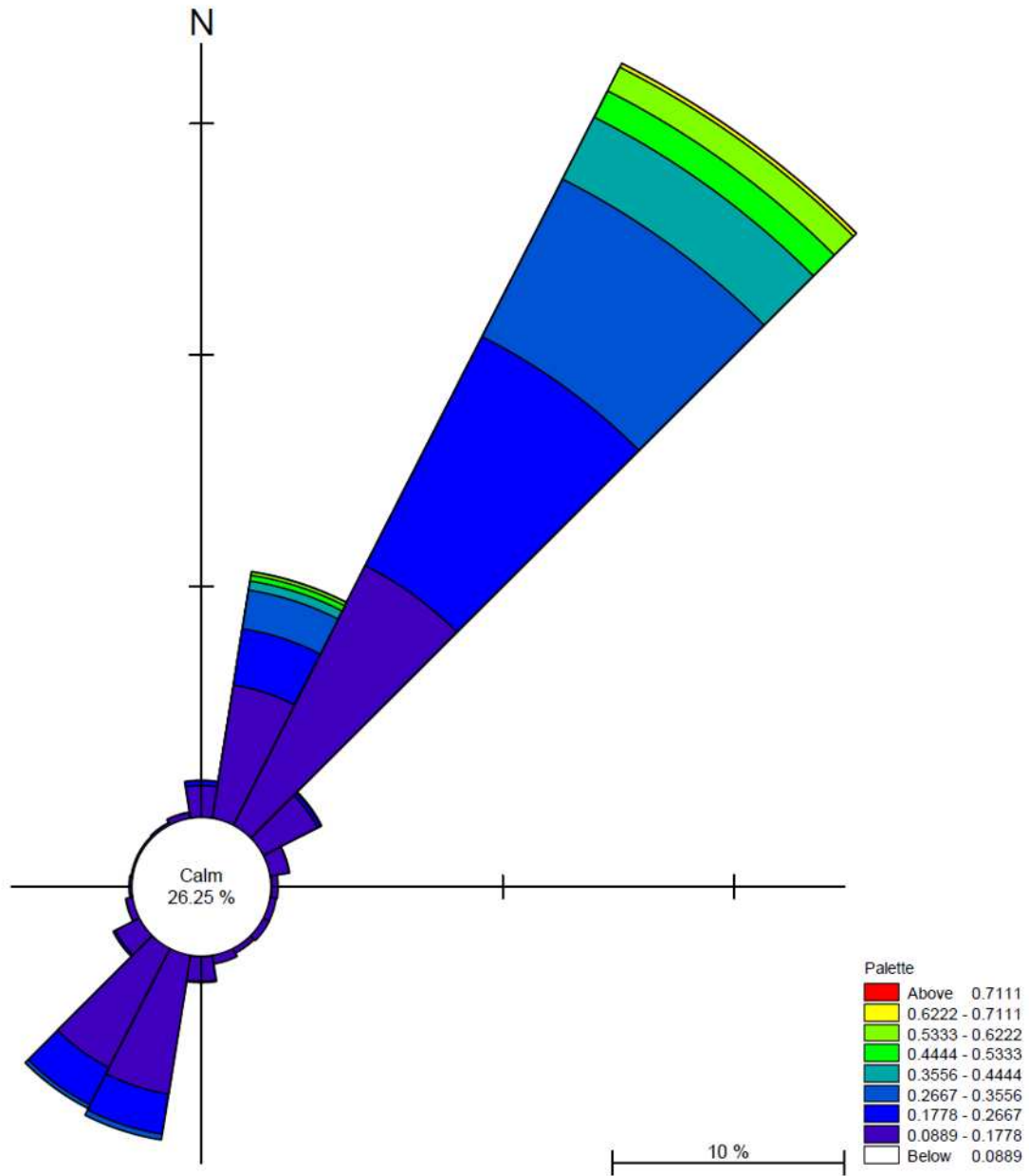


Figure n°4.3 : Rose des courants relevés lors de la première campagne (LEM, 2013).

Commentaire :

La rose des moyennes obtenues lors du mouillage allant du 15 mars au 22 avril 2012, montre un fort courant Nord Est qui semble être dominant durant toute la période du mouillage avec des valeurs dépassant les 0.71 m/s.

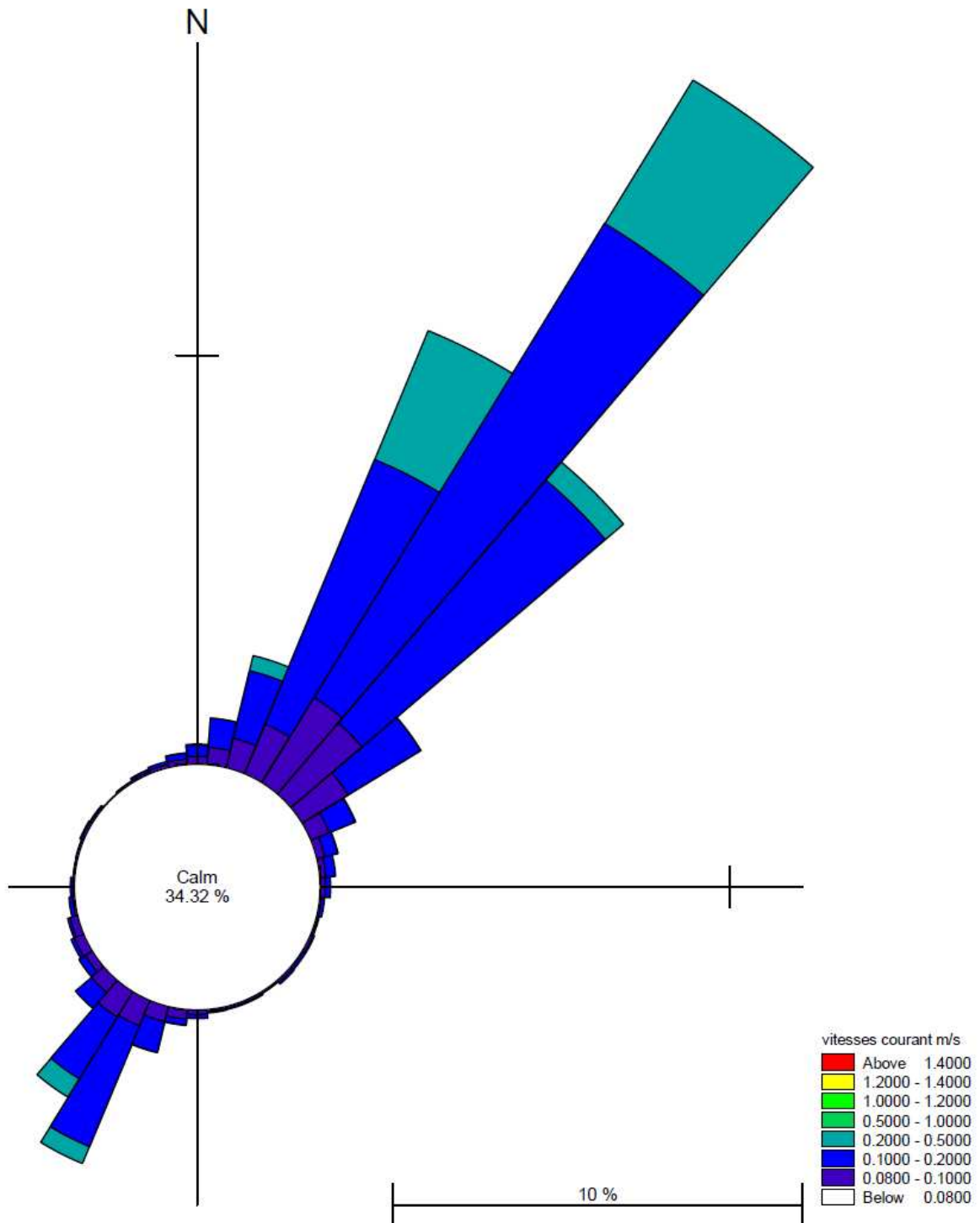


Figure n°4.4 : Rose des courants relevés lors de la deuxième campagne (LEM, 2013).

Commentaire :

La rose des moyennes obtenues lors du mouillage allant de la période du 30 juillet au 23 août 2012, montre un très fort courant Nord Est avec des valeurs dépassant les 1.4 m/s.

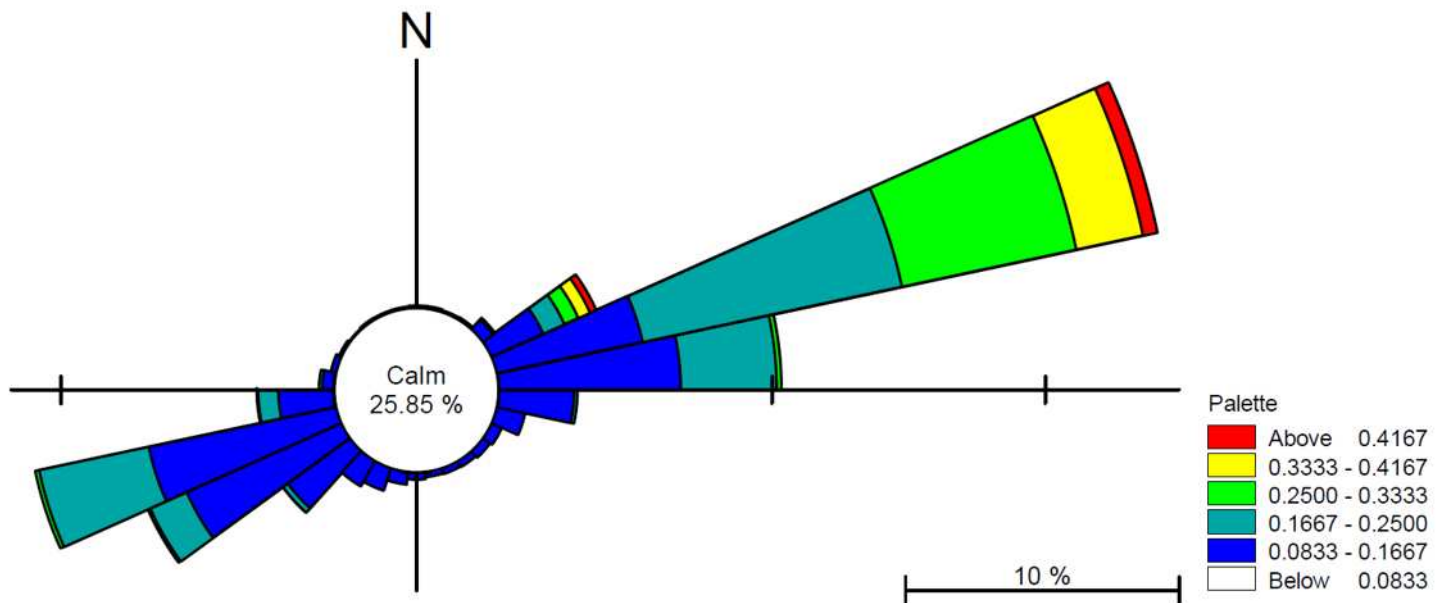


Figure n°4.5 : Rose des courants relevés lors de la troisième campagne (LEM, 2013).

Commentaire :

La rose des moyennes obtenues lors du mouillage allant de la période du 28 Aout au 23 Septembre 2012, montre une forte activité des courants de secteur Nord Est, Nord Nord Est qui semble être dominant avec des valeurs dépassant les 0.41 m/s; devant un courant assez fort du Sud Ouest et dont les valeurs avoisinent les 0.33 m/s.

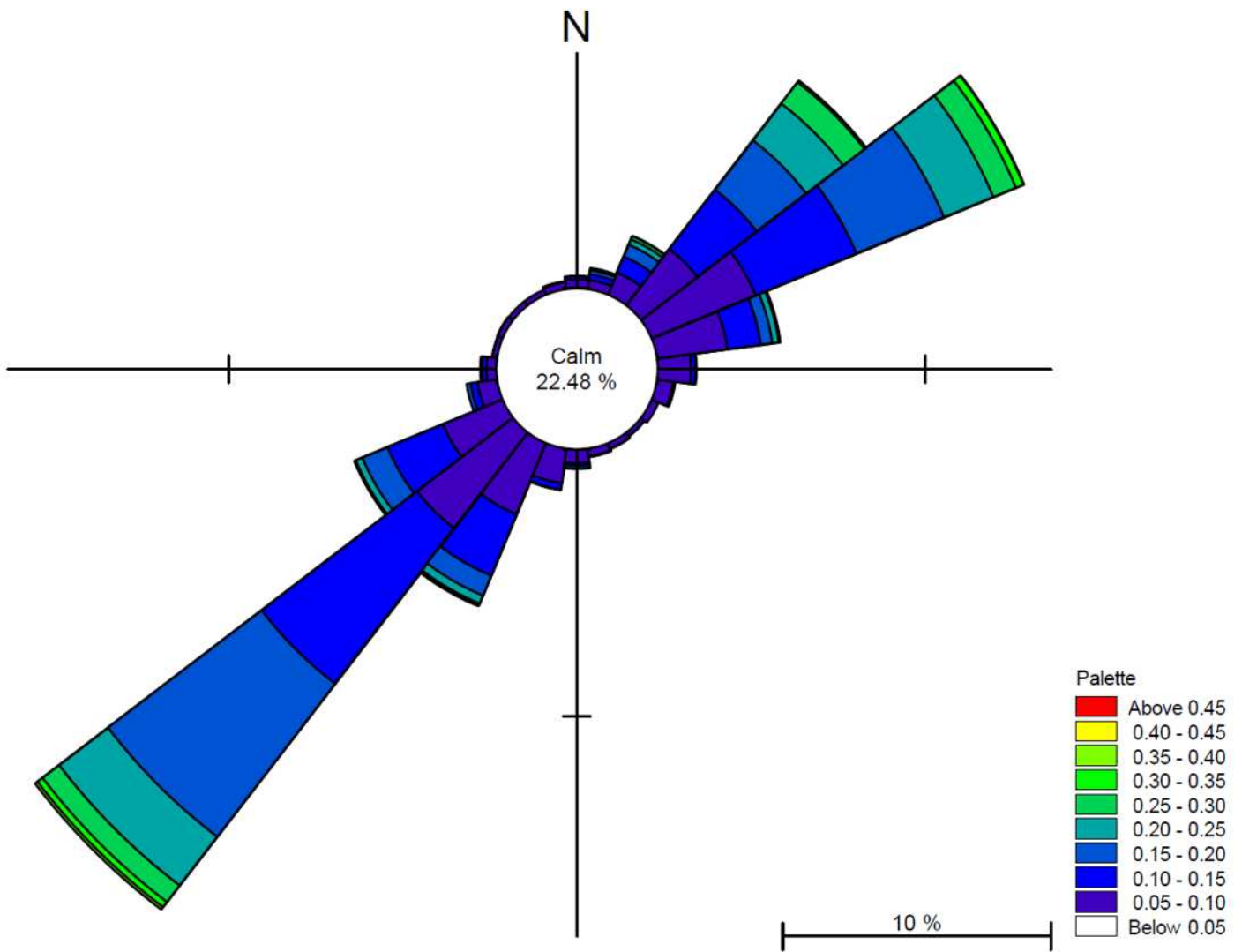


Figure n°4.6 : Rose des courants relevés lors de la quatrième campagne (LEM, 2013).

Commentaire :

La rose des moyennes obtenues lors du mouillage allant du 31 Mars au 7 Avril 2013, montre un assez fort courant Nord Est à Nord Nord Est avec des valeurs dépassant les 0.35 m/s. Toutefois ils se trouvent dominés par un courant de secteur Sud Ouest dont les valeurs de l'intensité dépassent les 0.45 m/s.

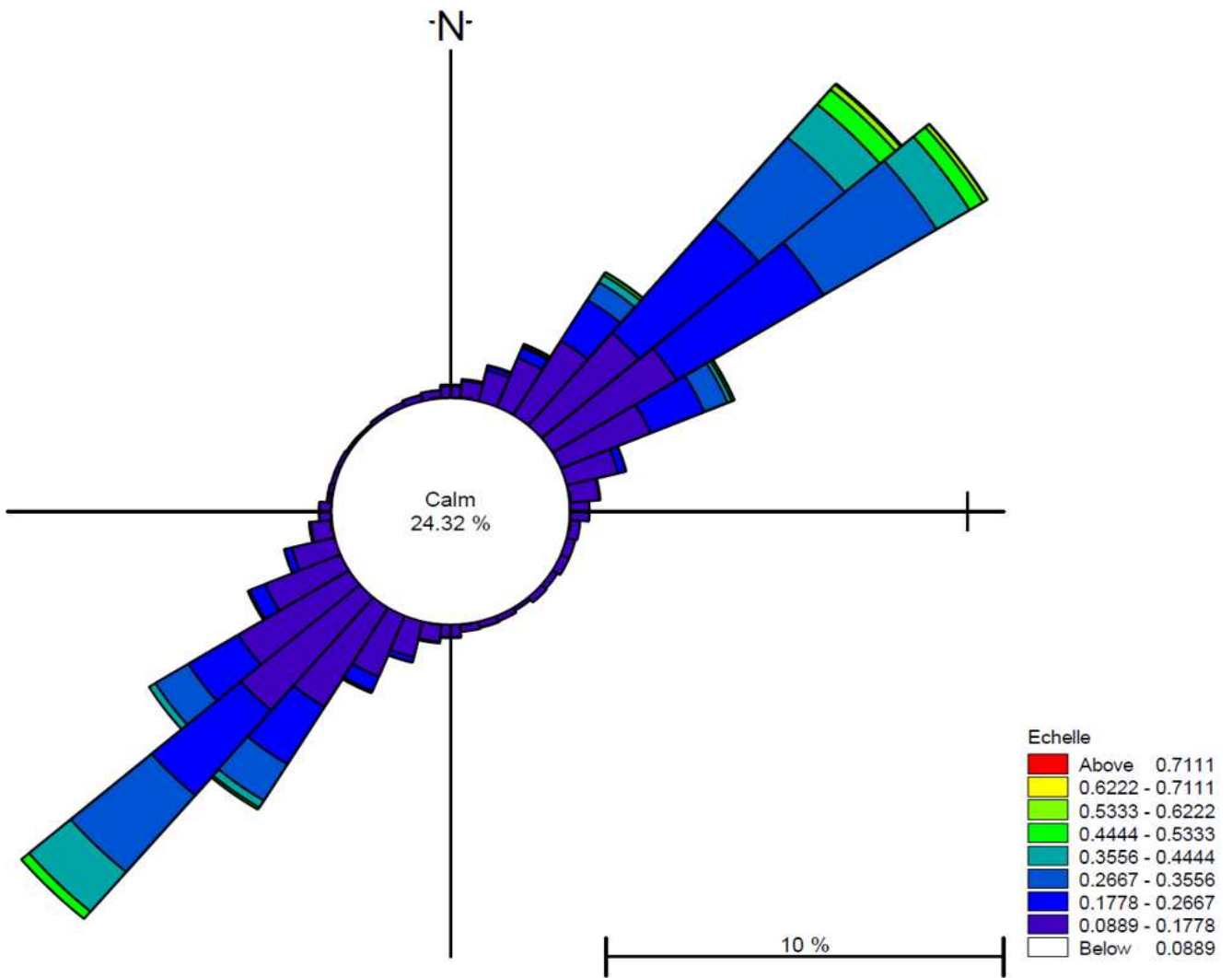


Figure n°4.7 : Rose des courants relevés lors de la cinquième campagne (LEM, 2013).

Commentaire :

La rose des moyennes obtenues lors du mouillage allant de la période du 05 septembre au 24 novembre 2013, montre un fort courant Nord Est qui semble être légèrement dominant avec des valeurs dépassant les 0.71 m/s contre un courant du Sud Ouest dont les valeurs tournent au tour de 0.53 m/s.

IV.6 Conclusion

Les résultats obtenus à partir des données collectées par le courantomètre ADCP ont permis la présentation des roses des tendances générales en direction et en intensité des courants dans la zone. Toutefois, le prélèvement ponctuel n'a pas permis la cartographie de la courantologie locale dans la région de Cap Djinet.

La qualité des données est excellente, la majorité du flux est de 60° et 215° . Cependant, le flux dominant est surtout vers le Nord-Est (NE) et le Sud-Ouest (SW).

Le courantomètre ADCP possède une bonne précision exceptée à proximité immédiate des transducteurs où il existe une zone d'ombre du signal (d'où le choix de la profondeur de départ pour la première cellule).

Chapitre V:

Etude sédimentaire

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 in Layoune et al 2011) car les sédiments de la plate-forme participent au budget général du domaine marin incluant le trait de côte. La taille des particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumettent aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (Cordier, 2007) et reflète globalement l'énergie du milieu dans lequel il se trouve (Trentesaux, 2005).

Dans cette partie, l'étude du paramètre « taille des sédiments » aura pour finalité de renseigner sur les transits des sédiments et leur répartition le long de la côte et ce, dans le but de déterminer les mouvements sédimentaires responsables de l'ensablement du port de Cap Djinet ainsi que leur influence sur la frange côtière de manière générale.

V.1 Positionnement des points de prélèvement

L'objectif de cette étude est la recherche de la répartition des sédiments en mer et par conséquent leur modalité de mise en place.

Pour réaliser l'étude sédimentologique, 13 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés au niveau de la zone d'étude à l'aide d'une benne preneuse de type VanVeen (figure 5.1), mis dans des sacs en plastique et étiquetés. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire (voir annexe n°8) et les résultats obtenus ont permis d'établir la cartographie de la répartition spatiale des sédiments.

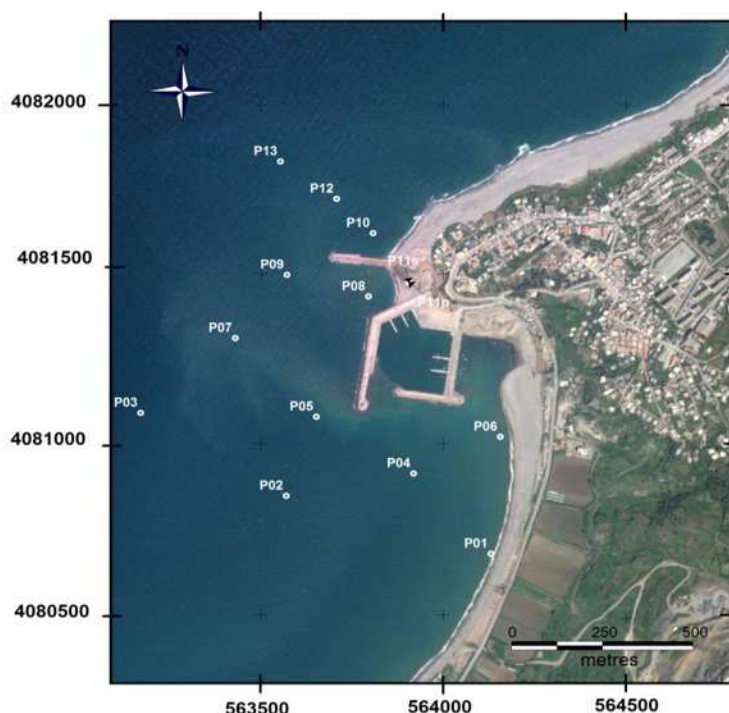


Figure n°5.1 : Localisation des stations de prélèvements (Google Earth, 2013). 68

V.2 Méthode d'analyse au laboratoire

Chaque échantillon est mis dans le fond d'une boîte de pétri, et placé dans une étuve à 105°C pendant 24h. Une fois séchés, les échantillons sont passés sous un courant d'eau dans un tamis de 50µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines. Les échantillons sont remis à l'étuve pendant 24h à 105°C. Une quantité de 180g de sédiment pour chaque station est tamisée par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 4000-3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40.

Chaque tamisage dure environ 10 minutes, le refus de chaque tamis est pesé et le pourcentage pondéral est calculé pour chaque classe granulométrique.

Remarque : le prélèvement d'échantillons et le tamisage ont été effectués par le LEM

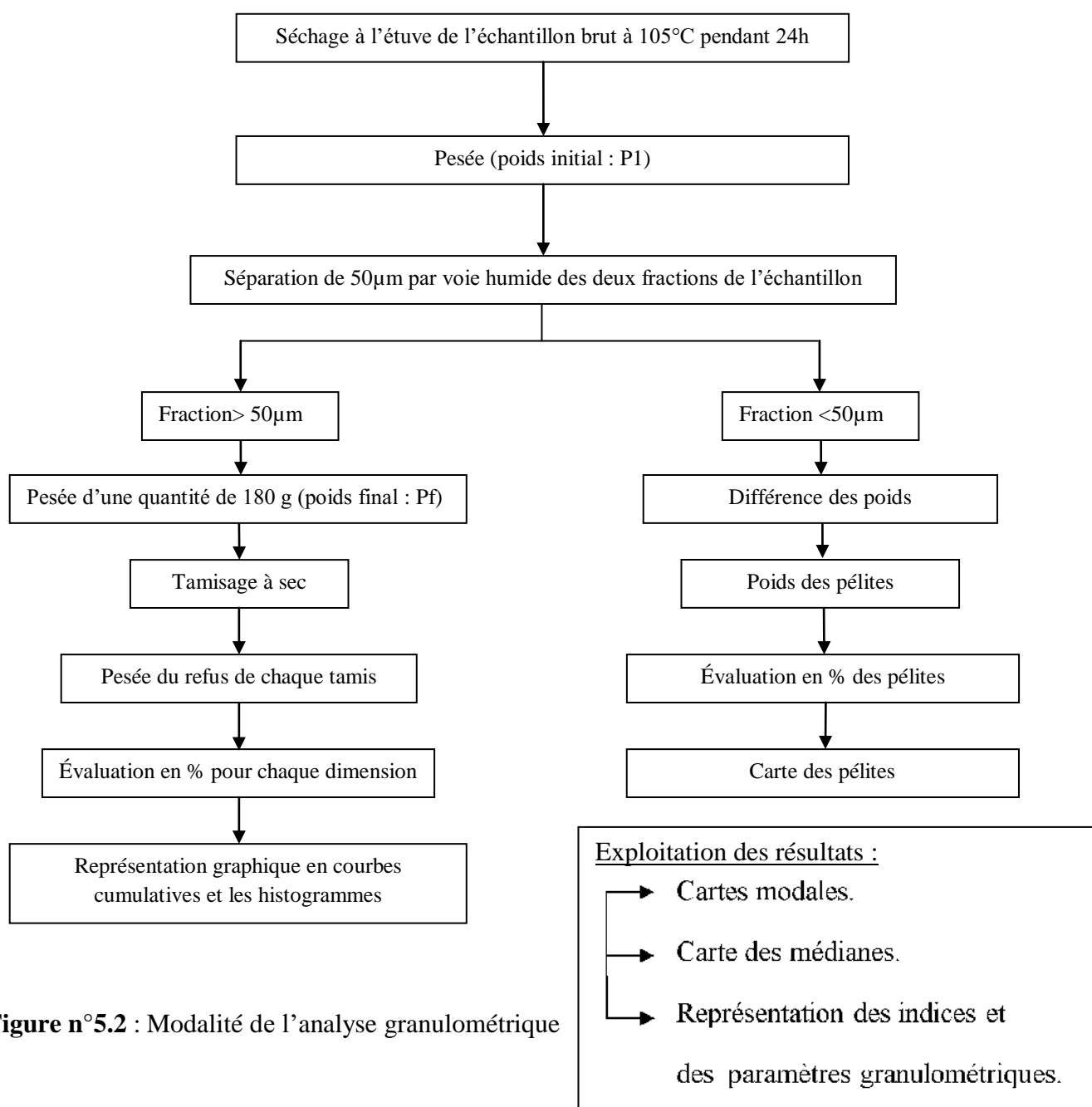


Figure n°5.2 : Modalité de l'analyse granulométrique

V.2.1 La fraction fine

L'étude de la fraction fine (inférieure à 50 μm) consiste d'abord à évaluer son pourcentage pour chaque échantillon dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pélites représentant sa répartition dans l'aire de la zone d'étude.

V.2.2 la fraction grossière

V.2.2.1 Les paramètres de position

Les paramètres de position sont extraits à partir des courbes de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : Le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse échelle logarithmique : les diamètres des tamis), permettent de calculer les différents indices.

a- Les quantiles

Q_1 :25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile)

D_{50} :50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)

Q_3 :75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile)

D_{90} :90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile)

D_{10} :10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile)

b- Le mode granulométrique

Correspond au point d'inflexion de la courbe cumulative. Il représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

V.2.2.2 Les indices granulométriques

a- Indice de classement (S_0 ; sorting de trask) :

Cet indice S_0 permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (TRASK, 1932)

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q75}{Q25}} \dots\dots\dots (V.1)$$

Pour le classement, les valeurs adoptées sont les suivants :

$S_0 < 1$	très bien classé
$1 < S_0 < 2.5$	bien classé
$2.5 < S_0 < 3$	normalement classé
$3 < S_0 < 4$	mal classé

b- Le coefficient d'asymétrie (SK ; Skewness de Trask)

Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane. Il est défini par la relation suivante :

$$S_K = \frac{Q25 * Q75}{(D50)^2} \dots (V.2)$$

Si $S_K < 1$, le classement est maximum vers les fines ;

Si $S_K = 1$, la symétrie est parfaite ;

Si $S_K > 1$, le classement est maximum vers les grossiers.

V.3 Analyse modale

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment. La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

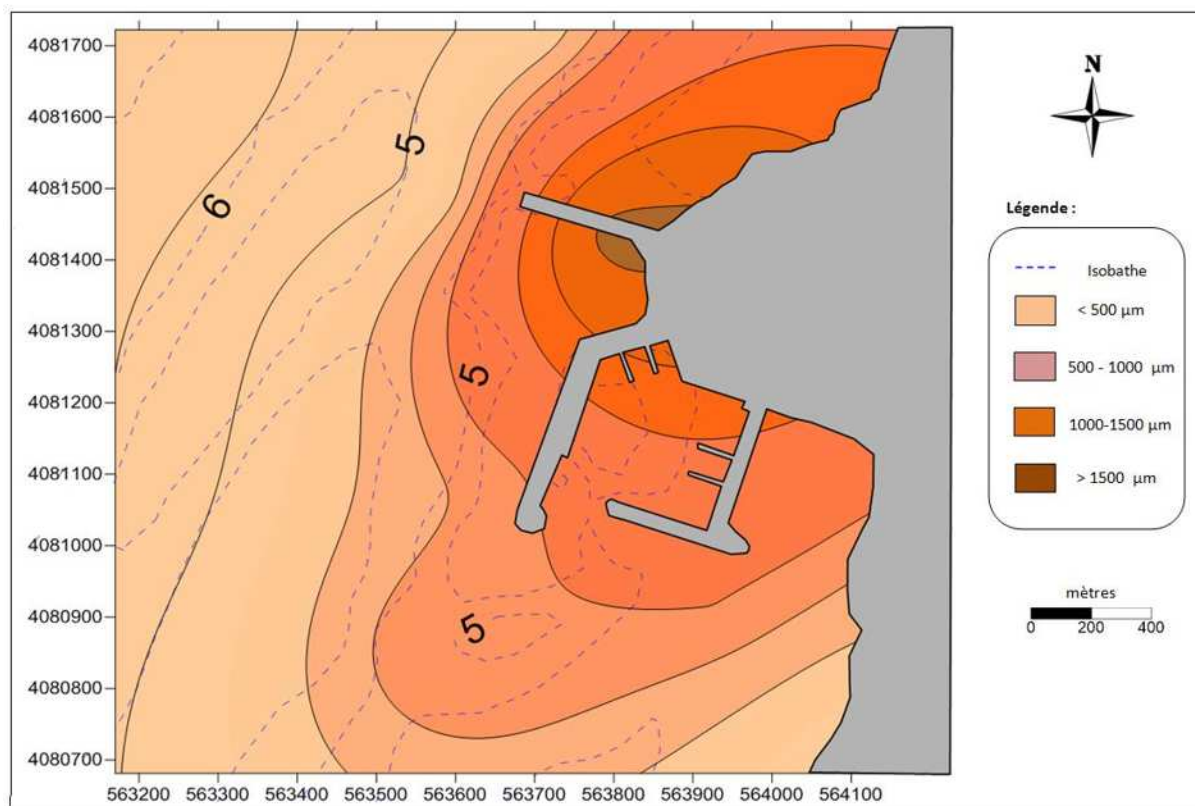


Figure n°5.3 : Distribution modale dans la région de Cap Djinet.

Commentaire :

La carte de la distribution modale montre une répartition qui suit un gradient croissant, les plus hauts pourcentages se situent au Nord de la zone de prélèvement où ils apparaissent de façon hétérogène, puis tendent à diminuer vers le large (Figure n°5.3). En conditions hydrodynamiques constantes, il est normal de trouver une répartition qui tend à distribuer la fraction grossière vers la côte tandis que la fraction fine est transférée vers le large. Cependant, la distribution concentrique que présente la figure renseigne sur un hydrodynamisme qui dégrade d'intensité à l'approche du rivage et une répartition par diffraction des sédiments autour de l'ouvrage.

V.4 Cartographie et interprétation des indices granulométriques

La cartographie de la distribution spatiale des 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 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.

V.4.1 Analyse de la fraction fine

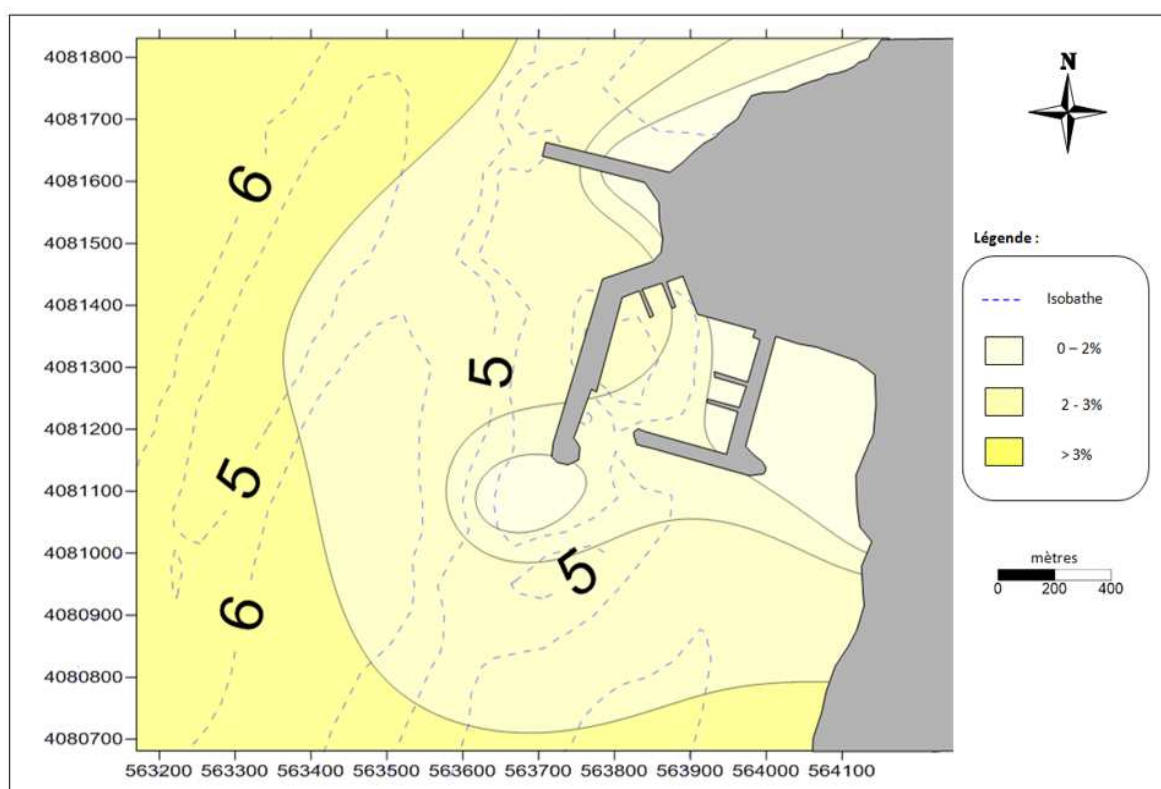


Figure n°5.4 : Répartition des pélites dans la région de Cap Djinet.

