

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Etude de protection de la zone de LIDO Mohammedia (Alger)

Préparé par :

M^{elle} RAHMANI Manel

Soutenu le 27/11/2019 devant le jury suivant :

M BOULAHID M.	Professeur	(ENSSMAL)	Président
M MEZOUAR K.	Maître de Conférences A	(ENSSMAL)	Promoteur
Mme BOUDOUMA Z.	Ingénieur chargé d'étude	(LEM)	Co-Promotrice
Mme MAHDID S.	Maître Assistant A	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mme SALEM CHERIF Y.	Doctorante	(ENSSMAL)	Examinatrice

Session : 2019

Liste des figures :

Figure I.1. La situation géographique de la baie d'Alger.....	8
Figure I.2. La situation géographique Lido.....	9
Figure I.3. Carte géologique de la région d'Alger (IN JICA,2006)	10
Figure I.4. Carte sédimentaire de la Baie d'Alger.....	11
Figure I.5. Cumuls mensuels des précipitation de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM ,2017)	12
Figure I.6. Variation des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida (période 1996-2016) (ONM, 2017)	13
Figure I.7. Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM,2009)	13
Figure I.8. Rose annuelle des houles (MEDATLAS,1994-2004)	16
Figure I.9. Roses saisonnières des houles au large de Cap Djinet(source MEDATLAS-2004)	17
Figure I.10. Carte représentative des facteurs hydro-sédimentaire de la baie d'Alger	18
Figure I.11. L'érosion côtière, au croisement de facteurs naturels et anthropique D'après Paskoff, 1998.	19
Figure I.12. Le trait de côte 1980 (LEM)	20
Figure I.13. Le trait de côte 2007 (LME)	20
Figure I.14. Le trait de côte 2019 (LME)	20
Figure I.15. Localisation des principaux rejets urbains et industriels en baie d'Alger (LEM)	22
Figure II.1. Carte bathymétrique.....	25
Figure II.2. Profils bathymétriques.....	26
Figure II.3. Carte de positionnement des points de prélèvements.....	28
Figure II.4. Carte de répartition spatiale des pélites	29
Figure II.5. courbe unimodale.....	30
Figure II.6. Courbe bimodale.....	30
Figure II.7. Carte de répartition spatiale de la médiane.....	31
Figure II.8. Carte de répartition spatiale du décile supérieur (D90)	32
Figure II.9. Histogramme de fréquences des modes les plus représentatifs.....	33
Figure II.10. Répartition spatiale du Mode M1 (125 μ m)	34
Figure II.11. Répartition spatiale du Mode M2 (315 μ m)	34

Figure II.12. Répartition spatiale du Mode M3 (4000 μ m)	35
Figure II.13. Indice de dispersion (S0)	36
Figure II.14. Indice d'asymétrie (SK)	37
Figure II.15. Diagramme de Passega.....	37
Figure III.1. Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction	42
Figure III.2. Module MIKE 21 Flow Model (DHI,2014)	43
Figure III.3. Maillage de la zone de Lido.....	44
Figure III.4. Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21.....	45
Figure III.5. Carte bathymétrique de la zone d'étude (LEM2009)	46
Figure III.6. Carte bathymétrique de la Baie d'Alger.....	47
Figure III.7. Carte bathymétrique de la zone d'étude réalisée avec le Mike21.....	47
Figure III.8. Champs de houles (Nord- Est) sur la Baie d'Alger.....	49
Figure III.9. Champs de houles (Nord- Est) sur la zone de Lido.....	50
Figure III.10. Champs de houles (Nord) sur la Baie d'Alger.....	51
Figure III.11. Champs de houles (Nord) sur la zone de Lido.....	51
Figure III.14. Champs de houles (Nord- Ouest) sur la Baie d'Alger.....	52
Figure III.13. Champs de houles (Nord- Ouest) sur la zone de Lido.....	52
Figure III.14. Champs des courants sur la Baie d'Alger pour (Nord- Est)	53
Figure III.15. Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction (Nord- Est)	54
Figure III.16. Champs des courants sur la Baie d'Alger pour (Nord)	54
Figure III.17. Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction (Nord).55	55
Figure III.18. Champs des courants sur la Baie d'Alger pour (Nord- Ouest)	55
Figure III.19. Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction (Nord- Ouest)	56
Figure III.20 .Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord- Est)	57
Figure III.21 .Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord- Est)	58
Figure III.22 .Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord)	58
Figure III.23 .Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord)	59
Figure III.24 .Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord- Ouest)	59
Figure III.25 .Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord- Ouest)	59
Figure III.26. Epure de réfraction houle cinquantennale N 320	61

Figure III.27. Epure de réfraction houle cinquantennale N 360	61
Figure III.28. Epure de réfraction houle cinquantennale N 20	62
Figure IV.1. Les images Google Earth de la zone de Lido.....	66
Figure IV.2. Evolution de trait de côte de la zone d'étude (Lido)	68
Figure IV.3. Les données créés dans ArcCatalog et ArcMap.....	68
Figure IV.4. Le concept du DSAS (Digital Shore line Analysis System) sous ArcMap.....	69
Figure IV.5. Génération des transects perpendiculaires sur la ligne de base.....	69
Figure IV.6 La table attributaire issu lors du traitement sous ArcMap.....	70
Figure IV.7. Schéma du fonctionnement de l'extension DSAS.....	71
Figure IV.8. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000-2005...	72
Figure IV.9. Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido 2000-2005.	72
Figure IV.10. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2005- 2007.....	73
Figure IV.11. Variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido 2005-2007.	73
Figure IV.12. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007- 2019.....	74
Figure IV.13. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2007-2019.	74
Figure IV.14. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000-2019	75
Figure IV.15. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2000-2019.....	75
Figure IV.16. Visualisation l'évolution du trait de côte en m/an entre 2000 et 2005.	76
Figure IV.17. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2000-2005.	76
Figure IV.18. Visualisation l'évolution du trait de côte en m/an entre 2005 et 2007.....	77
Figure IV.19. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2005-2007.....	77
Figure IV.20. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007et 2019.....	77

Figure IV.21. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2007-2019.....	78
Figure IV.22. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000-2019	78
Figure IV.23. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2000-2019.	78
Figure IV.24. Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000-2019.....	79
Figure IV.25. Evolution trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2000-2019.	79
Figure IV.26. Représentation graphique des variation des paramètres d'évolution de trait de côte LLR et EPR en m/an.....	80
Figure V.1. Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj Elkiffan(Aoudj et al,2018)	82
Figure V.2. Profil moyen de la plage avec une hauteur de berme environs de 1m	89
Figure V.3. Défense longitude de haut de la plage.....	90
Figure V.4. Protection avec une série de brise-lames bas.....	92
Figure V.5. une plage protégée avec brise-lame et rechargement artificiel.....	94
Figure V.6. site de Lido actuelle (LEM 2009)	94

Liste des tableaux :

Tableau I.1. Caractéristiques des Oueds el Harrach et El Hamiz (LEM 2009)	14
Tableau I.2. Fréquences annuelles et saisonnières des houles au large par direction entre 1999 et 2004 (source MEDATLAS)	15
Tableau I.3. Hauteurs des houles par secteur de provenance au large.....	17
Tableau III.1. Houle équivalente (LEM2009)	48
Tableau III.2. Houle cinquantennale(LEM 2009)	49
Tableau III.3. Résultats du calcul de la houle cinquantennale(LEM)	60
Tableau III.4. Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période(LEM2009)	63
Tableau III.5. Récapitulatif de l'estimation de la capacité de transport par la houle par période et direction (LEM)	63
Tableau V.1. Propagation de la houle.	83

Sommaire :

Introduction générale	5
Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude	4
I.1. Situation géographique.....	8
I.1.1. La Baie d'Alger.....	8
I.1.2. La site d'étude.....	8
I.2. Caractéristiques géomorphologiques et géologique.....	9
I.2.1. Cadre géologique de la zone d'étude.....	9
I.2.2. Cadre géomorphologique.....	10
I.3. Donnée météorologique et hydrodynamique.....	12
I.3.1. Les précipitations	12
I.3.2. La température	12
I.3.3. Le vent.....	13
I.4. Réseau hydrographique	14
I.4.1. Oued El Harrach	14
I.4.2. Oued El Hamiz	14
I.5. Données océanographiques	15
I.5.1. La marée.....	15
I.5.2. Les houles au large.....	15
I.6. Les courants	18
I.6.1. Le courant général.....	18
I.7. Facteur d'érosion	18
I.7.1. Urbanisation.....	19
I.7.2. Extraction abusive.....	21
I.7.3. Construction de barrages en amonts des oueds.....	21
I.7.4. Pollution	21
Chapitre II : Etude sédimentologique du site LE LIDO	23
II.1. Etude bathymétrique	24

II.1.1. Levé bathymétrique.....	24
II.2. Etude sédimentologique.....	26
II.2.1. Méthode d'analyse au laboratoire.....	27
II.2.2. Positionnement des points de prélèvement	28
II.2.3. Répartition spatiale de la fraction fine.....	28
II.2.4. Etude de la fraction grossière	29
Chapitre III. Modélisation hydrodynamique.....	39
III.1. Modélisation numérique.....	40
III.1.1. Principe de la modélisation	40
III.1.2. Description du modèle SWAN.....	41
III.1.3. Description du modèle de simulation MIKE	42
III.2. Données de base.....	46
III.3. Résultats et discussion	49
III.3.1. Propagation de la houle (Modèle SW)	49
III.3.2. champs de courants générés par la houle (Modèle HD)	52
III.3.3. Transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant (Modèle Mike 21 ST)....	56
III.3.4. Propagation de la houle cinquantennale(modèle SWAN)	60
III.4. Estimation de la capacité de transport par la houle.....	62
Chapitre IV : Evolution spatiotemporelle de la ligne de côte.....	64
IV.1. Historique d'évolution de trait de côté de la zone Lido.....	65
IV.2. Méthodes et techniques utilisées.....	66
IV.2.1. Les logiciels utilisés	66
IV.2.2. Utilisation de l'extension DSAS pour l'analyse de l'évolution du trait de côte.....	67
IV.2.3. Méthode de digitalisation.....	67
IV.2.4. Méthode de génération de transects.....	68
IV.3. Visualisation des résultats	71
IV.3.1. L End point Rate EPR.....	71
IV.3.2. Net Shore mouvement (NSM).	75
IV.3.3. Linear Regression Rate-of-change (LRR)	79
Chapitre V : Etude d'aménagement	81
V.1. Situation de la zone d'étude avant l'implantation des ouvrages.....	82
V .2. Proposition d'aménagement	83
V.3. Critères de dimensionnement et contraintes de site.	83

V.4.Présentation des grandes principes d'aménagement.....	84
V.4.1 Les ouvrages transversaux : Epis.....	84
V.4.2. Les ouvrages longitudinaux	85
V.4.3. Apport rechargement en sable.....	87
V.5. Protection de la zone de Lido.....	89
Conclusion générale.....	96

Introduction

Introduction

S'appuyant sur les travaux de la Commission sur l'Environnement Côtier de l'Union Géographique Internationale, BIRD (1985) estimait que le processus de recul du trait de côte affectait à l'époque plus de 70 % des plages de la planète. Plus récemment, BEER (1997) soulignait aussi que l'évolution des littoraux sableux est dominée généralement par une tendance régressive. Les études menées ces dernières années dans les différentes régions du monde montrent que la régression des côtes sableuses est un phénomène planétaire.

Les littoraux sableux de la côte Algérienne n'échappent pas à cette évolution régressive. L'érosion côtière est l'un des principaux problèmes environnementaux auxquels est confronté le littoral de la zone centre. Or dans cette frange littorale comme sur la plupart des façades maritimes, les dernières décennies sont marquées par une croissance démographique et corrélativement d'une augmentation des activités économiques sur les zones côtières.

Le littoral algérien accueille chaque année des dizaines de millions de personnes. En effet les plages qui possèdent un attrait touristique majeur, présentent un intérêt économique de première importance et constituent un patrimoine paysagé naturel d'une valeur incomparable. Cette importante fréquentation des espaces littoraux met l'accent sur l'importance de la propreté et de la salubrité des plages, ainsi que de la qualité des eaux de baignade, mais aussi l'aspect esthétique qu'elles représentent. Malheureusement la quasi-totalité de ce littoral est marqué par une dégradation de ces côtes, soulignées par une érosion intensive à leurs niveaux.

Les forçages naturels et anthropiques sur l'évolution morphosédimentaire multi échelle d'un linéaire côtier ont fait l'objet de multiples études. Certaines insistent principalement sur les forçages naturels qui ont des effets morphologiques très discontinus dans le temps et dans l'espace, d'autres études soulignent surtout l'impact des activités humaines. Les digues portuaires et les ouvrages de défense du littoral perturbent la dynamique littorale et font que certains secteurs progrades alors que d'autres reculent.

Dans ce présent travail, nous nous sommes intéressés plus précisément à la plage de LIDO, car cette zone constitue un site touristique par excellence qui est de plus en plus sollicité par les estivants, où la compétition pour l'utilisation de ces ressources naturelles a précipité la dégradation de son environnement, de ce fait des travaux d'implantation des ouvrages de protection lourds sont en cours d'exécution sur une partie de la côte, tandis que le reste de la côte n'a pas bénéficié d'une protection.

Le présent mémoire s'articule autour de cinq principaux chapitres :

Le premier chapitre a fait l'objet d'une description complète de la zone d'étude Lido et de la baie d'Alger, son cadre géographique et ses principales caractéristiques physiques.

Le deuxième chapitre est consacré à la collecte et l'analyse des données bathymétrique et sédimentologie présentes dans la zone de Lido pour pouvoir interpréter et tirer une conclusion sur l'état du site

Le troisième chapitre est consacré à l'étude de la modélisation bathymétrique et hydrodynamique. La première partie de ce chapitre, expose la démarche méthodologique privilégiée pour étudier la propagation de la houle de notre zone d'étude. La seconde partie vise à expliquer les résultats obtenus lors de cette étude.

Le quatrième chapitre est réservé à l'étude des variations historiques de la position de la ligne de rivage, dans le but de parvenir à l'identification et la description des taux nets et les zones d'érosion tout le long de cette côte.

Le cinquième chapitre présente les solutions d'aménagements et les ouvrages de protection afin de réduire cette évolution régressive de la zone.

Enfin, on va clôturer notre travail par une conclusion, dans laquelle on a résumé les différents chapitres.

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

I.1. Situation géographique

I.1.1. La baie d'Alger

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne entre les longitudes Est : de $03^{\circ}01'00''\text{E}$ à $03^{\circ}14'30''\text{E}$ et les latitudes Nord : de $36^{\circ}44'30''\text{N}$ à $36^{\circ}49'15''\text{N}$, Superficie **1 190 km²**. De forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180km^2 , elle s'inscrit en creux dans la plaine de la Matidja. Elle est délimitée par deux caps, la Pointe Pescale (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord (Figure I.1).