Bien que les teneurs soient très faibles sur les échantillons prélevés, la carte d'isopélites montre une répartition spatiale des pélites conforme au schéma classique généralement admis, à savoir une augmentation graduelle des teneurs en pélites de la côte vers le large.

Dans la frange côtière comprise entre 0 et 3m (avec des pénétrations allant jusqu'à -5m) de profondeur, les teneurs en pélites sont très faibles et varient tout en restant sous les 2%, une frange intermédiaire se présente entre 4 et 6 m de profondeur dont les teneurs en pélites

sont comprises entre 2 à 3 %, puis vont en augmentant vers le large pour atteindre des valeurs dépassant les 3%.

Les faibles teneurs en éléments fins observées dans les petites profondeurs s'expliquent par l'augmentation de l'énergie de la houle, qui favorise la remise en suspension des sédiments et l'élimination d'une partie importante de la fraction fine vers les zones calmes permettant leur décantation.

V.4.2 Analyse de la fraction grossière

V.4.2.1 Les courbes granulométriques

- Aspect général des courbes cumulatives

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés (annexe n°7).

- Courbes unimodales

Indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

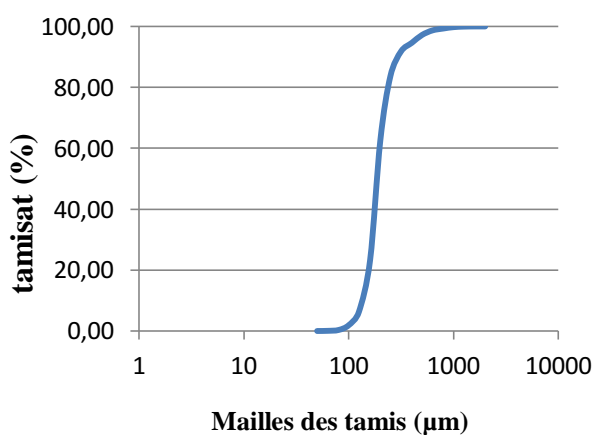


Figure n°5.5 : Courbe unimodale.

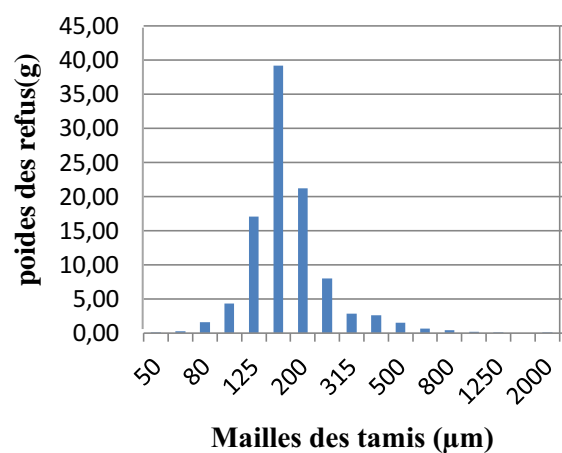


Figure n°5.6 : Histogramme unimodale.

- Courbes bimodales

Indique la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

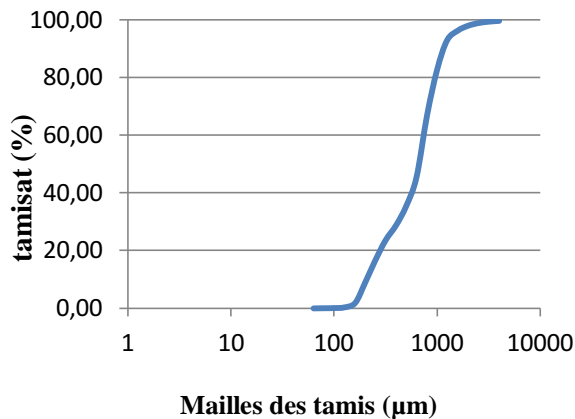


Figure n°5.7 : Courbe bimodale.

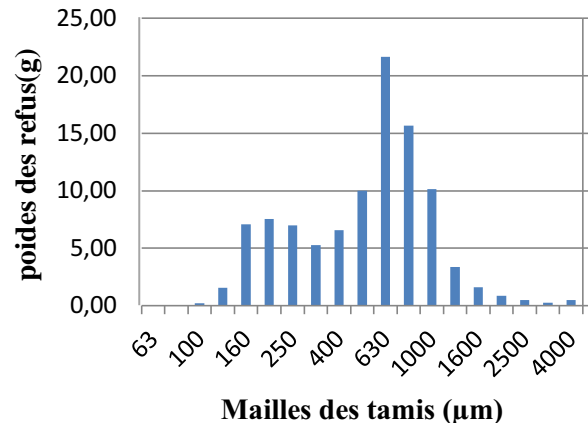


Figure n°5.8 : Histogramme bimodale.

- Courbes plurimodales

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier.

Cette hétérogénéité serait due à la nature des sédiments grossiers, où le mode le plus grossier est représenté par des coquilles entières ou par des biocalcites ou par des petits galets. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques représentatifs du sédiment.

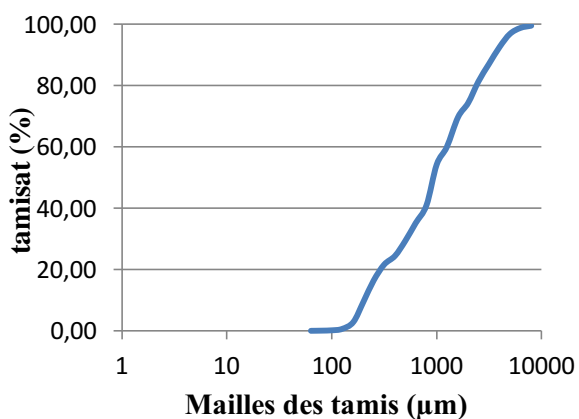


Figure n°5.9 : Courbe plurimodale.

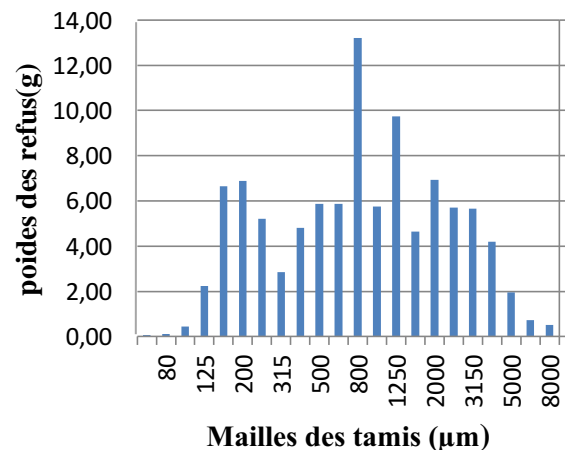


Figure n°5.10 : Histogramme plurimodale.

V.4.2.2 Les quantiles

- Le décile inférieur (D10)

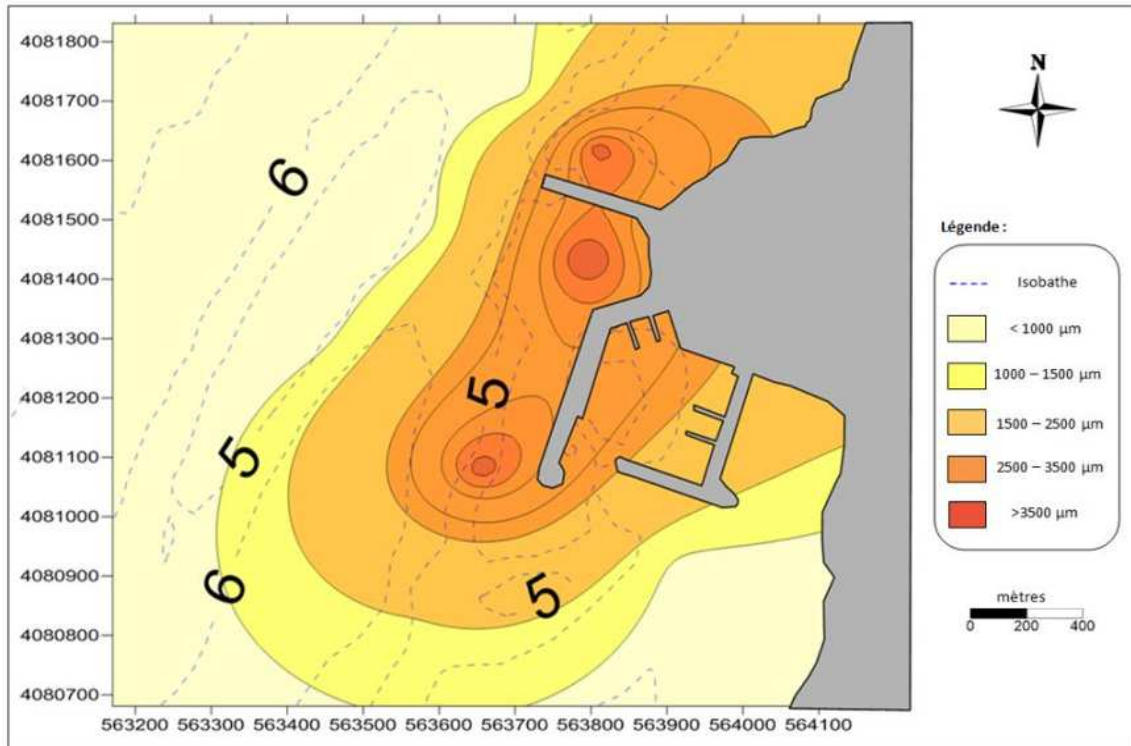


Figure n°5.11: Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Cap Djinet.

- Le décile supérieur (D90)

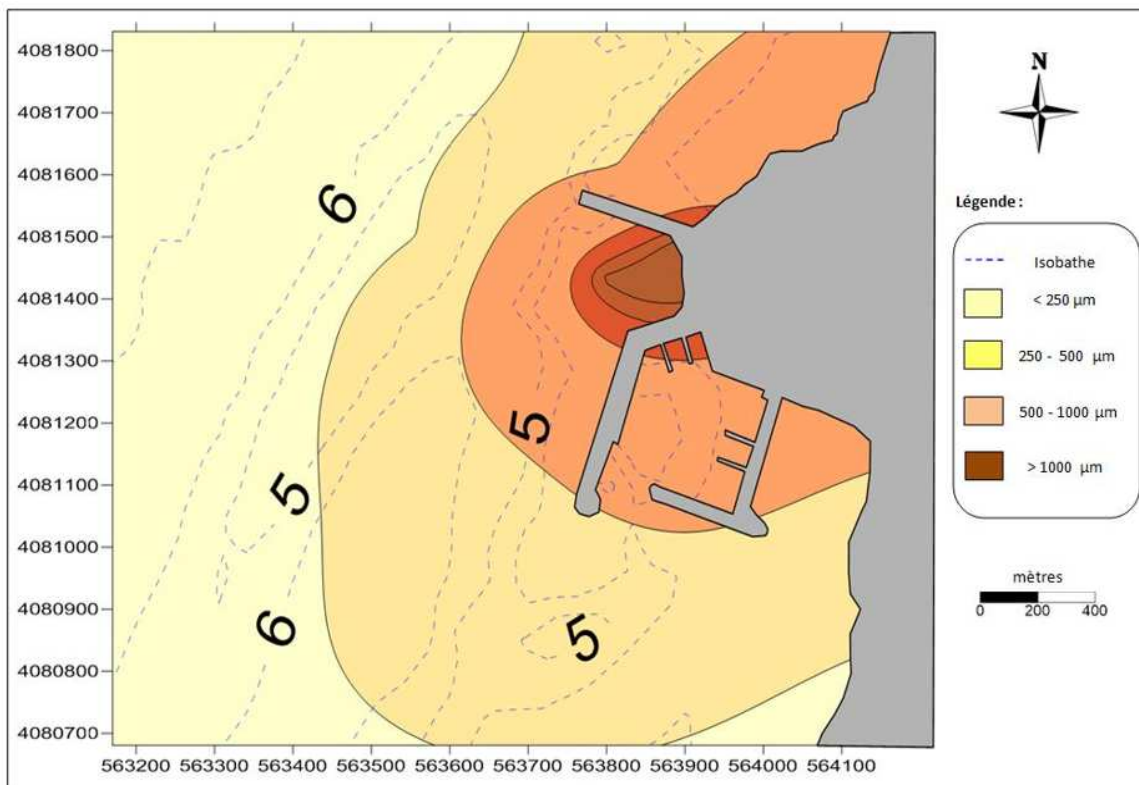


Figure n°5.12: Répartition des déciles supérieurs (D90) dans la région de Cap Djinet.

Analyse et commentaire :

La répartition des déciles inférieurs apparaît centrée dégageant quatre (4) faciès avec une dominance graduelle de la côte vers le large et qui évolue de façon à marquer la morphologie sous-marine, présente des barres hydrauliques et des fosses plongeantes où les diamètres peuvent atteindre voir dépasser les 3500 μm . En s'éloignant du Cap et au-delà des 6 mètres de profondeur, un seul faciès domine (diamètres <1000 μm).

Pour les déciles supérieurs la distribution garde l'aspect de répartition concentrique dégageant quatre (4) faciès avec une dominance graduellement décroissante de la côte vers le large et qui évolue de façon à contourner le port (Cap), au-delà des 6 mètres de profondeur, un seul faciès apparaît (diamètres < 250 μm) (figure n°5.10 et 5.11).

- Le quartile inférieur (Q25)

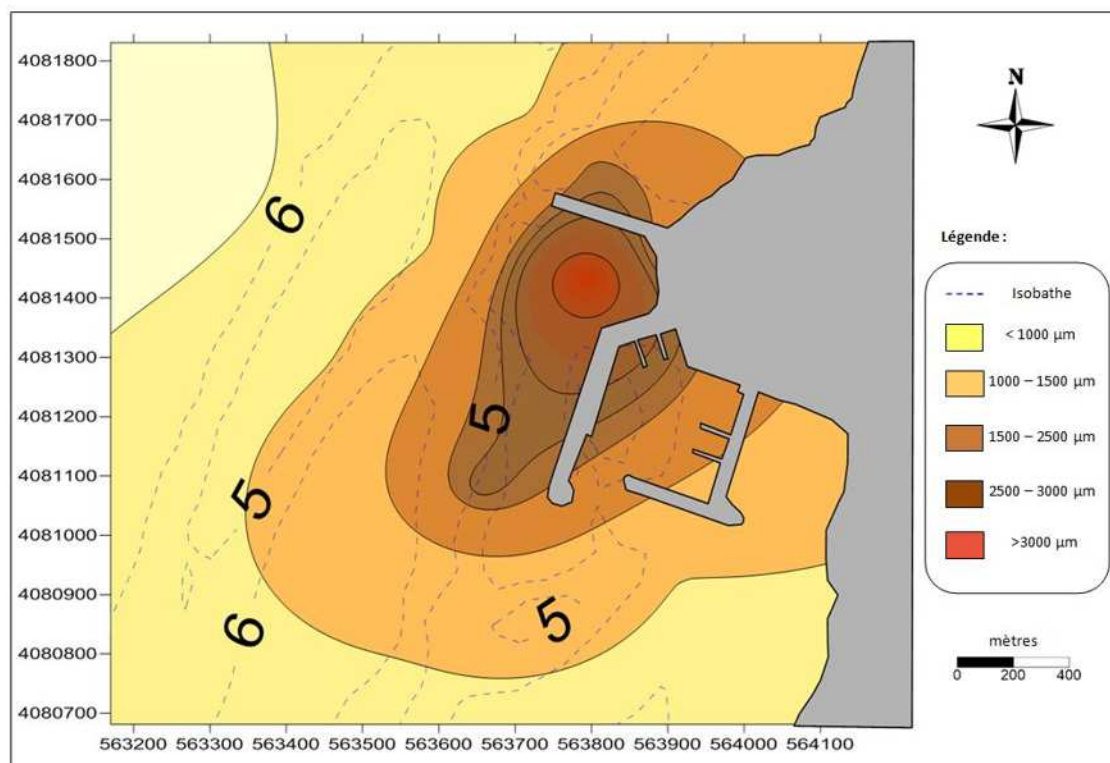


Figure n°5.13: Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Cap Djinet.

- Le quartile supérieur Q75

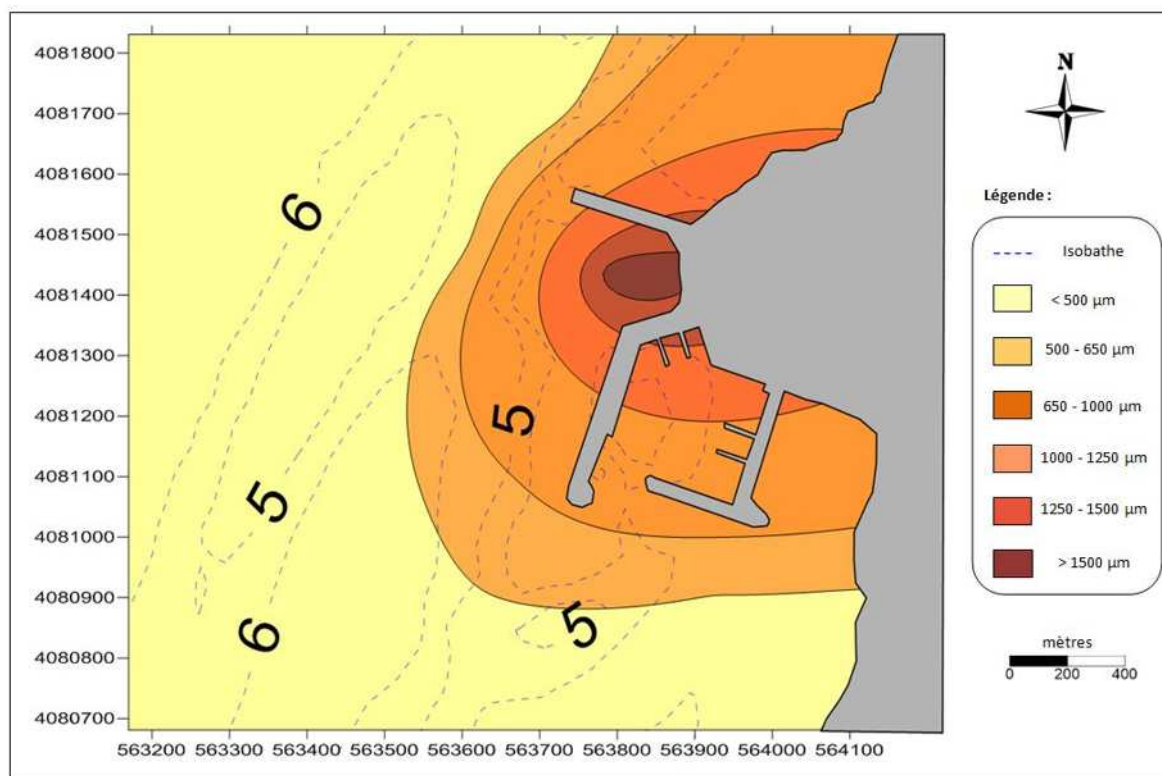


Figure n°5.14: Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Cap Djinet.

Analyse et commentaire :

La répartition spatiale de ces paramètres obéit au schéma classique de la répartition des sédiments en mer par une décroissance de la taille des particules de la côte vers le large.

La distribution des Q_{25} est plus au moins circulaire, les valeurs varient entre 1000 et 3000 µm, un intervalle dans lequel plusieurs facies sont distingués, à noter que les valeurs les plus importantes s'observent entre la digue Nord et la jetée principale du port.

En ce qui concerne la distribution des Q_{75} , elle garde la forme circulaire, les valeurs variant entre 500 et 1500 µm dégageant six facies distingués : un premier de diamètre très fin (< 500 µm) qui se distribue vers le large et domine la zone jusqu'aux environs des 5 mètres de profondeur puis apparait une évolution vers la côte des autres franges qui suivent une distribution centrique (diamètre entre [1000-1500- 2500 et 3000 µm]). Cette répartition montre une décroissance du diamètre du grain de la côte vers le large. Les sédiments grossiers sont repartis sur la carte jusqu'aux alentours de l'isobathe (-5m) qui se présente comme étant une limite dynamique pour la répartition de ces classes de sédiment dans la zone.

V.4.3 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 (S_0), 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 paléoécoulements (Losson et Corbonnois 2006).

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

Avec : $\phi(x)$ étant le diamètre en échelle, Phi correspondant au pourcentage cumulé de x exprimé en millimètre ($\phi(x) = -\log_2 x$).

- **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).

$$S_0 = \frac{\phi_8 - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6} \quad \dots \quad (V.4)$$

- **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).

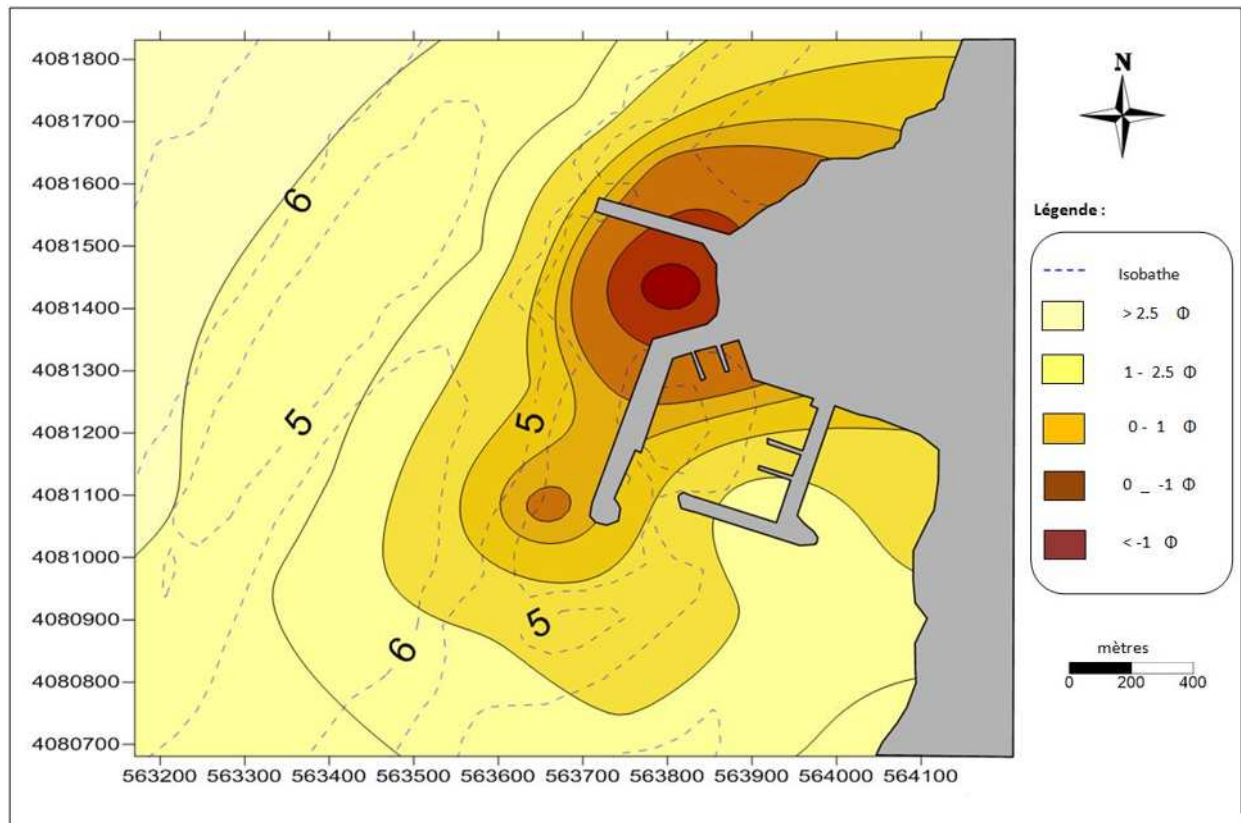
$$S_k = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(95\phi - \phi_5)} \quad \dots \quad (V.5)$$

Tableau 5.1: Résultats de calcul des paramètres granulométriques.

échantillon	ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{50}	ϕ_{84}	ϕ_{95}	M_z	S_o	S_k	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	asymétrie vers les fines
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 fines
P3	3.87	3.42	2.81	2.17	1.59	2.80	-0.66	0.05	sable fin	très bon tri	asymétrie vers les fines
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 fines
P5	2.11	1.39	-0.30	-1.52	-3.23	-0.14	-1.54	-0.03	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les fines
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 fines
P7	2.69	2.29	1.68	1.03	0.67	1.67	-0.62	0.02	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les fines
P8	0.61	0.05	-0.88	-3.14	-3.26	-1.32	-1.38	0.32	sable moyen	très bon tri	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	asymétrie vers les fines
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 fines
P11	0.33	0.00	-0.44	-0.89	-1.25	-0.44	-0.46	0.02	sable moyen	très bon tri	asymétrie vers les fines
P12	3.30	3.00	2.50	1.90	1.40	2.47	-0.56	0.12	sable fin	très bon tri	asymétrie vers les fines

V.4.4 Interprétation des paramètres granulométriques

- Diamètres moyens

**Figure n°5.15:** Répartition du diamètre moyen dans la région de Cap Djinet.

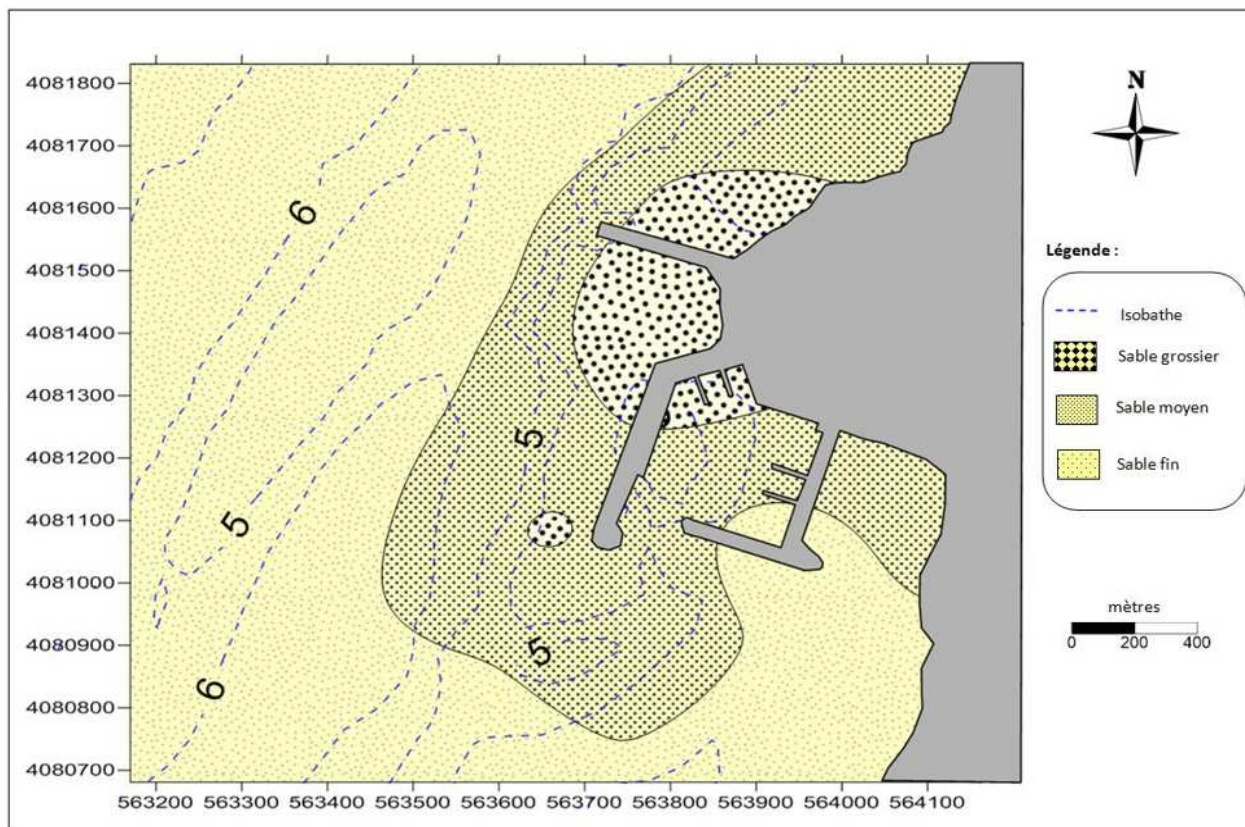


Figure n°5.16: Répartition des médianes (Q50) dans la région de Cap Djinet.

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. 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.

En effet les particules grossières se localisent au niveau de la petite plage en poche, formée entre l'épi et la jetée principale, traduisant une activité hydrodynamique intense qui opère de façon à mobiliser les particules fines et laisser celles dont la taille est plus importante sur place, les particules fines sont par la suite transportées et déposées vers des zones plus profondes où intervient généralement le courant de retour comme facteur du transport.

Une autre distribution plus ou moins étalée de la taille des sédiments (principalement les sables grossiers) a été constatée (figure 5.15), 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 (S_0)

100% des échantillons dans notre zone d'étude ont $S_0 < 0.35$, nous sommes donc en présence d'un sédiment très bien classé. Ceci peut être expliqué par un hydrodynamisme enregistré dans cette zone et dont l'intensité est plus au moins constante ainsi que l'absence de la fraction coquillière également.

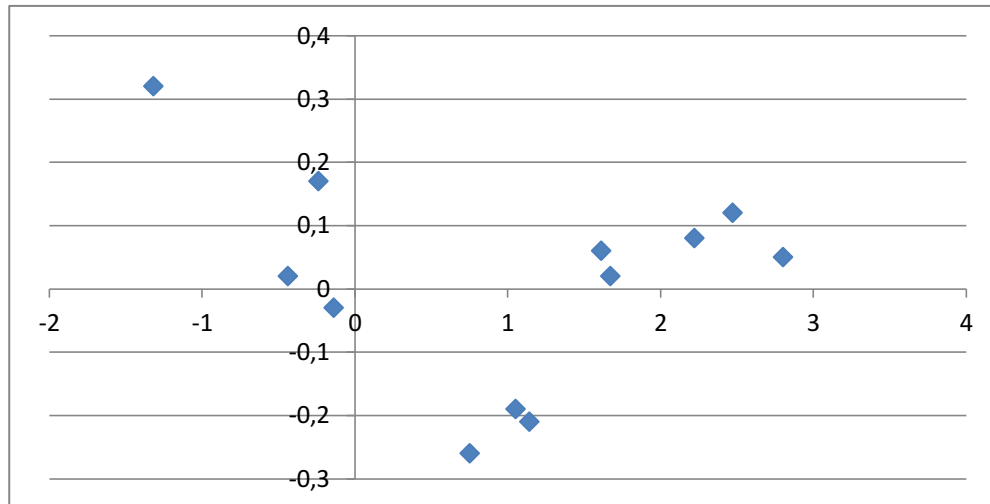


Figure n°5.17: Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen.

- Indice d'asymétrie (S_k)

Les valeurs négatives de l'indice d'asymétrie sont révélatrices d'une asymétrie des particules vers les grossiers traduisant un excès en particules grossières. On constate également que les valeurs de S_k augmentent progressivement, traduisant un enrichissement progressif en particules fines.

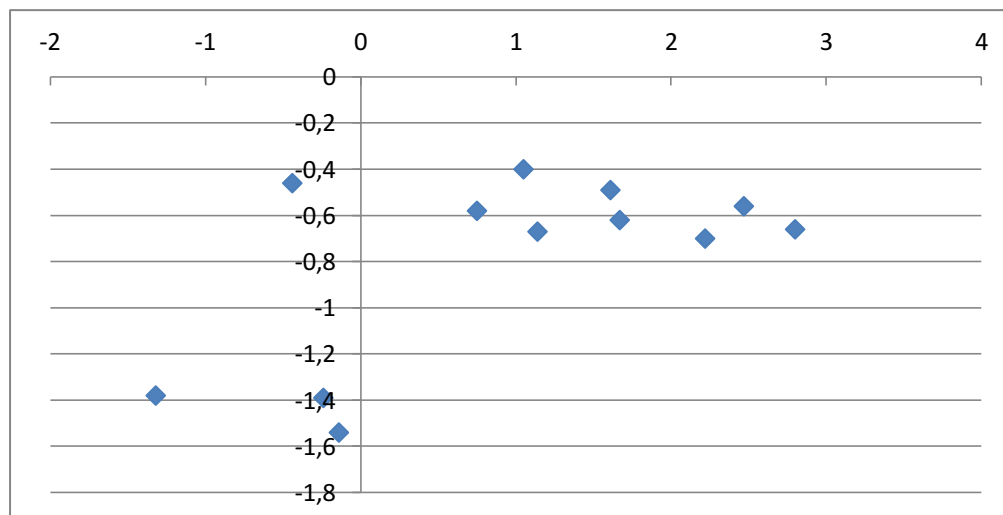


Figure n°5.18 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen.

V.5 Conclusion sur l'étude sédimentaire

Il apparaît pour l'ensemble des échantillons soumis à l'analyse granulométrique que les teneurs de la fraction fine ($<50\mu\text{m}$) sont très faibles, et ne dépassent guère les 3% et reflètent ainsi l'importance de l'hydrodynamisme dans la zone de Cap Djinet.

L'étude des quantiles (D10, Q25, Q75, D90) fait apparaître un grano-classement de l'extérieur (sable fin) à l'intérieur (sable grossier).

L'analyse modale et des courbes granulométriques, qui sont pour la plupart de type unimodales, indiquent l'existence d'un stock sédimentaire très varié (de 400 à 630 μm) dans la plupart des stations.

Il est à noter que des prélèvements saisonniers permettront de mieux apprécier la qualité granulométrique dans notre zone d'étude.

Chapitre VI :
Étude et modélisation
du transport sédimentaire

VI.1 Introduction

Afin de déterminer la trajectoire des particules sédimentaires responsables de l'ensablement du port de cap Djinet, des simulations sur les tendances aux transports ont été réalisées à l'aide du modèle GSTA (Grain Size Trend Analysis), puis quantifier afin d'estimer le volume mobilisé dans la zone et confirmer le résultat de la modélisation.

VI.2 Modélisation du transport sédimentaire

VI.2.1 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).

VI.2.2 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 (M_z), du tri (S_o) et de la symétrie de la distribution sédimentaire (S_k) (Mc Laren, 1981).