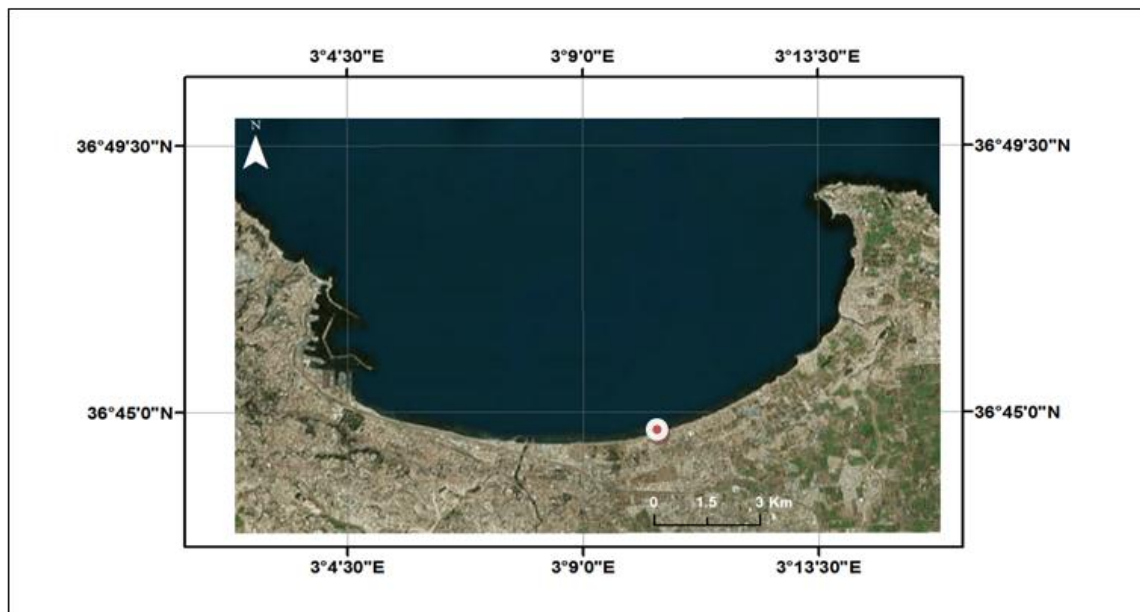


Figure I.1: La situation géographique de la baie d'Alger Fond Google Earth 2019

I.1.2. Le site d'étude

Le site de Lido est situé à environ 12 km à l'Est d'Alger, au centre de la baie d'Alger. Elle est délimitée à l'ouest par l'Oued El Harrach, et à l'Est de la plage sirène I sirène II par la commune de Bordj Kiffan (Figure I.2)..

Avec les coordonnées géographiques Lido

$36^{\circ}44'00''$ Nord, $3^{\circ}08'00''$ Est, Superficie $7,9\text{Km}^2$



Figure I.2 : la situation géographique Lido Fond Google Earth 2000

I.2. Caractéristiques géomorphologiques et géologiques

La connaissance de la géologie et la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines. L'analyse de cet aspect est 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 rejetée en mer.

I.2.1. Cadre géologique de la zone d'étude

Du point de vu géologique, la zone de Lido se situe à l'extrémité occidentale de la plaine de la Mitidja qui est une zone de subsidence continue. Cette dernière a donné naissance à une sédimentation active dont les éléments proviennent des reliefs de l'Atlas blidéen. A la fin du pliocène et du quaternaire, deux réservoirs aquifères se sont individualisés, il s'agit de l'Astien formé par des calcaires et des grés d'origine continentale. Le quaternaire alluvial constitué essentiellement de galets et graviers.

Ces deux réservoirs sont séparés dans toute la plaine par une marne jaune semi-perméable de la formation d'Oued el Harrach sauf au niveau de la poche de Rouïba où les deux aquifères reposent sur un substratum imperméable, généralement constitué par les marnes grises et bleu du Plaisancienr. La baie est constituée essentiellement d'alluvions et de sables au niveau du côté centre et est, par contre à l'ouest le type du sol est schisteux avec une couche de roches volcaniques et une bande assise de marne. Voir (Figure.I. 3).

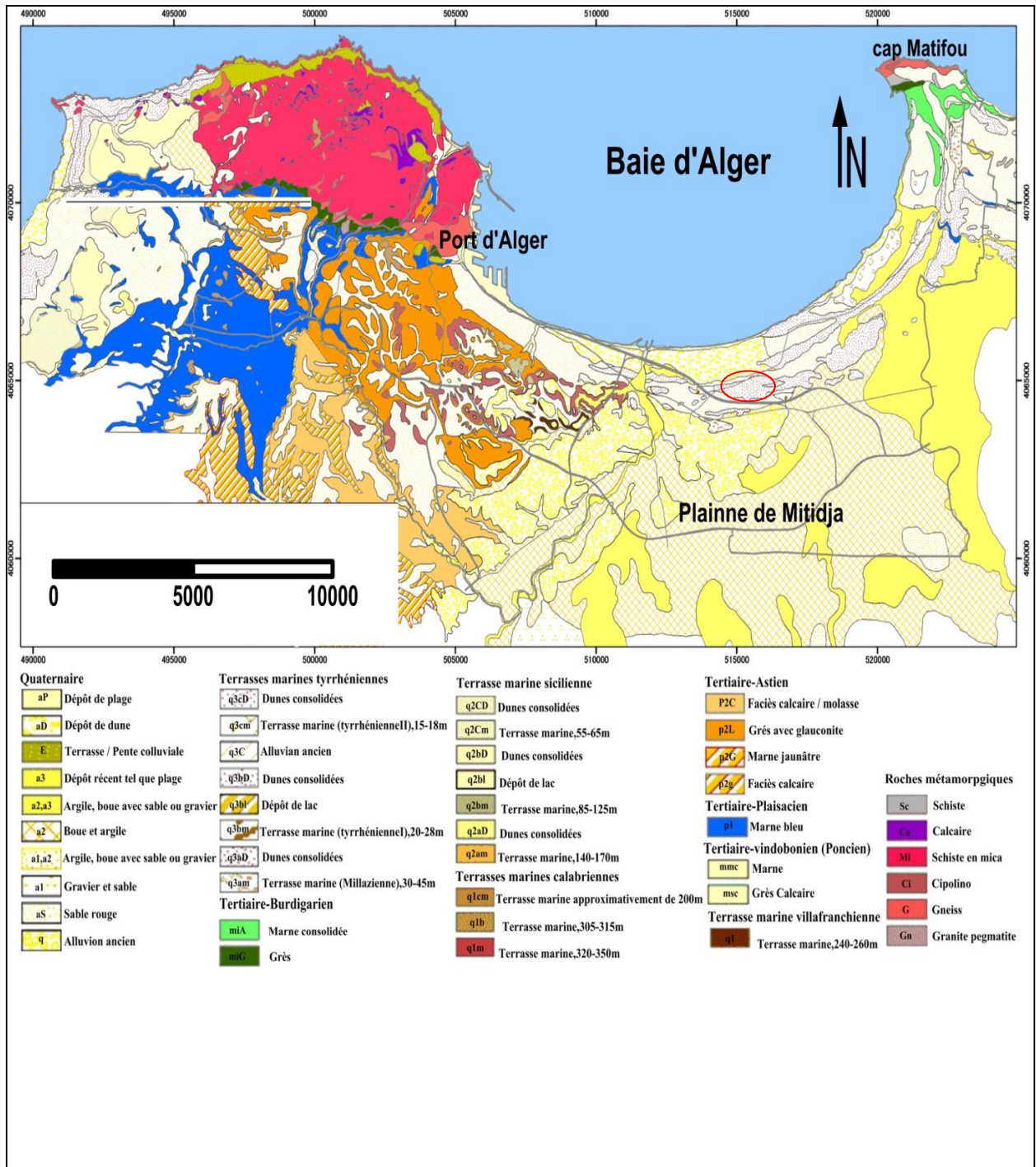


Figure I.3: Carte géologique de la région d'Alger (INJICA,2006)

I.2.2. Cadre géomorphologique

Le plateau continental est très étroit au niveau des extrémités de la baie (Cap Matifou et Massif de Bouzzeréah), mais il s'élargit au centre d'environ 9 km vu la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach) au niveau Mohammadia et les plages. Il est caractérisé par une pente assez douce de l'isobathe 0m à celui des 100m dont la distance maximale qui sépare ses deux

isobathes est d'environ 6 milles (BELKACEM, 2006). Les dépôts de l'Oued El Harrach à 9m forment une zone deltaïque suite aux dépôts terrigènes importants au niveau des caps qui sont assez accidentés avec l'apparition des zones rocheuses. En effet, l'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte. (PAC, 2004).

En baie d'Alger, la distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. Ainsi leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale. La distribution générale des faciès, établie par (MAOUCHE, 1987), montre, d'après la composition globale des dépôts, trois types de faciès :

Faciès sableux : Ils se limitent à la bordure littorale, entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires et en prolongement des caps, ou ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, en direction du centre de la baie.

Faciès carbonates : Ils sont réduits aux bordures rocheuses littorales et au fonds rocheux de la baie.

Bordure Ouest : La fraction carbonatée représente 30 à 35% du sédiment total jusqu'à des fonds de 35 à 50 m.

Bordure Est : Ce faciès s'étend à des profondeurs élevées au large du Cap Matifou. Où la fraction carbonatée peut être supérieure à 35%.

Le haut-fond du Matifou : Même nature que le Cap Matifou ; la fraction carbonatée constitue plus de 50% du sédiment.

Faciès pélitiques : Ils occupent la partie centrale et septentrionale de la baie, on observe un envasement central avec 75 à 95% de fraction pelitique, avec deux invaginations de part et d'autre des oueds. (Figure I.4)

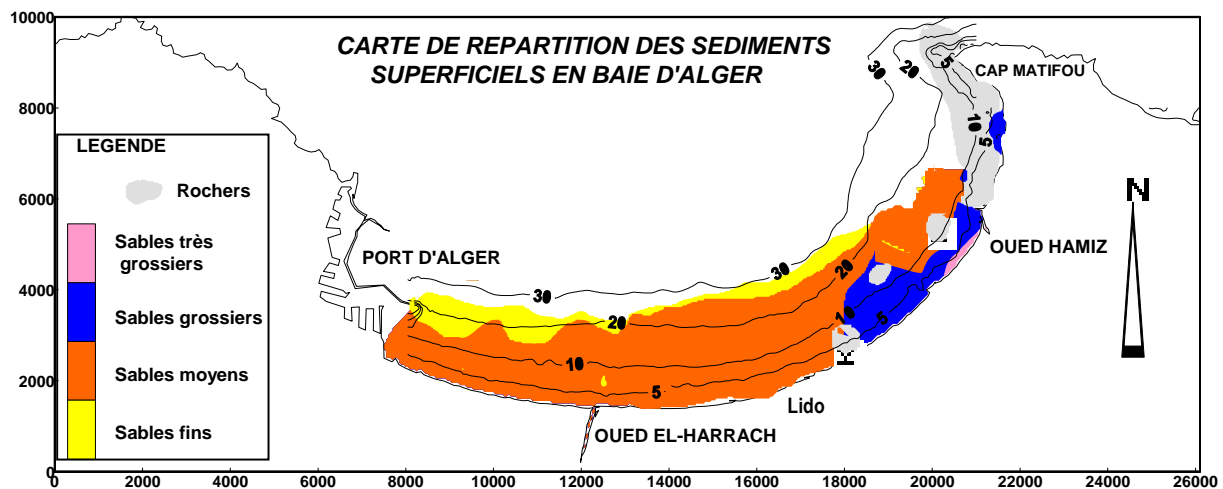


Figure I. 4 : Carte sédimentaire de la Baie d'Alger (Maouche, 1987)

I.3. Donn e météorologique et hydrodynamique

I.3.1. Les précipitations

La moyenne annuelle des précipitations donn e par la station de Dar El Beida couvrant la période qui s'étend de 2006   2016 est de l'ordre de 625.3mm.

Les précipitations se concentrent de Septembre   Mai, avec un maximum hivernal de 108.2 mm en Novembre ; celles-ci diminuent progressivement dès le mois de Mai pour devenir faibles de juin   août avec un minimum de 1.8 mm en juillet (Figure I.5).

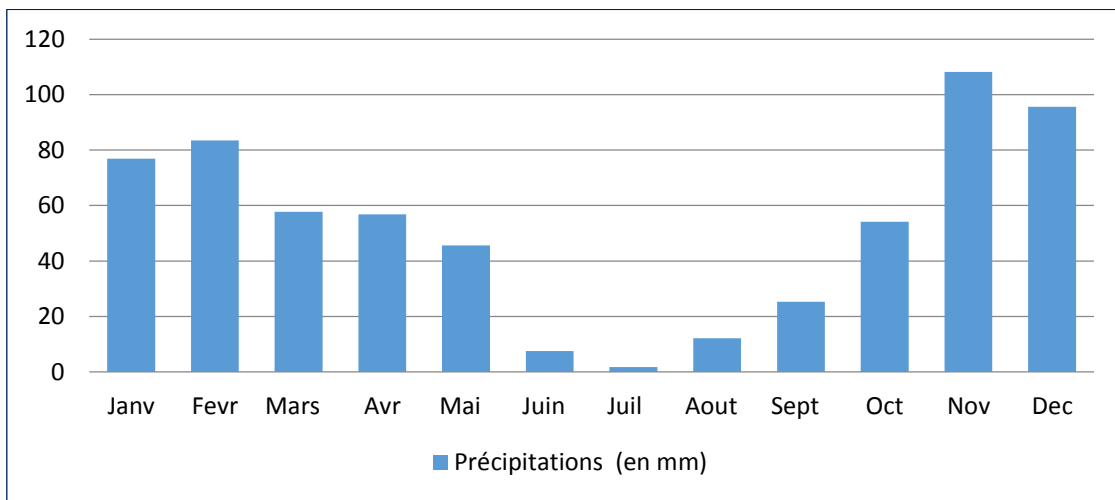


Figure I.5: Cumuls mensuels des précipitations de la station de Dar El Beida (période 2006-2016) (ONM, 2017)

I.3.2. La température

Les données de température ont été acquises de l'Office National de Météorologie (1996-2016). L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral présente une période estivale caract ris e par des températures qui sont relativement  lev es avec 22.8 C en Juin, 25.6 C pour Juillet et 26.4 C au mois d'Août. Quant au mois le plus froid est celui de janvier avec 11.6 C. La valeur maximale de la température est enregistr e durant le mois d'Août avec une valeur de 32.7 C, tandis que la température minimale est enregistr e durant le mois de Janvier et qui ne dépasse pas 6 C (Figure I.6).

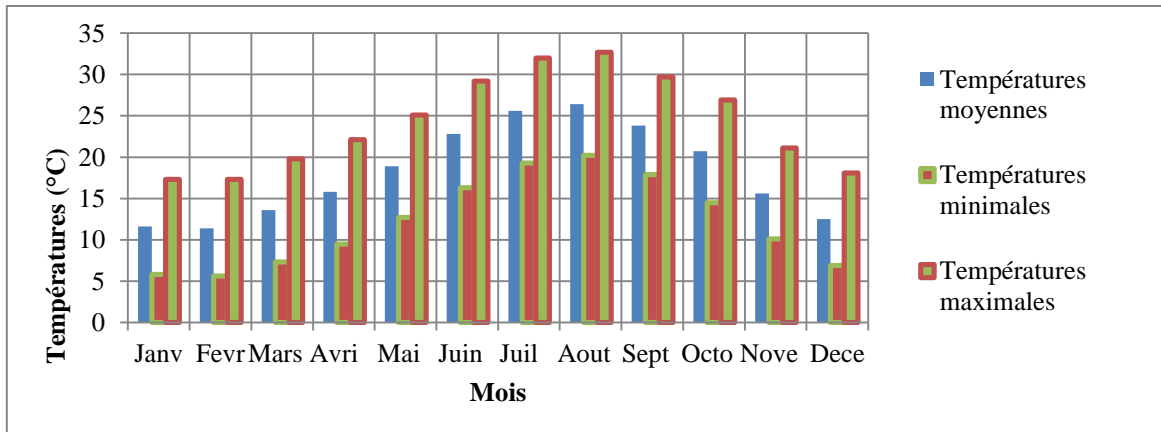


Figure I.6: Variation des températures maximales, moyennes et minimales de la station de Dar El Beida période (1996-2016), (ONM, 2017)

I.3.3. Le vent

I.3.3.1. Le vent au large

La reconstitution du climat des vents a été établie à partir des données de MEDATLAS (1999-2004) en modèle numérique d'un point situé en Méditerranée à une profondeur dépassant 2500 m selon les coordonnées géographiques (3°00' E, 37°00'N).

Les résultats de cette étude mettent en évidence une prédominance des vents provenant des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest, avec des vitesses maximales qui atteignent 20m/s pour les directions comprises entre 240° et 270°N (figure I.6). Aussi pour les directions comprises entre 45° et 90°N on observe des vitesses de vent qui atteignent 16 m/s. (LEM, 2009). (Figure I.7).

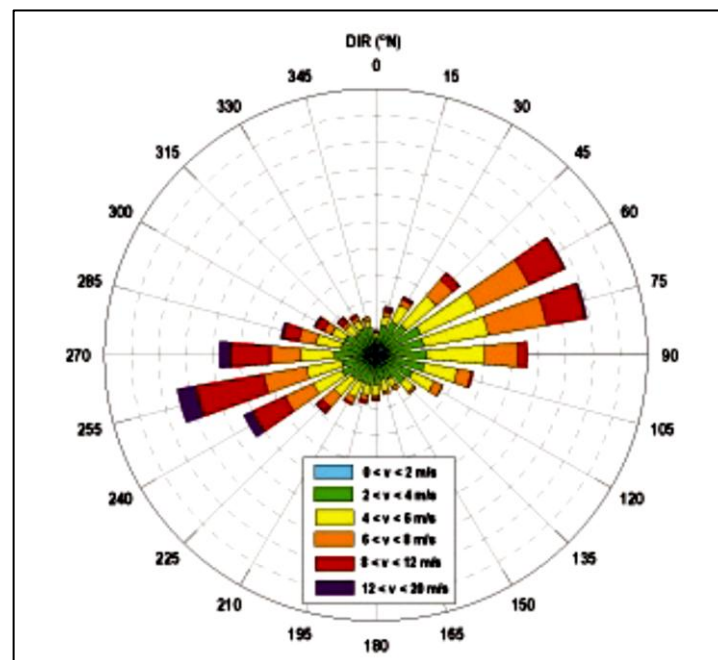


Figure I.7: Rose des vents au large de la baie d'Alger (LEM, 2009)

I.4. Réseau hydrographique

Les oueds EL Harrach et EL Hamiz drainent respectivement les parties centrales et orientales de la Mitidja avant de se jeter dans la mer. Ces deux Oueds ainsi que leurs affluents sont des torrents à débit irréguliers. Dans leur cours inférieur, ils présentent une direction générale du Sud vers Nord (LEM, 1996)(Figure I. 10.tableau I .1)

I.4.1. Oued EL Harrach

Le bassin versant de l'Oued EL Harrach couvre une superficie de 387 Km², c'est un bassin difficile d'accès caractérisé par une forte dénivelée, une végétation peu dense. A ces facteurs érosifs s'ajoute le caractère torrentiel de l'Oued qui est en faveur d'un fort débit et d'un alluvionnement important. La formation à faciès continental villafranchien est connue sous le nom de formation de marnes d'EL Harrach. C'est une séquence relativement uniforme d'argiles jaunâtre ou grise per endroits, avec quelques cailloutis et lentilles de graviers épaisses de 2 à 6 mètres. La série de marne, épaisse de 200m environ, diminue d'épaisseur vers l'Atlas. Les marnes sont visibles à EL Harrach, sur le flanc Sud du Sahel et l'extrémité occidentale de la plaine de la Mitidja (LEM, 1996). (Tableau I .1)

I.4.2. Oued EL Hamiz

En ce qui concerne l'Oued EL Hamiz, la présence d'un barrage portant le même nom a largement réduit les apports solides vers la mer actuellement (Tableau I.1). L'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30 m) de mètres de large, ce qui lui vaut une participation secondaire dans l'alimentation de la baie en apport solide (LEM, 1996).

Tableau I. 1: Caractéristiques des Oueds el Harrache et el Hamiz (LEM.2009)

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Communes traversées	Mohamadia-Moradia-HuseinDey-El Harrach-SidiMoussa-Birtouta-Saoula-OuledChbel-OuledFayt-BirMouradRais-GuideConstantine-Echefa-Blida...	Rouiba-Dar El Baida-Oued Essemar-Bordj El Bahri-El Hamiz-Eucalyptus-BabEzouar-Bordj El Kiffan-Ain Taya...
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (Km ²)	378	86
Apports liquides Al (Hm ³)	53	11
Apports solides As (m ³ /an)	107114	100226

I.5. Données océanographiques

I.5.1. La marée

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée, elle joue un rôle important dans la vulnérabilité des plages dissipatives. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm.(LEM)

I.5.2. Les houles au large

La houle est une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau, celle-ci étant générée initialement par le vent. Elle se propage plus ou moins régulièrement jusqu'à l'approche des côtes où elle subit des modifications par réfraction, diffraction et déferlement. (GUILCHER, 1979).

La détermination des caractéristiques de la houle au large permet de :

- ✓ Mieux analyser les constatations faites à l'évolution du littoral.
- ✓ Déterminer les dimensions des ouvrages de protection.
- ✓ Estimer le transit sédimentaire.

Les données utilisées pour étudier les houles et l'état de la mer de la baie d'Alger sont issues des mesures de la base de données observations qui ont été effectuées au large des côtes algéroises lors de projet MEDATLAS.

Les données de houles au large sont extraites à partir de la base de données MEDATLAS 2004 sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière. Ces fréquences d'apparition sont calculées à partir de la série de données enregistrée entre 1999 et 2004 au niveau de la station la plus proche du site d'étude localisée à 3°E et 37°N au large de la Baie d'Alger par 250 m de profondeur.

Les fréquences d'apparition annuelle et saisonnières des houles par direction sont mentionnées dans le tableau I.2 et les roses représentées dans les figures (I.8 et I.9).

Tableau I.2: Fréquences annuelle et saisonnières des houles au large par direction entre 1999 et 2004 (Source MedAtlas)

	Annuelle	Hiver	Eté	Automne	Printemps
N (0° ± 15°)	13,57	19,5	7,2	15,16	11,93
NE (45° ± 15°)	42,95	25,8	65,48	37,95	45,09
E (90° ± 15°)	5,47	2,9	10,02	3,79	6,26
SE (135° ± 15°)	0,4	0,9	0,3	0,5	0,3
S (180° ± 15°)	0,4	1,4	0,2	0,6	0,1
SW (225° ± 15°)	0,8	2,2	0	1,4	0,4
W (270°N ± 15°)	27,3	33,7	12,92	31,1	28,16
NW (315°N ± 15°)	7,7	11,7	3,5	8,29	6,28

L'analyse statistique des directions de houles au large nous a permis de tracer les roses annuelles et trimestrielles (Figure I.8 et tableau I.2). L'analyse de ces roses fait ressortir que les directions dominantes proviennent des secteurs :

- ✓ Ouest à 27% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (34%) qu'en été (13%).
- ✓ Nord Est à 43% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (66%) qu'en hiver (26%).

Les pourcentages d'apparition des deux secteurs (NE et W) sont similaires durant l'année et les deux trimestres (Automne et Printemps), ils s'élèvent en moyenne et respectivement à (42% et 29%). En conclusion, les houles en provenance du secteur Nord-Est prédominent en été. Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui proviennent des deux secteurs Nord-Est et Ouest prédominent durant l'automne, le printemps et annuellement.

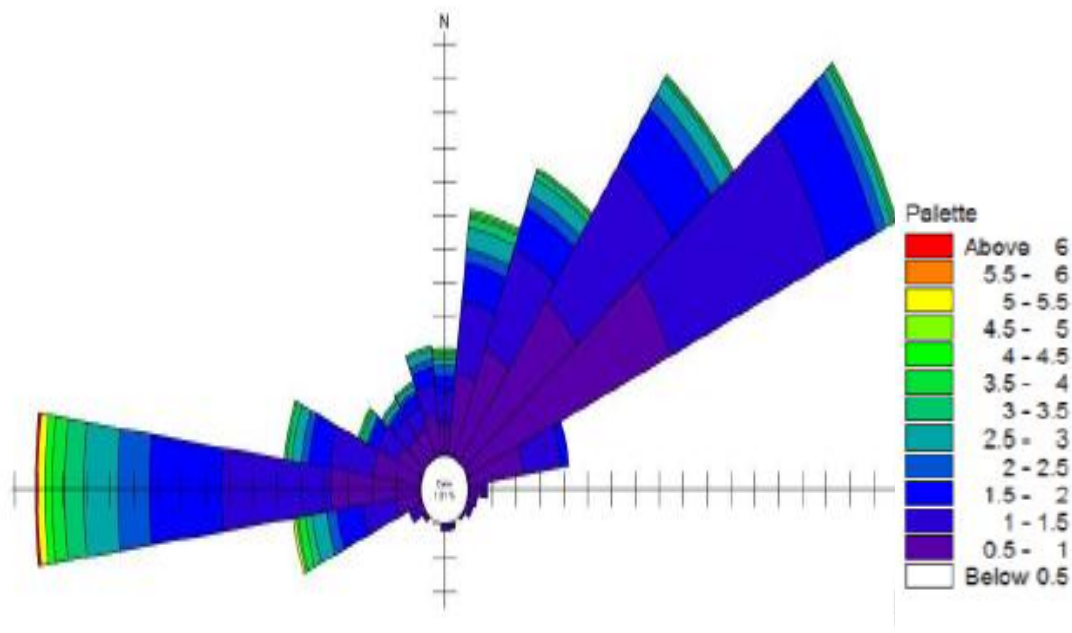


Figure I.8: Rose annuelle des houles (MEDATLAS, 1994-2004).

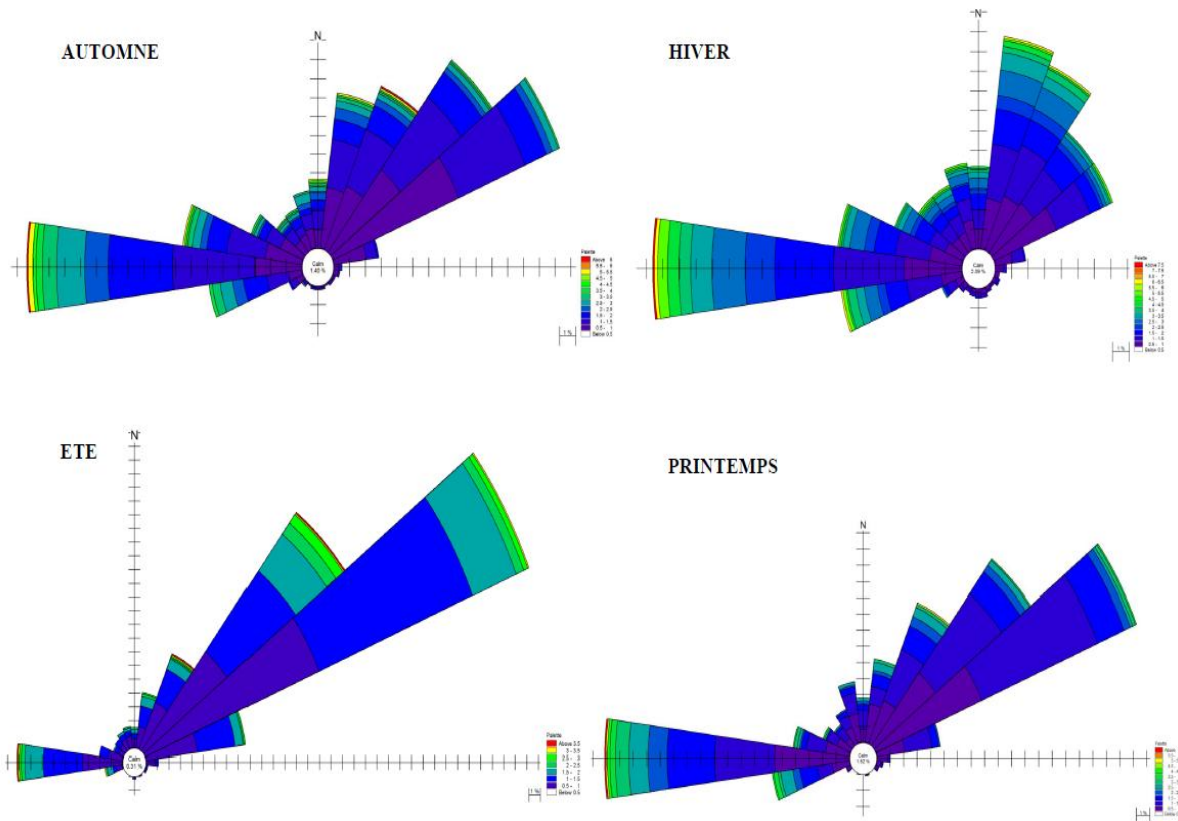


Figure I.9: Roses saisonnières des houles au large de Cap Djinet (Source MEDATLAS- 2014)

I.5.2.1. Les houles extrêmes du large

Les caractéristiques des houles extrêmes sont, par secteur de provenance et pour toutes directions confondues, les suivantes :

Tableau I. 3: Hauteurs des houles extrêmes par secteur de provenance au large (LEM)

DIRECTION HOULE	DE	EST	NORD EST	NORD	NORD OUEST	OUEST	TOUTES DIRECTIONS
Biennale		4,12 m	4,93 m	4,90 m	4,16 m	7,36 m	7,44 m
Quinquennale		4,70 m	5,67 m	5,75 m	4,87 m	8,43 m	8,34 m
Décennale		5,14 m	6,23 m	6,38 m	5,40 m	9,22 m	9,02 m
Vingtennale		5,59 m	6,79 m	7,02 m	5,94 m	10,02m	9,70 m
Cinquantennale		6,17 m	7,53 m	7,87 m	6,65 m	11,08m	10,60 m
Centennale		6,62 m	8,08 m	8,50 m	7,18 m	11,88m	11,27 m

En hiver les houles prédominantes sont de secteur Ouest Nord-Ouest avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10 s (pouvant atteindre 13 s) sont relevées lors de grandes tempêtes.

L'amplitude moyenne correspondante la plus fréquente est de 2 à 3 m ; des houles peuvent atteindre des amplitudes maxima de 4 à 6 m.

La longueur d'onde des houles d'hiver les plus fréquentes est de 150 à 170 m avec une célérité de 14 m/s. Par "gros temps" les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ces conditions, la profondeur de déferlement peut-être estimée entre 5 et 8 m.

I.6. les courants

I.6.1. Le courant général

Le courant Atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe, d'Ouest en Est, les côtes d'Afrique du nord ; sa vitesse est de l'ordre de 1,5 à 2 nœuds. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques et son action se fait sentir jusqu'à une profondeur de 200 m. Encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud), son action va en diminuant vers l'Est du bassin occidental de la Méditerranée.

Ce courant de surface est compensé en profondeur par un contre courant qui longe les côtes espagnoles. La vitesse de ces courants peut augmenter par régime de vent d'Ouest pour atteindre 2,5 à 3 nœuds. (figure.I.10) Millot 1987.

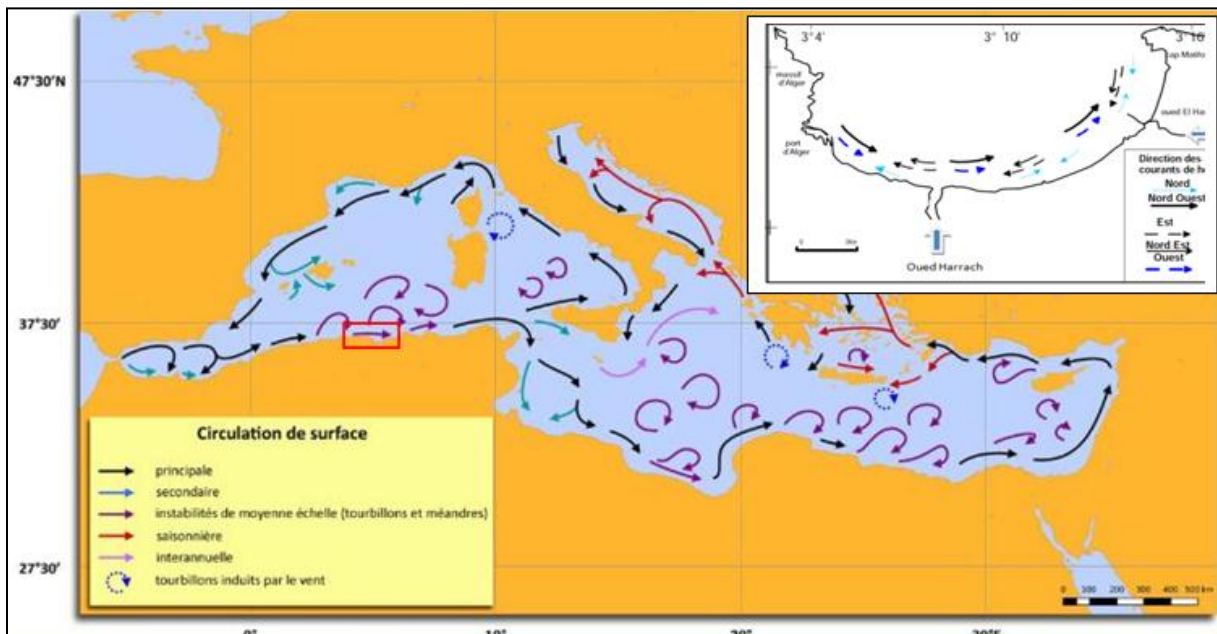


Figure I.10: Carte représentative des facteurs hydro-sédimentaire de la baie d'Alger.