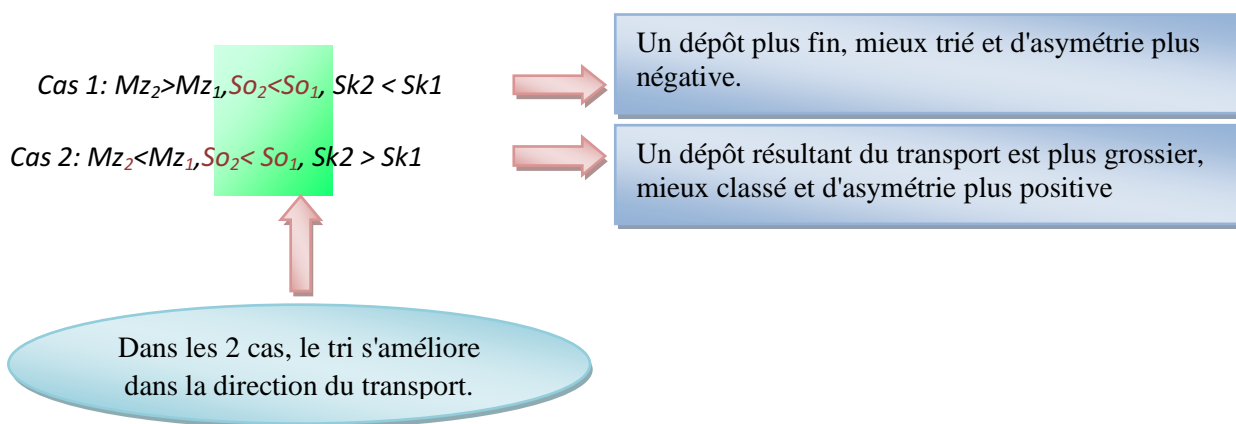
Par comparaison de (3) paramètres, 2^3 cas possibles peuvent apparaître entre un échantillon et son voisin, reconnu par le modèle de Gao et Collins (1992).

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.

- Une méthode de vecteur a été développée avec des modèles de tendances variées pour prendre en considération les modèles de transport possible qui ne peuvent être dérivés qu'empiriquement, puisque leur rapport avec les conditions hydrodynamiques est inconnu (Gao et Collins 1994) ce qui ne permet pas d'estimer le mouvement du sédiment.

Le schéma qui suit 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.



Les deux cas possibles correspondent respectivement à un processus de transport de faible énergie et un autre de forte énergie.

VI. 2.3 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 des cas de transport possibles) est respectée, 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 :

$$R(X, Y) = \sum_1^n r(X, Y)i \quad \dots \text{(VI.1)}$$

Avec : n : nombre de vecteurs tendances. R : vecteur résultant.

(x, y) : coordonnées du vecteur. $r(x, y)$: vecteur tendance.

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

$$R_{av}(X, Y) = \frac{1}{K+1} [R(X, Y) + \sum_1^K R_j] \quad \dots \text{(VI.2)}$$

Avec :

$r(x, y)$: Le vecteur des points sélectionnés.

R_j : est le vecteur de sommation obtenu sur la base de l'équation (VI.1)

K : le nombre total de sites pris en compte pour le calcul sur un point.

VI. 2.4 Critique et limites de calcul du modèle GSTA

- 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 du rayon D_{cr} (Tiguercha & al 2011).

VI. 3 Application du modèle dans la zone de Cap Djinet

En raison du nombre et de l'éloignement des stations de prélèvement, nous avons procédé à une interpolation des paramètres granulométriques (Q 5, Q 16, Q 50, Q 84, Q 95) afin d'attribuer pour chaque nouvelle station interpolée (figure 6.1 et annexe n°9), les trois indices granulométriques la concernant à savoir : le diamètre moyen (M_z), le tri (S_o), l'asymétrie (S_k).

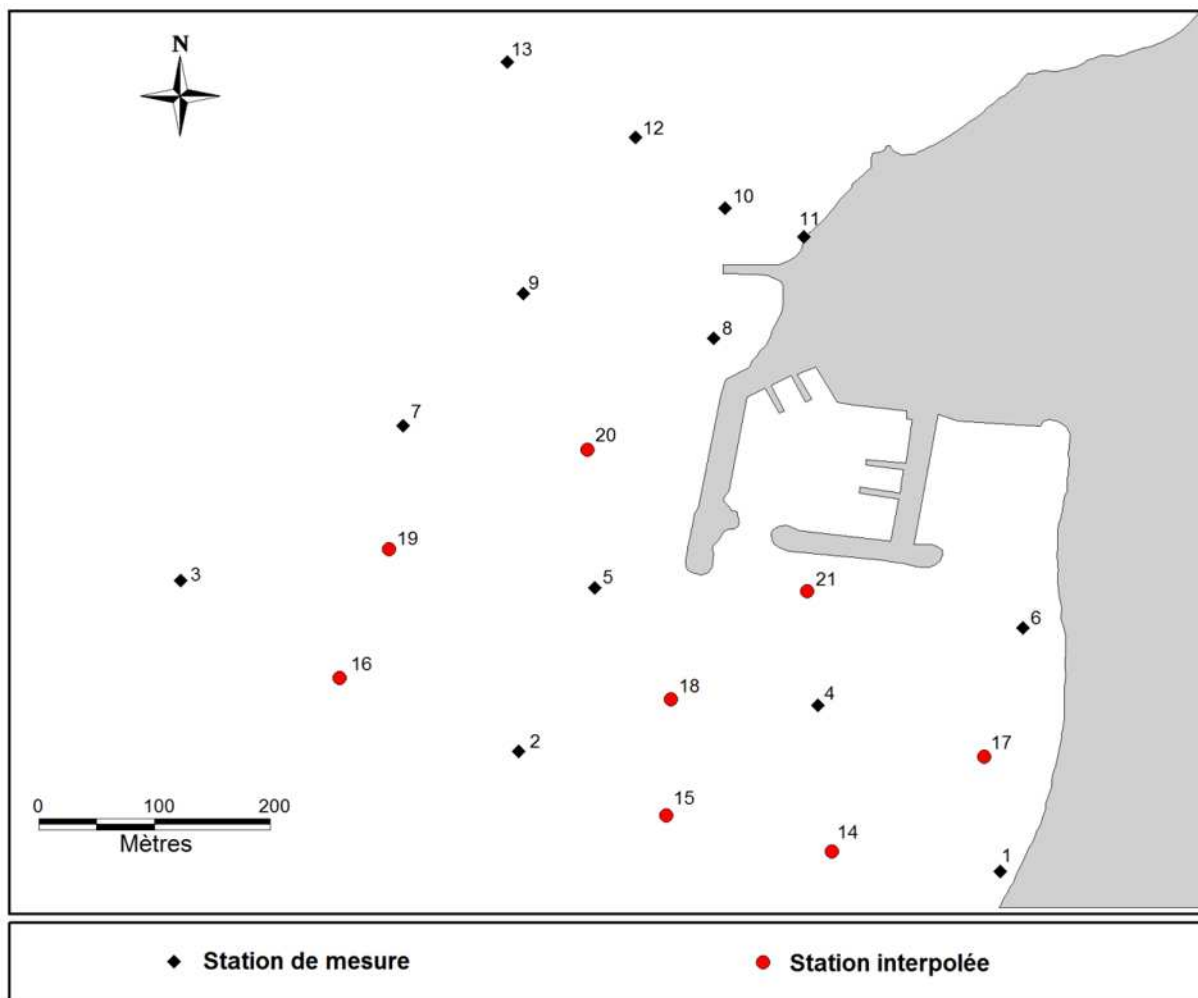


Figure n°6.1 : Répartition des stations de mesure et interpolée dans la zone d'étude.

VI. 3.1 Détermination de la distance critique D_{CR}

La valeur de la distance critique employée 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 peuvent avoir deux échantillons voisins.

VI. 3.2 Préparation de la grille d'entrée

	A	B	C	D	E	F
1	21	1	250			
2	1	564138	4080681	2,22	-0,7	0,08
3	2	563573	4080847	1,14	-0,67	-0,21
4	3	563170	4081088	2,8	-0,66	0,05
5	4	563924	4080915	1,05	-0,4	-0,19
6	5	563655	4081080	-0,14	-1,54	-0,03
7	6	564162	4081025	0,75	-0,58	-0,26
8	7	563430	4081310	1,67	-0,62	0,02
9	8	563795	4081435	-1,32	-1,38	0,32
10	9	563570	4081497	1,61	-0,49	0,06
11	10	563807	4081622	-0,24	-1,39	0,17
12	11	563906	4081478	-0,44	-0,46	0,02
13	12	563706	4081722	1,4	-0,68	-0,07
14	13	563550	4081831	2,47	-0,56	0,12
15	14	563943,7	4080708,9	1,392	-0,576	-0,068
16	15	563744,5	4080759,7	0,959	-0,645	-0,128
17	16	563363	4080949,4	1,309	-0,951	-0,026
18	17	564116,6	4080846,1	1,34	-0,559	-0,114
19	18	563752	4080923,1	0,683	0,868	0,082
20	19	563412,7	4081122,6	1,441	0,020	0,002

Figure n°6.2 : La grille d'entrée dans le model GSTA.

1 : Nombre des stations de prélèvement

2 : Coefficient qui dépend du type des coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques en prend le numéro un (1)

3 : Distance critique (D_{CR}) ; est pris comme l'intervalle de l'échantillonnage spatial, maximal et spécifique. Les échantillons à comparer sont considérés comme étant des voisins, s'ils sont égaux ou inférieurs à cette distance.

4 : indices granulométriques

5 : les coordonnées en format métriques (X, Y)

La simulation des tendances au transport sédimentaire par le modèle GSTA est représentée dans la figure n°6.3 :

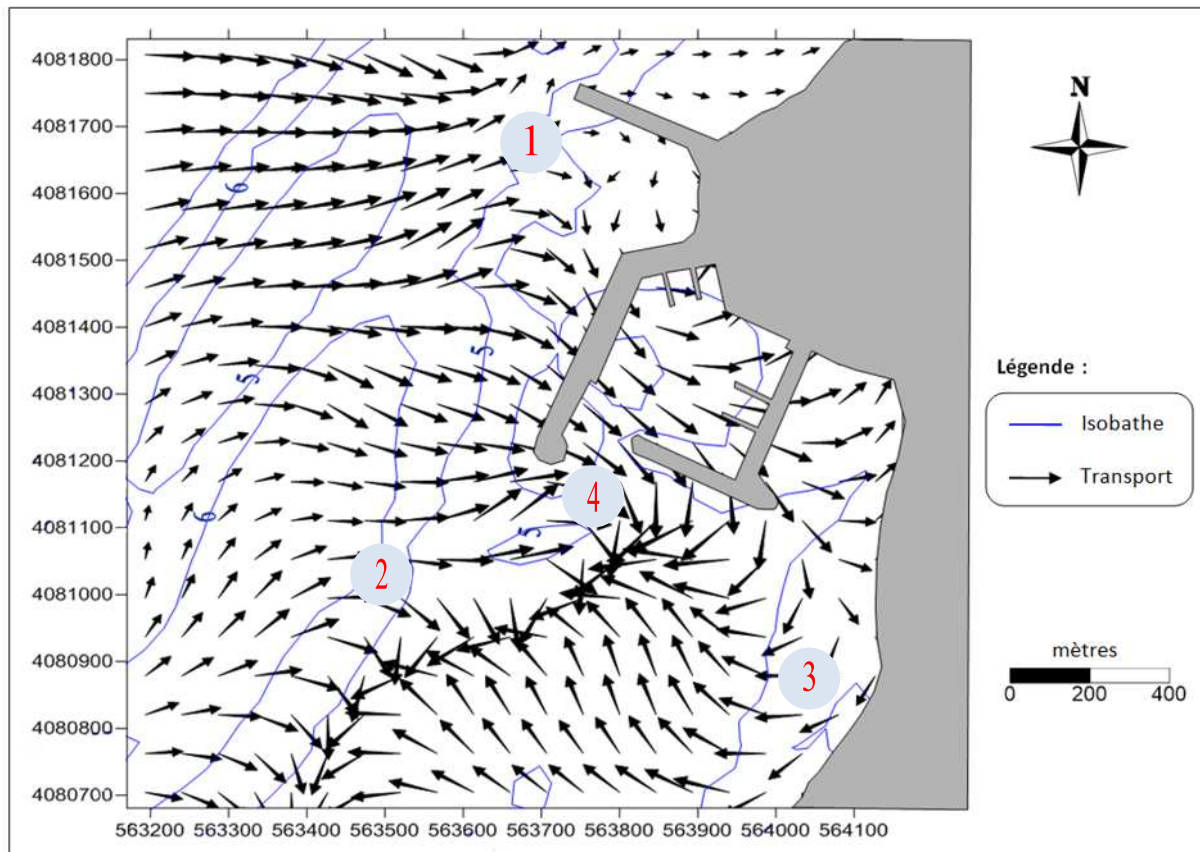


Figure n°6.3 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Cap Djinet, 2009
« Model GSTA »

VI. 4 Interprétation des résultats

Du large vers la côte la figure montre que les vecteurs de tendances au transport sédimentaire présentent un déplacement des sédiments qui semblent se faire de façon perpendiculaire aux isobathes, en dessous des 5 mètres de profondeur (zone des barres sous-marine) se distinguent plusieurs sens divergeant de transport dû probablement au début du déferlement.

En effet le premier (1) transit se dirigeant vers le Nord-Est est parallèle au trait de côte du cap, quant au second (2), il se dirige vers le Sud-Est. Cette divergence est liée directement au déplacement des masses d'eaux sur le fond, qui sont elles-mêmes conditionnées par la morphologie sous-marine et par conséquent la divergence peut être expliquée par la présence d'un relief sous-marin qui favorise la déviation de l'écoulement de part et d'autre.

La modélisation montre également un départ massif des sédiments de la plage adjacente au port (3) vers le large. Ceci indique et/ou confirme l'érosion très accrue que cette zone est en train de subir.

Aux environs de la passe d'entrée du port (4) une rencontre des deux transits de sens opposés est susceptible d'engendrer la déviation du transit le moins dominant et l'orienter par conséquent vers la passe ; la déviation de ces sédiments a une forte probabilité d'être à l'origine de l'ensablement du port.

Une autre explication de la fermeture de la passe d'entrée peut être donnée en se basant sur le processus de l'alimentation de la barre intermédiaire par les courants (notamment ceux orientés Sud-Est) ; qui, chargés de sédiments rendent les processus très actifs, et par conséquent la barre progresse longitudinalement vers l'Est jusqu'à atteindre la passe du port ; engendrant même selon certains témoignages recueillis par Tiguercha et Layoune (2011) la formation d'une petite plage derrière la jetée secondaire.

VI. 5 Conclusion sur la modélisation de transport sédimentaire

L'application du model GSTA pour la modélisation du transit sédimentaire dans la zone a donné des résultats satisfaisants, à qui semblent concorder les résultats obtenus au cours de notre étude notamment dans la bathymétrie et la réfraction de la houle.

VI. 6 Quantification du transport sédimentaire

Il est très important pour une côte donnée, si l'on veut comprendre son évolution et si l'on a l'intention de l'aménager, de connaître à la fois le volume des sédiments ainsi véhiculés et la direction résultante du transport à l'échelle de l'année (Paskoff R. 1993).

La méthodologie d'estimation des transits sédimentaires repose en premier lieu sur l'identification des cellules sédimentaires, entre lesquelles s'organise le transport longitudinal, dans le cadre d'un système fermé à ses deux extrémités ainsi que vers la terre et le large.

Le site d'étude est soumis aux houles de secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest, responsables du transit sédimentaire existant et qui sont généralement parallèles à la côte.

VI. 6.1 Estimation du transit sédimentaire

Les ordres de grandeur du volume déplacé des sédiments parallèlement à la côte (transit littoral) peuvent être évalués à partir de différentes formules dont la plus utilisée est la formule de Sauvage de Saint-Marc et de Vincent « L.C.H.F » :

$$Q = \frac{K}{c} * g * H_s^2 * T * t * f(\alpha) \quad \dots \text{(VI.3)}$$

Avec

Q = volume de sable transporté (en m³).

K = coefficient de transport du sédiment (2,5 10⁻⁶).

g = accélération de la pesanteur (en m/s²).

c = cambrure de la houle (0,03).

H_s = amplitude significative de la houle (m).

T = période de la houle (en secondes).

f(α) = fonction de l'obliquité « α » de la crête de la houle avec la côte.

t = durée d'action de la houle (en secondes).

Le coefficient k pour des sables fins à moyens (d₅₀ de 0,2 à 0,5 mm) varie de 2,5 à 5,0 10⁻⁶; pour un sable de diamètre supérieur à 0,5mm le coefficient k peut s'exprimer par la relation suivante :

K = 1,8 10⁻⁶ d_{1/2} avec ; diamètre en mm.

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

VI. 6.2 Le bilan énergétique annuel

À partir des statistiques établies précédemment et de la corrélation entre l'amplitude et la période, il est possible de calculer la répartition approchée du bilan annuel d'énergie, selon la formule suivant :

$$Y = H_s^2 \cdot T \cdot t \quad \dots \text{ (VI.4)}$$

Où

(H_s) : la hauteur significative de la houle.

(T) : la période moyenne de la houle.

(t) : la durée d'action de la houle.

- Obliquité de la houle

Le transit sédimentaire le long de la côte est lié directement à la direction de la houle au large, il est nécessaire d'évaluer l'angle (α) et la fonction (f). L'obliquité de la houle avec la ligne de rivage étant supposée mesurée par une profondeur de 10 à 15 m.

Le calcul se fait selon l'équation suivante :

$$f(\alpha) = \sin(7/4(\alpha)) \quad \dots \text{ (VI.5)}$$

- Les données nécessaires à l'établissement du transit sédimentaire proviennent des résultats de l'étude de la réfraction de la houle réalisée dans le cadre de ce travail et sont obtenus par extraction de points situés à 10 mètres de profondeur (trois points choisis) au niveau du site d'étude à partir du modèle SWAN. Les valeurs obtenues sont représentés dans le tableau 6.1 comme suit :

Tableau 6.1 : Moyennes des résultats obtenus par direction et par période

Direction	N°360			N°45			N°315		
	Période (s)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)
6	0,93	6,20	359,16	0,82	5,67	32,63	1,00	6,23	321,21
8	2,43	6,51	358,29	1,71	7,84	25,00	2,33	7,84	327,71
10	4,26	10,28	357,63	3,22	10,00	32,63	3,91	10,28	333,13

VI. 6.3 Calcul du bilan énergétique annuel

- Calcul de la durée d'action de la houle « t » :

Le temps "t" est donné par la relation suivante : $t = \frac{365 \text{ j} \times 24 \text{ h} \times 3600 \text{ s}}{100} \times f(\%) \dots$ (VI.6)

Avec $f(\%)$: fréquence d'observation.

Tableau 6.2 : Récapitulatif de la fréquence d'observation et de la durée d'action de la houle

Direction	N°360		N°45		N°315	
	f(%)	t (s)	f(%)	t (s)	f(%)	t (s)
6	7,52	2 371 421,87	17,02	5 368 586,25	5,72	1 802 565,05
8	0,94	295 094,48	1,21	380 423,00	0,81	255 985,57
10	0,09	28 442,84	0,11	35 553,55	0,03	10 666,07

Tableau 6.3 : Bilan énergétique annuel du transit sédimentaire par direction et par période

Direction	N°360		N°45		N°315	
	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$	$(H_s)^2 \cdot T \cdot t \cdot (\text{m}^2\text{s}^2)$
6	12 690 980,88		20 613 238,68		11 281 012,14	
8	11 305 699,07		8 707 310,72		10 862 205,48	
10	5 314 133,81		3 682 854,97		1 677 874,26	
Total =	29 310 813,77		33 003 404,37		23 821 091,88	
Total général : $H_s^2 \cdot T \cdot t = 86 135 310,02 \text{ m}^2 \text{ s}^2$						

Le bilan énergétique annuel est estimé à environ $86 135 310,02 \text{ m}^2 \text{ s}^2$.

- **Calcul de l'angle "α" ; angle que fait la crête de la houle avec la côte**

Sachant que: $f(\alpha) = \sin(7/4(\alpha))$; le tableau suivant résume les angles obtenus :

Tableau 6.4 : Récapitulatif du calcul de l'angle « α » et de la fonction f (α)

Direction	N360		N45		N315	
	α (°)	f(α)	α (°)	f(α)	α (°)	f(α)
6	-4	-0,122	-37	-0,904	44	0,974
8	-3	-0,092	-30	-0,793	38	0,917
10	-2	-0,061	-37	-0,904	32	0,829

VI. 7 Détermination du transit sédimentaire

À partir des données mentionnées dans le tableau 6.4, une estimation du tonnage des sédiments qui transitent le long de la côte de la région de Cap Djinet est réalisée. On utilise ainsi la formule mentionnée précédemment. Ce bilan est récapitulé ci- après :

Tableau 6.5 : Récapitulatif du transit sédimentaire par période et par direction

Direction	N360	N45	N315	Total par période Q(m ³ /an)
Période (s)	Q (m ³ /an)	Q (m ³ /an)	Q (m ³ /an)	
6	-1264,38	-15241,27	8985,86	-7519,78
8	-845,70	-5647,27	8143,36	1650,39
10	-265,21	-2723,07	1137,16	-1851,13
T/direction	-2375,29	-23611,61	18266,38	-7720,52
Total général : 44 253,28 m ³ /an				

Le signe (+) correspond par hypothèse à un transit Ouest-Est

Ouest (+) : 18 266,38 m³/an

Est (-) : -25 986,90 m³/an

Le transport long-shore prédit selon les directions dominantes des houles est alors :

Volume déplacé vers l'Est est de 25 986,90 m³/an

Volume déplacé vers l'Ouest est de 18 266,38 m³/an

Volume résultant de l'Est vers l'Ouest est de 7720.52 m³/an

VI. 8 Conclusion

Le volume résultant des sédiments pouvant être déplacés de l'Est vers l'Ouest serait de 7720.52 m³/an, ces résultats semblent concordés avec ceux obtenus dans la modélisation du transit par le modèle GSTA.

Chapitre VII :

Impact de l'infrastructure sur la zone

VII. 1 Introduction

La fragilité des espaces littoraux, la diversité des intérêts qui s'y manifestent ainsi que les enjeux qui s'y découlent rendent difficile toute intégration harmonieuse des projets côtiers dans leur environnement.

Les gestionnaires d'infrastructures portuaires doivent maintenir le niveau de service des ouvrages pour respecter les exigences de leurs utilisateurs. Ils sont donc amenés à définir, programmer et réaliser des interventions d'entretien, de réparation ou de confortement d'ouvrages qui peuvent parfois être assez lourdes (dragage, rechargement artificiel,...) et avoir un impact souvent direct et considérable sur la zone avoisinante.

Le problème d'ensablement du port de Cap Djinet est un phénomène naturel qui évolue dans le temps et dans l'espace. L'objectif dans ce chapitre est de mettre en exergue cette évolution, après avoir étalé les causes qui la génèrent, et ce, dans le but d'apporter quelques éléments de réponses portant sur ce phénomène ainsi que sur la dynamique sédimentaire de la région.

VII. 2 L'évolution de la morphologie sous-marine

VII. 2.1 La bathymétrie

Un nouveau levé bathymétrique (figure n°7.1) effectué en février 2014 dans le secteur adjacent au port a permis de procéder à la comparaison avec celui de Mars 2009 dans le but de déceler des changements survenus sur frange sous-marine.

D'une manière générale, le fond marin de notre zone d'étude se caractérise par un relief monotone et étagé par endroits.

L'équipe topo-bathy du bureau d'étude vert et bleu a opéré dans une maille de 40m par 40m. L'exploitation des résultats montre que d'une manière générale, l'implantation du port de Cap Djinet a bien influencé la dynamique sédimentaire des hauts fonds ainsi que des plages aériennes adjacentes ; ceci s'est manifesté par un impact direct sur la morphologie sous-marine qui se trouve changé de façon considérable dans la zone d'échantillonnage.

Il est à noter que des opérations de dragage ont été effectuées dans la zone au cours de la période incluse entre les deux levés.

Les bancs de graviers apparaissent et disparaissent continuellement en fonction du degré d'agitation de la mer au niveau de la plage.

Photo n°7.1 : Banc de gravier au niveau de la plage Ouest.



Cartographie

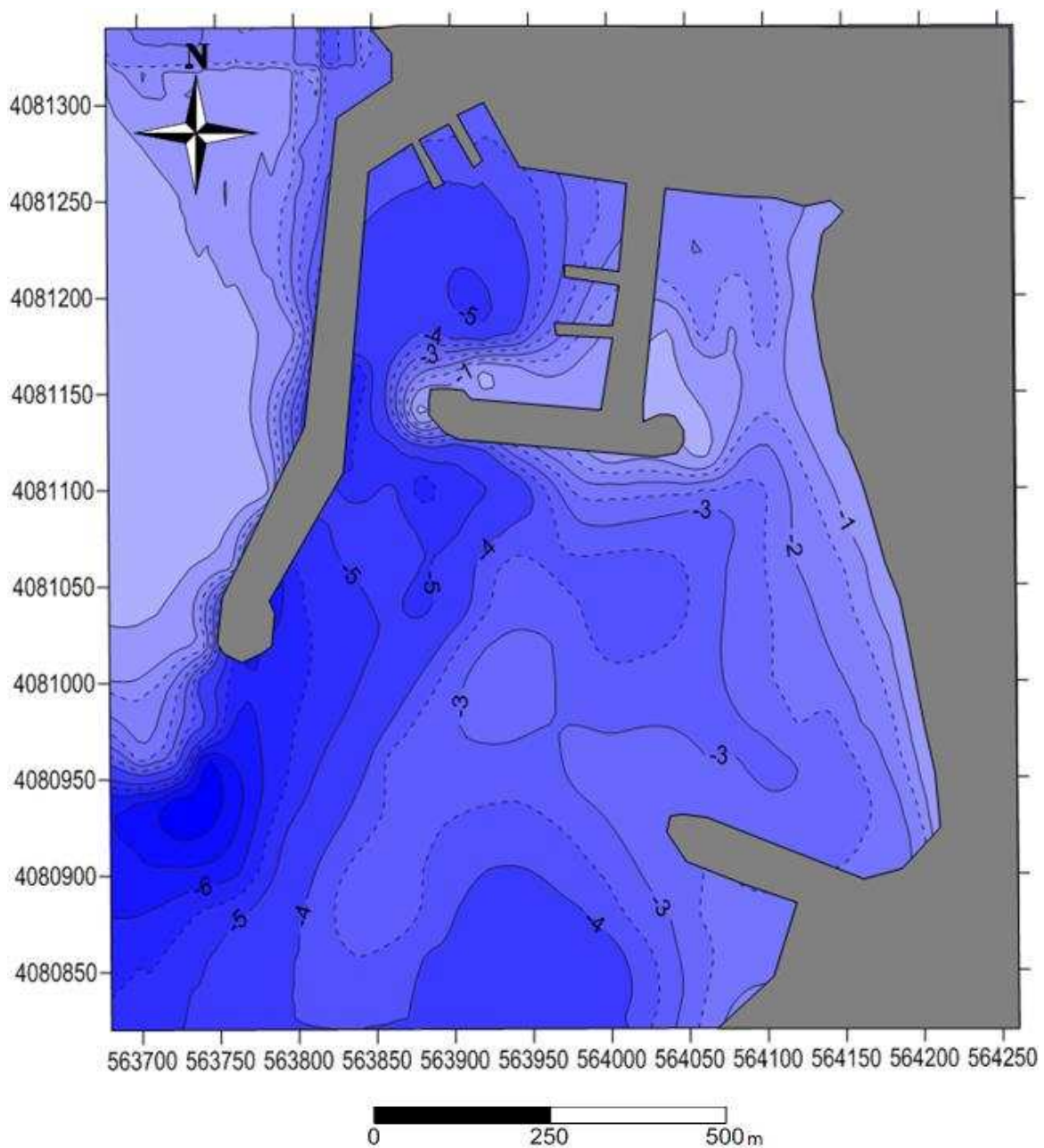


Figure n°7.1 : Carte bathymétrique de la zone de Cap Djinet, 2014

(Source de données : Vert et bleu)

La superposition des deux levés bathymétriques mars 2009 et février 2014 (figure n°7.2) apporte un confortement au constat du changement qu'a subi le fond (bien que le second levé n'a pas permis vraiment d'apprécier l'évolution et la dynamique des barres hydrauliques). Toute fois ; il permet de mieux décrire la morphologie sous-marine et son cour d'évolution durant ces cinq années.

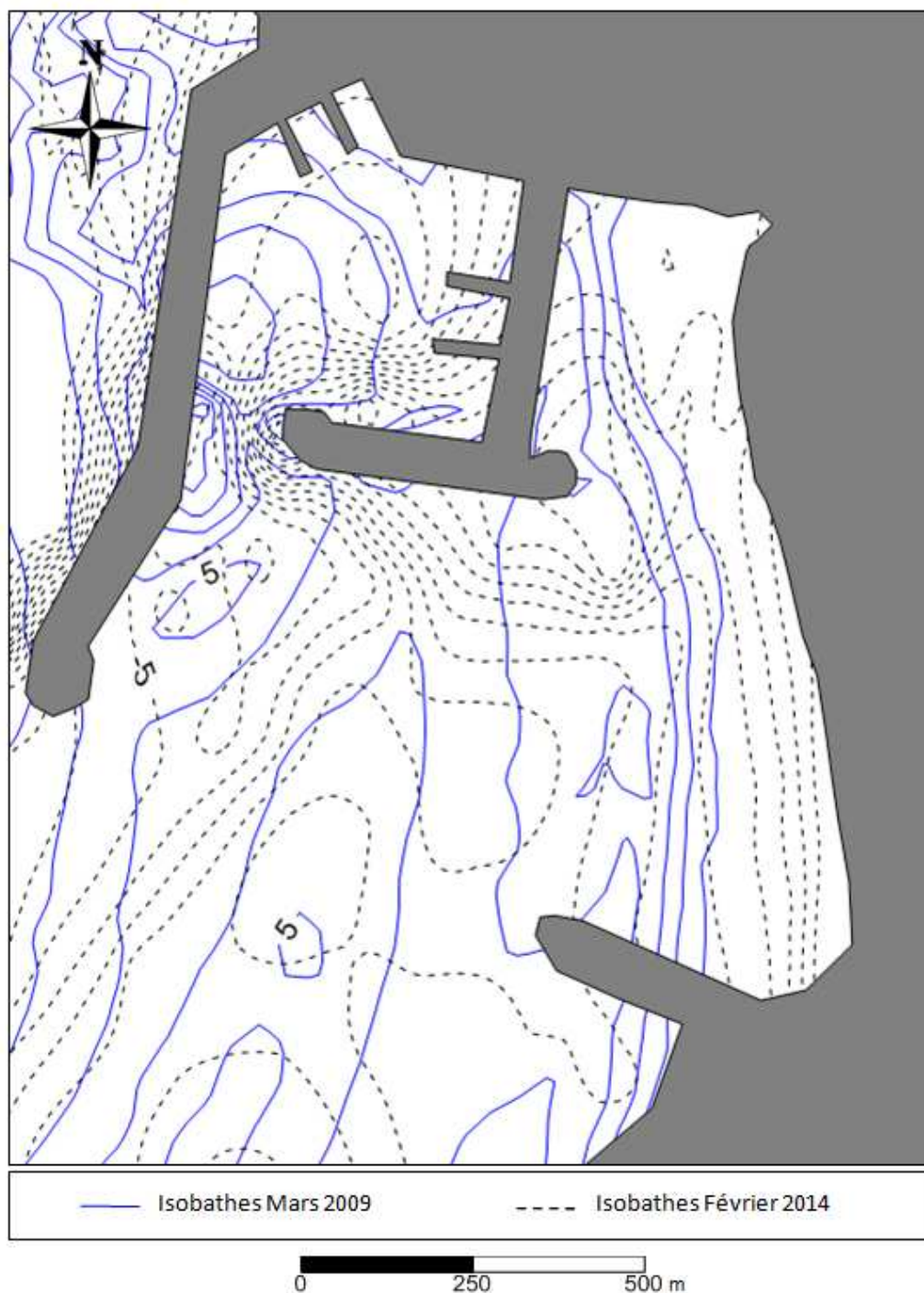


Figure n°7.2 : Superposition des levés bathymétriques 2009/2014 dans la zone de Cap Djinet, 2014

VII. 2.2 Les zones à impact

Afin de déceler les zones subissant un impact considérable notamment en ce qui concerne l'ensablement et l'érosion. Une technique de filtrage se basant sur la réponse spectrale des sédiments en suspension dans l'eau a été utilisée (figure n°7.3).

Toute fois ; la technique ne permet pas de distinguer les zones de transgression de celles de régressions, en effet, le traitement s'applique sur l'ensemble des zones subissant un changement.

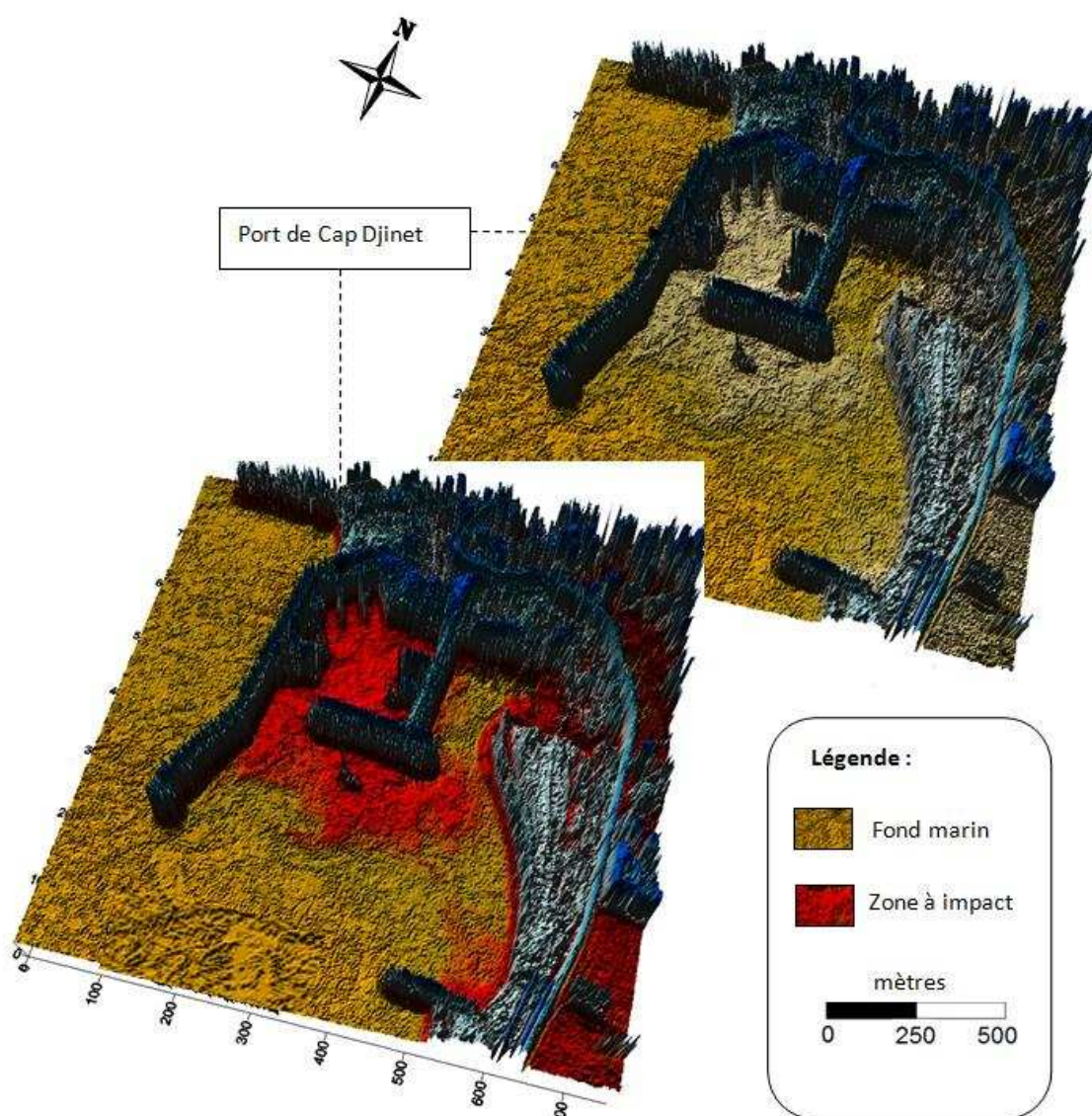


Figure n°7.3 : localisation des zones à impact (ensablement, érosion et accrétion) dans la région de Cap Djinet, 2014.