I.7. Facteur d'érosion

La zone côtière est donc considérée comme très attractive, mais elle est aussi particulièrement dangereuse. En effet, les évolutions spectaculaires, l'impact des tempêtes et de l'érosion à long terme menacent parfois les activités humaines. Ces risques et surtout la méconnaissance du milieu naturel entraînent légitimement un sentiment de méfiance ou de

peur. Malheureusement, les réactions humaines sont trop souvent mal adaptées, très coûteuses et parfois destructrices pour l'environnement.

De nos jours, les littoraux, et les plages en particulier, reculent. Entre les pressions économiques et environnementales, la préservation du trait de côte est devenue un enjeu essentiel de ces prochaines années. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus d'érosion.

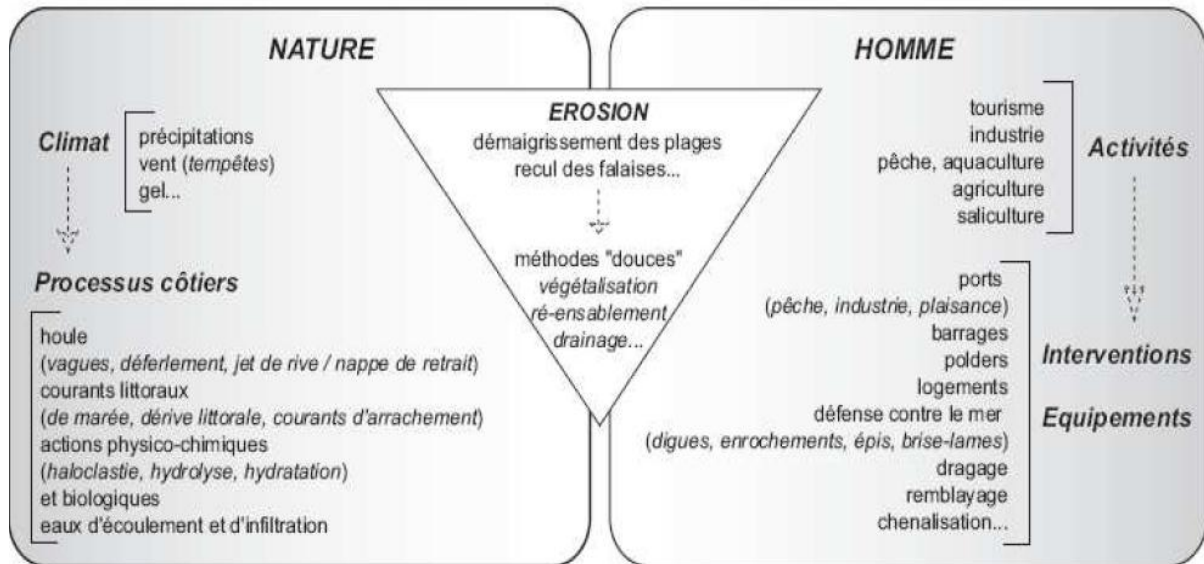


Figure I.11: L'érosion côtière, au croisement de facteurs naturels et anthropique (D'après Paskoff, 1998).

I.7.1. Urbanisation

Pendant très longtemps, pour assurer la protection du littoral, des ouvrages de haut de plage, constitués par une digue longitudinale plus ou moins réfléchissante ont été réalisés.

La réaction du littoral vis-à-vis de ces aménagements a montré qu'un tel système de défense, n'apporte non seulement pas d'améliorations, mais peut souvent porter préjudice à la stabilité de la plage si l'ouvrage est très réfléchissant.

Ce schéma concorde parfaitement avec les constatations effectuées sur le terrain au niveau de la zone d'étude ; en effet, l'urbanisation anarchique a fait que les constructions trop proches du rivage constituent par elles-mêmes des obstacles réfléchissants pour les houles d'incidence frontale entraînant ainsi la disparition des plages et la dégradation permanente des habitations par déchaussement des fondations.

Actuellement le trait de côte se situe au pied des habitations du secteur. Des dégradations avancées d'habitations entières ont été noté lors de la visite de site effectuée par le (LEM) en date du 17 mars 2009 comme le montrent les photos prises ce jour là, photos ci après.



Figure I.12: Le trait de côte 1980 au niveau de la zone de lido (LEM.2009)



Figure I.13: Le trait de côte 2007 de la zone de lido (LEM.2009)

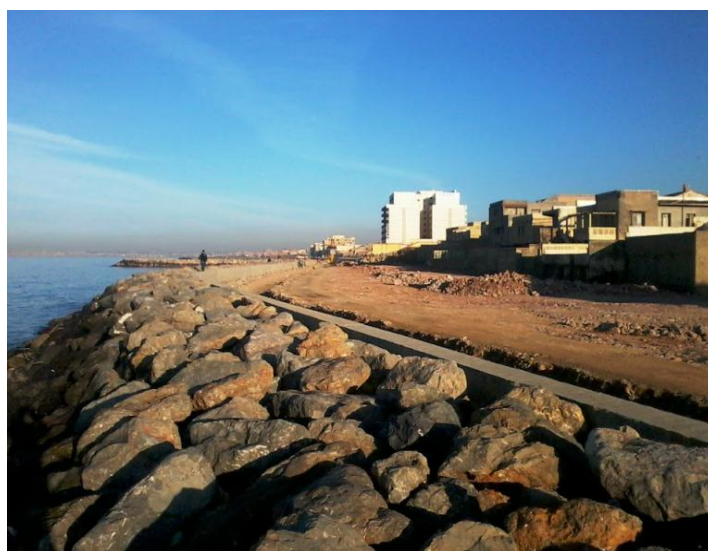


Figure I.14: Le trait de côte de la zone de lido .2019

I.7.2. Extraction abusive d'agrégats

L'exploitation abusive des agrégats (sable et gravier) au niveau des Oueds et des plages, réduit considérablement le volume des apports solides aboutissant en mer.

En effet d'énormes quantités de sable sont prélevées chaque jour, comme c'est le cas à l'embouchure de l'Oued El-Harrach, au niveau des sablières littorales, ainsi que les nombreuses carrières de gravier (ballastières) en amont de cet oued.

I.7.3. Construction de barrages en amont des oueds

La présence d'un barrage (nom du barrage) en amont de l'Oued Hamiz, a fait que ce dernier reste inactif d'où le déficit en apports terrigène. Ce déficit en apports, additionné au transfert des sédiments dans le sens du profil, se solde par une diminution importante des largeurs des plages par érosion.

I.7.4. Pollution

I.7.4.1. Les rejets urbains et industriels

Il est important de noter tout au long du littoral de la baie d'Alger, l'existence de rejets urbains, industriels de l'agglomération Algéroise et des communes environnantes et ce à ciel ouvert et sans aucun traitement préalable des eaux de rejets.

Les eaux résiduelles des localités côtières, riches en micro-organismes plus ou moins pathogènes et en produits chimiques tels que les détergents, sont ainsi rejetées directement sans traitement dans le milieu marin à ciel ouvert par les émissaires urbains, Oued El-Harrach et Oued Hamiz. De plus les polluants tel que les engrais azotés (nitrites - nitrates) et phosphates, pesticides, défoliants, ... sont drainés par les Oueds par le lessivage des terres agricoles par les eaux de pluies sans oublier les polluants chimiques issus de l'activité industrielle.

I.7.4.2. Le port d'Alger

Les ports peuvent être à l'origine de plusieurs sources de pollution liées aux rejets des différentes activités qui s'y exercent. Quatre types de pollutions potentielles peuvent être distingués :

- ✓ La pollution organique ou bactérienne due aux rejets clandestins par les bateaux habités, ou de rejets extérieurs (eaux pluviales),
- ✓ La pollution chimique due aux activités nautiques (hydrocarbures, résidus issus des opérations de carénage ou de peinture, détergents),
- ✓ La pollution par les macros - déchets flottants,

Sur la base d'analyses des sédiments et des eaux prélevées à l'intérieur du port d'Alger et au niveau des principales plages environnantes, il ressort que le port d'Alger est très pollué,

dépassement des normes pour la plupart des polluants (métaux lourds, PCB, hydrocarbures) aussi bien pour les sédiments que pour les eaux.

La pollution quelle que soit son origine augmente l'opacité à l'interface air - mer, entravant ainsi la photosynthèse et par conséquent le développement de la flore et de la faune qui lui est associée.

C'est ainsi que l'herbier jadis très étendu et développé entre Tamentfoust et Bordj-El-Kiffan, est aujourd'hui très rare.

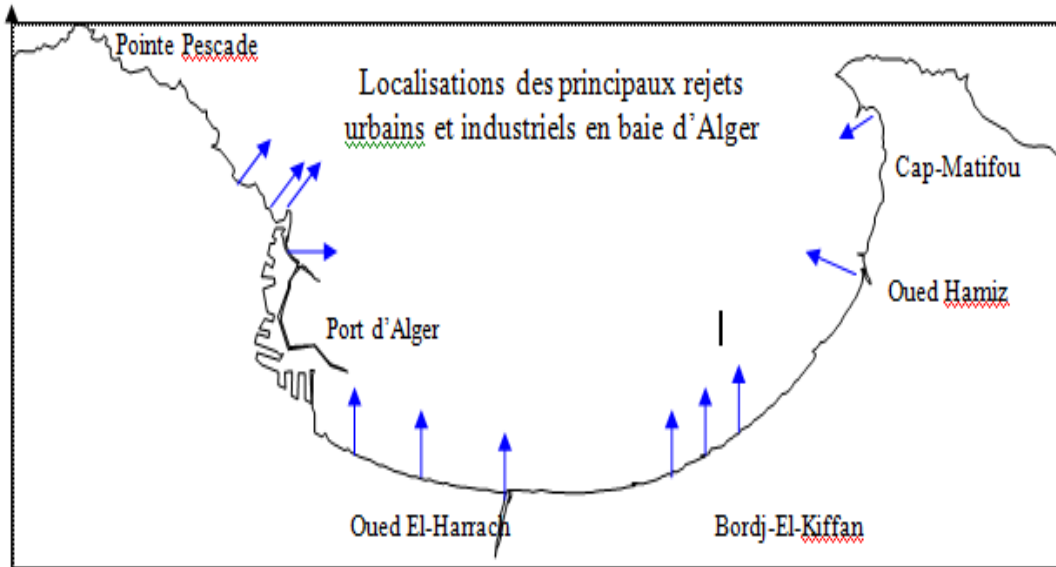


Figure I.15: Localisation des principaux rejets urbains et industriels en baie d'Alger (LEM.2009).

Chapitre II : Etude sédimentologique du site LE LIDO

Introduction

L'étude bathy-sédimentaire présentée dans ce chapitre assure d'une part, la description du relief et de la morphologie des fonds marins avant et après l'implantation des ouvrages de protection, et l'établissement de la carte bathymétrique ainsi que le modèle numérique de terrain de notre zone d'étude. D'autre part, la connaissance de la qualité du sédiment de la zone d'étude selon une analyse sédimentologique et enfin l'étude de la réfraction de la houle, des champs de courants induits par la houle et le transport sédimentaire.

II.1. Étude bathymétrique

L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution du problème d'érosion des plages. Des informations si importantes, à l'échelle spatiotemporelle, 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 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.

II.1.1. Levé bathymétrique

Dans le but, de réaliser un levé bathymétrique de notre zone d'étude lido, le Laboratoire d'Etude Maritime a réalisé une sortie en mer le juin 2009, à bord de l'embarcation Baba Aroudj de l'ENSSMAL. L'embarcation était munie d'un échosondeur et d'un GPS de la marque Furuno.

Les travaux ont consistés en un levé bathymétrique de la zone, exécutés suivant des profils parallèles et ceci sur 6764 stations dans le cadre de l'élaboration de la carte bathymétrique. Ce levé servira entre autre de bathymétrie d'approche entre 0 et -12m à l'étude de réfraction.

Au total 26 profils parallèles et espacés de 40m ont été réalisés. La longueur unitaire des profils est d'environ 1600 m atteignant une profondeur de 20 m. Cette étude a permis d'établir en premier lieu une esquisse bathymétrique et en second lieu de réaliser des profils bathymétriques reflétant la morphologie sous-marine (figure II.1).

Cette carte montre que la bathymétrie est régulière descendant en pente douce vers le large. Les isobathes sont parallèles à la côte et présentent une pente moyenne de l'ordre de 1% sur l'ensemble du site. (Voir profils 01 à 05- figure II. 2).

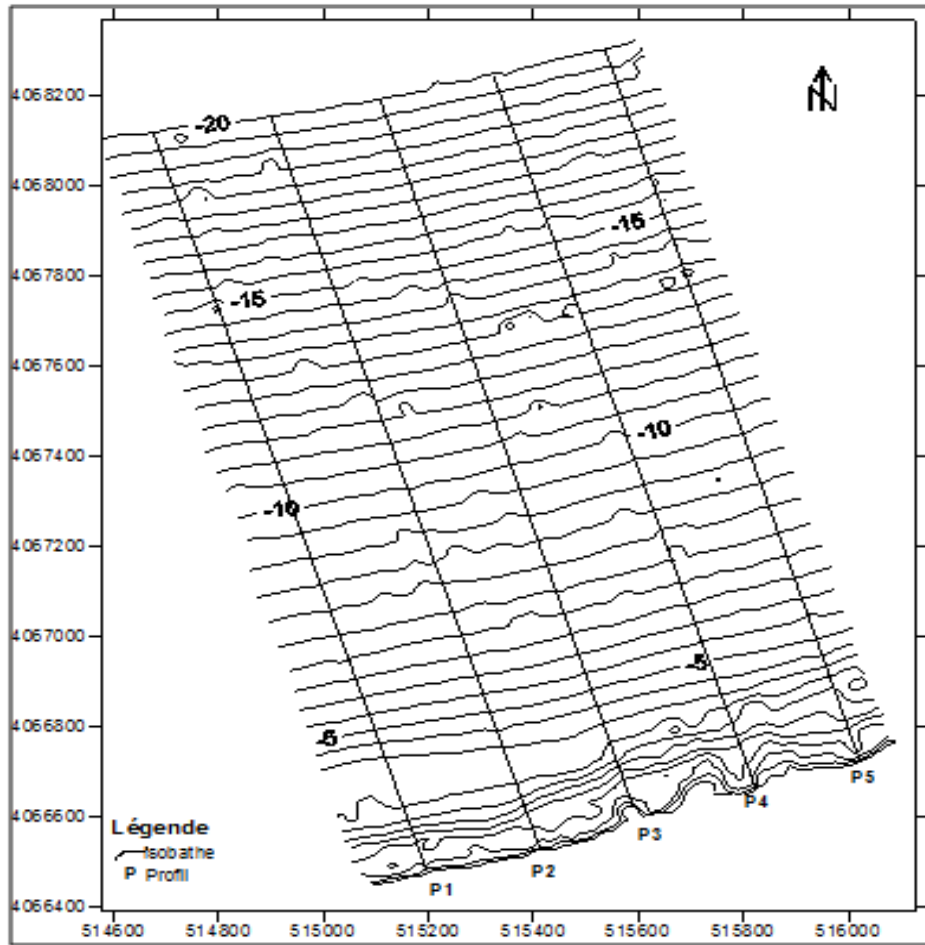
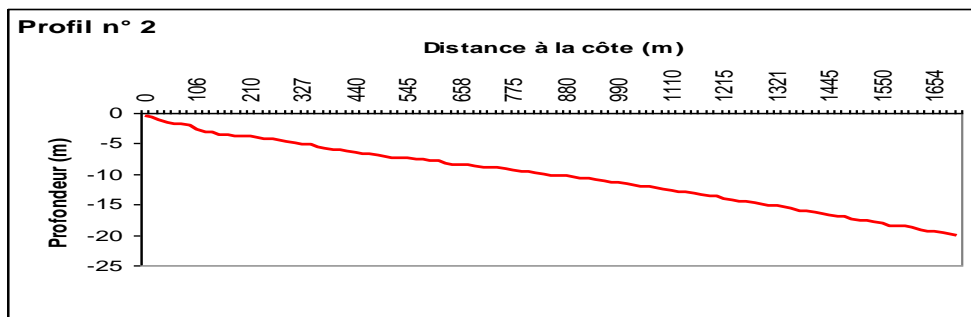
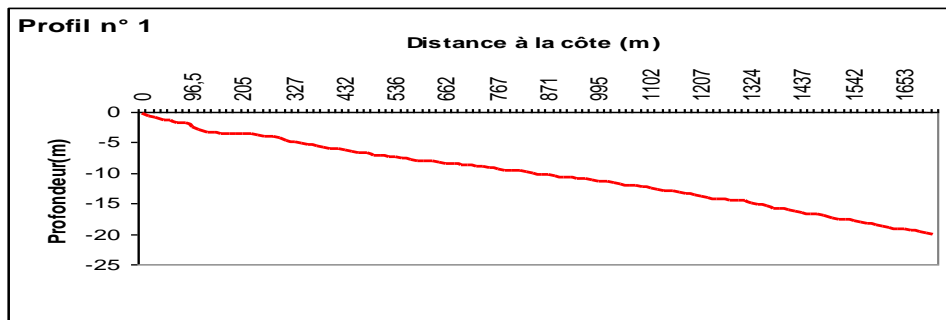


Figure II.1. :Carte bathymétrique (LEM.2009)



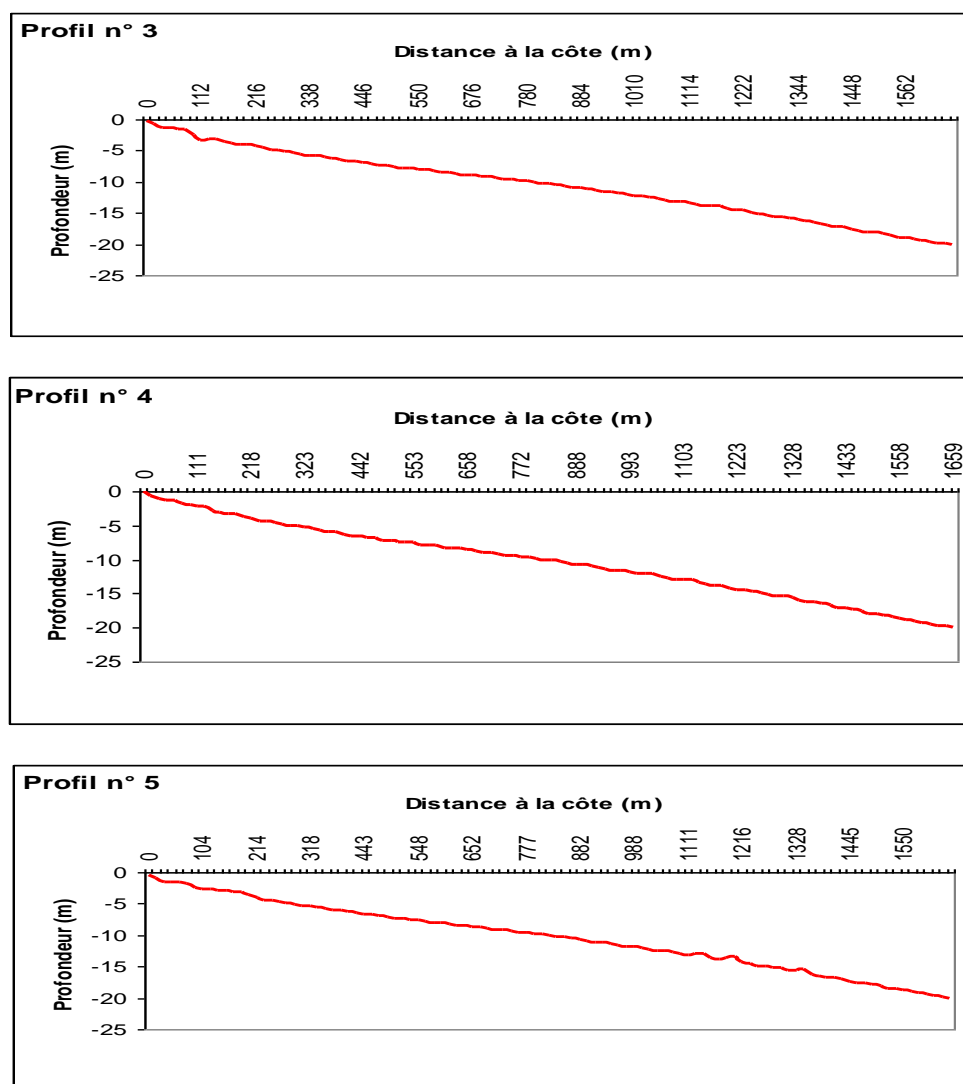


Figure II.2: Profils bathymétriques

II.2. Etude sédimentologique

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

L'étude sédimentologique a été effectuée sur 100 échantillons superficiels prélevés en mer par le Laboratoire d'Etude Maritime durant la campagne bathymétrique. Ces échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique au laboratoire. Les résultats de cette analyse nous ont permis d'établir la carte de répartition spatiale des sédiments.

Le sédiment est formé en proportions variables de matériaux détritiques, de matière organique, de minéraux argileux, de carbonates, de sels plus ou moins solubles de sulfures, etc...

II.2.1. Méthode d'analyse au laboratoire :

L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) phases :

- ❖ Une phase technique expérimentale : Cette phase conduit à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment. Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :
 - Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°) pendant 24 h.
 - Lavage de 150 g de sédiment séché à l'eau douce et séparation de la fraction pélitique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de 40 µm
 - Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h.
 - Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux de pélite.
 - Tamisage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension croissante.
 - Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision
 - Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

- ❖ Une phase d'interprétation des résultats obtenus : Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :
 - Traitement des résultats sous formes de fiches granulométriques ;
 - Représentations graphiques en courbes cumulative ;
 - Exploitation des résultats pour la répartition des cartes des différents indices et paramètres granulométriques.

Les courbes granulométriques sont tracées sur un graphe semi-logarithmique en portant en ordonnées le pourcentage cumulé des refus et en abscisse le diamètre des grains .L'examen de ces courbes permet de distinguer la présence des différents stocks de sédiment.

Une courbe unimodale représente un échantillon de sable composé d'un seul stock sédimentaire alors qu'une courbe bimodale à plurimodale représente un échantillon composé de deux ou plusieurs stocks sédimentaires.

Caractères sédimentologiques des dépôts superficiels :

Chaque type de dépôt peut être caractérisé par sa teneur en pélites (fraction inférieure à 50µm) et en fraction grossière (fraction supérieure à 50µm).L'analyse granulométrique de la fraction grossière distinguant les proportions respectives en :

- ✓ Sables fins : 40 - 250 µm,
- ✓ Sables moyens : 250 - 500 µm,
- ✓ Sables grossiers : 500 – 1 000 µm,
- ✓ Sables très grossiers : > 2 000 µm,

Cette classification permettra de représenter sur une carte la répartition spatiale des sédiments

II.2.2. Positionnement des points de prélèvement :

Au total 100 échantillons de sédiments meubles superficiels au niveau du site d'étude ont été prélevés (Figure II. 3). Il est à noter que parmi les 100 échantillons, 06 échantillons situés à 2 m de profondeur se sont révélés de nature rocheuse.

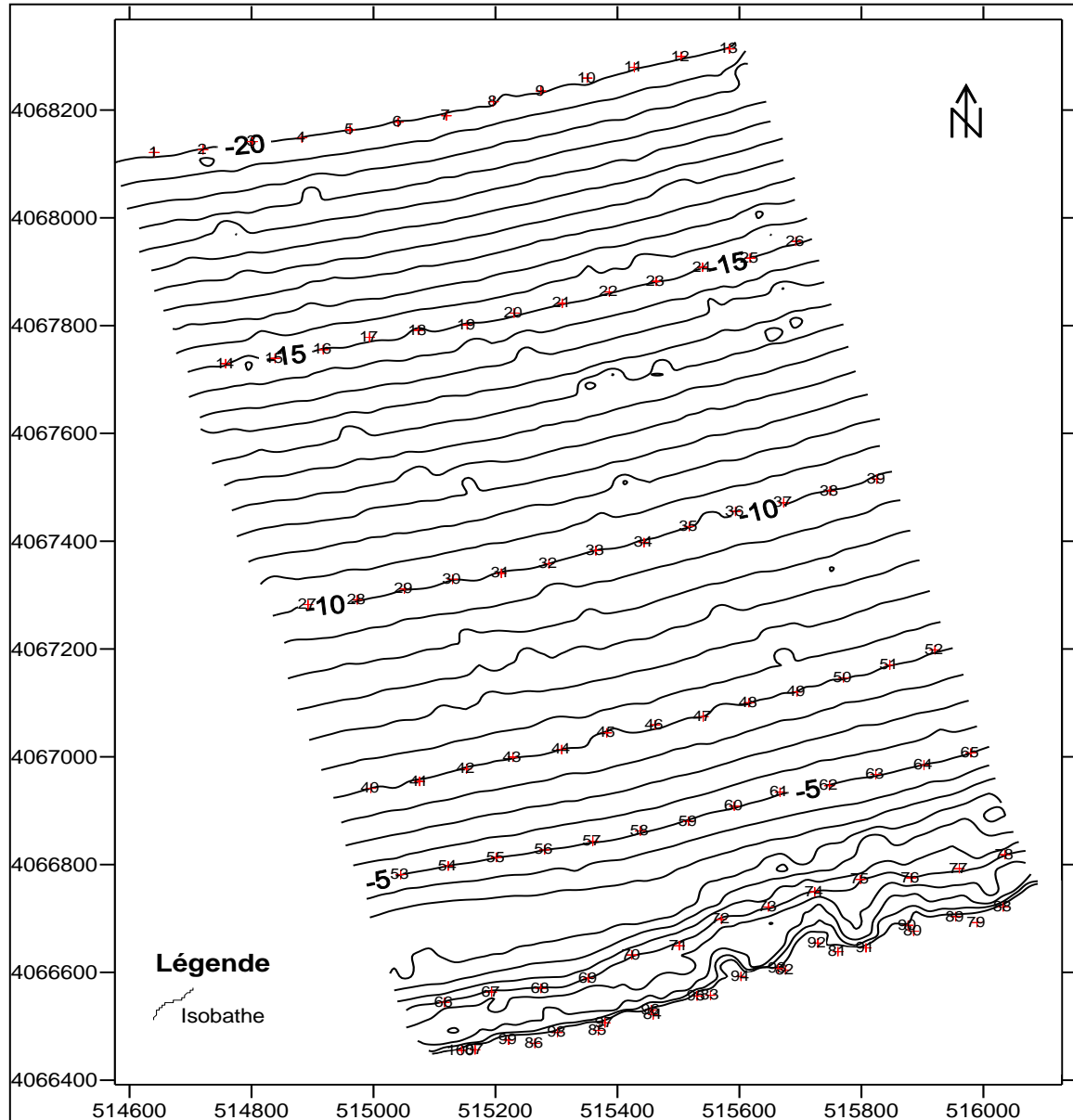


Figure II.3. : Carte de positionnement des points de prélèvements (LEM.2009)

II.2.3. Répartition spatiale de la fraction fine :

La carte (figure II. 4) est établie à partir du pourcentage en lutites caractéristiques pour chaque échantillon.

Cette carte montre que les échantillons situés à moins de 12 m de fond présentent des teneurs en pélites inférieures ou égales à 10%. Au-delà, ces teneurs augmentent

progressivement jusqu'à atteindre les 28 % à - 20 m de fond. Cette distribution obéit au schéma classique de la distribution des sédiments en mer soit une augmentation graduelle des teneurs en pélites de la côte vers le large.

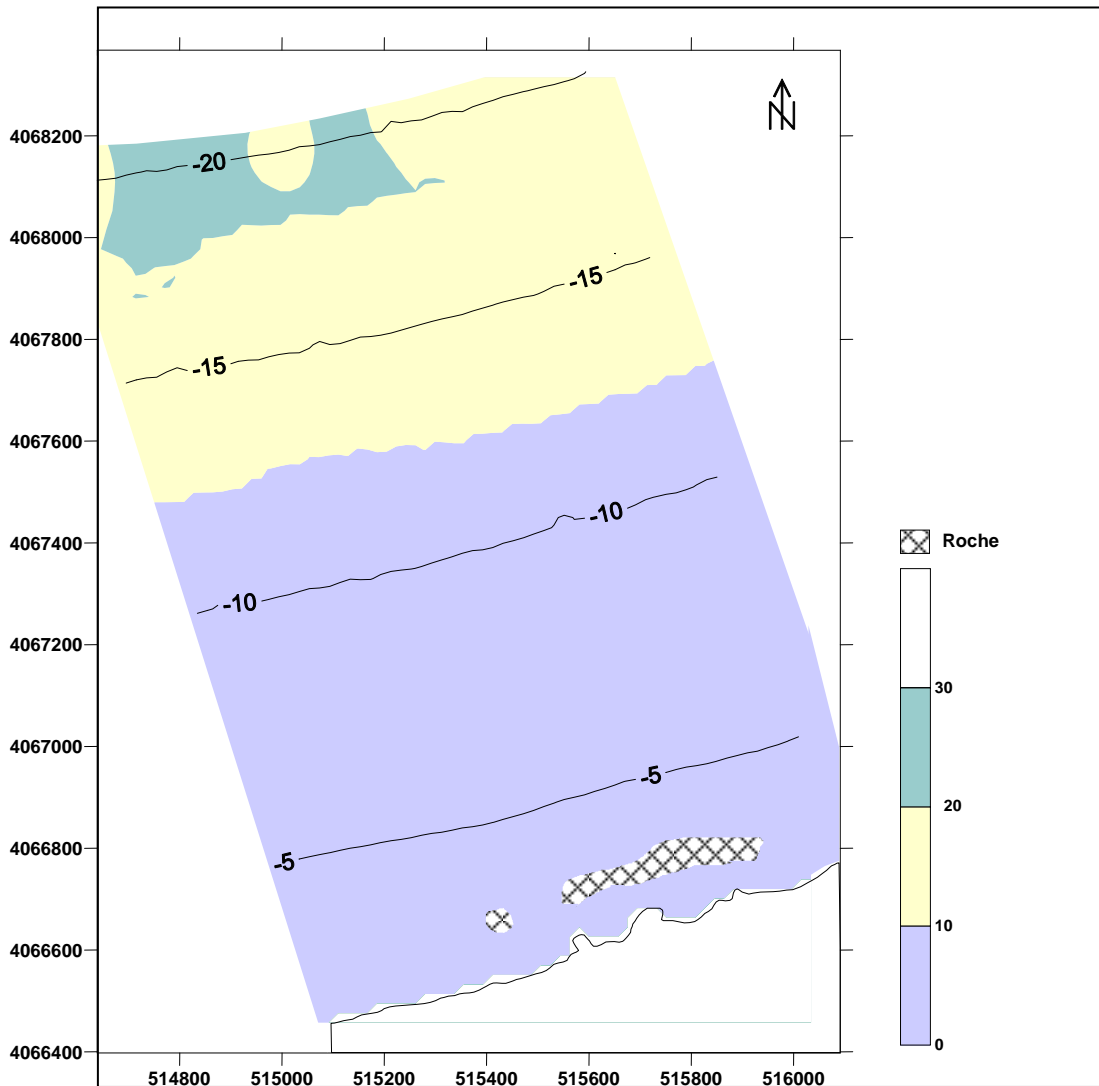


Figure II.2: Carte de répartition spatiale des pélites en μm

II.2.4. Etude de la fraction grossière :

II.2.4.1. Les courbes granulométriques :

Les courbes cumulatives représentant le site d'étude se répartissent en deux groupes :

- ✓ Les courbes unimodales indiquant la présence d'un seul stock sédimentaire (figure II.5) ; ce type de courbe, largement répandue dans le site d'étude, est dû à l'immobilisation en masse des sédiments par diminution de la capacité de transport.