Analyse et commentaire :

Les résultats ont permis de détecter un impact considérable sur deux zones en particulier :

Le port : l'impact se traduit par un ensablement massif notamment vers la passe d'entrée ainsi que les bassins d'accostage.

La plage adjacente : l'impact se présente par un engraissement découlant de la formation d'un tombolo, à l'inverse il traduit une érosion au pied de l'épi récemment installé.

Il est à signaler que la zone de l'épi Nord subit une évolution assez rapide en matière d'engraissement du fait qu'elle constitue un obstacle du transit sédimentaire (Photos 7.2/ 7.3).

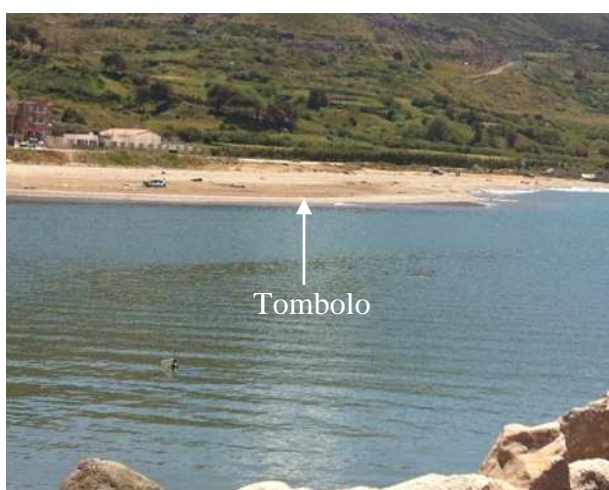


Photo n°7.2 : Apparition d'un tombolo au niveau de la plage Ouest.



Photo n°7.3 : Accumulation massive du sable au niveau de l'épi Nord.

VII. 3 Évolution du trait de cote

L'érosion côtière se définit comme étant une perte graduelle de matériaux qui provoque le recul de la ligne de rivage.

Il s'agit d'un phénomène naturel qui a contribué tout au long de l'histoire géologique, à façonner le littoral. Il est lié à plusieurs processus qui interagissent entre eux. Le littoral s'adapte en permanence à l'action simultanée de ces différents processus.

Sur les côtes sableuses, la dynamique littorale résulte de l'ensemble des processus sédimentaires variables dans l'espace et dans le temps. Le déséquilibre dans le budget sédimentaire donne un aspect évolutif à une plage, ce qui entraîne des modifications dans la configuration de la côte.

VII. 3.1 Variation de la ligne de rivage

La digitalisation de la ligne du rivage sur les images satellitaires a permis la superposition des tracés des 2003, 2009 et 2014 ; le résultat présente une évolution rapide et très prononcée dans la zone :

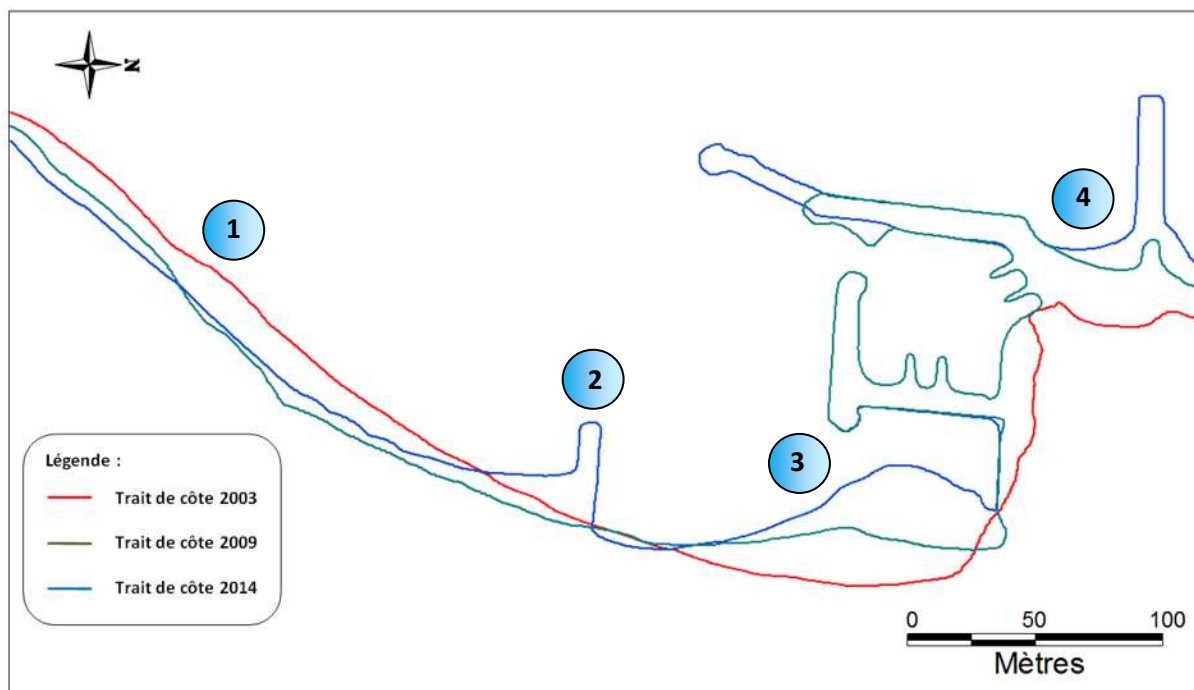


Figure n°7.4 : Évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet durant les années 2003/2009/2014.

Analyse et commentaire :

La carte montre quatre (4) secteurs avec une dynamique variable à savoir :

Le secteur (1) : montre une érosion continue dans le temps et dans l'espace.

Le secteur (2) : montre une dynamique variable entre régression et transgression de la ligne de rivage, assez rapide, due à l'implantation de l'épi sud.

Le secteur (3, 4) : montrent une évolution due à la formation d'un tombolo dans le secteur 3 et à l'engraissement de la plage en poche dans le secteur 4 dû à l'implantation de l'épi Nord.

VII. 3.2 Évaluation du taux d'évolution de la ligne de rivage

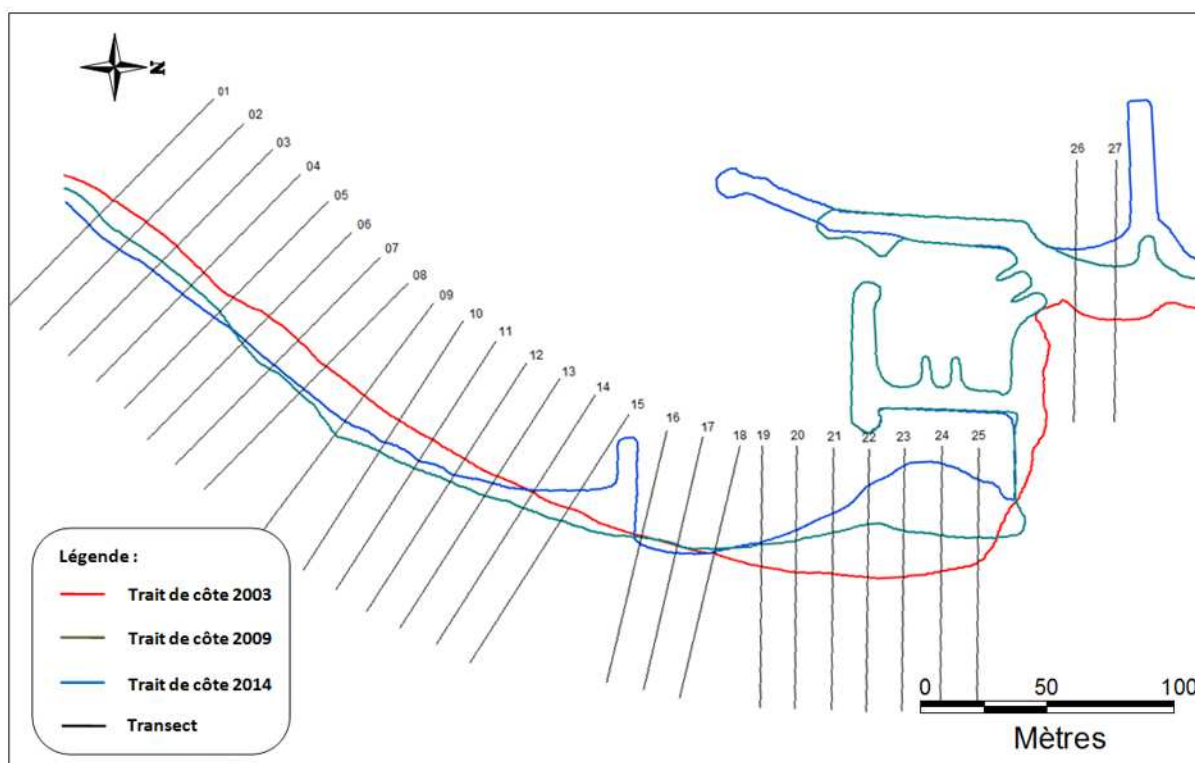


Figure n°7.5 : Évaluation de la variabilité de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet.

L'évaluation du taux de la variabilité du trait de côte a été réalisée à l'aide du logiciel Mapinfo ; le principe consiste à tracer des transects virtuels à partir desquels une évaluation métrique peut être effectuée ; les résultats (Annexe n°10) sont présentés comme suit :

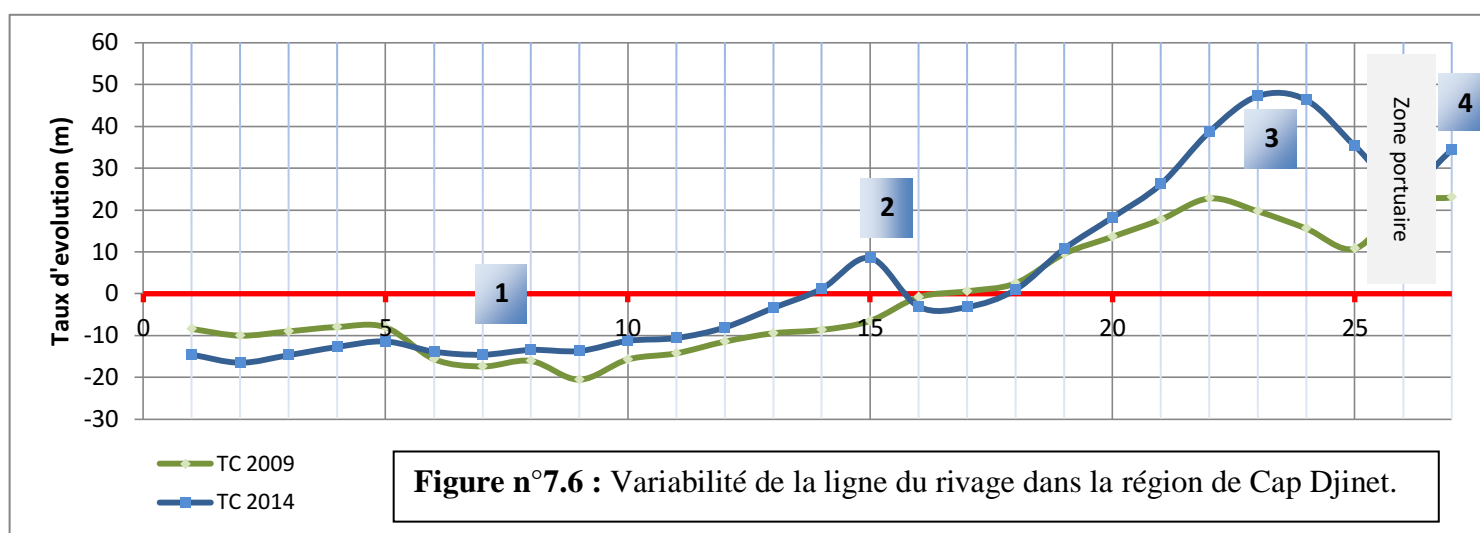


Figure n°7.6 : Variabilité de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet.

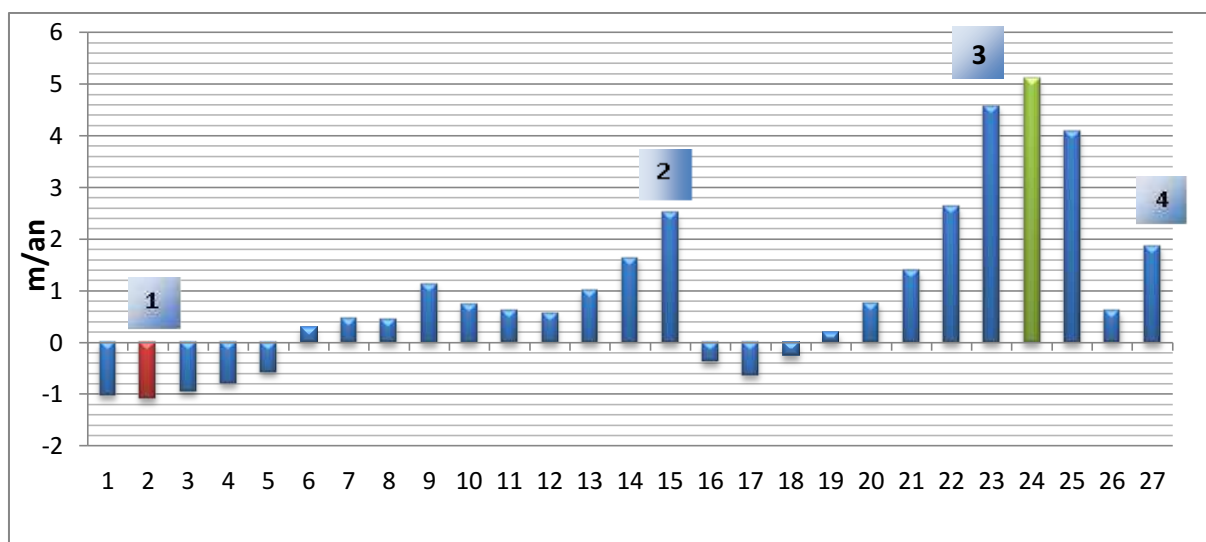


Figure n°7.7 : Vitesse d'évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet dans la Période 2009-2014

Commentaire :

Les résultats semblent concorder avec un pic de transgression qui équivaut les 47 mètres (2014) dans la zone de formation du tombolo, ainsi qu'un recul maximal de -20 mètres au niveau du transect n°9.

Les vitesses d'évolution calculées à partir du changement chronologique sur les profils virtuels tracés montrent une variabilité conforme aux résultats obtenus, et témoignent du changement rapide que subit le secteur de façon générale, les vitesses positives sur les zones correspondent à une forme d'accession ; on observe donc un pic de plus de 5 m/an au niveau de la zone à tombolo(3), de même, les vitesses négatives correspondent à des formes d'érosion. Un pic est relevé sur le second profil avec une valeur de plus de 1m/an zone (1).

VII.4 Conclusion sur l'évolution de la morphologie sous-marine et la variabilité de la ligne de rivage

L'étude de la morphologie sous-marine et la ligne de rivage montre une évolution nette et réelle constatée sur site. Les aménagements entrepris dans la zone semblent donner un résultat positif à court terme et dans des secteurs bien définis, néanmoins, la zone étant dépendante de plusieurs facteurs, notamment l'activité hydro-sédimentaire ; une nécessité de surveillance continue au niveau du trait de côte, des profils aériens et sous-marins se révèle indispensable pour la compréhension des différents phénomènes.

VII.5 Recommandation des ouvrages de protection

Il est de tradition de confier à des ingénieurs la protection des littoraux contre l'attaque de la mer. Cette agression est vue par eux comme un défi de la nature qu'il convient de relever en fortifiant les rivages. Aux états unis, c'est un corps d'ingénieurs de l'armée qui est chargé de la défense des côtes et, dans un texte publié en 1964 par cet organisme, il est significatif de lire que « la campagne contre la mer doit être menée avec autant de détermination que celle qui pourrait être conduite contre tout autre ennemi menaçant une frontière ». Les ingénieurs dimensionnent et positionnent des ouvrages qui réussissent souvent à mettre à l'abri des aménagements menacés par les vagues, mais en général ils se préoccupent peu des effets induits qui risquent de perturber irrémédiablement les équilibres dynamiques précaires des milieux côtiers et donc de dégrader l'environnement de façon irréversible. (Paskoff, 1992).

La zone de Cap Djinet connaît une forte perturbation dans la dynamique et la distribution du sédiment après l'installation de la structure portuaire, de ce fait, il est possible d'envisager la mise en place d'ouvrages solides qui auront pour action le maintien du trait de côte ou la modification de l'évolution de sa configuration géométrique. Ces techniques de protection regroupent :

- Les ouvrages longitudinaux, qui visent à fixer le trait de côte, constitués le plus souvent de pierres maçonnées et d'enrochements
- Les ouvrages transversaux, qui favorisent la retenue des sédiments, tels que les épis, les structures en géotextiles, ou les brise-lames.

VII.5.1 Les ouvrages longitudinaux

Construits parfois au pied des falaises, plus souvent sur le haut des plages, murs de protection et cordons d'enrochement viennent à contenir l'attaque frontale de la houle et à arrêter l'avancée de la mer.

Ce type d'ouvrage, bien qu'il assure une protection immédiate des infrastructures côtières, porte atteinte à la plage, par la présence d'une paroi quasi verticale qui augmente la réflexion de la houle. Les éléments mis en suspension au large de l'ouvrage sont éloignés par les courants et le phénomène d'érosion est accentué, ce qui provoque, à terme, le creusement des fonds et l'usure de la base des ouvrages, avec risque d'effondrement et nécessité de travaux d'entretien coûteux.

De plus, ce type de construction risque d'étendre, par diffraction, le phénomène d'érosion aux deux extrémités de la plage. (Ramoge, 2002)

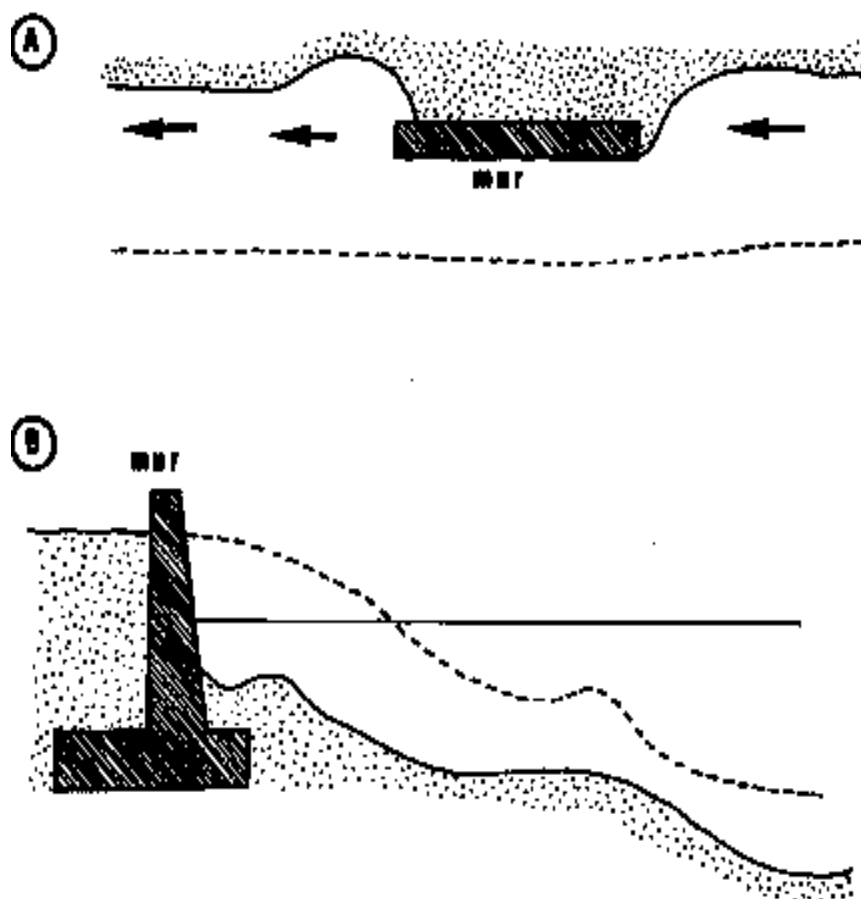


Figure n°7.7 : Effet d'un mur de protection sur une plage (Paskoff, 1992)

- A- Le trait de côte interrompu marque la position du trait de côte à l'origine. Les flèches indiquent le sens de la dérive littorale dominante. On constate que le mur n'a pas arrêté le recul de la plage. En aggravant l'érosion au-delà de ce mur, dans le sens de l'écoulement de la dérive, il appelle la construction d'un autre.
- B- Le trait de côte interrompu matérialise le profil transversal de la plage avant la construction du mur. Celui-ci n'a pas jugulé le démaigrissement de la plage. Il a même contribué à l'accélérer.

VII.5.2 Les ouvrages transversaux

a- Les épis

Les épis sont des ouvrages de défense transversaux par rapport au trait de côte, ils constituent des obstacles, généralement perpendiculaires au rivage. Parfois oblique lorsque l'incidence des houles dominantes est forte, qui ont pour but de retenir une partie de la charge sédimentaire véhiculée par la dérive littorale en freinant ce courant. Ils permettent d'élargir une plage ou de la stabiliser si elle est en état de recul.

L'espacement entre les épis représente un paramètre important. S'ils sont trop rapprochés, le matériel transporté par la dérive littorale risque d'être dévié vers le large. S'ils sont trop écartés, ils peuvent être déchaussés. Dans la pratique, l'écartement adopté correspond souvent à une distance égale à une fois et demie la longueur des épis.

Une accumulation se fait à la base de l'obstacle du côté amont dans le sens de la dérive, une érosion se manifeste du côté aval. La construction d'un épi appelle inexorablement la construction d'un autre épi.

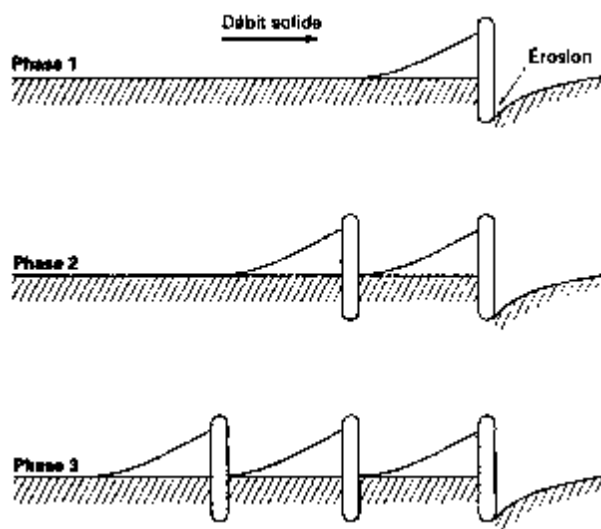


Figure n°7.8 : Mode de mis en place des épis (Camidane, 1996)

b- Les brises lames

Les brise-lames sont des ouvrages mis en place en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé. Ils ont pour but d'atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent.

Leur hauteur, leur longueur, leur largeur, leur positionnement par rapport au rivage dépendent des caractéristiques des houles de mauvais temps, des profondeurs de l'avant-côte.

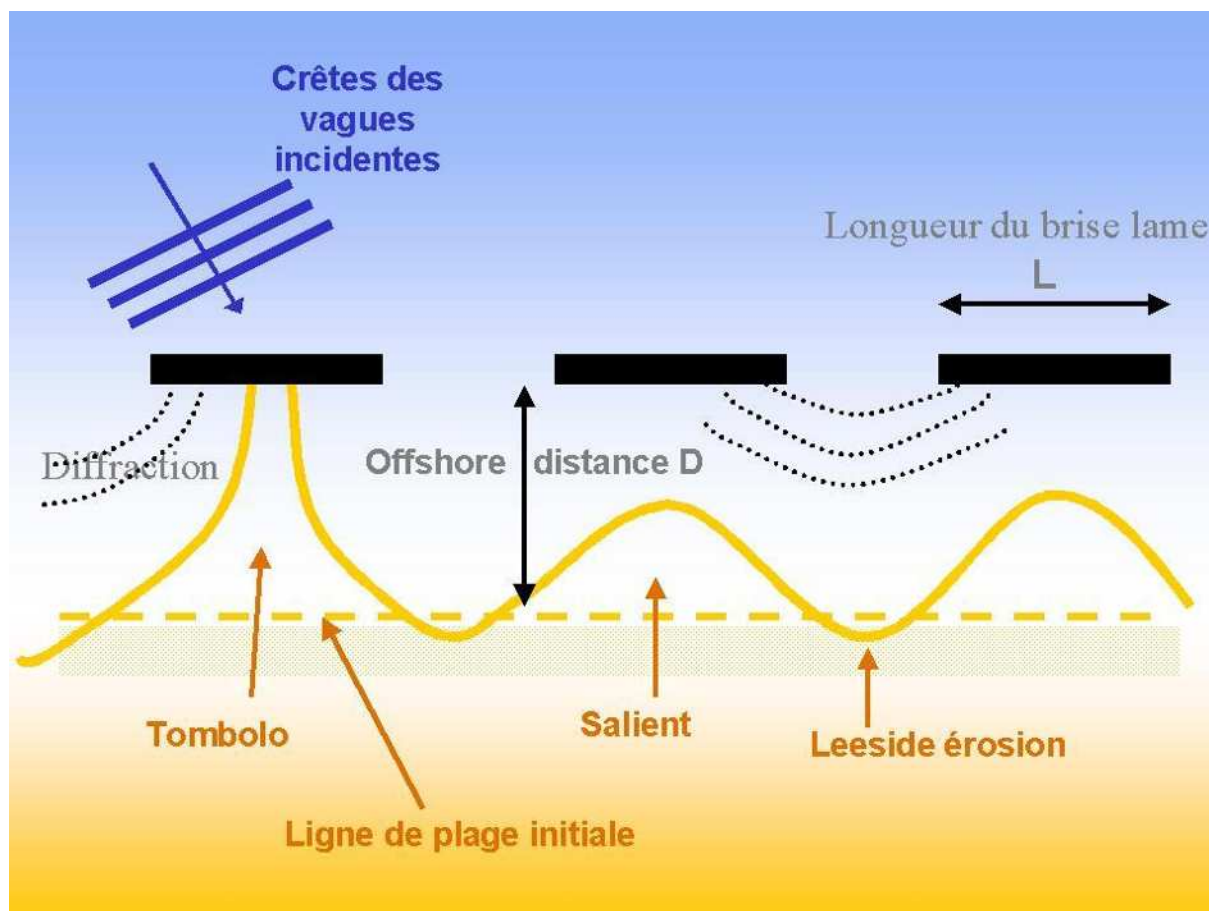


Figure n°7.9 : Impacts des brise-lames sur la ligne du rivage.

La construction de brise-lames sur une côte pose des problèmes. En accroissant la sédimentation dans la zone d'ombre qu'ils créent, ils provoquent dans le secteur immédiatement adjacent à l'aval, dans le sens de la dérive littorale dominante, un déficit en matériaux qui induit ou accentue des phénomènes d'érosion contre lesquels il faudra bientôt lutter si des aménagements sont menacés.

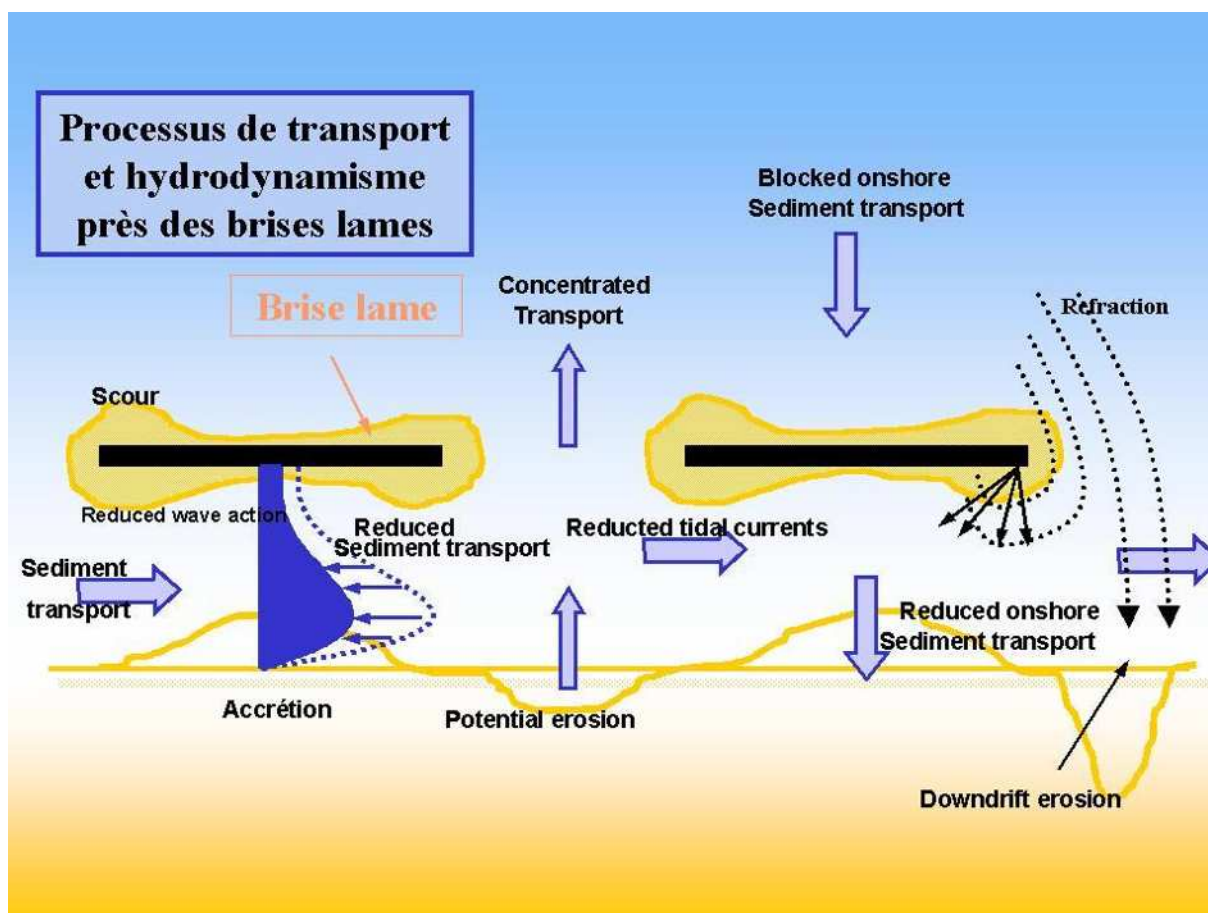


Figure n°7.10 : Impact des brise-lames sur les processus hydrodynamiques

En résumé, l'implantation d'un ouvrage sur le littoral ou une modification de la côte perturbe les conditions de déplacement ou l'équilibre naturel des matériaux. Les fonds et le rivage évoluent de façon à atteindre un état d'équilibre correspondant à la nouvelle situation. Il est donc nécessaire de prévoir l'effet d'un ouvrage nouveau sur le régime d'une côte. (Maquet, 1978).

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Le Cap Djinet, exemple type où l'on voit une importante frange sablonneuse ourlée le pied d'un massif (Djenet), formant un saillant du littoral. L'implantation d'un port dans cette zone où les transports sédimentaires sont très intenses, a laissé l'optimisation de l'orientation de la passe d'entrée du port sans efficacité face à la pénétration des sédiments. Ce processus engendre en même temps une érosion très rapide à l'aval.

L'étude bathymétrique a révélé une morphologie particulière caractérisée par des profils ayant des barres sous marines disposées parallèlement à la côte dans les hauts fonds, susceptibles d'influencer l'évolution hydrodynamique ainsi que les menaces d'ensablement sur le port.

La modélisation numérique de la réfraction de la houle démontre que la houle de secteur Ouest est la plus menaçante sur la zone, responsable du transit littoral, elle doit être prise en considération dans tout dimensionnement qui concerne la zone.

L'étude courantologique a été un complément non négligeable dans notre étude notamment dans le volet de la dynamique sédimentaire. Elle dénote que les flux dominants sont surtout des secteurs Nord-Est (NE) et Sud-Ouest (SW).

L'étude sédimentaire indique l'existence d'un stock très dynamique, aussi le mécanisme du transport responsable de la mise en place et la distribution de ce stock est principalement la houle et les courants de dérive.

La modélisation du transport sédimentaire par le model GSTA « Grain Size Trend Analysis » dans la zone a donné des résultats satisfaisants, qui semblent concorder avec les résultats obtenus au cours de notre étude notamment dans l'étude courantologique, ces résultats ont été confirmé dans la quantification de ce transport sédimentaire.

Notre étude nous a permis de constater que la diversité des facteurs à l'origine des phénomènes auxquels fait face le littoral de Cap Djinet le rendait sensible à toutes autres interventions qui très souvent ne représentent que des solutions temporaires à un problème d'ordre régional.

Il est à rappeler que l'ensablement et/ou l'érosion sont souvent des phénomènes naturels liés aux effets météorologiques, hydrodynamiques et hydro-sédimentaires. Ces phénomènes sont toutefois accélérés par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage.

Références bibliographique

Akziz, D. & Kahouadji, H. ,2011. Dynamique sédimentaire et ensablement du port de Cap Djinet. *Mémoire de Master 2, USTHB*. Alger, p 19-21.

Bagnold, R.A. 1973.The nature of saltation and « bed-load » transport in water, *in proceeding of the royal society*, London, p 473-504.

Belkessa, R. 1991. Évolution 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 (ISMAL), Alger, 162 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.

Boutiba, M. 1996. Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). *Thèse de magister*, ISMAL, Alger, p122-123.

Boutiba, M. 2005. Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua. Impacts des activités anthropiques. *Rapport de synthèse*, MATE.

Camidane, D. 1996. Ouvrages de protection des côtes, *Edit Technique de l'ingénieur*, university du Havre. France. 9p.

Chamley, H. 1987. Sédimentologie. *Edit Dunod*, Paris, 175 p.

Chauchat, J. 2007. Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens. *Thèse de doctorat*, Université de CAEN, Basse-Normandie.

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.

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.

Desmazes, F. 2005. Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte Aquitaine- Exemple de la plage du Truc Vert. *Thèse de doctorat*. Université de Bordeaux I. Bordeaux. 78 p.

Garlan, T., Souffez, J.M., Mauget, R., Mazé, J.P. et Leballeur, L. 2011. A system of models and data base for short term beach processes –ECORS simulator. *Journal of Coastal Research, Special Issue 64, ICS 2011*.

Gao, S., Collins, M. 1991. A critique of the "McLaren method" for defining sediment. *Journal of Sedimentary Petrology, Bretagne*, 61p, p143-146.

Gao, S., Collins, M. 1992. Net sediment transport patterns inferred from grain-size. *Sedimentary Geology, Bretagne*, 80p, p47-60.

Gao, S., Collins, M. 1994a. Analysis of grain-size trends for defining sediment transport. *Journal of Coastal Research, Bretagne*, 10p, p70-78.