- ✓ Les courbes bimodales à plurimodales (Figure II. 6) marquent l'existence de deux ou plusieurs populations dynamiques au sein du sédiment. Ce type de sédiment se concentre au niveau de la côte.

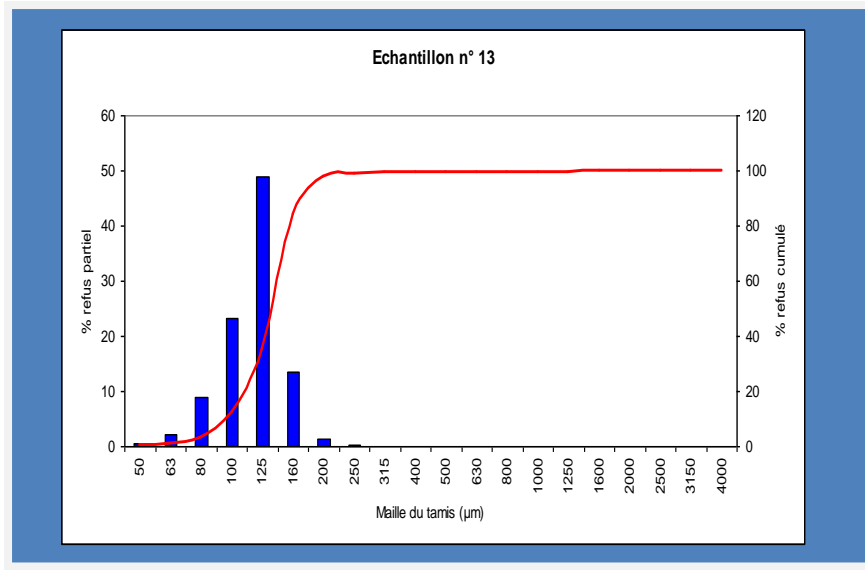


Figure II.3: Courbe unimodale

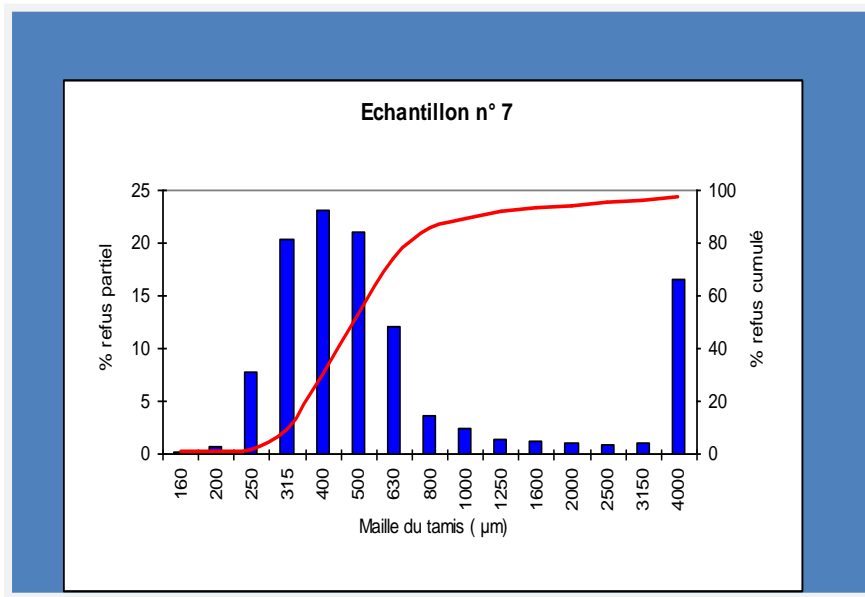


Figure II.6: Courbe bimodale

II.2.4.2. Répartition spatiale de la médiane (D50) :

Ce paramètre correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonné est à 50% du poids total du sédiment.

La carte représentée sur la figure II.7 ci-dessous est établie à partir des médianes tirées des courbes cumulatives. Elle montre la répartition spatiale des sédiments dans le secteur d'étude.

Le schéma général décrit une zonation granulométrique croissante de la côte vers le large ; les particules grossières ($D50 \geq 500 \mu\text{m}$) se limitent à une aire très réduite dans la partie ouest à la côte.

À cela succède les particules avec un diamètre médian compris entre 250 et 500 μm représentant les sables moyens de la côte à 2 m de profondeur suivie de sable fin qui couvre la majorité du site d'étude.

Cette répartition répond au schéma classique de la répartition des sédiments en mer, à savoir une diminution graduelle de la taille des particules dans le sens Côte - Large.

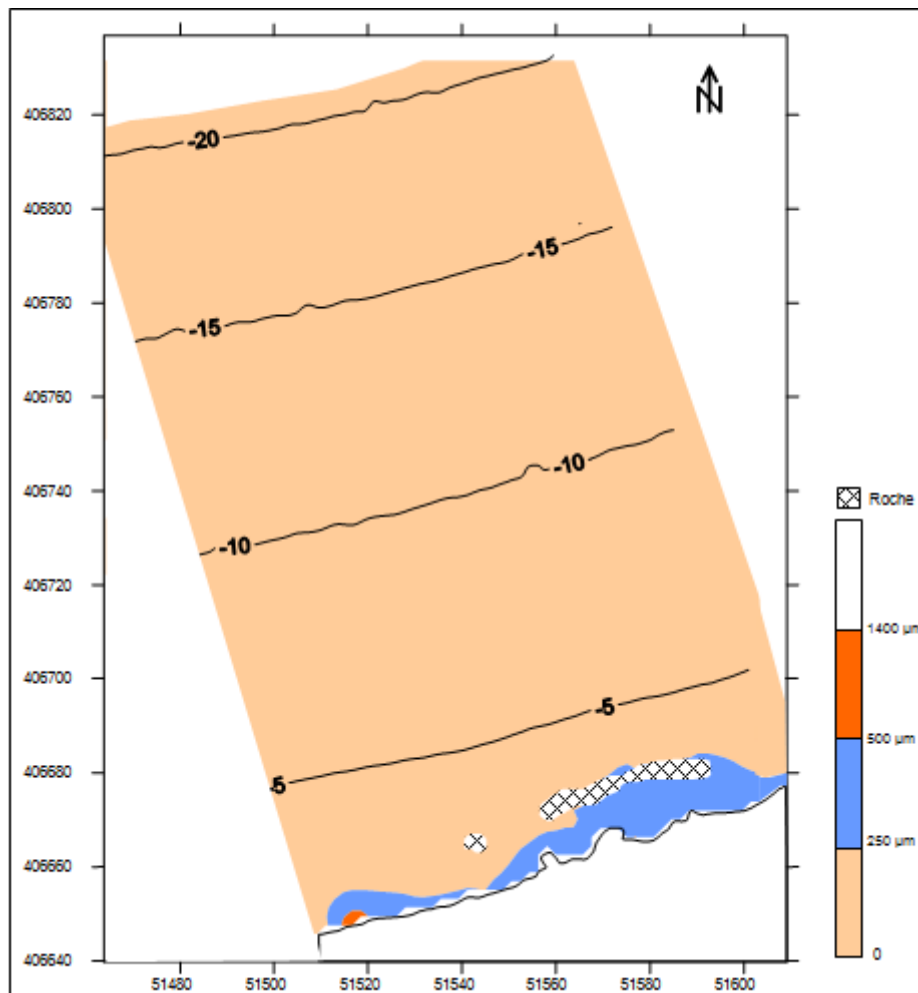


Figure II.7: Carte de répartition spatiale de la médiane en μm

II.2.4.3. Répartition spatiale du décile supérieur (D90) :

Le D_{90} correspond au diamètre dont l'ordonnée est à 90% du poids total du sédiment. Cette carte montre la répartition spatiale des sédiments dans le secteur d'étude (figure II.8).

Il est à signaler que la même répartition que celle de la médiane est observée pour ce paramètre. Les particules les plus grossières dont le diamètre du grain est supérieur à 1 000 microns s'étalent à l'ouest de la côte à 2 m et un maximum de 5 m de profondeur dans la partie est du site d'étude.

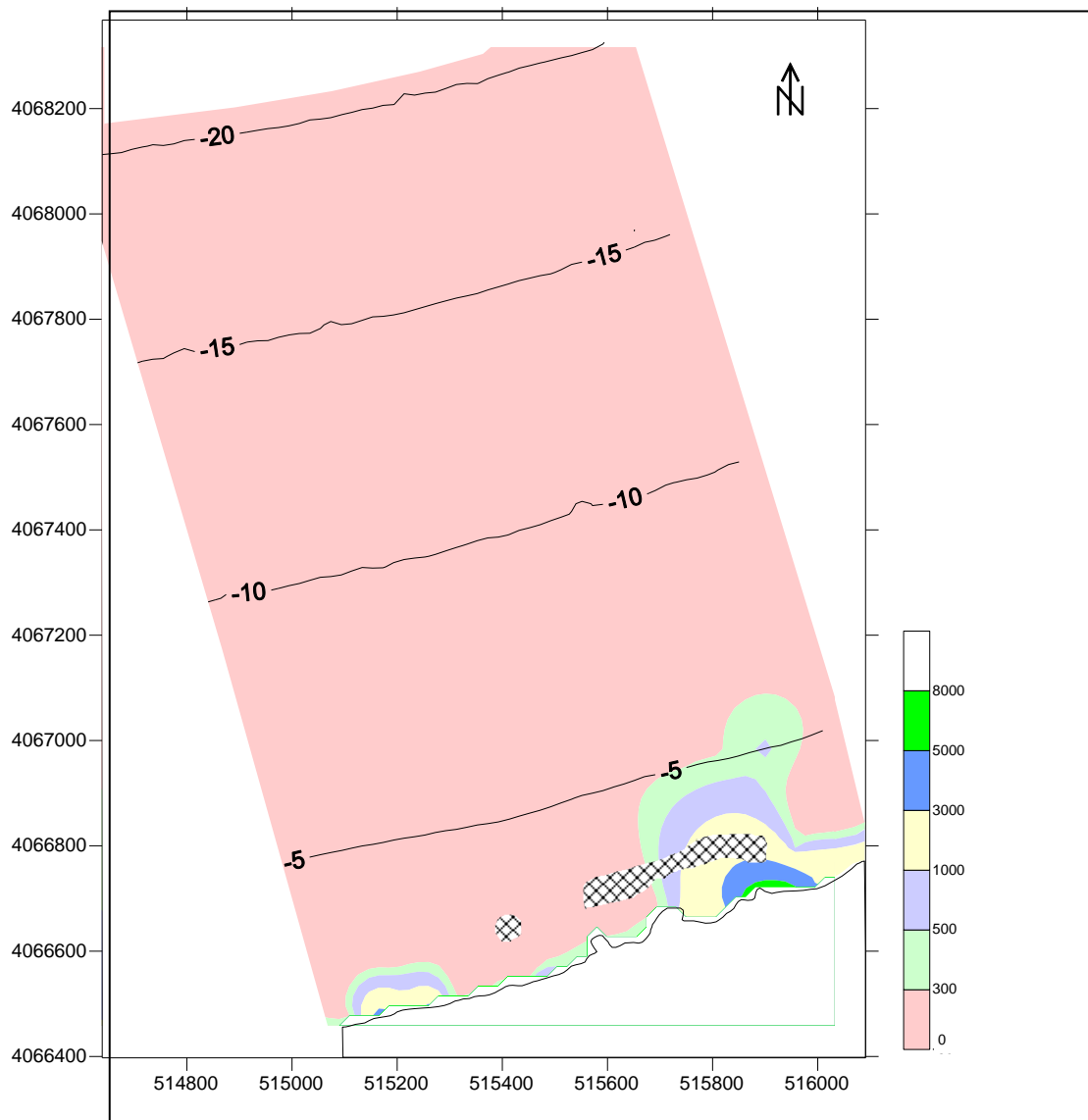


Figure II.8: Carte de répartition spatiale du décile supérieur (D90) en µm

II.2.4.4. Analyse modale :

L'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles des modes (figure 9) permet de distinguer l'existence de trois (03) modes majeurs :

- ✓ ModeM1 : compris entre 100 et 200 microns avec un maximum à 125 microns.
- ✓ ModeM2 : compris entre 250 et 500 microns avec un maximum à 315 microns.
- ✓ Mode M3 : compris entre 630 et 10 000 microns avec un maximum à 4 000 microns.

a- Répartition spatiale du mode M1 :

Cette classe est constituée de 0 à 50 % d'éléments dont le diamètre est compris entre 100 et 200 μm avec un mode dominant à 125 μm (figure II.10).

b- Répartition spatiale du mode M2 :

Cette classe est constituée de 0 à 40 % d'éléments dont le diamètre est compris entre 250 et 500 μm avec un mode dominant à 315 μm .il est à signaler que pour la majorité des échantillons du site le pourcentage en ce mode est compris entre 0 et 10 % (figure II.11).

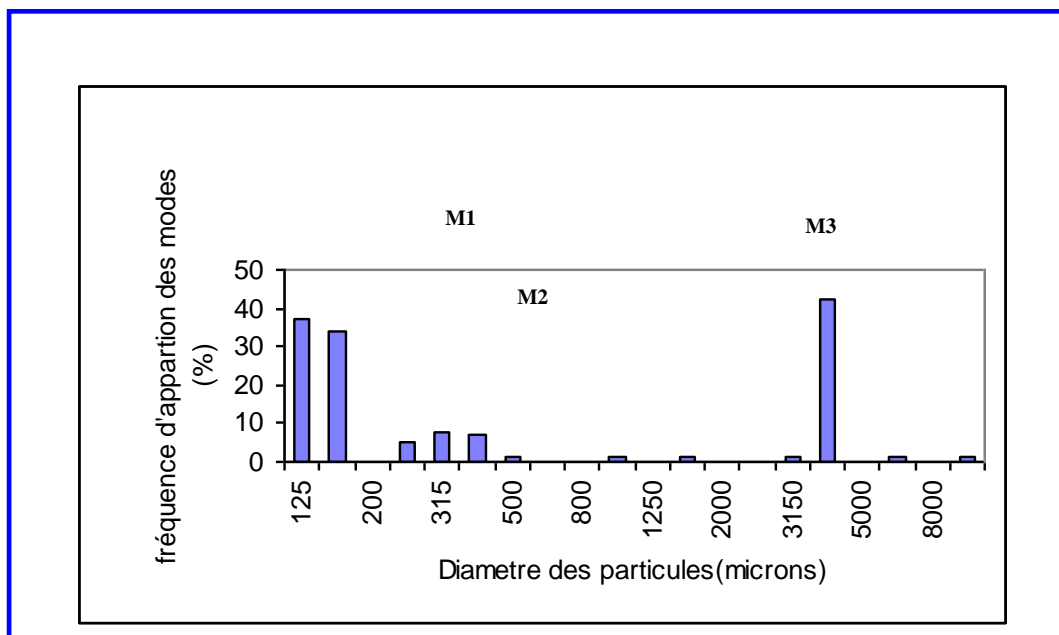


Figure II.9 : Histogramme de fréquence des modes les plus représentatifs

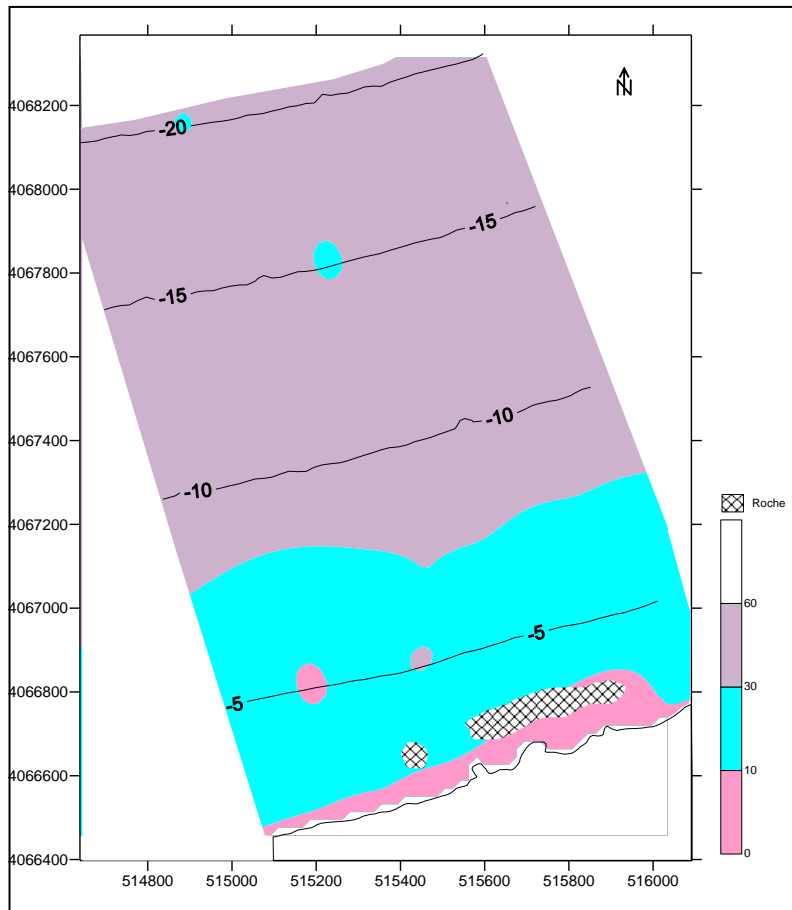


Figure II.10: Répartition spatiale du Mode M1 (125 µm)

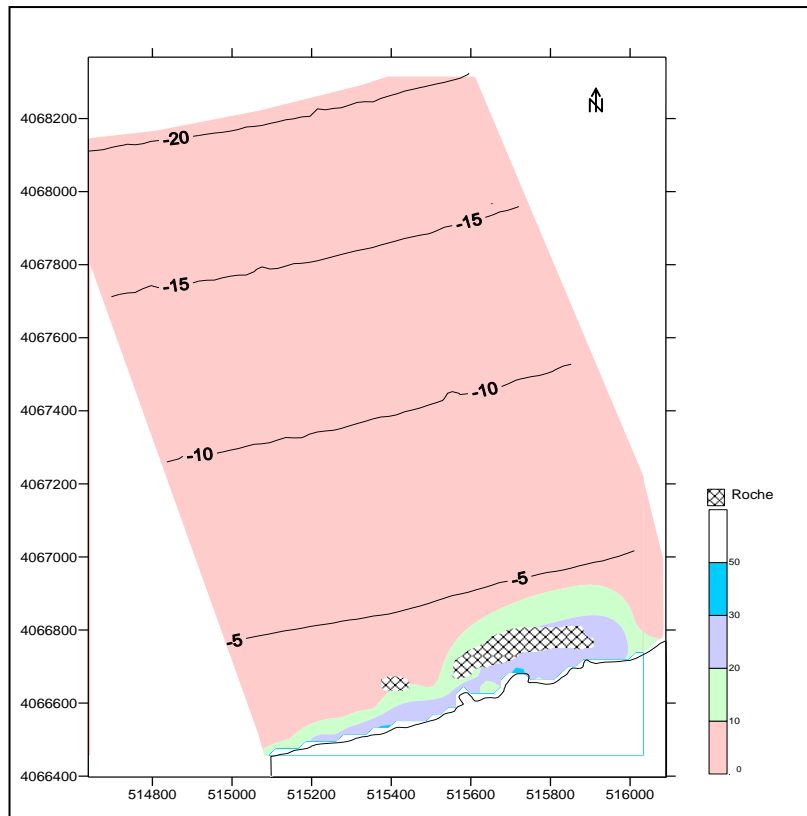


Figure II.11: Répartition spatiale du Mode M2 (315 µm)

c- Répartition spatiale du mode M3

Cette classe est constituée de 0 à 20 % d'éléments dont le diamètre est compris entre 630 et 10000 μm avec un mode dominant à 4 000 μm . sa distribution au niveau du site montre qu'ils s'étale de la côte jusqu'à 2m de fond au maximum (figure II.12).

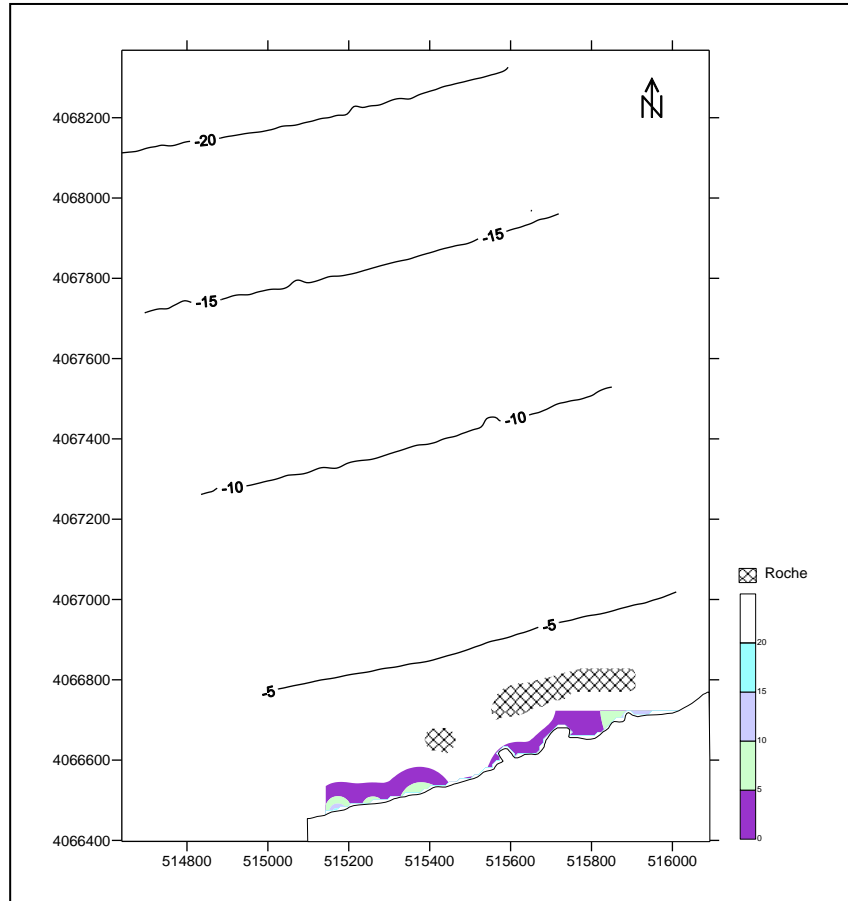


Figure II.12: Répartition spatiale du Mode M3 (4 000 μm)

II.2.4.5. Indice de classement de trask S_0 :

Il permet de rendre compte de l'intensité du triage du sédiment, il mesure les écarts granulométriques entre les poids symétriques (en pourcentage) par rapport à la médiane et exprime donc la dispersion du sédiment entre Q_{75} et Q_{25} .

$$S_0 = Q_{75} / Q_{25}$$

Le calcul de cet indice montre que la majorité des échantillons sont constitués par un sédiment bien classé ($1 < S_0 < 1.5$) selon la classification de Folk (1966). (figure II.13).

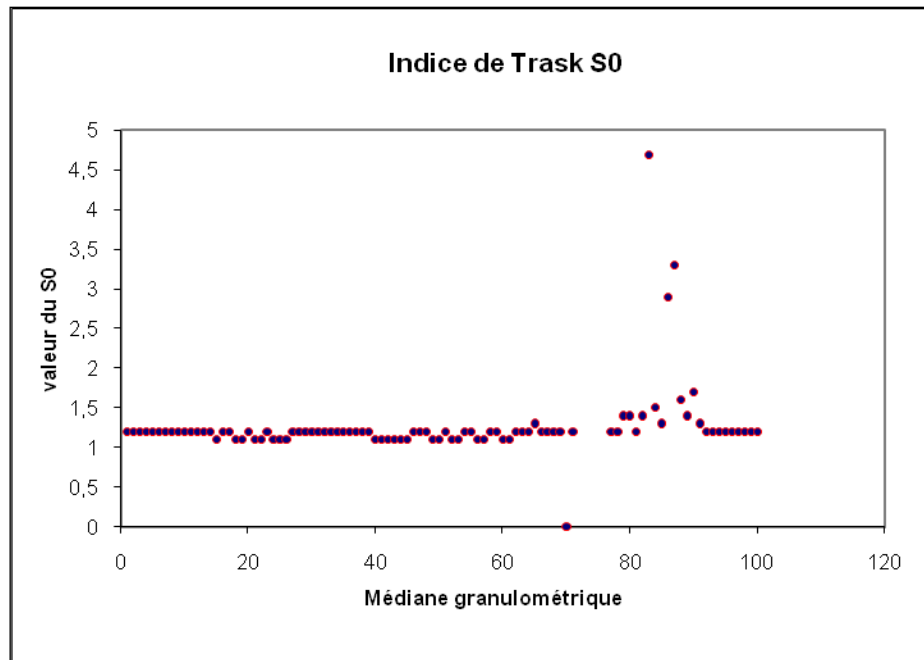


Figure II.13: Indice de dispersion (S0)

II.2.4.6. Indice d'asymétrie (Skewenes) SK :

Cet indice indique le tri du sédiment par rapport à la médiane. Il décrit l'aspect des représentations graphiques du fait qu'on peut caractériser de manière relative la prédominance des sédiments fin ou des sédiments grossiers dans un échantillon. il est définie par la formule suivante :

$$SK = Q_{75} \cdot Q_{25} / (Q_{50})^2$$

Le Sk montre l'état d'évolution du sédiment vis-à-vis des conditions dynamiques au moment du dépôt.

- ✓ Si SK est égal à 1 le tri est régulier dans la médiane .il existe une symétrie de la courbe par rapport au grain moyen.
- ✓ Si SK est supérieur à 1 la courbe est dissymétrique avec un décalage et un tri maximum du côté de la fraction fine (inférieur à la médiane). La dispersion est plus large du côté grossier.
- ✓ Si SK est inférieur à 1 le tri est maximum dans la fraction grossière (supérieur à la médiane). La dispersion est large du côté fin.

Les valeurs de cet indice sont pour la plupart voisins du 1 (figure II.14). Les sédiments présentent un même classement aussi bien du côté fin que du côté grossier donc une répartition symétrique qui correspond à un bon classement (Folk 1966).

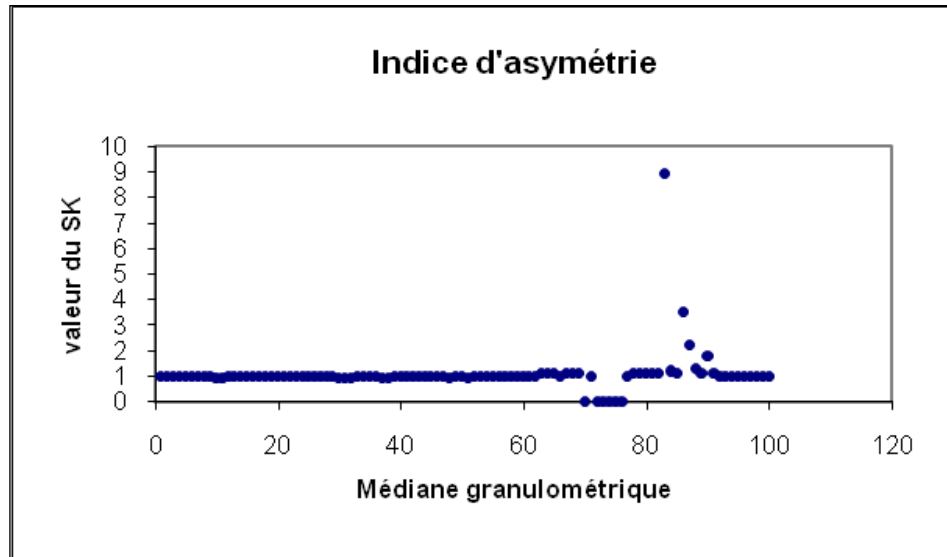


Figure II.14: Indice d'asymétrie (SK)

II.2.4.7. Diagramme de Passega :

Afin de définir le mode de mise en place du sédiment, R. PASSEGA (1967) a proposé une méthode d'interprétation des données granulométriques qui utilise le centile supérieur (D_{99}) et la médiane (D_{50}). Chaque segment du diagramme correspond à un type de transport.

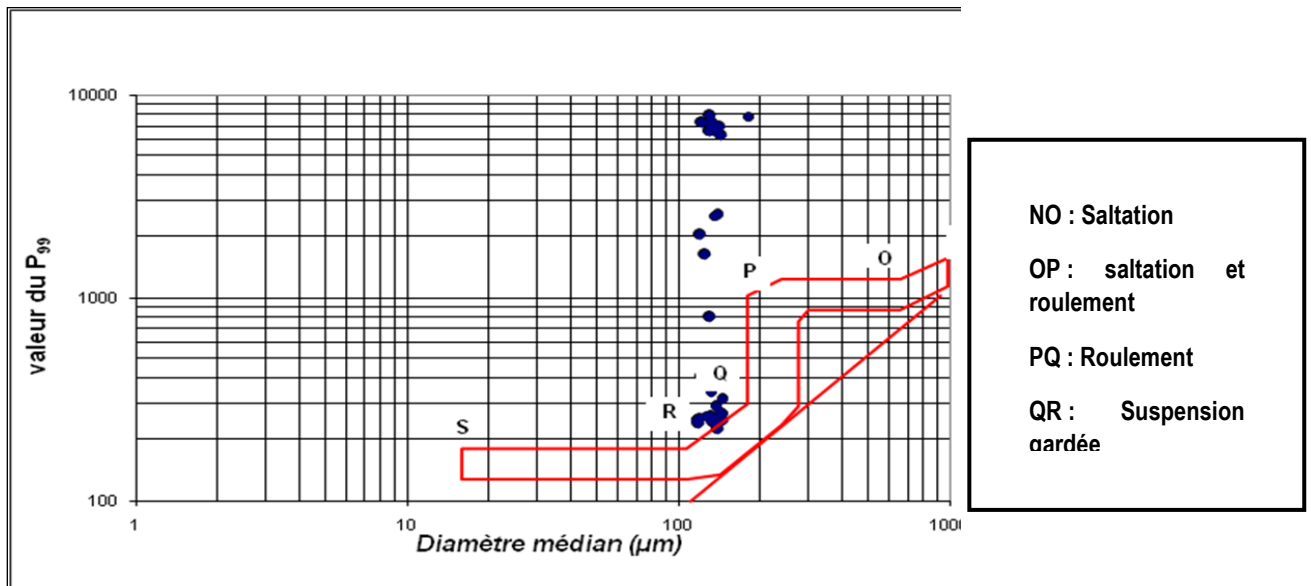


Figure II.15: Diagramme de Passega

D'après la figure II.15, les prélèvements occupent la branche PQ et QR.