Gao, S., Collins, M. 1994b. Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"-reply. *Sedimentary Geology*. 90p, p 157-159.

Gao, S. 1996. A Fortran program for grain-size analysis to define net sediment transport. *Artl. Computers and Geosciences* , 22p (4), p 449-452.

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, France*. 24p (3), p 695–707.

Jaud, M. 2011. Techniques d'observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale. *Artl Earth Sciences. Université de Bretagne occidentale*. Brest. France. 31p.

Layoune, A. & Tiguercha, D. 2011. Application de la modélisation numérique pour l'étude de l'ensablement du port de cap Djinet. *Mémoire d'ingénieur*, p 6-11, 62 p.

LEM. 2009. Etude d'aménagement d'un port de pêche et de plaisance à cap Djinet: Etude d'ensablement du port. *Laboratoire d'Etudes Maritimes*, Alger, 46 p.

Losson, B., et Corbonnois, J. 2006. Les modes de sédimentation détritique: nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *GeologicaBelgica*, Belgique, 9p, p 257-265.

Maquet, J.F. 1978. Protection du littoral, *Edit Technique de l'ingénieur*. France. 6p

McLaren, P. 1981. An interpretation of trends in grain size. *Journal of Sedimentary Petrology*, Canada. 51 p, p 611-624.

McLaren, P., & Bowles, D. 1985 .The effect of sediment transport on grain-size distribution. *Journal of Sedimentary Petrology, Pacific Geoscience Centre*. Canada, 55p, p 457-470.

Météo France. 1989-2008 : Direction de la production, services climatologie. Données publiques de météo-France.

MEDATLAS. 1999-2004: European Directory of Marine Environmental Data. Zone Algérienne.

Mezouar, K. 2009. Étude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. *Thèse de Doctorat*, Université technique de construction de Bucarest, Bucarest, 404 p.

Millot, C., Taupier-Letage, I. et Benzohra, M. 1990 . The Algerian eddies. *Earth Scienc Reviews, Volume 27, Issue 3*, Marseille. 27 p, p 203-219.

Mouhoubi, N.I. 2012 . Modélisation du transit sédimentaire sur la plage de Sidi Ghiles par la méthode de L.C.H.F , *Mémoire de Master 2*, ENSSMAL, Alger, p 5-8.

Nwogu, O., et Demirbilek, Z. 2001. 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.

PAC. 2005: Programme d'Aménagement Côtier : Zone côtière algéroise. *Rapport final intégré. MATE*.

Paskoff, R. 1992. Côte en danger, *Ed. Masson*, Paris , 80 p.

Paskoff, R. 1993. Côtes en danger, *Ed Masson*, Paris, 250 p.

Paskoff, R. 2001. L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, *Ed Masson*, Paris, 130p.

Ramoge, .2002. La défense des plages contre l'érosion dans la zone ramoge, *Guide à l'attention des maîtres d'ouvrages : Réflexion sur l'érosion du trait de côte*, France, p 8-10.

Tassan,S. & Sturm, B. 1986. An algorithm for the retrieval of sediment content in turbid coastal waters from CZCS data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 7, n°5, United Kingdom. p 643-655.

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. Lille. 82p.

Verrey, R. 2006. Processus de contrôle de la dynamique des sédiments cohésifs. *PhD thesis*. Université de Rouen, France, p13-20.

Wentroth,C.K. 1992. A scale of grade and class terms for clastic sediment. *Journal of geology*, 30 p, p377-392.

Wright, L. D. & Short, A. D. 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones And Beaches: *A Synthesis. Marine Geology* , U.S.A, 56p, p93-118.

Wright, L.D., Nielsen, P., Shi, N.C. & List, J.H. 1986. Morphodynamics of a bar-trough surf zone, *Mar. Geol., Department of Coastal and Oceanographic Engineering*, University of Florida, Gainesville, FL 32611, U.S.A, 70p, p 251-285.

Annexes

Données météorologiques

Station : DELLYS AFIR Période : 2000- 2010
 Altitude : 8 m - Latitude : 36°55 N - Longitude : 03°57 E

Précipitations : Cumuls mensuels des précipitations (en mm).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	32,6	7,1	17,5	33,5	22,4	18,7	2,4	1	48	69,2	77,5	49,2	378,2
2001	0	0	0	0	0	0	0	0	36,2	0	223	75,6	0
2002	56,2	18,4	55,1	40,1	16,9	4,9	7,7	27,6	38,9	29,8	170,6	180	646,2
2003	228,7	90,2	43,7	105,4	15,9	0	3,3	4	55,9	53,9	55,9	105,5	758,8
2004	141,1	62,6	108,6	108,6	66,9	156	25,6	3	25,2	15,4	50,8	95,6	164,2
2005	100,3	117,9	59,7	56,3	4,2	0	1	0,3	75,4	58,5	127,8	121,7	723,1
2006	102,1	176,3	28,7	6,3	88,3	1,1	2	6,2	35,3	50,9	4,2	261,5	761,1
2007	26,3	35,4	164,6	163,3	24,9	9,1	2,5	10,8	41,1	226,2	418,4	113,4	1236
2008	7,4	12,2	94,1	30,4	66	11,6	9,4	3	72,3	47,9	197	135,9	684,5
2009	123,1	23,4	91,5	73,4	76	0	0	4,5	120,9	92,3	113	131,7	849,8
2010	77,7	51,1	87,8	54,3	24,9	19,1	1,3	13,6	64	129,4	121,2	83,1	727,5

Précipitations : Nombre de jours de pluies.

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	8	2	3	7	8	3	2	1	5	7	10	9	65
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	9	0	12	10	-99
2002	7	6	7	11	4	1	1	5	4	8	16	14	84
2003	24	20	7	11	6	0	2	1	6	13	13	17	120
2004	9	10	13	11	10	2	1	3	6	7	11	19	102
2005	12	19	8	6	5	0	2	1	8	10	14	15	100
2006	18	13	6	5	7	3	1	3	7	5	4	19	91
2007	8	12	14	16	7	2	2	7	9	14	16	16	123
2008	7	5	11	6	10	5	6	2	12	15	17	16	112
2009	20	13	10	15	5	0	0	5	12	9	9	11	109
2010	19	15	13	10	11	5	2	4	7	14	24	13	137

Températures : Moyenne mensuelle des températures moyennes (en °C).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	11,2	13,3	14,1	16,9	19,3	21,1	25,2	25,8	23,6	19,5	16,9	15,2	18,5
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	22,4	23,1	15,5	12,3	18,3
2002	12,6	13,2	14,7	15,6	18,2	21,5	23	24,2	23,1	20,5	17,3	15,4	18,3
2003	12,5	11,4	14,3	15,8	17,6	23,7	26,6	27,4	23,8	21,3	17,4	13,3	18,8
2004	13,2	13,4	13,7	15,1	16,5	21	23,4	26,2	23,8	23,1	15,2	13,7	18,2
2005	10,4	10,1	13,4	15,8	19,1	22,2	24,8	25	23	21,1	15,6	12,5	17,8
2006	11,3	11,9	14,6	17,6	19,3	21,3	24,7	24,5	23,2	22	19	14,1	18,7
2007	13,8	14,7	13,8	15,8	19,4	21,9	23,7	25,4	22,6	20,3	15,7	13,1	18,4
2008	13,2	13,9	14,1	16,9	18,3	21	24,9	24,8	24,1	20,5	15,3	12,2	18,3
2009	12,4	11,9	12,9	15,2	19,4	22	26,1	25,5	22,7	20	17,9	15,2	18,5
2010	12,8	14,2	14,5	15,6	17,6	20,6	23,8	23,7	22,7	20	15,8	14,1	18

Températures : Moyenne mensuelle des températures minimales (en °C).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	7,5	9,7	10,5	13,1	16,3	18,1	21,5	22,1	20,4	16,2	13,2	11,4	15
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	19,6	19,1	12,4	8,8	15
2002	9,3	9,7	11,2	12	14,7	18,2	20,1	20,9	19,7	16,9	13,7	12,2	14,9
2003	9,7	8,4	10,8	12,6	14,5	20,1	23,5	24,1	20,6	18,2	14,1	10	15,6
2004	9,7	9,8	10,6	11,5	13,4	17,9	20,4	22,5	20,3	18,8	11,9	10,7	14,8
2005	6,6	6,8	10,1	12,2	15,3	18,5	21,3	21,3	18,8	17,2	11,9	9	14,1
2006	7,7	8	10,3	13,2	16,4	17,4	20,7	20,8	19,2	17,9	14,9	10,7	14,8
2007	9,8	10,8	9,9	12,7	15,2	18,6	20,1	21,6	19	17	11,8	9,6	14,7
2008	9	9,3	10	12,3	15	17,3	21,2	21,1	20,2	16,7	11,4	8,5	14,3
2009	9,1	7,7	8,9	11,3	14,9	17,9	21,9	21,8	18,9	15,6	13,6	10,9	14,4
2010	9,2	10	10,5	12,1	13,3	16,5	20	20,1	18,7	15,6	12,2	9,7	14

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	14,8	16,9	17,7	20,6	22,2	24,1	28,8	29,4	26,9	22,9	20,6	19,1	22
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	25,1	27,1	18,7	15,8	21,7
2002	15,9	16,7	18,2	19,3	21,7	24,8	25,9	27,5	26,5	24	20,9	18,6	21,7
2003	15,4	14,4	17,7	19	20,6	27,2	29,7	30,7	27,1	24,4	20,7	16,5	22
2004	16,6	16,9	16,9	18,7	19,5	24,1	26,4	29,9	27,3	27,3	18,5	16,7	21,6
2005	14,3	13,5	16,7	19,4	22,8	25,9	28,3	28,7	27,1	25	19,4	16	21,5
2006	14,9	15,7	18,9	22	22,2	25,2	28,6	28,2	27,1	26,2	23	17,6	22,5
2007	17,8	18,5	17,6	18,8	23,7	25,3	27,3	29,2	26,2	23,6	19,5	16,6	22
2008	17,5	18,6	18,1	21,4	21,7	24,7	28,7	28,6	27,9	24,4	19,1	15,8	22,2
2009	15,6	16,1	17	19,1	23,9	26,2	30,3	29,3	26,5	24,3	22,3	19,6	22,6
2000	16,4	18,4	18,5	19,2	21,8	24,7	27,5	27,4	26,8	24,4	19,4	18,4	21,9

Températures : Moyenne mensuelle des températures maximales (en °C).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	7,1	7,7	8,3	14,2	10,7	9,6	11,4	9,9	9,8	9,4	11,2	10,8	10
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	11	9,3	6,9	6,9	8,7
2002	6,4	7,3	7,8	7,9	8	8,2	6,8	6,5	7	7	8,4	8,3	7,5
2003	9,2	7,2	7,2	7,7	7	6,7	7,2	6,5	6,9	7,1	6,8	8	7,3
2004	7,4	7,5	7,9	8,4	7,7	6,8	6,7	7	6	6,6	6,8	7,7	7,2
2005	7,5	8,2	9,5	10	9,5	7,8	8,6	7,9	7,8	7,9	8,4	8,8	8,5
2006	10,3	9,5	10,7	10,1	9,8	9,4	8,3	9,3	8,6	8	7,7	8,9	9,2
2007	8,4	11	10,7	9,8	9,6	10,4	10,4	9,8	10,6	10,1	9,8	8,5	9,9
2008	7,5	7,5	11,2	9,2	8,7	7,4	7,8	7,7	7,8	7,9	10,1	8,8	8,5
2009	10	9,4	8	6,9	5,5	6,8	7,8	7,5	7	6,6	7,6	9,5	7,7
2000	10,1	10,4	9,4	8,1	8,5	8,5	8,2	8,2	8	8,7	12,3	8,2	8,8

Vents : Moyenne mensuelle des vitesses du vent maximal (en m/s)

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Annuel
2000	2,7	2,3	2,4	4,6	2,8	3	3,4	2,7	2,7	2,6	4	4	3,1
2001	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	2,7	1,9	2,3	2,9	2,5
2002	2,6	3,4	3,3	3,2	3,1	2,9	2,5	2,2	2,4	2,5	3,4	3,7	2,9
2003	4,5	3,4	2,6	3,1	3	1,6	2,1	1,9	2,6	2,6	2,6	3,7	2,8
2004	3,3	3	3	3,5	2,9	2	2,2	2,3	1,9	2,1	2,6	3,6	2,7
2005	3,5	3,7	3,2	3,5	3	2,4	2,9	2,8	2,6	1,8	2,6	3,2	2,9
2006	3,3	3	3,6	2,9	2,9	2,2	2,1	3	2,6	2,5	3,2	3,6	2,9
2007	3,5	4,2	4,2	2,9	2,9	3,3	3,4	3	3,4	3,2	3,5	3,5	3,4
2008	3,2	2,6	4,5	3,6	2,9	2,5	2,6	2,5	2,7	2,5	3,5	2,8	3
2009	4,2	3,2	2,9	2,4	1,3	1,5	2,7	2,7	2,6	2,5	3,2	4,3	2,8
2000	4,3	3,8	3,6	2,9	3,2	3,2	2,8	2,7	3,2	3	3,5	3,3	3,3

Vents : Moyenne mensuelle des vitesses du vent maximal (en m/s)



Platier de Cap Djinet avant le séisme de mai 2003.



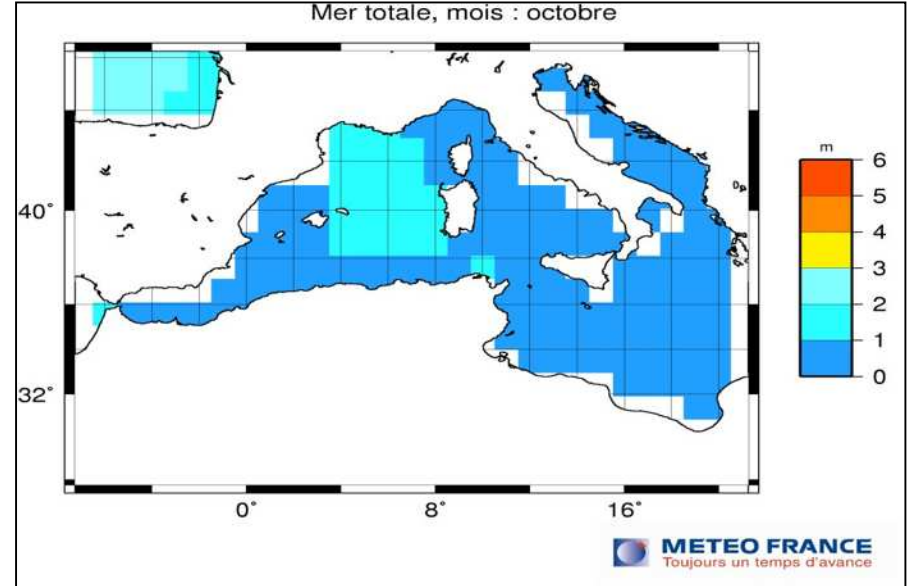
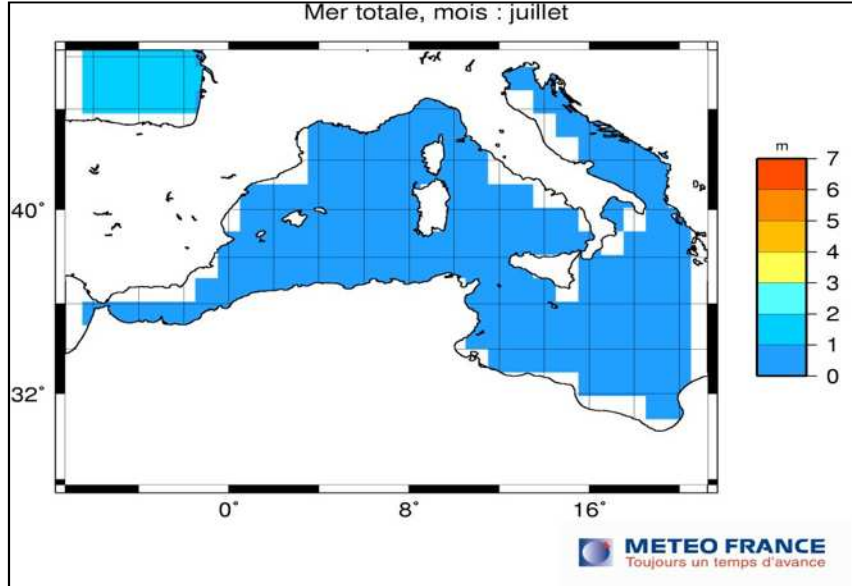
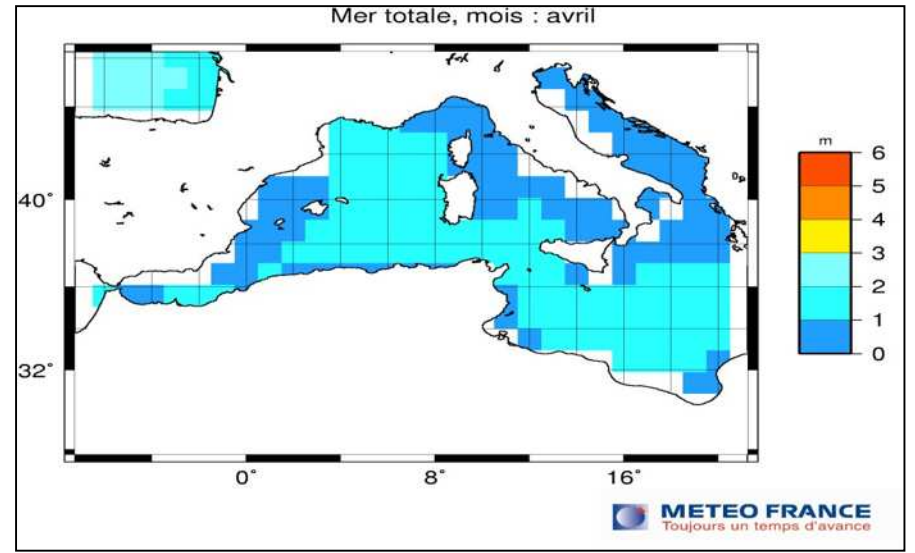
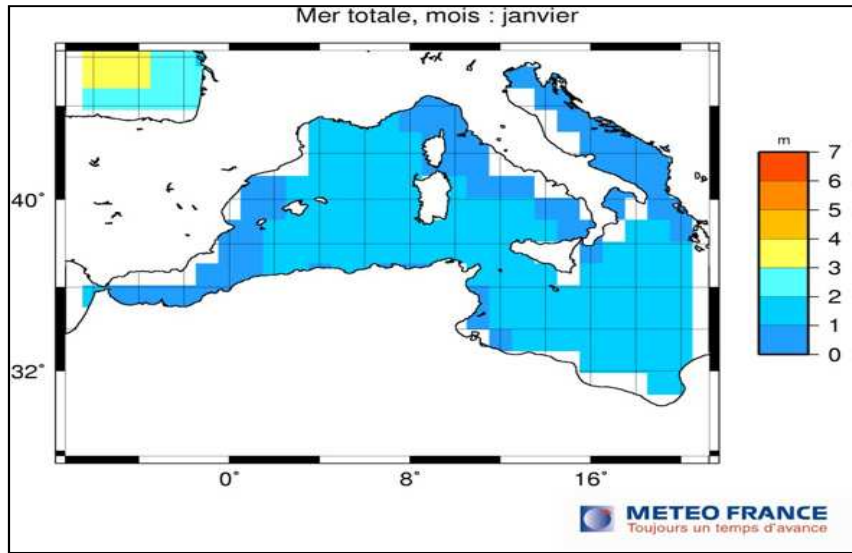
Même platier définitivement émergé lors du séisme.
(La couleur blanche correspond aux algues desséchées).



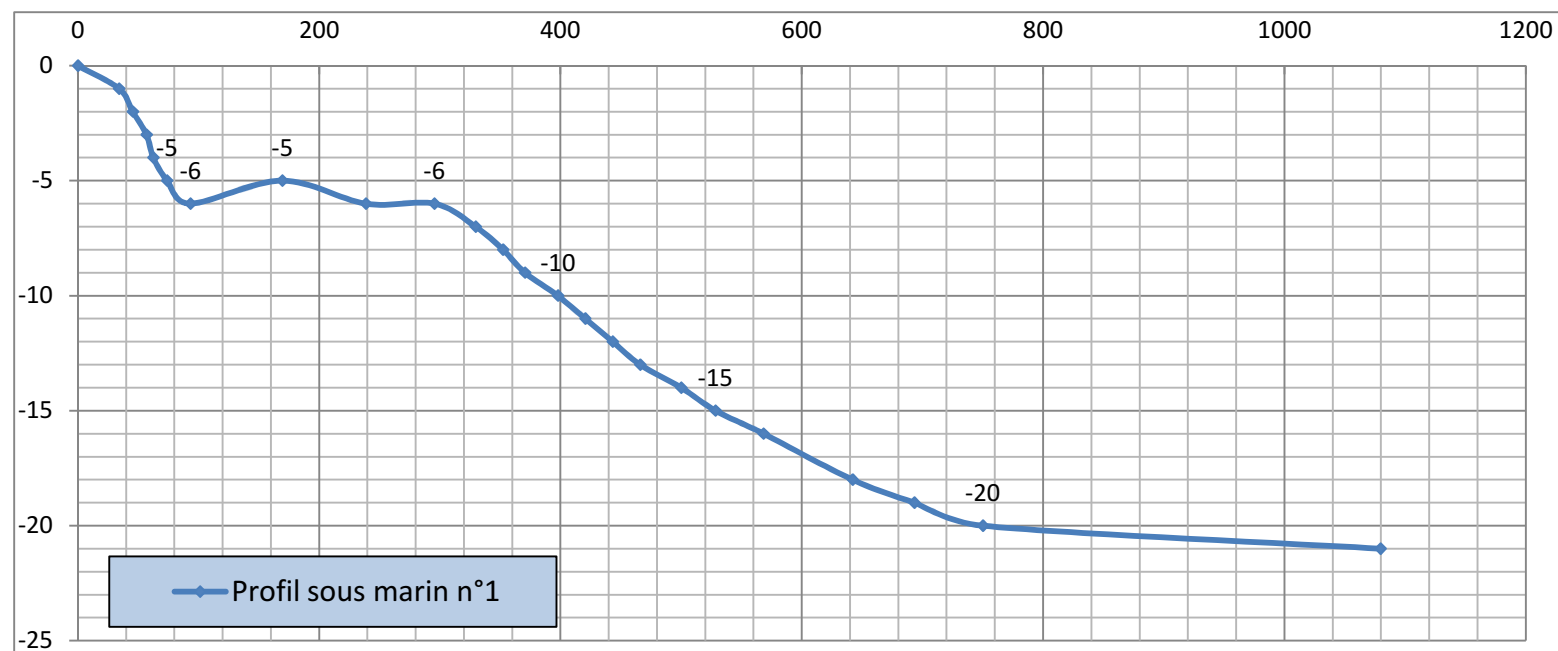
Le recul de la mer au moment du séisme.



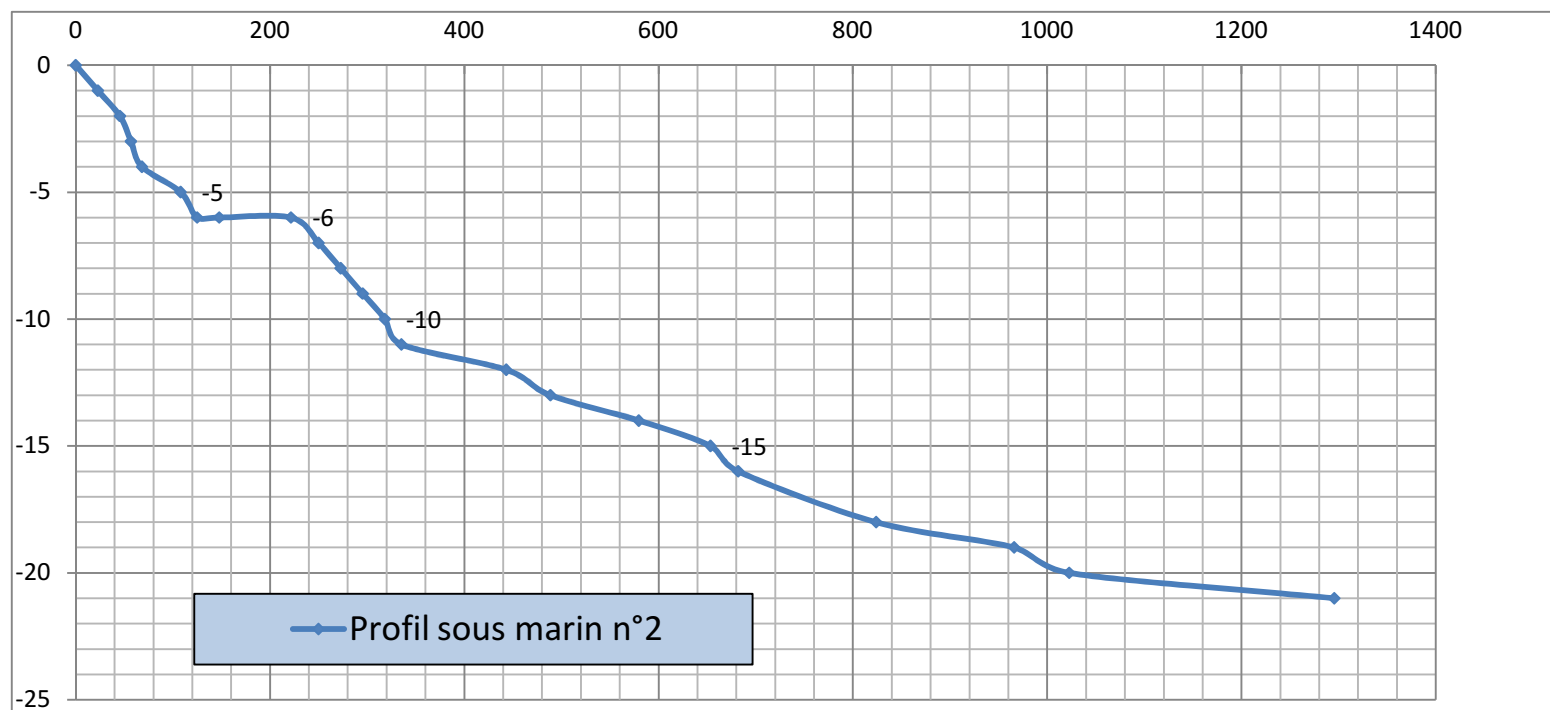
Le retour de la mer après le séisme.



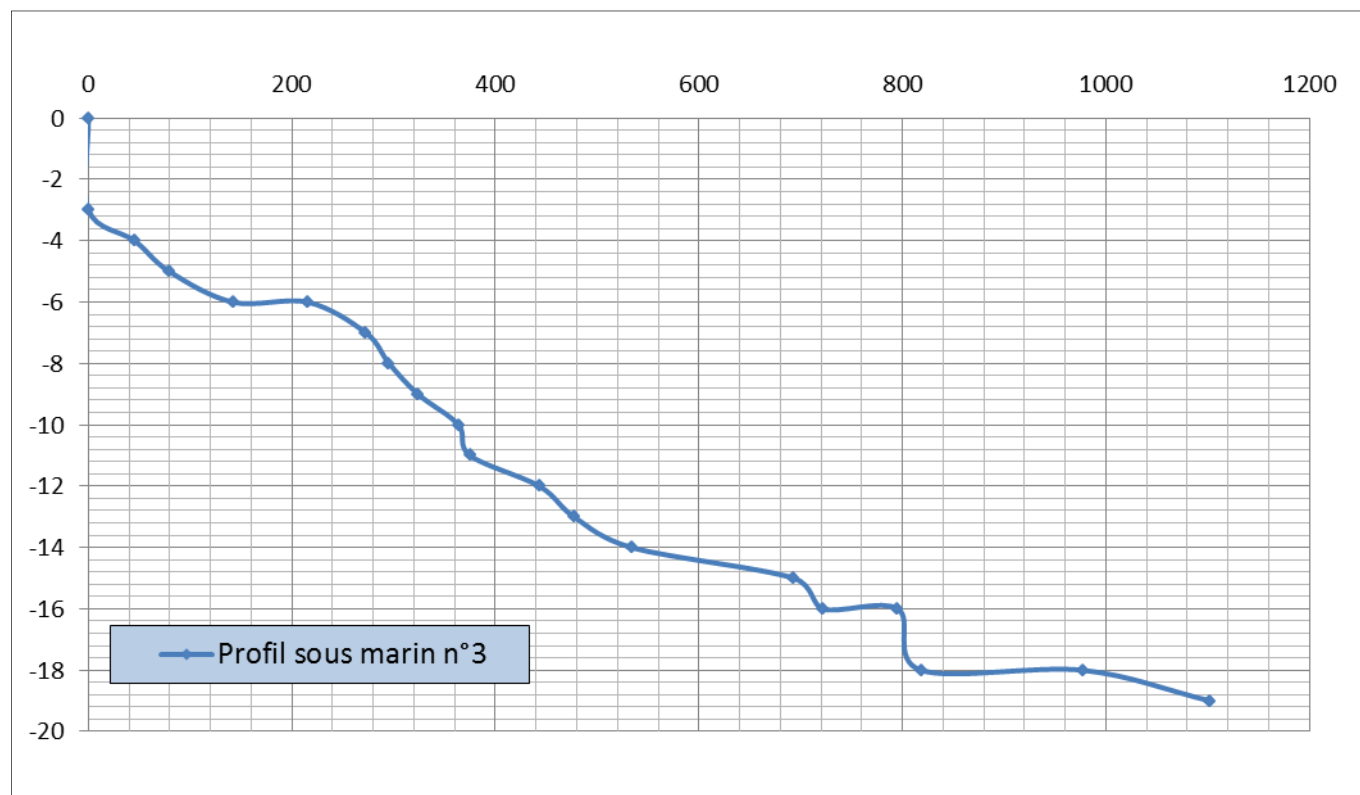
Profil sous-marin n° 1	
Distance (m)	Profondeur (m)
0	0
34,09090909	-1
45,45454545	-2
56,81818182	-3
62,5	-4
73,86363636	-5
93,18181818	-6
169,3181818	-5
238,6363636	-6
295,4545455	-6
329,5454545	-7
352,2727273	-8
370,4545455	-9
397,7272727	-10
420,4545455	-11
443,1818182	-12
465,9090909	-13
500	-14
528,4090909	-15
568,1818182	-16
642,0454545	-18
693,1818182	-19
750	-20
1079,545455	-21



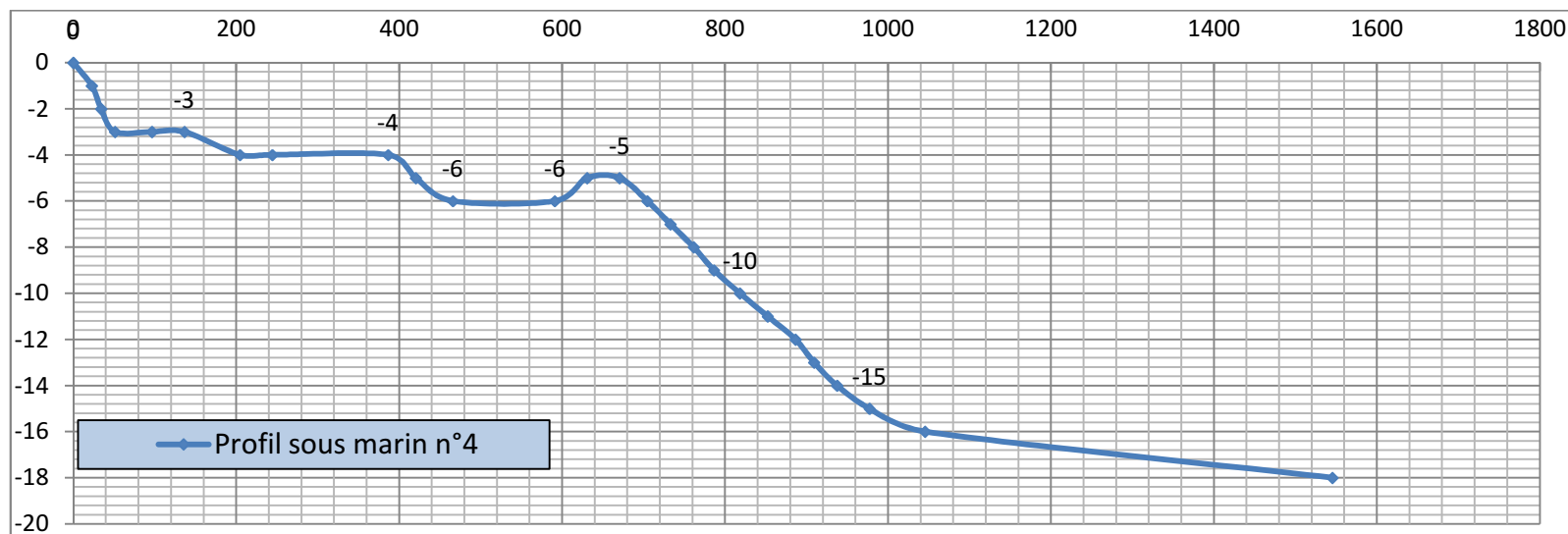
Profil sous-marin n°2	
Distance (m)	Profondeur (m)
0	0
22,72727273	-1
45,45454545	-2
56,81818182	-3
68,18181818	-4
107,9545455	-5
125	-6
147,7272727	-6
221,5909091	-6
250	-7
272,7272727	-8
295,4545455	-9
318,1818182	-10
335,2272727	-11
443,1818182	-12
488,6363636	-13
579,5454545	-14
653,4090909	-15
681,8181818	-16
823,8636364	-18
965,9090909	-19
1022,727273	-20
1295,454545	-21



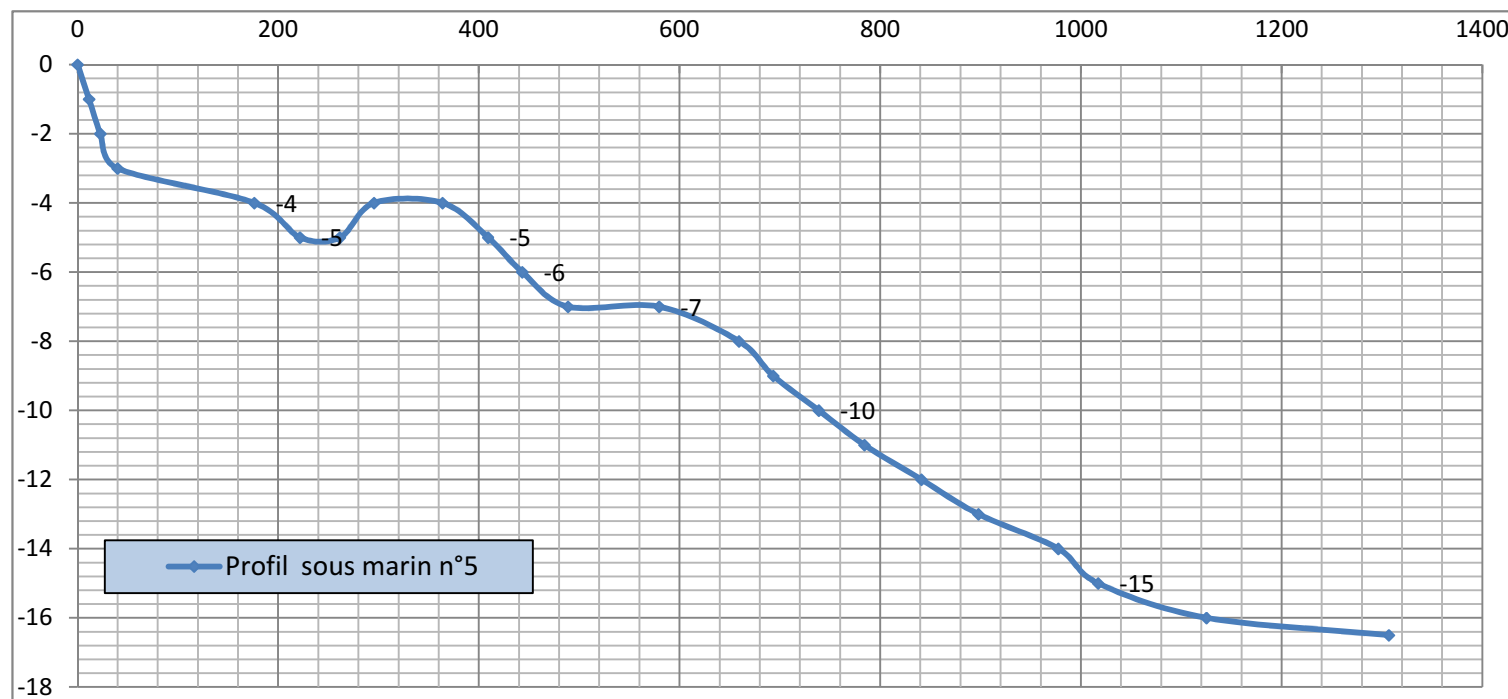
Profil sous-marin n°3	
distance (m)	profondeur (m)
0	0
0	-3
45,45454545	-4
79,54545455	-5
142,0454545	-6
215,9090909	-6
272,7272727	-7
295,4545455	-8
323,8636364	-9
363,6363636	-10
375	-11
443,1818182	-12
477,2727273	-13
534,0909091	-14
693,1818182	-15
721,5909091	-16
795,4545455	-16
818,1818182	-18
977,2727273	-18
1102,272727	-19



Profil sous-marin n°4	
distance (m)	profondeur (m)
0	0
22,72727273	-1
34,09090909	-2
51,13636364	-3
96,59090909	-3
136,3636364	-3
204,5454545	-4
244,3181818	-4
386,3636364	-4
420,4545455	-5
465,9090909	-6
590,9090909	-6
630,6818182	-5
670,4545455	-5
704,5454545	-6
732,9545455	-7
761,3636364	-8
786,3636364	-9
818,1818182	-10
852,2727273	-11
886,3636364	-12
909,0909091	-13
937,5	-14
977,2727273	-15
1045,454545	-16
1545,454545	-18



Profil sous-marin n°5	
distance (m)	profondeur (m)
0	0
11,36363636	-1
22,72727273	-2
39,77272727	-3
176,1363636	-4
221,5909091	-5
261,3636364	-5
295,4545455	-4
363,6363636	-4
409,0909091	-5
443,1818182	-6
488,6363636	-7
579,5454545	-7
659,0909091	-8
693,1818182	-9
738,6363636	-10
784,0909091	-11
840,9090909	-12
897,7272727	-13
977,2727273	-14
1017,045455	-15
1125	-16
1306,818182	-16,5



Profil sous-marin n°6	
distance (m)	profondeur (m)
0	0
22,72727273	-1
39,77272727	-2
79,54545455	-3
193,1818182	-4
250	-5
306,8181818	-4
352,2727273	-5
477,2727273	-5
522,7272727	-6
545,4545455	-7
579,5454545	-8
625	-9
681,8181818	-10
767,0454545	-11
840,9090909	-12
897,7272727	-13
965,9090909	-14
1022,727273	-15

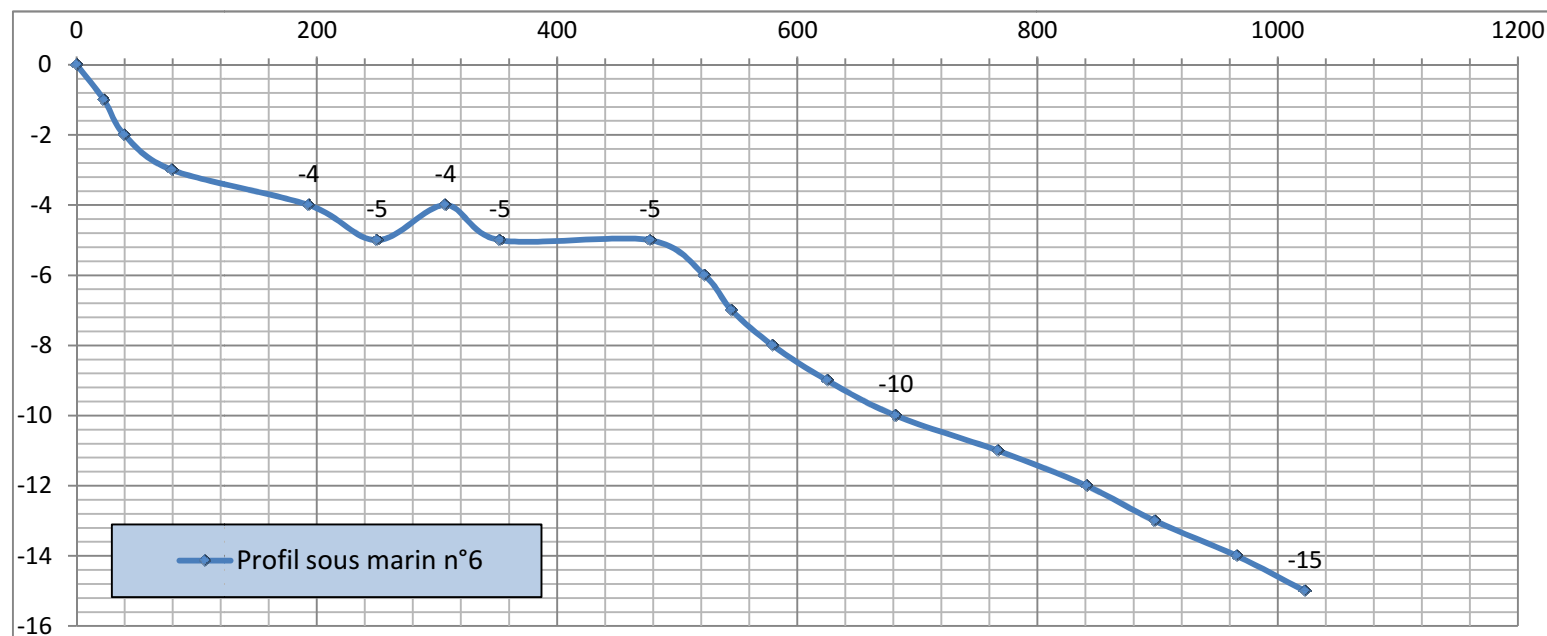


Tableau n°1 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 45°/6s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,43189	334	5,5807	6,229	-3,112
563946	4080756	0,31509	320	5,7938	6,229	-3,235
564679	4082291	0,17434	358	5,6893	6,229	-2,977
564491	4082240	0,24957	9	5,5398	6,229	-5,064
563587	4081498	0,51982	356	5,2898	6,229	-5,4378
563528	4080850	0,41449	344	5,4337	6,229	-5,0598
563451	4080526	0,42769	342	5,5526	6,229	-4,0681
563093	4080407	0,39298	350	5,1276	6,229	-5,0954
562726	4079895	0,32341	357	5,113	6,229	-9,059
563084	4080901	0,44111	357	5,0101	6,229	-8,03
563647	4081950	0,58631	19	4,9657	6,229	-10,4248
562198	4079887	0,35012	11	5,148	6,229	-11,0511
561788	4079904	0,39439	23	4,8432	6,229	-13,0838
561618	4080049	0,44844	29	4,678	6,229	-15,047
561882	4080765	0,56964	35	4,8282	6,229	-19,2459
562019	4081293	0,66695	41	4,8754	6,229	-26,1693
561371	4081259	0,55374	45	4,7579	6,229	-31,2933
561993	4081882	0,58813	43	4,846	6,229	-36,1952
562795	4082683	0,60641	30	4,9711	6,229	-41,0143
563025	4082206	0,84686	37	5,0121	6,229	-30,0002
563485	4082854	0,77241	42	5,0542	6,229	-30,0812
561541	4082121	0,42464	41	4,6558	6,229	-44,0254
562658	4080978	0,50872	18	4,9175	6,229	-14,2648
562581	4081532	0,71172	34	4,9407	6,229	-25,2296
562317	4082393	0,537	36	4,8802	6,229	-42,1295

Tableau n°2: Calcul de la réfraction de la houle du secteur 45°/8s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,1277	344	6,8849	7,8445	-3,1
563946	4080756	0,11179	324	6,9829	7,8445	-3,2
564679	4082291	0,24964	22	6,4247	7,8445	-3,0
564491	4082240	0,28953	27	6,1525	7,8445	-5,1
563587	4081498	0,20804	8	6,6141	7,8445	-5,4
563528	4080850	0,14873	353	6,9874	7,8445	-5,1
563451	4080526	0,14	351	6,9661	7,8445	-4,1
563093	4080407	0,10366	1	6,1439	7,8445	-5,1
562726	4079895	0,05973	5	6,0456	7,8445	-9,1
563084	4080901	0,09824	9	5,9303	7,8445	-8,0
563647	4081950	0,23693	35	5,6187	7,8445	-10,4
562198	4079887	0,07386	17	6,5385	7,8445	-11,1
561788	4079904	0,0742	27	6,2982	7,8445	-13,1
561618	4080049	0,07934	34	6,1236	7,8445	-15,0
561882	4080765	0,11346	46	5,6275	7,8445	-19,2
562019	4081293	0,16139	57	4,9108	7,8445	-26,2
561371	4081259	0,15921	62	5,0451	7,8445	-31,3
561993	4081882	0,19254	68	4,795	7,8445	-36,2
562795	4082683	0,20616	75	5,3986	7,8445	-41,0
563025	4082206	0,23647	65	5,0578	7,8445	-30,0
563485	4082854	0,23522	75	5,5521	7,8445	-30,1
561541	4082121	0,1959	74	5,1156	7,8445	-44,0
562658	4080978	0,10657	31	5,9204	7,8445	-14,3
562581	4081532	0,17509	54	5,0641	7,8445	-25,2
562317	4082393	0,20628	73	5,3004	7,8445	-42,1

Tableau n°3 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 45°/10s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,06886	290	6,5594	9,3742	-3,1
563946	4080756	0,07999	284	6,4203	9,3742	-3,2
564679	4082291	0,06033	296	6,4664	10	-3,0
564491	4082240	0,04843	290	6,4367	10	-5,1
563587	4081498	0,10293	287	5,8355	9,3742	-5,4
563528	4080850	0,08099	289	6,536	9,3742	-5,1
563451	4080526	0,07618	291	6,6918	9,3742	-4,1
563093	4080407	0,07657	291	7,0109	9,3742	-5,1
562726	4079895	0,07075	290	5,6655	9,3742	-9,1
563084	4080901	0,07272	292	6,6873	9,3742	-8,0
563647	4081950	0,08864	279	6,0944	9,3742	-10,4
562198	4079887	0,07286	291	5,643	9,3742	-11,1
561788	4079904	0,07645	291	5,6744	9,3742	-13,1
561618	4080049	0,0792	288	5,7634	9,3742	-15,0
561882	4080765	0,06447	289	6,7971	9,3742	-19,2
562019	4081293	0,07736	296	6,2861	9,3742	-26,2
561371	4081259	0,06057	314	6,5962	9,3742	-31,3
561993	4081882	0,1441	277	5,7788	9,3742	-36,2
562795	4082683	0,07971	265	6,8035	10	-41,0
563025	4082206	0,05995	271	5,714	10	-30,0
563485	4082854	0,06684	266	6,9153	10	-30,1
561541	4082121	0,12136	275	6,1673	9,3742	-44,0
562658	4080978	0,06639	296	6,7058	9,3742	-14,3
562581	4081532	0,10296	284	5,9494	9,3742	-25,2
562317	4082393	0,07618	266	6,0056	10	-42,1

Tableau n°4 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 315°/6s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,02518	284	4,0433	5,6664	-3,1
563946	4080756	0,03009	279	4,1903	6,229	-3,2
564679	4082291	0,02484	295	4,3036	6,229	-3,0
564491	4082240	0,01976	279	4,1125	6,229	-5,1
563587	4081498	0,04877	282	4,4034	6,229	-5,4
563528	4080850	0,0295	283	4,3056	6,229	-5,1
563451	4080526	0,02585	281	4,2389	6,229	-4,1
563093	4080407	0,02411	281	4,1601	6,229	-5,1
562726	4079895	0,03113	282	3,7505	5,6664	-9,1
563084	4080901	0,02474	285	4,3441	6,229	-8,0
563647	4081950	0,03942	277	4,7062	6,229	-10,4
562198	4079887	0,03236	283	3,7382	5,6664	-11,1
561788	4079904	0,03391	283	3,7482	5,6664	-13,1
561618	4080049	0,03489	280	3,8269	5,6664	-15,0
561882	4080765	0,02384	290	4,9502	5,6664	-19,2
562019	4081293	0,02881	292	4,2737	6,229	-26,2
561371	4081259	0,02401	313	5,1421	5,6664	-31,3
561993	4081882	0,06906	276	4,681	6,229	-36,2
562795	4082683	0,03048	265	4,9962	6,229	-41,0
563025	4082206	0,02821	268	4,2906	5,6664	-30,0
563485	4082854	0,02484	265	5,0265	6,229	-30,1
561541	4082121	0,0525	273	4,7196	6,229	-44,0
562658	4080978	0,02202	291	4,4178	6,229	-14,3
562581	4081532	0,04608	281	4,3343	6,229	-25,2
562317	4082393	0,0348	265	4,7482	6,229	-42,1

Tableau n°5 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 315°/8s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,05218	289	5,5478	7,8445	-3,1
563946	4080756	0,06451	283	5,7361	7,8445	-3,2
564679	4082291	0,04712	295	5,4877	7,8445	-3,0
564491	4082240	0,03735	286	5,2888	7,8445	-5,1
563587	4081498	0,08702	286	5,3191	7,8445	-5,4
563528	4080850	0,06472	288	5,8759	7,8445	-5,1
563451	4080526	0,05961	289	5,9857	7,8445	-4,1
563093	4080407	0,05822	288	6,0995	7,8445	-5,1
562726	4079895	0,05561	287	4,7227	7,8445	-9,1
563084	4080901	0,05687	290	6,0319	7,8445	-8,0
563647	4081950	0,07361	278	5,6977	7,8445	-10,4
562198	4079887	0,05698	289	4,6652	7,8445	-11,1
561788	4079904	0,05889	289	4,6282	7,8445	-13,1
561618	4080049	0,06158	286	4,7599	7,8445	-15,0
561882	4080765	0,05129	287	6,2842	7,8445	-19,2
562019	4081293	0,0613	294	5,7241	7,8445	-26,2
561371	4081259	0,04762	314	6,1886	7,8445	-31,3
561993	4081882	0,12171	277	5,4836	7,8445	-36,2
562795	4082683	0,06318	265	6,2381	7,8445	-41,0
563025	4082206	0,04857	270	5,0534	7,8445	-30,0
563485	4082854	0,05261	265	6,322	7,8445	-30,1
561541	4082121	0,09996	274	5,7581	7,8445	-44,0
562658	4080978	0,05117	295	6,0996	7,8445	-14,3
562581	4081532	0,08608	284	5,4048	7,8445	-25,2
562317	4082393	0,06237	265	5,5847	7,8445	-42,1

Tableau n°6 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 315°/10s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,08033	292	7,1352	10,2821	-3,1
563946	4080756	0,08909	285	6,8044	9,3353	-3,2
564679	4082291	0,07056	297	7,0383	10,2821	-3,0
564491	4082240	0,0582	292	7,1103	10,2821	-5,1
563587	4081498	0,10988	288	6,0514	9,3353	-5,4
563528	4080850	0,09058	291	6,9384	9,3353	-5,1
563451	4080526	0,08608	293	7,1481	9,3353	-4,1
563093	4080407	0,08815	293	7,5164	9,3353	-5,1
562726	4079895	0,07914	292	6,0392	9,3353	-9,1
563084	4080901	0,08234	294	7,148	9,3353	-8,0
563647	4081950	0,09523	280	6,3819	9,3353	-10,4
562198	4079887	0,08091	293	5,9666	9,3353	-11,1
561788	4079904	0,08569	293	6,0334	9,3353	-13,1
561618	4080049	0,08792	290	6,098	9,3353	-15,0
561882	4080765	0,07061	292	7,1678	9,3353	-19,2
562019	4081293	0,0867	297	6,7248	9,3353	-26,2
561371	4081259	0,06738	315	7,0848	9,3353	-31,3
561993	4081882	0,1501	278	5,9314	9,3353	-36,2
562795	4082683	0,08796	266	7,1556	10,2821	-41,0
563025	4082206	0,06817	273	6,2402	10,2821	-30,0
563485	4082854	0,07395	266	7,2731	10,2821	-30,1
561541	4082121	0,13003	276	6,4366	9,3353	-44,0
562658	4080978	0,07588	298	7,2228	9,3353	-14,3
562581	4081532	0,10994	285	6,1605	9,3353	-25,2
562317	4082393	0,08341	267	6,3749	10,2821	-42,1

Tableau n°7 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 360°/6s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,00023	344	6,2662	6,1953	-3,1
563946	4080756	0,00018	326	5,7831	6,1953	-3,2
564679	4082291	0,00164	1	5,8463	6,1953	-3,0
564491	4082240	0,00038	28	4,0394	6,1953	-5,1
563587	4081498	0,00035	6	6,1553	6,1953	-5,4
563528	4080850	0,00026	353	6,338	6,1953	-5,1
563451	4080526	0,00025	351	6,3146	6,1953	-4,1
563093	4080407	0,00018	359	6,157	6,1953	-5,1
562726	4079895	0,0001	3	6,1102	6,1953	-9,1
563084	4080901	0,00017	7	5,9625	6,1953	-8,0
563647	4081950	0,00041	30	5,6437	6,1953	-10,4
562198	4079887	0,00015	18	6,2046	6,1953	-11,1
561788	4079904	0,00016	28	6,0615	6,1953	-13,1
561618	4080049	0,00017	34	5,867	6,1953	-15,0
561882	4080765	0,00025	44	5,7861	6,1953	-19,2
562019	4081293	0,00033	53	5,2704	6,1953	-26,2
561371	4081259	0,0003	57	4,9652	6,1953	-31,3
561993	4081882	0,00026	57	5,1221	6,1953	-36,2
562795	4082683	0,0002	58	5,4646	6,1953	-41,0
563025	4082206	0,00038	54	5,5115	6,1953	-30,0
563485	4082854	0,0003	55	5,7879	6,1953	-30,1
561541	4082121	0,00013	63	4,6261	6,1953	-44,0
562658	4080978	0,00021	31	5,7563	6,1953	-14,3
562581	4081532	0,00035	50	5,3745	6,1953	-25,2
562317	4082393	0,00019	59	5,1793	6,1953	-42,1

Tableau n°8 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 360°/8s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,00061	336	7,9394	7,8445	-3,1
563946	4080756	0,00061	321	8,1031	7,8445	-3,2
564679	4082291	0,00496	358	7,6421	7,8445	-3,0
564491	4082240	0,00064	17	7,5862	7,8445	-5,1
563587	4081498	0,00098	355	8,0379	7,8445	-5,4
563528	4080850	0,00074	346	7,992	7,8445	-5,1
563451	4080526	0,00068	345	7,9549	7,8445	-4,1
563093	4080407	0,00042	345	7,9331	7,8445	-5,1
562726	4079895	0,00036	356	8,0429	7,8445	-9,1
563084	4080901	0,00047	355	7,9338	7,8445	-8,0
563647	4081950	0,00105	15	7,9336	7,8445	-10,4
562198	4079887	0,00044	10	7,8873	7,8445	-11,1
561788	4079904	0,00041	19	7,809	7,8445	-13,1
561618	4080049	0,00042	25	7,7635	7,8445	-15,0
561882	4080765	0,00053	35	7,6577	7,8445	-19,2
562019	4081293	0,00059	43	7,22	7,8445	-26,2
561371	4081259	0,00043	53	5,9098	7,8445	-31,3
561993	4081882	0,00053	57	6,2572	7,8445	-36,2
562795	4082683	0,00053	56	7,0112	7,8445	-41,0
563025	4082206	0,00085	46	7,0767	7,8445	-30,0
563485	4082854	0,00084	49	7,3658	7,8445	-30,1
561541	4082121	0,00037	64	6,4049	7,8445	-44,0
562658	4080978	0,00059	18	7,8822	7,8445	-14,3
562581	4081532	0,00072	38	7,4695	7,8445	-25,2
562317	4082393	0,00047	60	6,6561	7,8445	-42,1

Tableau n°9 : Calcul de la réfraction de la houle du secteur 360°/10s.

Xp [m]	Yp [m]	Hsig [m]	Dir [degr]	Period [sec]	Tpeak [sec]	Depth [m]
563383	4079980	0,00122	336	8,0438	9,3353	-3,1
563946	4080756	0,00131	321	8,5447	9,3353	-3,2
564679	4082291	0,01093	357	9,7164	10,2821	-3,0
564491	4082240	0,00308	10	9,0513	9,3353	-5,1
563587	4081498	0,00211	356	8,159	9,3353	-5,4
563528	4080850	0,00151	346	8,2216	9,3353	-5,1
563451	4080526	0,00136	345	8,1115	9,3353	-4,1
563093	4080407	0,00093	349	7,5128	9,3353	-5,1
562726	4079895	0,00073	356	8,2466	9,3353	-9,1
563084	4080901	0,00096	358	7,6764	9,3353	-8,0
563647	4081950	0,00226	17	7,7335	9,3353	-10,4
562198	4079887	0,00081	10	8,0801	9,3353	-11,1
561788	4079904	0,00075	20	7,724	9,3353	-13,1
561618	4080049	0,00078	26	7,5064	9,3353	-15,0
561882	4080765	0,00101	38	6,9387	9,3353	-19,2
562019	4081293	0,00121	48	6,0147	9,3353	-26,2
561371	4081259	0,00106	58	4,9741	9,3353	-31,3
561993	4081882	0,00118	59	5,48	9,3353	-36,2
562795	4082683	0,00104	58	6,654	9,3353	-41,0
563025	4082206	0,00171	50	6,3404	9,3353	-30,0
563485	4082854	0,00159	51	7,259	9,3353	-30,1
561541	4082121	0,00078	64	5,8392	9,3353	-44,0
562658	4080978	0,00113	19	7,8166	9,3353	-14,3
562581	4081532	0,00143	42	6,5192	9,3353	-25,2
562317	4082393	0,00097	61	6,1119	9,3353	-42,1

Période T=6s.

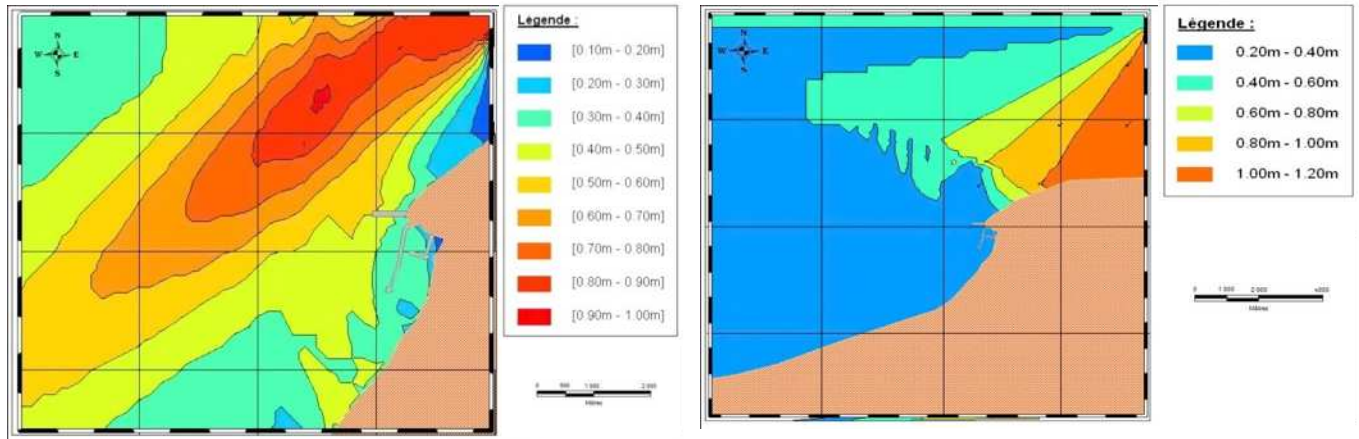


Figure n°1/2 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 45°/6s.

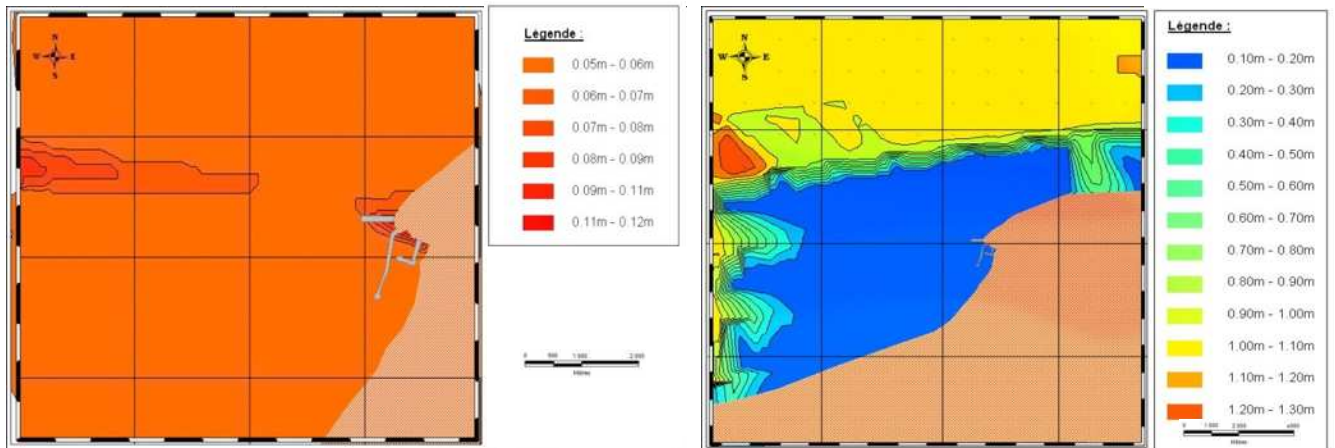


Figure n°3/4 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 315°/6s.

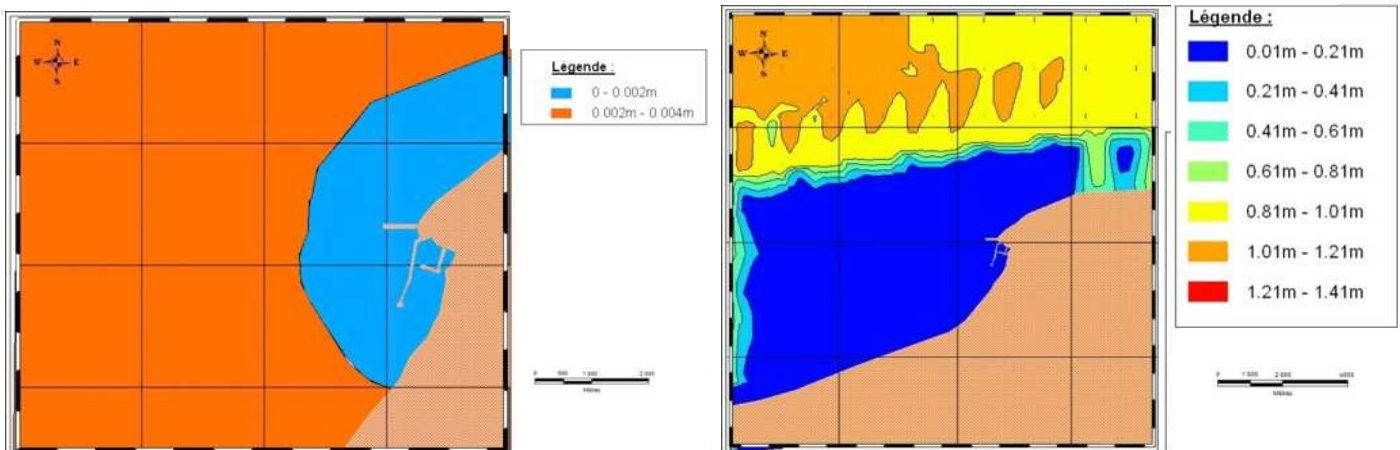


Figure n°5/6 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 360°/6s.

Periode T=8s.

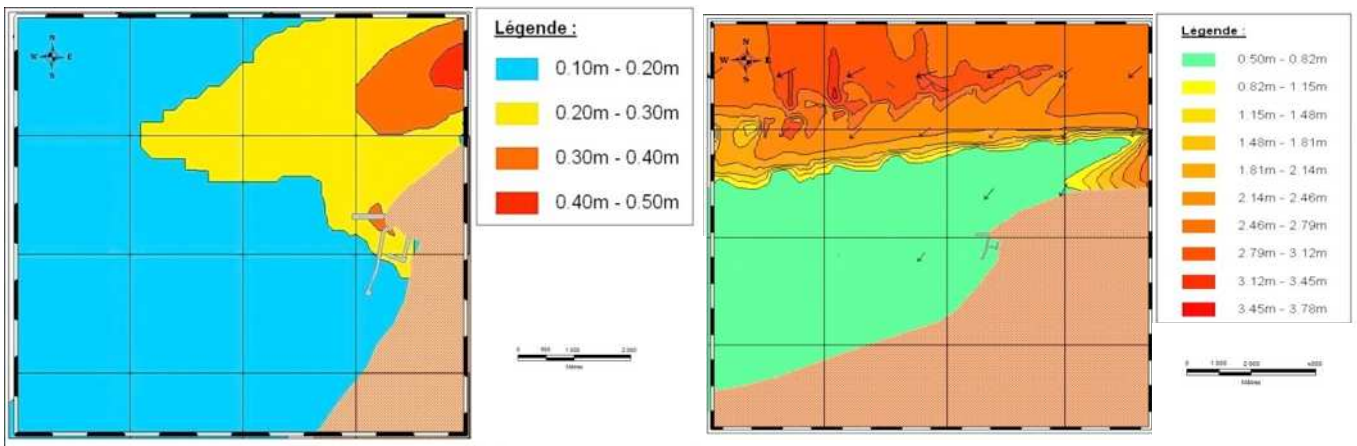


Figure n°7/8 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 45°/8s.

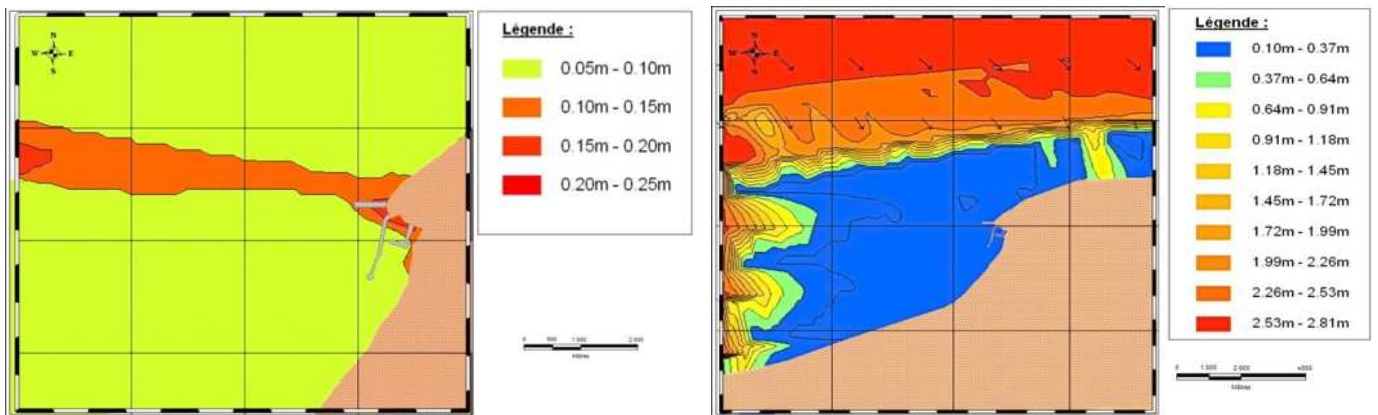


Figure n°9/10 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 315°/8s.

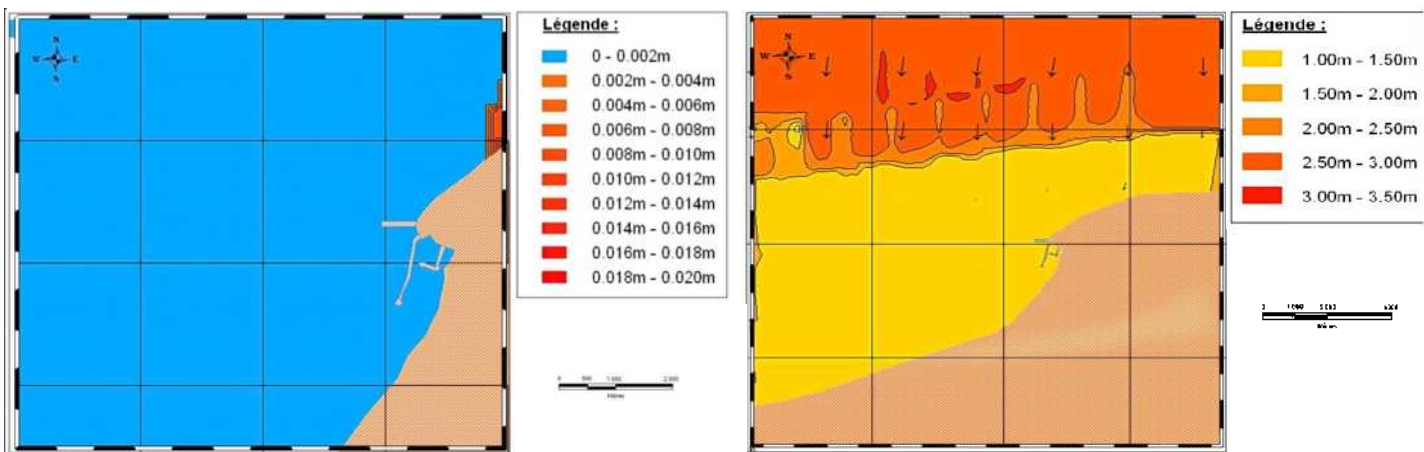


Figure n°11/12 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 360°/8s.

Periode 10s.

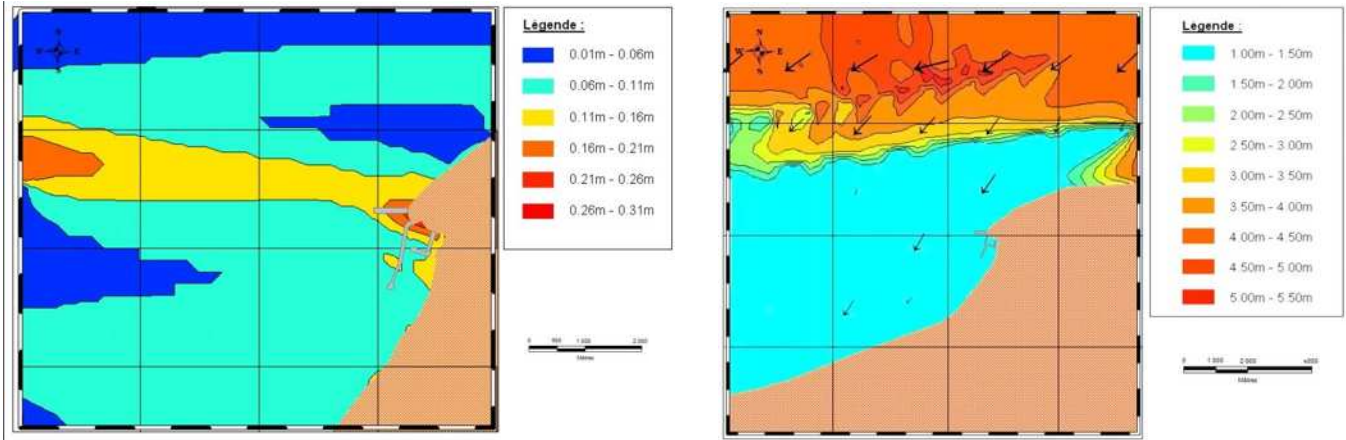


Figure n°13/14 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 45°/10s.

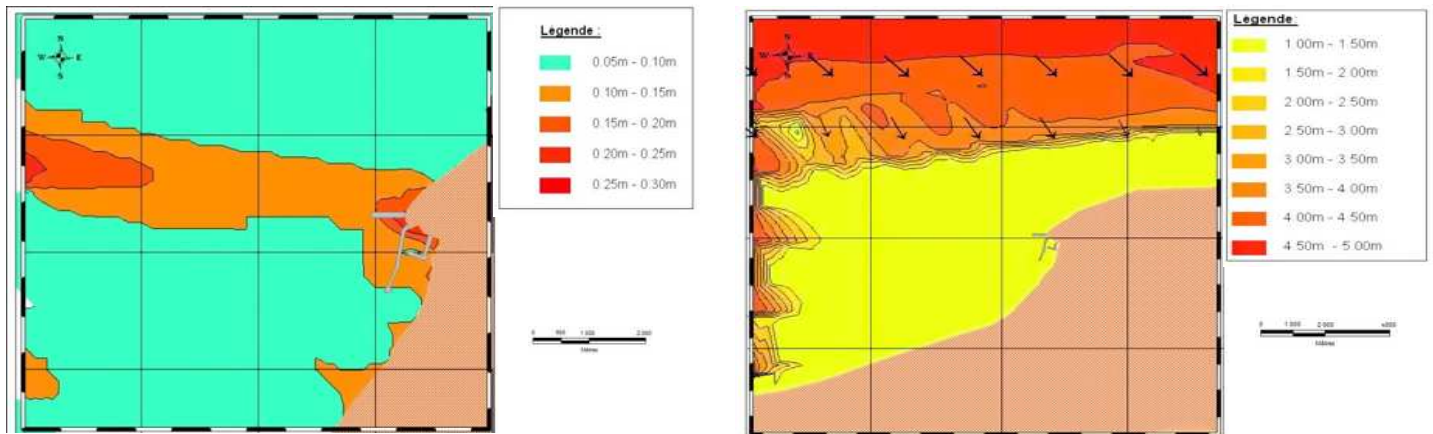


Figure n°15/16 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 315°/10s.

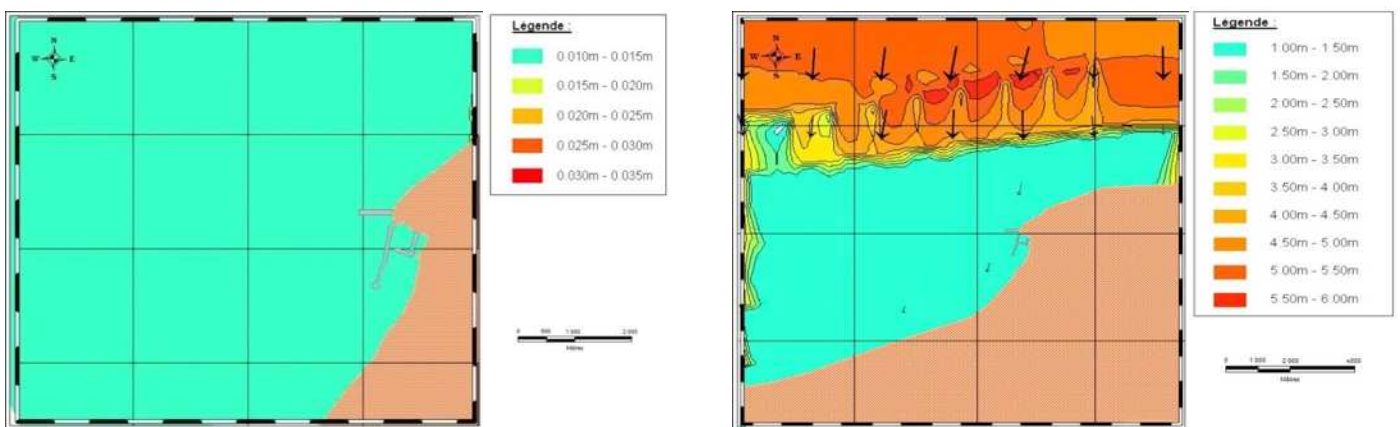
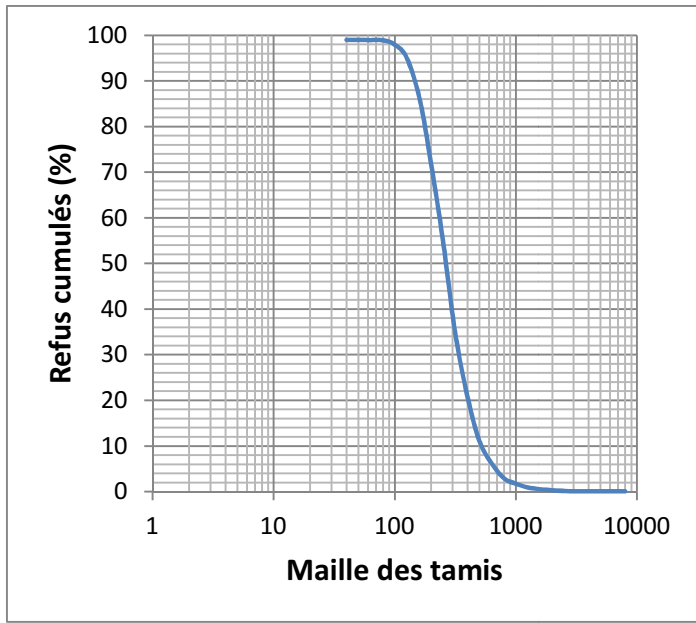


Figure n°17/18 : modélisation de la réfraction de la houle du secteur 360°/10s.

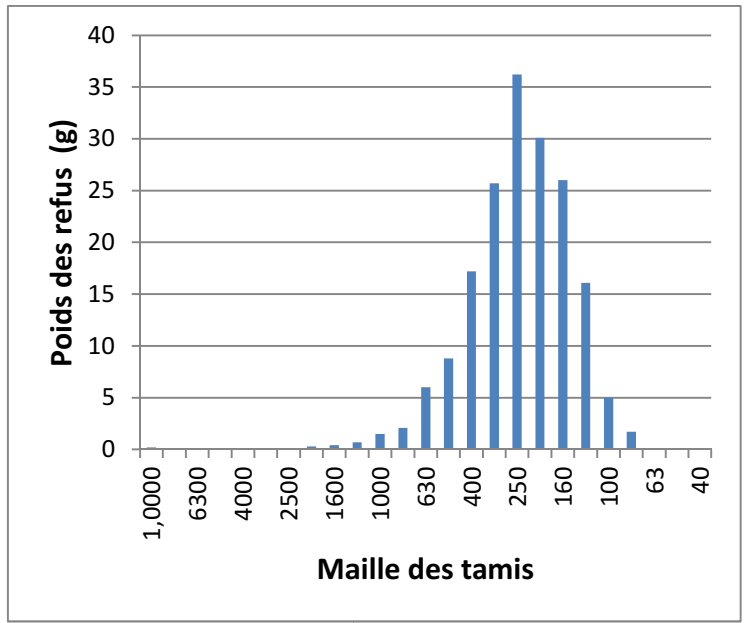
Pourcentage de la fraction fine <50µm :

ECHANTILLON N°	P1	P1	(P1-P2)/P1	(P1-P2)/P1%
1	91,6	89,9	0,01855895	2%
2	77,8	77,2	0,00771208	1%
3	76	73,8	0,02894737	3%
4	75	74,3	0,00933333	1%
5	104,3	103,8	0,00479386	0%
6	62,7	62,4	0,00478469	0%
7	89,3	88,4	0,01007839	1%
8	89,2	88,7	0,00560538	1%
9	78,2	77,3	0,01150895	1%
10	97,3	96,9	0,004111	0%
11 (fond)	72,7	72,6	0,00137552	0%
11 (Surface)	84,5	84,4	0,00118343	0%
12	91	90,2	0,00879121	1%
13	66,5	65,2	0,01954887	2%

Station 1

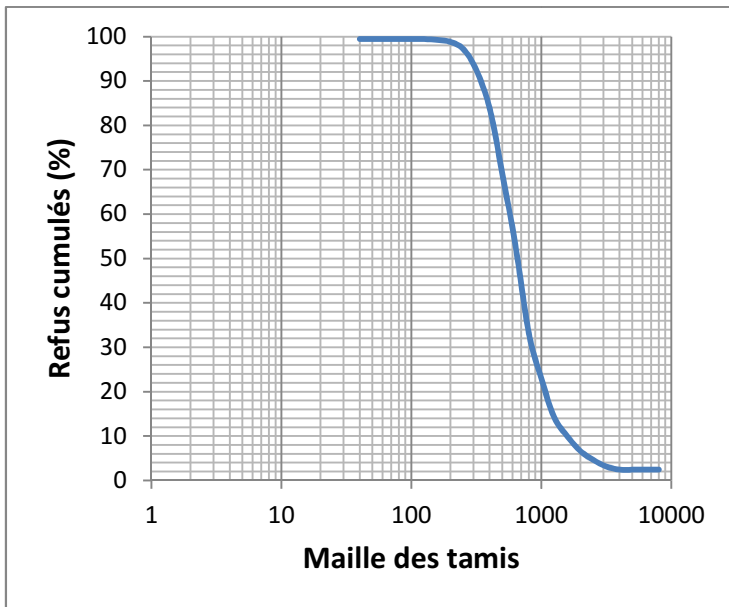


Courbe granulométrique

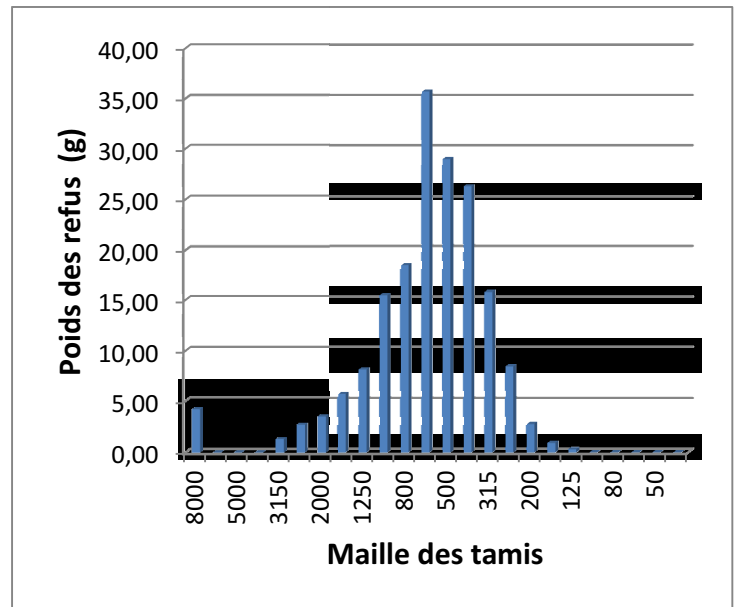


fréquence d'apparition

Station 2

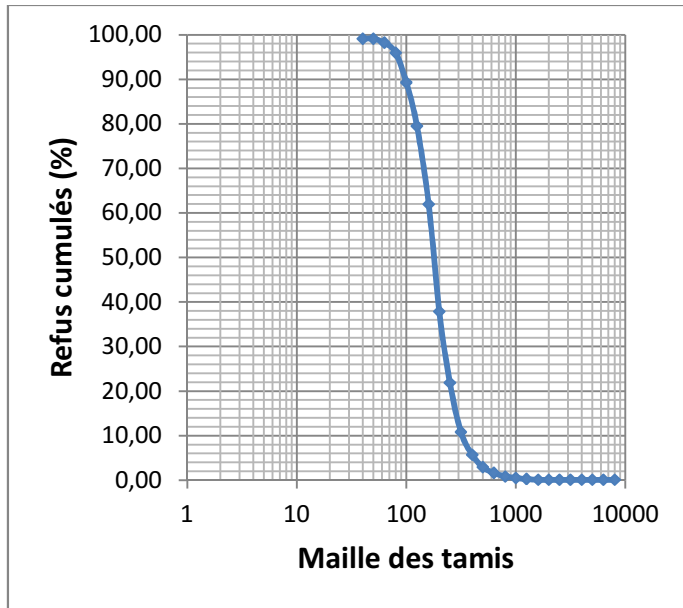


Courbe granulométrique

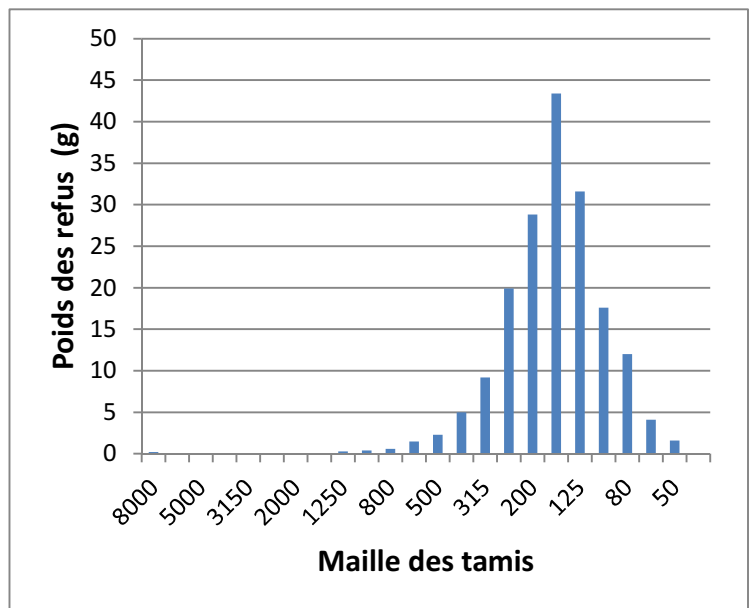


fréquence d'apparition

Station 3

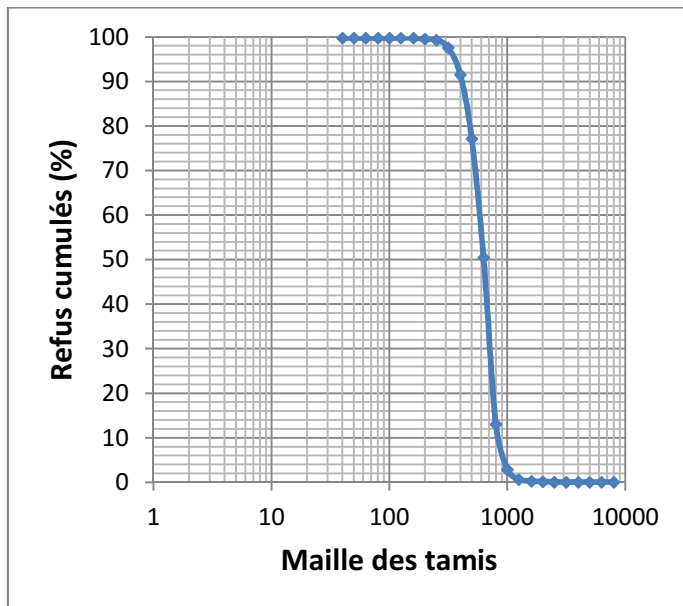


Courbe granulométrique

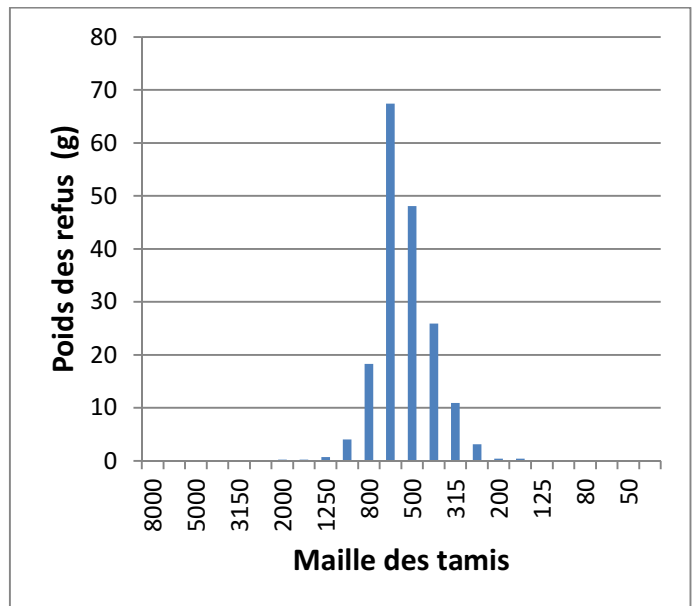


fréquence d'apparition

Station 4

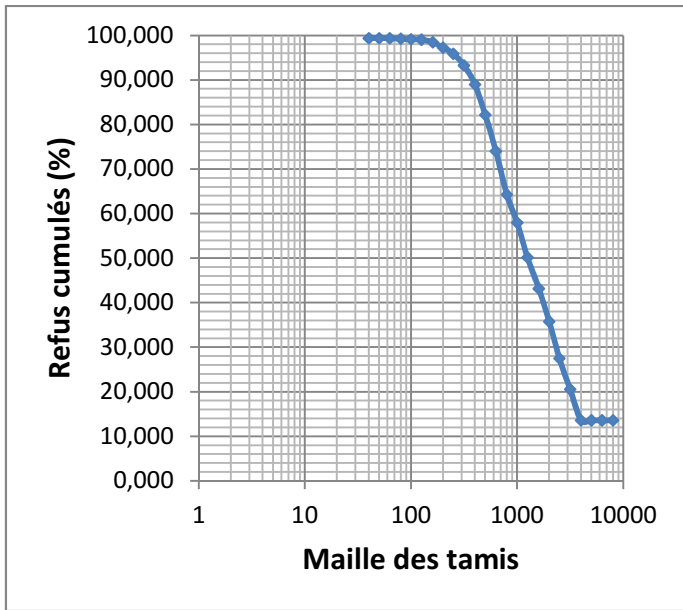


Courbe granulométrique

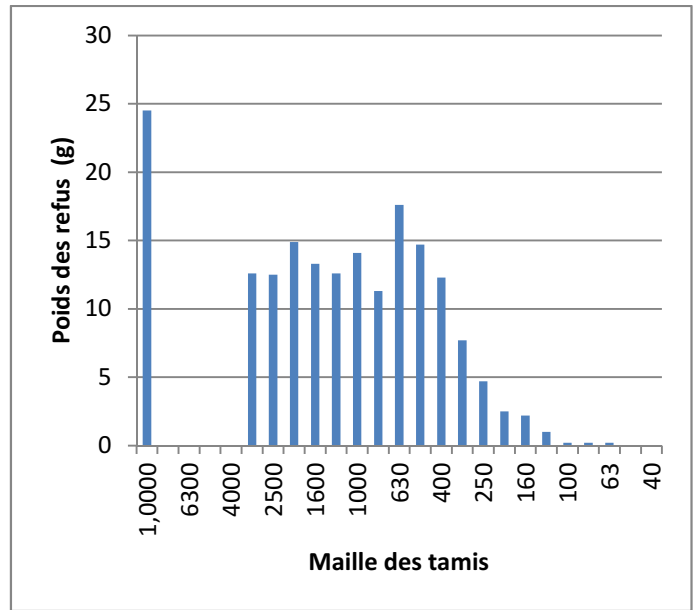


fréquence d'apparition

Station 5

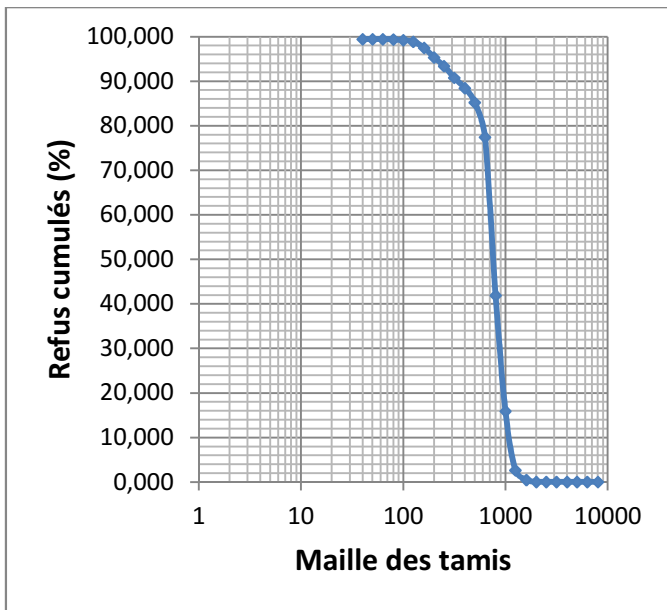


Courbe granulométrique

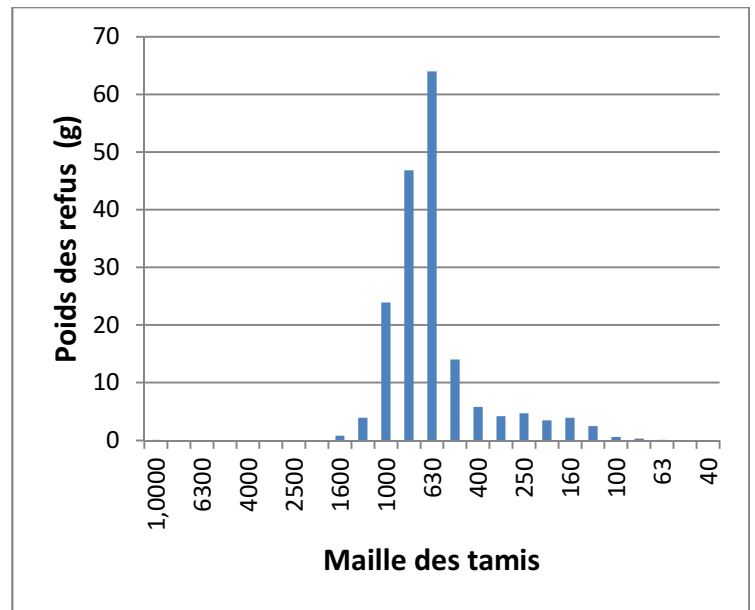


fréquence d'apparition

Station 6

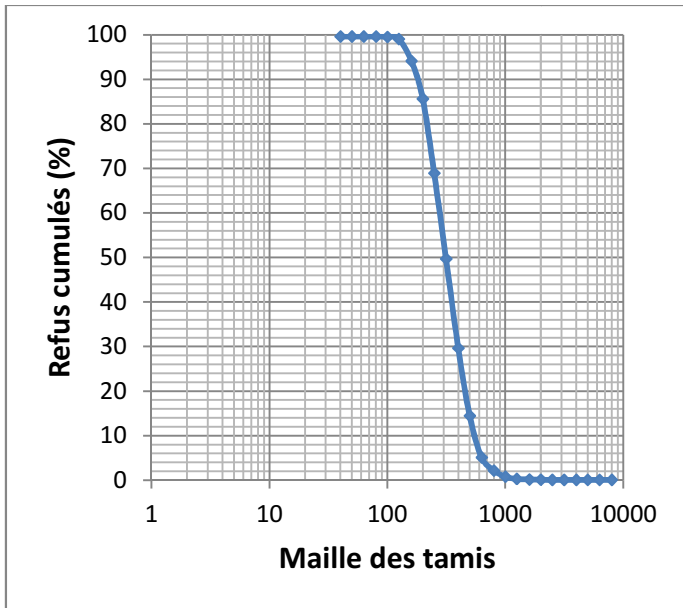


Courbe granulométrique

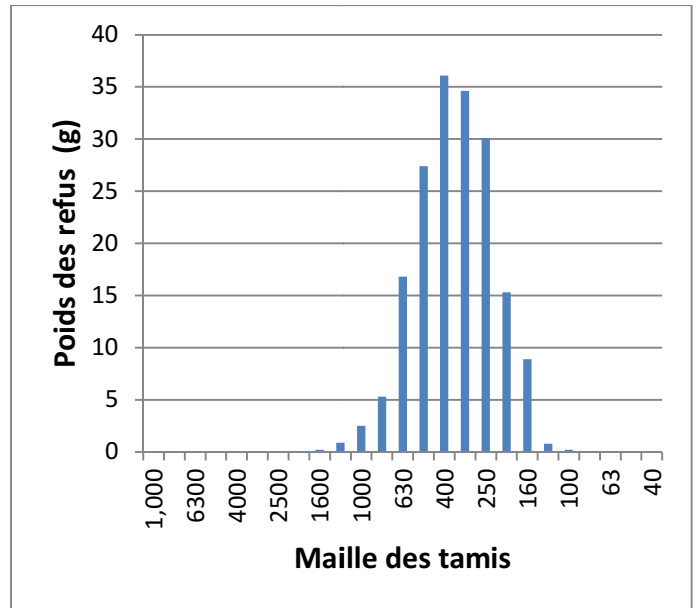


fréquence d'apparition

Station 7

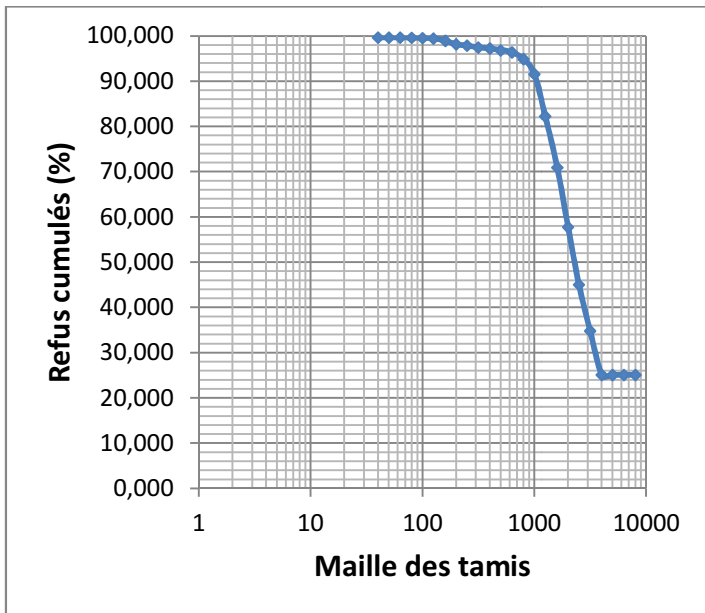


Courbe granulométrique

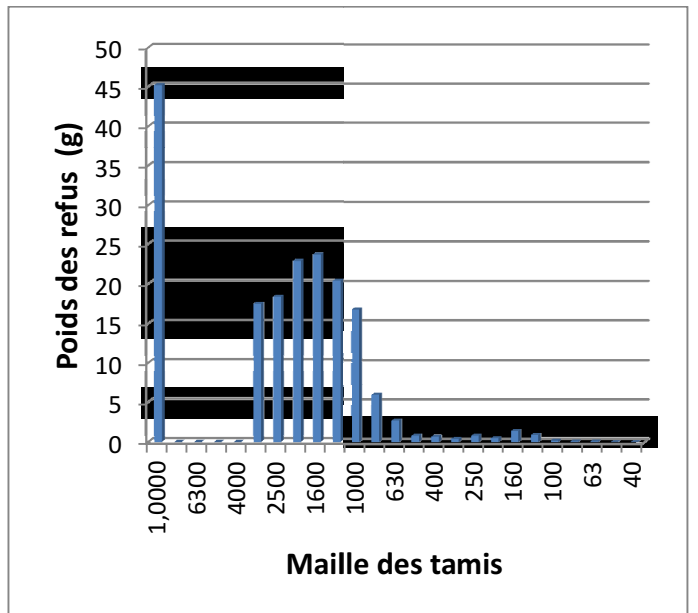


fréquence d'apparition

Station 8

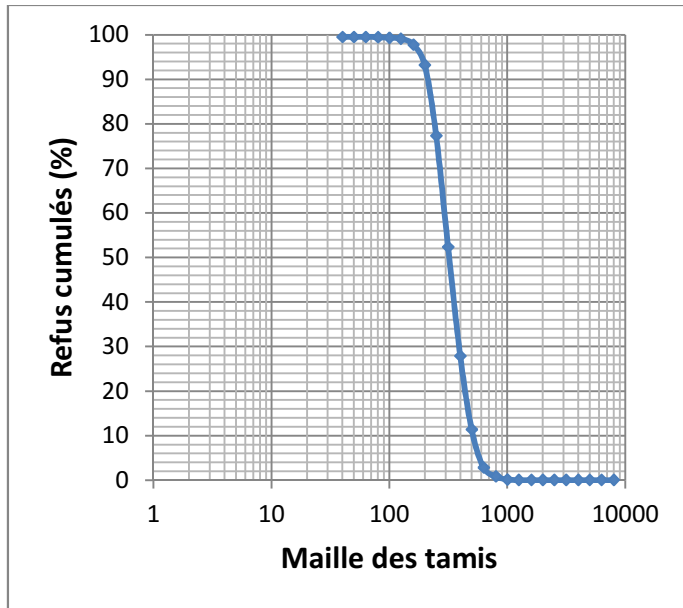


Courbe granulométrique

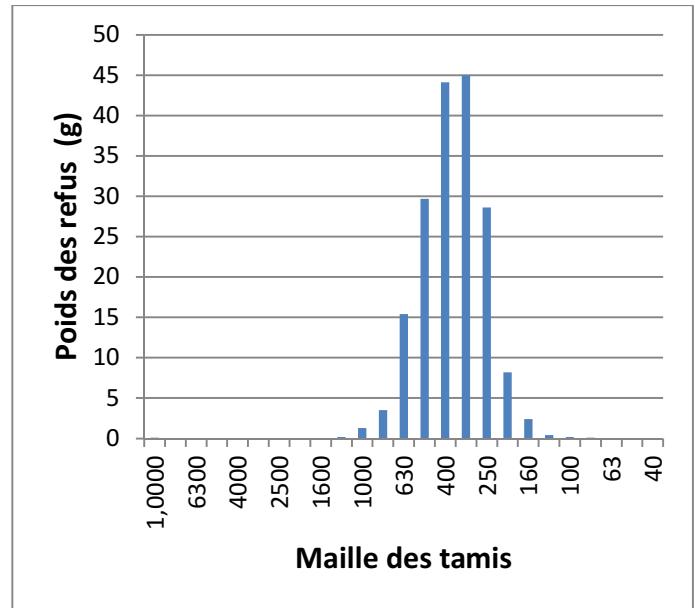


fréquence d'apparition

Station 9

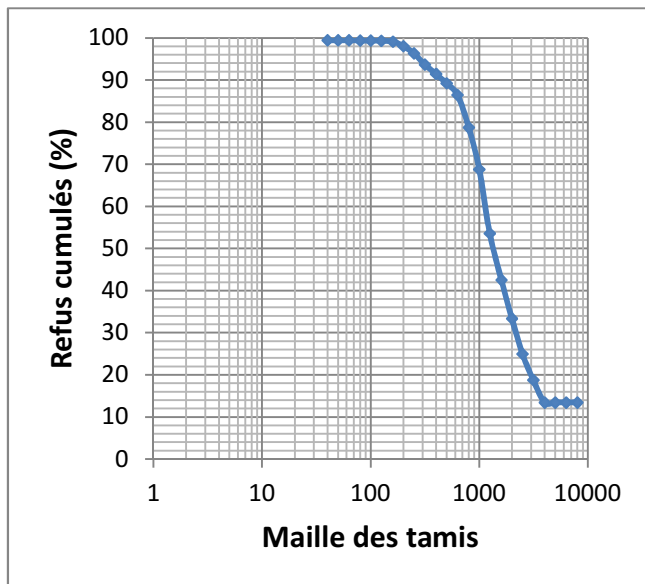


Courbe granulométrique

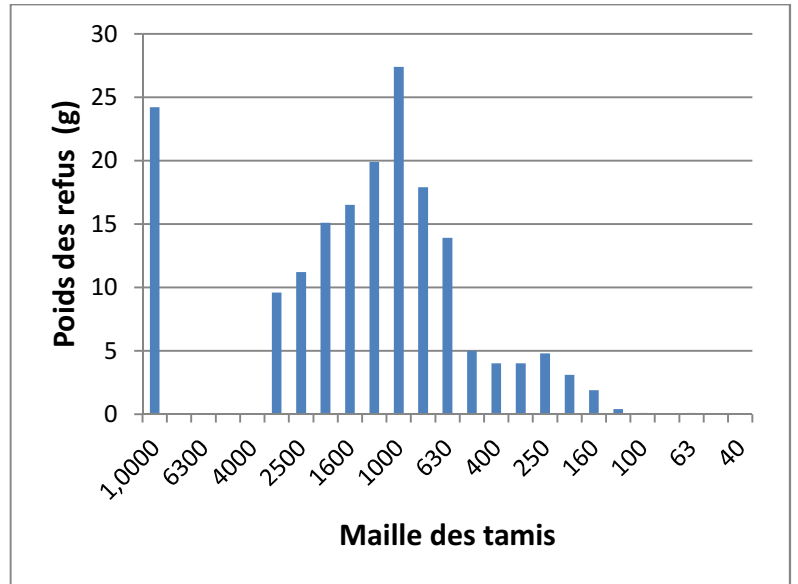


fréquence d'apparition

Station 10

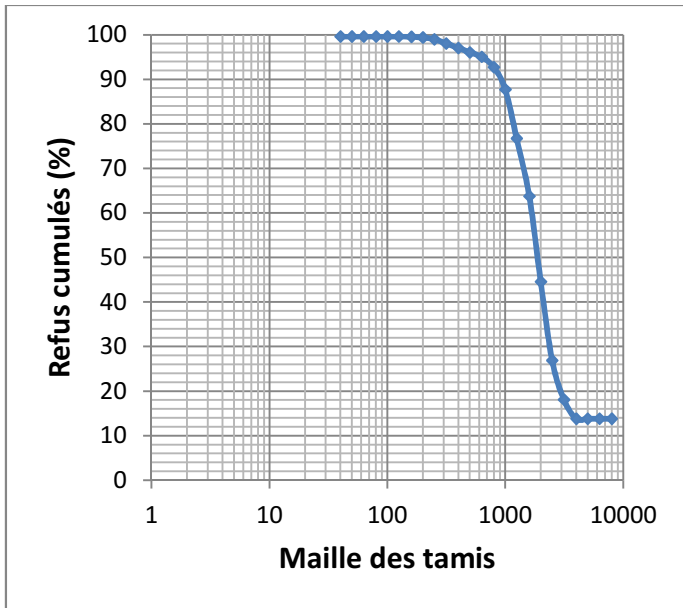


Courbe granulométrique

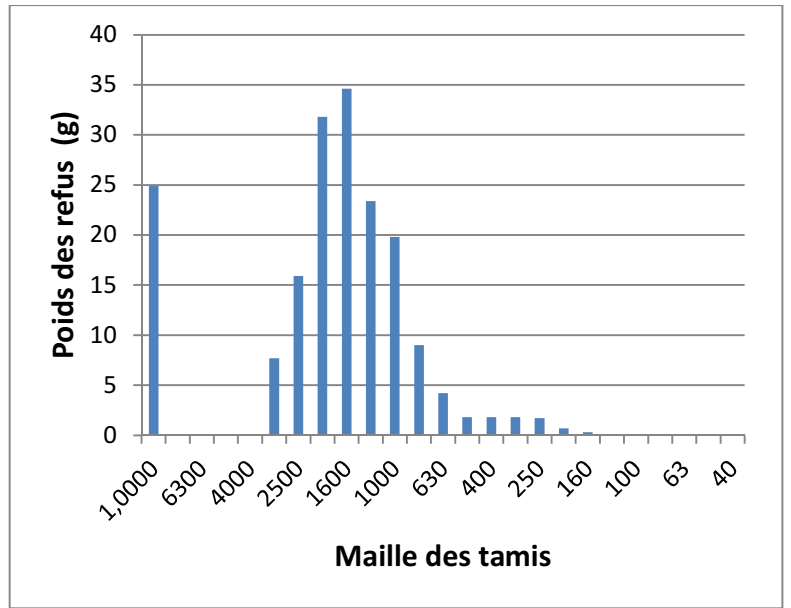


fréquence d'apparition

Station 11

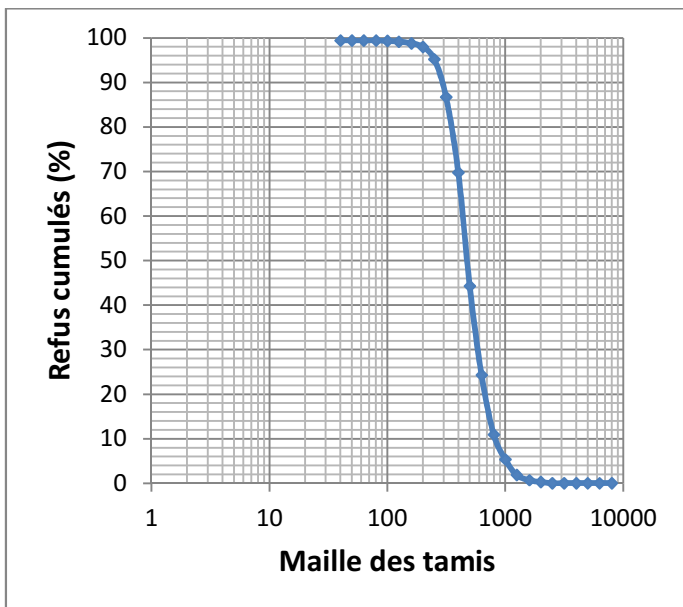


Courbe granulométrique

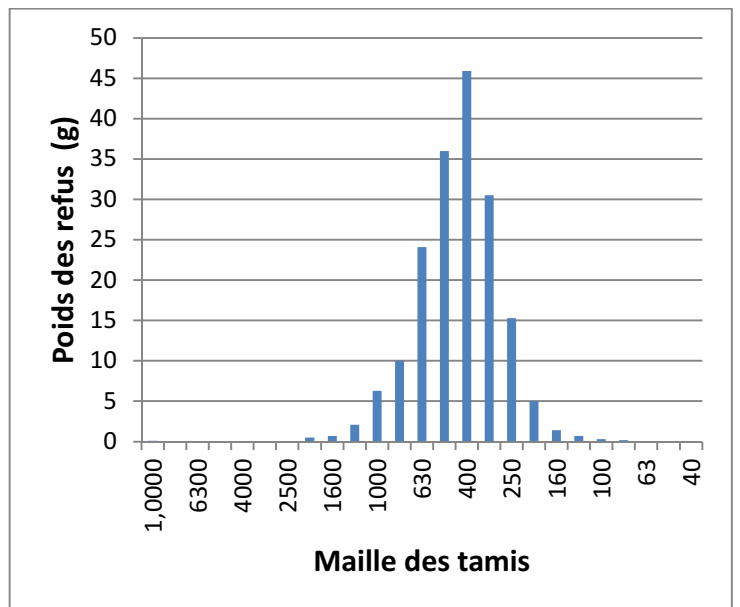


fréquence d'apparition

Station 12

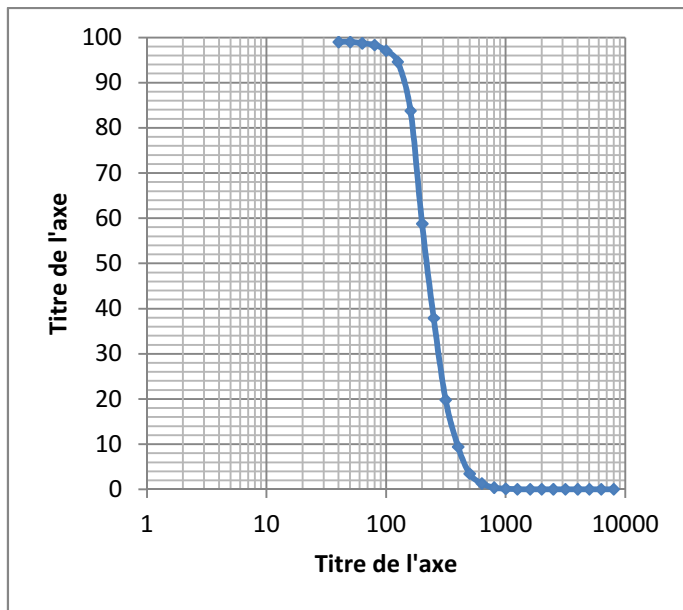


Courbe granulométrique

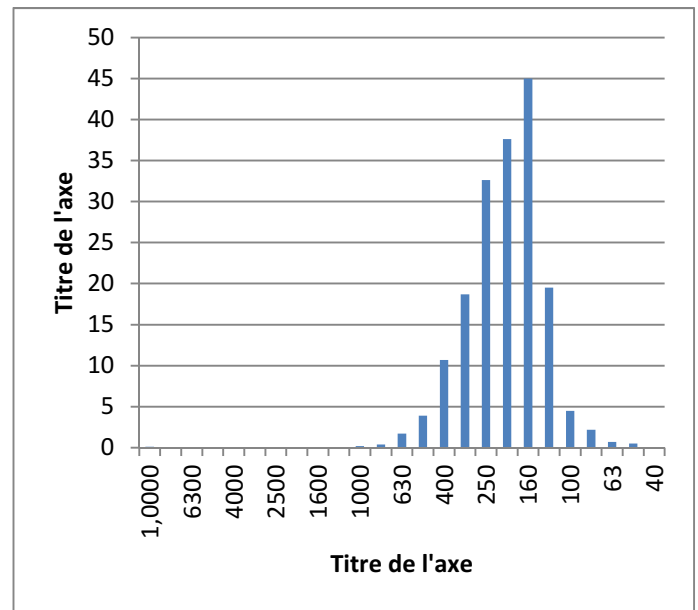


fréquence d'apparition

Station 13



Courbe granulométrique



fréquence d'apparition

Analyse granulométrique par tamisage après lavage

Un grain de sédiment est caractérisé par sa dimension, sa forme, son état de surface et sa masse volumique. Un échantillon sédimentaire est caractérisé par sa répartition en masse en fonction du diamètre des particules qui le constituent. Cette répartition obtenue à partir l'analyse granulométrique est réalisée (Chamley et Deconinck, 2011) :

- **par mesure directe** pour les éléments supérieurs à 8mm ;
- **par tamisage** dans une série de tamis normalisés pour les particules de dimension comprise entre 25 μ m et 80mm (ex. norme française, NF P 94-056) ;
- **par sédimentation** (vitesse de décantation) pour les particules de dimension comprise entre 0,5 μ m et 100 μ m (ex. norme française, NF P 94-057) ;
- **par granulométrie laser** (diffraction du rayonnement laser) pour les particules de dimension comprise entre 0,5 μ m à 2mm.

On s'intéresse dans cette étude à l'analyse granulométrique par tamisage après lavage car le sédiment à étudier se situe dans la gamme granulaire du sable mais il est parfois nécessaire d'utiliser plusieurs méthodes pour l'étude complète du sédiment (Vatan, 1967).

Principe et définitions

L'analyse granulométrique par tamisage après lavage permet de déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un granulat dont les dimensions sont comprises entre 25 μ m et 80mm. Elle consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis de mailles normalisées, emboîtés les uns sur les autres pour former une colonne, un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Le matériau étudié est placé, après lavage, en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Un tamis est constitué d'une toile métallique ou d'une tôle perforée définissant des mailles de trous carrés. Les passoirs, qui comportent des trous ronds percés dans une tôle, ne sont plus utilisées actuellement. Les tamis sont désignés par la longueur du côté de ces carrés c'est à dire par la taille des mailles.

Une série de tamis est fondée sur une évolution des mailles suivant une progression géométrique. Il existe différentes séries de tamis :

- la classification d'Atterberg de raison géométrique égale à 10 ;
- la classification du MIT (Massachusetts Institute of Technology) de raison géométrique égale à $\sqrt{10} = 3.162$;
- la série Udden-Wentworth (US Standard) de raison géométrique égale à 2 ;
- la série Tyler de raison géométrique égale à $\sqrt{2} = 1.414$;
- la série AFNOR de raison géométrique égale à $\sqrt[10]{10} = 1.259$

Plus la raison est petite, et plus la courbe de répartition des grains est précise. Nous utiliserons donc la série AFNOR dans laquelle la maille d'un tamis correspond donc à la dimension du précédent multipliée par 1,259.

Les tamis sont également repérés par un numéro d'ordre appelé module. Le premier tamis que nous utiliserons, 0,063mm a comme module le numéro 19, le suivant le module 20 et ainsi de suite selon une progression arithmétique de raison 1. À chaque maille correspond donc un module et réciproquement. Le tableau suivant donne ces correspondances.

Tableau 1: Dimensions nominales des tamis de la norme AFNOR pour l'analyse granulométrique par tamisage après lavage.

Module	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Tamis (mm)	0,063	0,080	0,100	0,125	0,160	0,200	0,250	0,315	0,400	0,500	0,630
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tamis (mm)	0,800	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,15	4,00	5,00	6,30	8,00
Module	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	-
Tamis (mm)	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	-

Le refus (ou reste) désigne la partie des grains retenue dans un tamis. Le refus cumulé représente tous les grains bloqués jusqu'au tamis considéré (les grains du tamis considéré plus les grains bloqués dans les tamis de mailles supérieures).

Le tamisât (ou passant) désigne la partie qui traverse le tamis.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique en histogramme ou courbe (courbe de répartition de masse $m(d)$ en fonction du diamètre de tamis d) dans un repère semi logarithmique (la représentation graphique est plus explicite).

Classes granulométriques :

Diverses dimensions de fractions granulométriques ont été proposées au cours du temps. La plupart des limites fluctuent selon les auteurs en fonctions des objectifs poursuivis. Les limites choisies pour cette étude sont celles définies par Chamley et Deconinck (2011) qui sont adaptées au sédiment marin basés sur la série AFNOR (voir Tableau).

Tableau 2: Classes et dénominations granulométriques (d'après Chamley et Deconinck, 2011)

Dénomination		Classe granulométrique en mm (Série AFNOR)	
Rudites	Blocs (<i>Boulders</i>)	> 250	
	Gros cailloux (<i>Cobbles</i>)	]63 – 250]	
	Graviers (<i>Gravels</i>)	]20 – 63]	
	Petits cailloux (<i>Pebbles</i>)	]4 – 20]	
	Granules	]2 – 4]	
Arénites	Sables (<i>Sand</i>)	<i>Très Grossier</i>	]1,25 – 2]
		<i>Grossier</i>	]0,63 – 1,25]
		<i>Moyen</i>	]0,315 – 0,63]
		<i>Fin</i>	]0,125 – 0,315]
		<i>Très fin</i>	]0,063 – 0,125]
Pérites	Limons (<i>Silts</i>)	<i>Grossier</i>	]0,0400 – 0,063]
		<i>Moyen</i>	]0,0200 – 0,0400]
		<i>Fin</i>	]0,0100 – 0,0200]
		<i>Très Fin</i>	]0,0040 – 0,0100]
	Argiles (<i>Clays</i>)	]0,0005 – 0,0040]	

Prélèvement du sédiment et échantillonnage

Pour le prélèvement du sédiment marin, nous avons utilisé une benne Van Veen (voir figure). La benne Van Veen est un dispositif muni de mâchoires amovibles que l'on fait descendre au fond de la mer à l'aide d'une corde pour prélever le sédiment en surface. Lors de la descente les mâchoires sont ouvertes. Dès qu'elles touchent le fond, la vanne qui les maintenait ouvertes se relâche. Au moment de la remonte, les mâchoires se referment pour emprisonner une quantité de sédiment. Sur le navire, la benne est ouverte et son contenu y est collecté dans un seau puis fermé dans des boîtes en plastique étiquetés pour chaque station destinées à l'analyse en laboratoire.

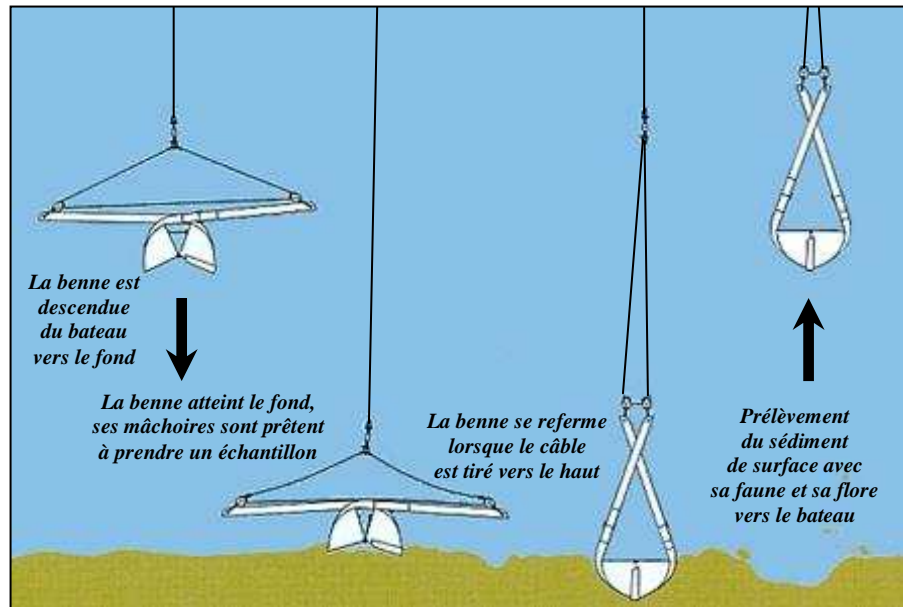


Figure 1 : Fonctionnement d'une benne Van Veen

Dans le but d'obtenir des résultats statistiquement fiables, les analyses granulométriques doivent en premier lieu être précédées, sur le terrain, d'un échantillonnage qui, qualitativement et quantitativement tienne compte des besoins de la méthode.

La qualité de l'échantillonnage dépend principalement des conditions météorologiques, de la configuration de la zone d'étude, et de la personne effectuant les prélèvements. Les deux premiers facteurs sont difficiles, voire impossible à contrôler ou à modifier. Par contre, en suivant une méthode précise et prédéfinie, le facteur humain peut être minimisé, surtout si plusieurs personnes sont impliquées lors de cette étape.

La quantité d'échantillon à prélever est influencée par la granulométrie maximale du sédiment à étudier. Plus un sédiment est fin, moins il en faut pour pouvoir effectuer une granulométrie statistiquement représentative, car le nombre de particules y incluses augmente exponentiellement avec la diminution de la taille des particules. Par exemple 50g ou plus de prélèvement sont nécessaires pour un sédiment sableux, alors que 10g suffisent pour un sédiment argileux fin.

Dans le but d'optimiser la quantité de matériel à prélever sur le terrain et à traiter ensuite en laboratoire, la courbe suivante a été utilisée.

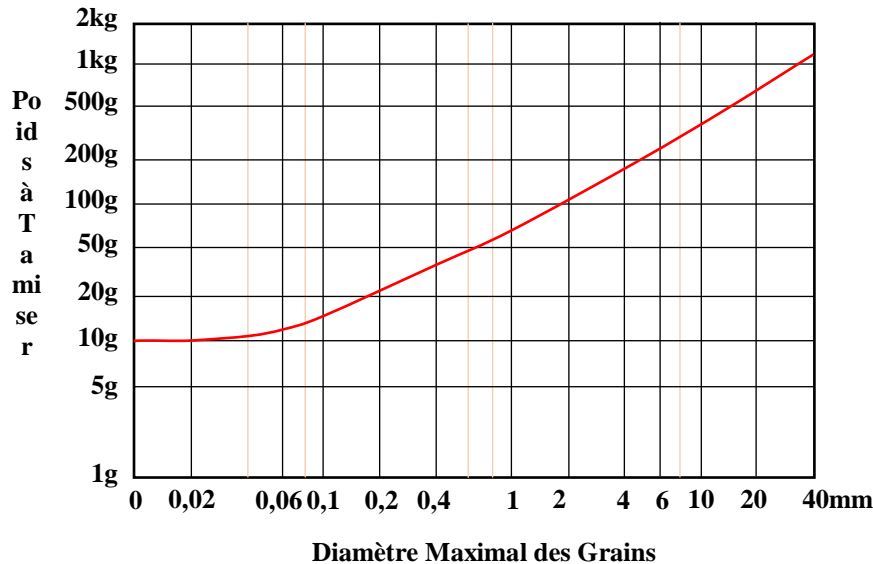


Figure 2: Graphique de la masse à tamiser en fonction du diamètre maximal des grains (Chalumeau, 2003).

Mode opératoire :

- Disposition des prélèvements dans des boîtes de pétri numérotées ;
- Étuvage à 105°C pendant 24h ;
- Prélèvement représentatif $P_i = 200\text{g}$ de sédiment (pour un D_{max} de 5mm), poids initial pour l'analyse granulométrique pour chaque station ;
- Lavage du sédiment sur le plus petit tamis choisi (63 μm , élimination des Pélites) ;
- Séchage du refus à l'étuve à 105°C pendant 24h ;
- Pesage de l'échantillon sec = P_f (poids final, après lavage) ;
- Détermination du taux de Pélites $P_p \% = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$;
- Tamisage de l'échantillon sec sur les tamis choisis (série AFNOR : modules de 19 à 34) ;
- Détermination des poids cumulés ;
- Détermination des pourcentages de refus cumulés ;
- Détermination des pourcentages de tamisats cumulés ;
- Représentations du résultat (histogrammes et courbes granulométriques) ;
- Détermination des paramètres et indices granulométriques.

Remarques :

- On considère que le tamisage est terminé lorsque les refus ne varient pas de plus de 1% entre deux séquences de variations de la tamiseuse (10 minutes de tamisage sont nécessaires et suffisantes) ;
- Le tamisage peut se faire en deux colonnes de tamis car la capacité de la tamiseuse est limitée ;
- Le refus de chaque tamis est pesé avec une précision d'un centième de gramme ;
- La perte éventuelle de matériaux pendant l'opération de tamisage ne doit pas excéder plus de 2% du poids total de l'échantillon de départ.

Traitement des résultats

Représentations graphiques

Les résultats de l'analyse granulométrique peuvent être représentés de diverses manières. La plus simple est l'**histogramme de fréquence**, sur lequel le pourcentage pondéral des particules de chaque classe granulométrique est exprimé par une barre verticale. Le caractère discontinu de l'histogramme peut être supprimé en traçant la **courbe de fréquence**, qui passe par le centre des barres et permet de définir le ou les modes. La **courbe cumulative** ou **courbe granulométrique** à ordonnées logarithmiques est le mode de représentation le plus utilisé dans l'analyse granulométrique par tamisage. Pour obtenir la courbe granulométrique, il suffit de porter les divers pourcentages des tamisats ou refus cumulés sur une feuille semi-logarithmique :

- en abscisse : les dimensions des mailles sur une échelle logarithmique ;
- en ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique ;
- La courbe doit être tracée de manière continue.

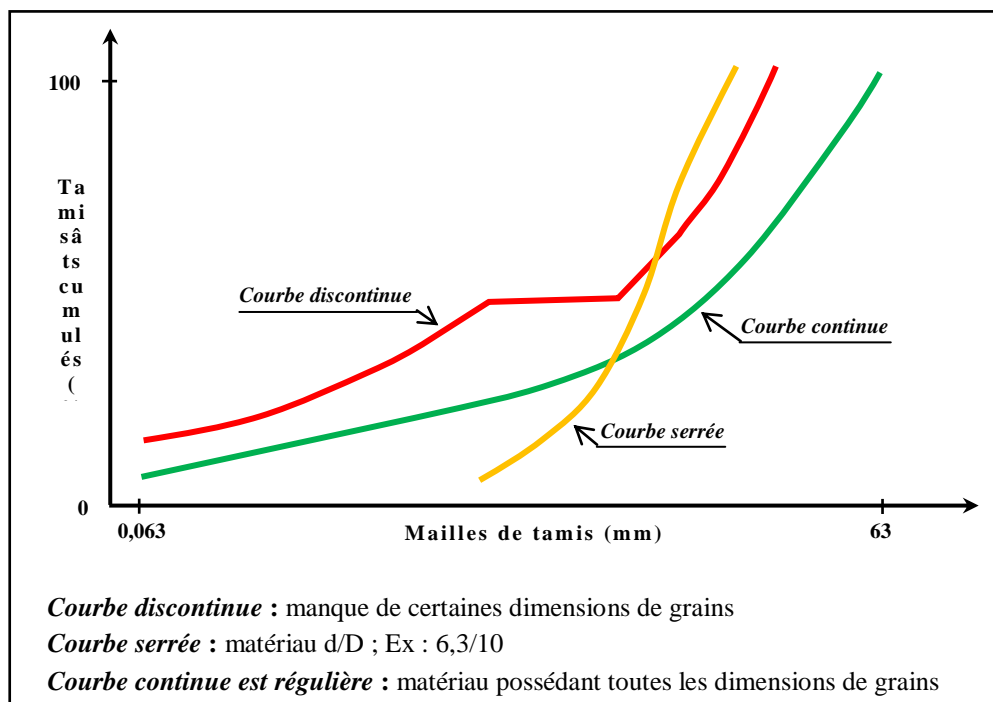


Figure 3 : Continuité de la courbe granulométrique

L'examen des histogrammes et des courbes permet de comparer les échantillons et de déterminer graphiquement les paramètres (mode, médiane, quartiles) qui servent à calculer les indices granulométriques caractérisant la distribution granulaire des grains dans les sédiments.

Paramètres et indices granulométriques

Paramètres centraux ou de position

Le mode

Le mode représente le pourcentage le plus important correspondant à un tamis. Il est facilement repérable sur la courbe cumulative au niveau de son point d'inflexion.

Selon Rivière (1977), il existe trois groupes principaux de courbes cumulatives :

- Unimodales : présentant un seul mode, elles indiquent une seule dynamique sédimentaire ;
- Bimodales : présentant deux modes, indiquant l'existence d'un mélange de deux stocks sédimentaires donc de deux dynamiques différentes ;
- Plurimodales : présentant plusieurs modes, révélant que la sédimentologie de la zone étudiée est très agitée c'est-à-dire que la zone connaît des mouvements sédimentaires mal disproportionnés.

La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

La médiane

La médiane est un paramètre clé, il correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment échantillonné, elle est déduite à partir de la courbe cumulative.

Le grain moyen est l'expression de la force d'un courant capable d'avoir mis en mouvement l'essentiel d'un sédiment donné (Chamley, 2000). La médiane ne peut être utilisée avec des sédiments à distribution bimodale (Folk et Ward, 1957 ; Mathieu, 1984).

La médiane est aussi le deuxième quartile Q_2 .

Les quartiles

Les quartiers ou quartiles sont trois points de la courbe cumulative :

- **Le 1^{er} Quartile Q_1** : Correspond au diamètre du grain représentant 25 % en poids total du sédiment.
- **Le 2^{ème} Quartile Q_2 (Médiane)** : est la taille pour laquelle il y a 50% du matériel de taille supérieure et 50% en dessous.
- **Le 3^{ème} Quartile Q_3** : Correspond au diamètre du grain représentant 75 % en poids total du sédiment.

Ils ont été appliqués aux sables pour la première fois par Trask en 1930 (Vatan, 1967). On peut grâce à ces paramètres définir quelques rapports

Les indices granulométriques

Indice de classement So (Sorting de Trask ou déviation standard)

Cette mesure géométrique des quartiles élimine l'influence du facteur taille. Elle permet d'étudier le classement des sédiments. Elle indique la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (Chamley, 2000) suite aux actions de tri au cours du transport et du dépôt, comme elle renseigne sur la croissance de tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley, 1987).

$$So = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

Pour cet indice les valeurs présentées dans le tableau, tenant compte des limites de Trask (Vatan, 1967) et Rivière (1977), définissent les différents types de classement.

Tableau 3 : Valeurs de So représentant les types de classement

Valeur de So	[1 - 1,5]	]1,5 - 2,5]	]2,5 - 3,5]	]3,5 - 4,5]	> 4,5
Classement	Très bien classé	Bien classé	Normalement classé	Faiblement classé	Mal classé

Indice d'asymétrie de l'histogramme (Skewness)

Ce coefficient exprime la symétrie par rapport à la médiane. Il permet d'évaluer la tendance des sédiments vers le grossier, ou vers le fin. S'il est égal à 1, le mode (sommet de la courbe de fréquence) coïncide avec le diamètre moyen. Si l'asymétrie est supérieure à 1, le classement est maximal du côté grossier ; au contraire, si elle est inférieure à 1, c'est du côté fin. Plus ce coefficient est loin de l'unité, plus le mode est loin du diamètre moyen. Ainsi, l'asymétrie reflète aussi bien le milieu de dépôt que les conditions de transport.

$$Sk = \frac{Q_1 Q_3}{Q_2^2}$$

Analyse morphoscopique du sédiment

Principe

L'analyse morphoscopique du sédiment est une technique d'examen, à la loupe binoculaire, de la forme et de l'état de la surface des particules composant un sédiment.

La sphéricité du grain, estimée par le rapport largeur/Longueur, permet de mesurer le degré de rapprochement de sa forme à celle d'une sphère.

L'état de surface du grain, estimée par la recherche de traces d'éroulé produites par un façonnement aquatique, et de picotins (angularités) produits par un façonnement éolien (transport par le vent : les chocs entre les particules créent à la surface de chacune d'elles des angularités qui, à la loupe binoculaire, apparaissent comme des points épars de réflexion de la lumière), permet de reconstituer leur histoire sédimentaire. En effet, les différents vecteurs de transport (vent, eau, glace) laissent différentes traces sur ces grains. Il en est de même pour les phases d'immobilisation, qui sont révélées par des dissolutions ou des précipitations minérales.

Mode opératoire

- Homogénéiser le sédiment et prélever de manière aléatoire 100 grains de chaque boîte de pétri dans lesquelles ont été pré-séchés les échantillons (décarbonatés) ;
- Observer les grains, un à un, sous une loupe binoculaire au grossissement (GX40) en veillant à ce que cette opération s'effectue à la lumière du jour car l'éclairage artificiel change la couleur des grains ;
- Suivre la charte visuelle ci-dessous pour estimer la sphéricité des grains du sédiment en rapport avec l'éroulé et préciser la couleur de chaque grain.

Sphéricité	Forte						
	Faible						
État de surface	0 <i>Très Anguleux</i>	1 <i>Anguleux</i>	2 <i>Subanguleux</i>	3 <i>Subéroulé</i>	4 <i>Éroulé</i>	5 <i>Très Éroulé</i>	
Couleurs	<i>Transparent</i>	<i>Blanc</i>	<i>Noir</i>	<i>Rouge</i>	<i>Orange</i>	<i>Jaune</i>	

Figure 4: Détermination visuelle de la sphéricité et de l'éroulé (d'après Pettijohn, 1975 in Chamley, 2011 - modifié)

Analyse calcimétrique du sédiment

Principe

La calcimétrie est la mesure de la teneur d'un sédiment en carbonates. Il peut s'agir de carbonates de calcium ou de carbonates de magnésium, mais ce dernier étant plus rare, et ayant généralement la même signification géomorphologique que le premier, on parle souvent de calcimétrie. Elle permet donc de déterminer la proportion (pourcentage) de carbonates de calcium CaCO_3 présents dans le sédiment. Elle donne des indications sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques. Elle permet de connaître la part des sédiments biogènes, ou débris coquillers, et donc de suivre les migrations des sédiments nés dans des régions riches en plantes ou animaux fabriquant du calcaire.

La calcimétrie peut s'effectuer soit par le code Bernard (calcimétrie volumétrique), soit par la décarbonatation. Cette deuxième méthode se fait par attaque à l'acide chlorhydrique à chaud sur le sédiment, et dont le poids était déjà connu. Les éléments calcaires se trouvant dans l'échantillon sont alors décomposés et éliminés. Le sédiment est ensuite lavé, pour enlever les argiles de décalcification, puis séché et repesé. La différence entre les deux poids représente la teneur en carbonate.

Le calcaire (CaCO_3) réagit avec l'acide chlorhydrique (HCL) pour donner du dioxyde de carbone (CO_2), de l'eau (H_2O) et du bichlorure de calcium (CaCl_2), suivant la formule :



Ce qui n'est pas attaqué par l'acide chlorhydrique est constitué par les éléments insolubles : argiles, quartz, ... etc.

Mode opératoire

- Peser dans des erlenmeyers une masse $m=20\text{g}$ de sédiment sec pour chacune des stations ;
- Injecter de l'acide chlorhydrique (concentration ?) jusqu'à extinction de l'effervescence ;
- Laisser décanter ;
- Aspirer le surnageant contenant le bichlorure de calcium à l'aide d'une seringue ;

- Rincer à l'eau distillée et aspirer le surnageant encore une fois ;
- Sécher les échantillons à l'étuve ;
- Repeser les échantillons
- Déterminer le pourcentage de calcaire par différence de poids : $Ca \% = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$

Détermination du taux de matière organique

Principe

Le taux de matière organique dans le sédiment est déterminé par la méthode de perte au feu décrite par Castel et al (1990). Cette méthode consiste à brûler la matière organique du sédiment déshydraté en l'incinérant à très hautes températures dans un four à moufle. Le poids de la matière inorganique restante permet de déduire le taux de matière organique du sédiment.

Mode opératoire

- Éliminer toutes traces d'humidité par un pré-séchage des échantillons à l'étuve pendant 24h à 105°C ;
- Disposer un poids initial $Pi = 10g$ de chaque échantillon dans des creusets tarés en porcelaine résistants à de hautes températures ;
- Enfournier les échantillons, durant une heure, dans un four à moufle préchauffé à une température ne dépassant pas les 360°C car au-delà des cristaux de sédiment peuvent éclater ;
- Retirer les creusets du four à l'aide d'une pince, tout en évitant de les exposer à un courant d'air car ce dernier peut emporter avec lui les cendres, ce qui engendrait des biais dans les résultats ;
- Laisser les creusets refroidir 30 minutes à température ambiante avant de les placer dans un dessiccateur dans le but d'absorber toute humidité ;
- Retirer les creusets du dessiccateur après 30 à 45 minutes ;
- Peser les échantillons après incinération (Pf) ;
- Déterminer le pourcentage de matière organique : $MO \% = \frac{Pi - Pf}{Pi} \times 100$

échantillon	X	Y	ϕ_5	ϕ_{16}	ϕ_{50}	ϕ_{84}	ϕ_{95}	Mz	S _o	S _k
p1	564138	4080681	3,26	2,9	2,23	1,52	0,9	2,22	-0,7	0,08
p2	563573	4080847	2,1	1,67	0,95	0,8	-0,9	1,14	-0,67	-0,21
p3	563170	4081088	3,87	3,42	2,81	2,17	1,59	2,8	-0,66	0,05
p4	563924	4080915	1,8	1,46	1	0,7	0,44	1,05	-0,4	-0,19
p5	563655	4081080	2,11	1,39	-0,3	-1,52	-3,23	-0,14	-1,54	-0,03
p6	564162	4081025	2,46	1,2	0,73	0,32	0,09	0,75	-0,58	-0,26
p7	563430	4081310	2,69	2,29	1,68	1,03	0,67	1,67	-0,62	0,02
p8	563795	4081435	0,61	0,05	-0,88	-3,14	-3,26	-1,32	-1,38	0,32
p9	563570	4081497	2,38	2,1	1,63	1,1	0,78	1,61	-0,49	0,06
p10	563807	4081622	2,11	0,86	-0,1	-1,48	-3,21	-0,24	-1,39	0,17
p11	563906	4081478	0,33	0	-0,44	-0,89	-1,25	-0,44	-0,46	0,02
p12	563706	4081722	2,88	1,98	1,4	0,82	0,3	1,4	-0,68	-0,07
p13	563550	4081831	3,3	3	2,5	1,9	1,4	2,47	-0,56	0,12
P14	563943,7	4080708,9	2,384	1,94	1,346	0,891	0,313	1,392	-0,576	-0,068
P15	563744,5	4080759,7	1,968	1,546	0,833	0,498	-0,563	0,959	-0,645	-0,128
P16	563363	4080949,4	2,743	2,212	1,214	0,503	-0,716	1,309	-0,951	-0,026
P17	564116,6	4080846,1	2,507	1,853	1,32	0,847	0,477	1,34	-0,559	-0,114
P18	563752	4080923,1	2,003	1,507	0,55	-0,007	-1,23	0,683	-0,868	-0,082
P19	563413,7	4081133,6	2,89	2,367	1,397	0,56	-0,323	1,441	-0,939	-0,002
P20	563648,6	4081276,5	1,948	1,458	0,533	-0,633	-1,26	0,453	-1,008	0,116
P21	563909,8	4081079,1	2,384	1,94	1,346	0,891	0,313	1,392	-0,576	-0,068

Taux d'évolution de la ligne de rivage dans la région de Cap Djinet (taux et vitesse).

Profil N°	2009	2014	Evolution 2009-2014	Vitesse d'évolution (m/an)
1	-8,46	-14,6	-6,14	-1,02
2	-10,06	-16,54	-6,48	-1,08
3	-9,04	-14,74	-5,7	-0,95
4	-8	-12,78	-4,78	-0,79
5	-8,06	-11,46	-3,4	-0,56
6	-15,68	-13,9	1,78	0,29
7	-17,44	-14,64	2,8	0,46
8	-16,12	-13,48	2,64	0,44
9	-20,6	-13,74	6,86	1,14
10	-15,78	-11,32	4,46	0,74
11	-14,3	-10,64	3,66	0,61
12	-11,5	-8,12	3,38	0,56
13	-9,5	-3,46	6,04	1,00
14	-8,7	1,12	9,82	1,63
15	-6,54	8,5	15,04	2,50
16	-0,86	-3,1	-2,24	-0,37
17	0,56	-3,24	-3,8	-0,63
18	2,46	0,9	-1,56	-0,26
19	9,48	10,62	1,14	0,19
20	13,6	18,18	4,58	0,76
21	17,74	26,12	8,38	1,39
22	22,78	38,62	15,84	2,64
23	19,7	47,2	27,5	4,58
24	15,58	46,28	30,7	5,11
25	10,74	35,34	24,6	4,1
26	21,48	25,14	3,66	0,61
27	23,04	34,24	11,2	1,86