Les sédiments occupant la branche QR correspondent à un transport en suspension gradée. Se sont des dépôts qui se déposent quand la charge dépasse la capacité du transport. Le dépôt se fait dans des zones relativement calmes permettant le dépôt des particules fines

Quant aux sédiments de la branche PQ, ceux-là aurait été transporté par roulement à la surface de la suspension gradée. Ce type se fait dans des zones da haute énergie ou le matériel sédimentaire est en perpétuel remaniement

Conclusion

La répartition spatiale des sédiments révèle une distribution conforme au schéma classique de la répartition des sédiments en mer à savoir une diminution graduelle de la taille des particules de la côte vers le large.

L'étude de la fraction sableuse a conduit à définir sa répartition et ses différentes caractéristiques sédimentologiques avec une diminution du D_{50} et du D_{90} de la côte vers le large.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins (125 et 250 μm .) Cette répartition est confirmée par l'analyse modale montrant la prédominance du stock sédimentaire appartenant au mode M1.

Les teneurs en pélites sont comprises entre 0 et 10% depuis la côte jusqu'à l'isobathe de - 12 m ; ceci pourrait s'expliquer par l'hydrodynamisme en cet endroit qui maintient les sédiments en perpétuel remaniement. Au-delà ces teneurs augmentent pour atteindre les 28% à 20 m de profondeur.

Selon la classification de Folk (1966), les sédiments sont bien classés, le tri est régulier par rapport à la médiane ($SK = 1$) et les matériaux sédimentaires présentent un mode de dépôt par suspension et roulement selon le diagramme de Passega.

Chapitre III : Modélisation hydrodynamique

Introduction

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 modèles numériques reposent sur la description des phénomènes physiques à l'aide des systèmes d'équations mathématiques. Celles-ci sont ensuite résolues numériquement, pour chaque paramètre étudié, par un programme informatique.

De nombreux modèles numériques destinés à des applications hydrauliques comportent des équations de continuité et de mouvement ou d'énergie. Les modèles de ce type simulent par exemple le mouvement de l'eau ou l'interaction entre l'eau et les ouvrages hydrauliques.

Un modèle numérique ne prend en compte qu'un nombre limité de phénomènes (Vent, marée, courant, houle, run-up, franchissement de la houle et morphologie).

Dans ce chapitre on va se consacrer sur l'étude hydrosédimentaire en utilisant les outils de la modélisation numérique (SWAN et MIKE 21).

III.1. Modélisation numérique

III.1.1. Principe de la modélisation

Le principe général et les phases de la modélisation mises en œuvre pour étudier les mouvements sédimentaires dans la zone d'étude :

- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Baie.
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la plage.
- Détermination de conditions climatologiques représentatives
- Modélisation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire à l'échelle locale basée sur les conditions représentatives définies au préalable.

En absence de mesure, la caractérisation des vagues au droit du site d'étude n'est pas immédiate. C'est pourquoi, pour connaître les conditions de houle aux abords du site, il est nécessaire de calculer au moyen d'un modèle numérique la propagation et la génération des houles depuis le large, ou elles sont connues, jusqu'au littoral.

La première phase consiste en la détermination des caractéristiques de houle (hauteur, période et direction) au large de la baie. Vu qu'il n'existe pas de données de houlographe à proximité du site d'étude, cette phase préalable se base sur une modélisation à l'échelle de la baie d'Alger.

La deuxième phase vise à condenser la climatologie au large issue de la phase précédente en quelques conditions représentatives qui permettront de restituer les courants engendrés par la réfraction et le déferlement de la houle, le transport sédimentaire annuel dans la zone d'étude.

La troisième phase consiste à déterminer les taux de transport sédimentaire à partir des conditions climatologiques représentatives définies au cours de la deuxième phase. Cette phase se fait à l'échelle rapprochée au site d'étude afin de bien décrire les contraintes de radiations issues du déferlement des houles.

III.1.2. Description du modèle SWAN :

Il s'agit d'un modèle numérique permettant le calcul des paramètres des vagues, dans les régions côtières, les lacs et les estuaires, à partir d'informations fournies sur la bathymétrie, les courants et le vent. Le modèle résout l'équation de transport de l'énergie (ou de l'action d'onde, en présence de courants).

Pour cela, le spectre est discrétisé en un certain nombre de fréquences et de directions et l'équation est résolue sur une grille en " différence finie ". Swan est un modèle de " troisième génération ", avec la possibilité de le faire fonctionner en mode première ou seconde génération ; cela permet, en fonction des besoins, des gains en ressources informatiques.

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

Le modèle est basé sur une équation dite WABE : "l'équation de balance d'action des vagues", définit par (STIVE et al, 2006) comme suit :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Où:

$N(\sigma, \theta)$ = densité de l'action des vagues:

T = temps [s]

x = distance dans la direction x [m]

y = distance dans la direction y [m]

σ = fréquence relative [Hz] comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant

θ = direction de la vague [degrés]

$c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta$ = vitesses de propagations [m / s] pour respectivement x, y, σ et θ

S = source / puits terme en termes de densité d'énergie

(Génération par le vent, dissipation et non-linéaire onde interactions)

La densité de l'action $N(\sigma, \theta)$ est égale à la densité d'énergie divisée par la fréquence relative:

$N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$.

Les processus suivants peuvent être représentés dans SWAN :

- Réfraction et shoaling, sous l'effet des variations spatiales du fond et du courant,
- Réflexion et déferlement dus à des courants contraires,

- Génération par le vent,
- Dissipation par moutonnement,
- Dissipation par déferlement bathymétrique,
- Dissipation par frottement sur le fond,
- Interactions entre composantes spectrales (quadruplets et triades),
- Transmission d'énergie, blocage ou réflexion au travers d'obstacles.

Les étapes de calcul de la réfraction sont résumées dans l'organigramme suivant :

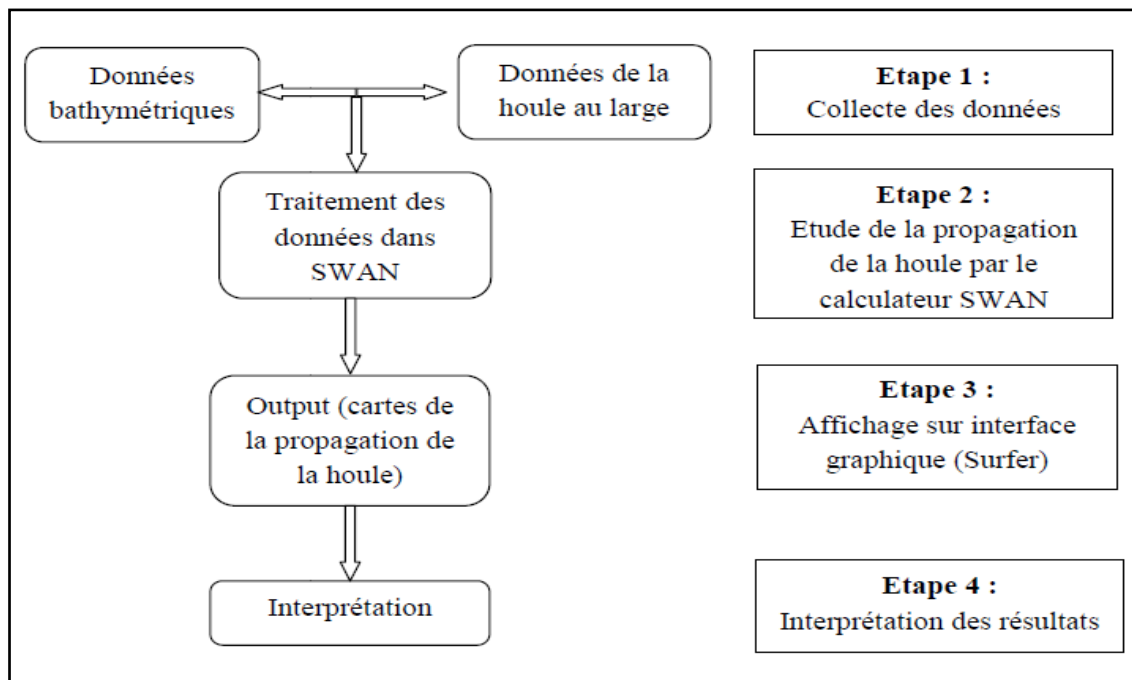


Figure III.1: Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.

(Otmami H, 2014)

III.1.3. Description du modèle de simulation MIKE

Le MIKE21 est un progiciel destiné aux professionnels du génie côtier, il comporte plusieurs codes de calculs et de modélisation numérique en 2D, il est développé par le DanishHydraulics Institut et se base sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou pour certains modules, sur un maillage non structuré (grille triangulaire) (DHI, 2014).

La modélisation de la dynamique sédimentaire en milieu côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles. Il s'ensuit que l'approche modélisatrice doit faire appel à un système de modélisation intégré comprenant 3 modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de houle et un modèle de transport sédimentaire de particules

non-cohésifs, sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants. Dans ce contexte, le module MIKE21, comprend les calculs suivants :

- MIKE 21-SW (Spectral Waves Flexible Mesh).
- MIKE 21-HD (Hydrodynamic model).
- MIKE 21-ST (Non-Cohesive sediment transport).

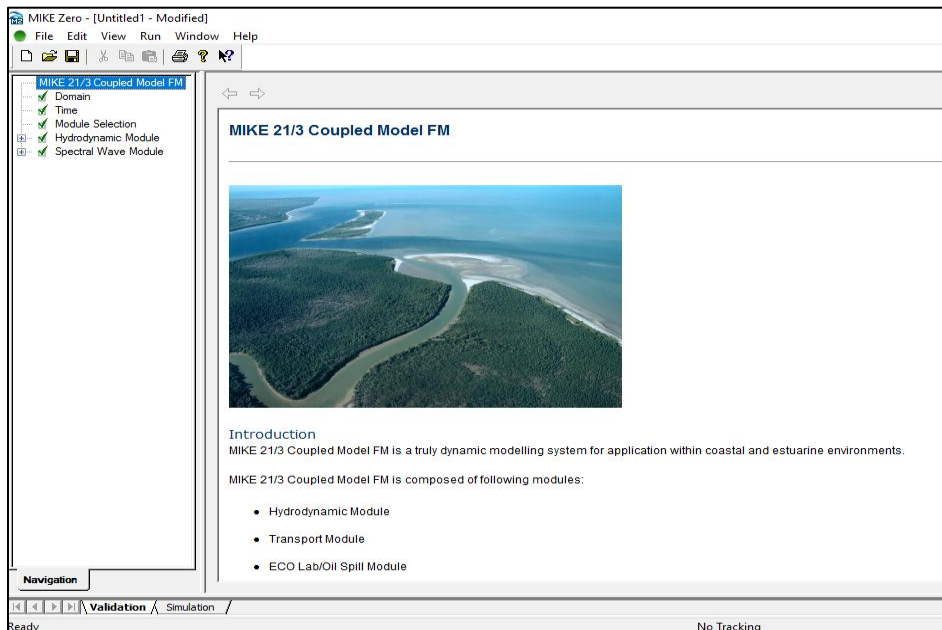


Figure III.2: Module MIKE 21 Flow Model (DHI, 2014)

➤ **Modèle numérique spectral Wave (MIKE 21-SW):**

Modèle spectral de vague de 3ème génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague-vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par les changements de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille à maillage flexible. Le modèle équivalent sur maillage en différence finie est le modèle MIKE21-NSW.

➤ **Modèle numérique hydrodynamique (MIK 21-HD) :**

Traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vents et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc... Il nous permet de simuler les courants côtiers dû à l'action de la houle dans la zone de déferlement.

Il fournit aussi les conditions hydrodynamiques aux autres modules de ce système tel que le Module MIKE 21-ST.

➤ **Modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST :**

Le modèle MIKE 21-ST est un modèle numérique qui calcule les taux de transport de sédiment non cohésifs (Sable) sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et des vagues.

Ce modèle n'utilise que le modèle STPQ3D en cas de houle et des courants combinés. Les transports de sables sont déterminés par l'interpolation dans les tableaux de transport (DHI, 2014). Ces tableaux doivent être générés au préalable par « MIKE 21 Toolbox » avec le choix de « Generation of Q3D Sediment Tables ». Ils doivent intégrer une condition quelconque de bathymétrie, courant, houle, ou sédiment prédite par le module intégré (DHI, 2014).

❖ Les principales étapes de l'approche intégrée de la modélisation par le MIKE 21

Avant d'entamer la simulation il est important de créer un Mesh File, ce dernier relie la profondeur des eaux, extraite de données bathymétriques avec le système de référence ZH, à chaque point du domaine. Il contient donc les informations concernant la profondeur, les limites du Mesh file (Boundary) et les éléments du maillage qui sont de type triangulaire plus serrés à la côte.

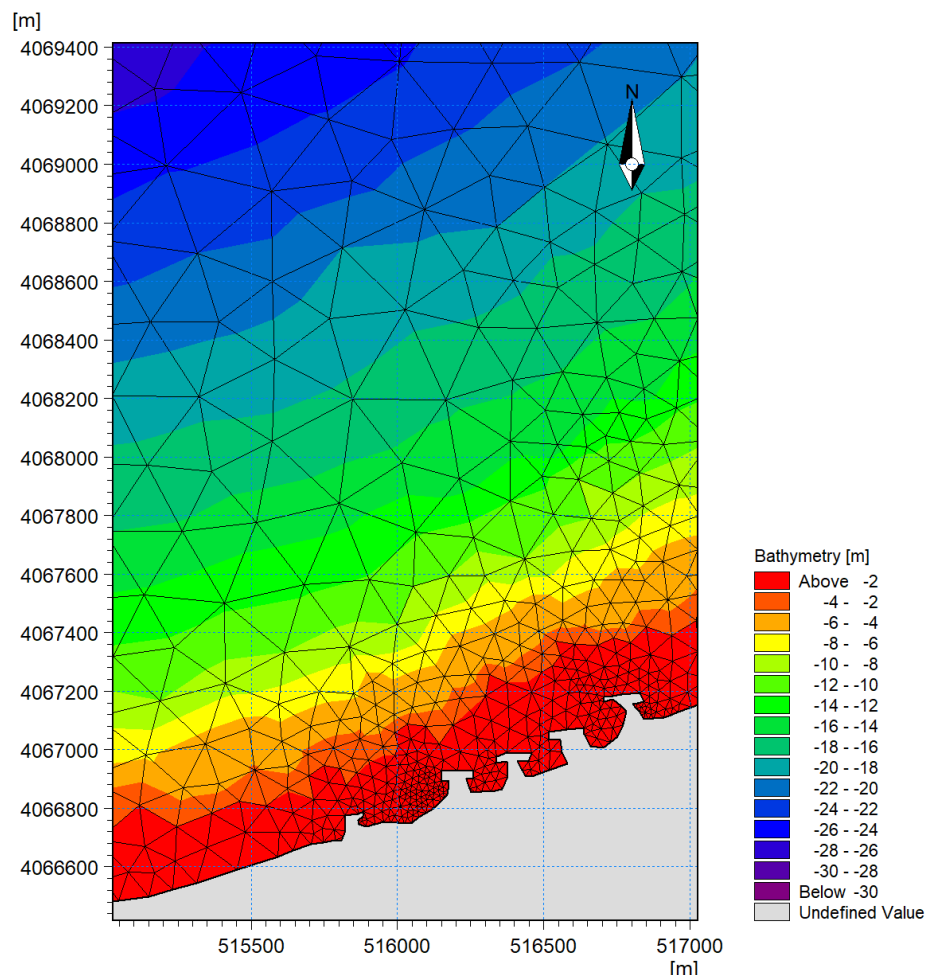


Figure III. 3: Maillage de la zone de Lido

Après la création du Mesh file, on passe à la réalisation du Setup qui contient les données de base de la simulation :

- ✓ En premier lieu, on fait rentrer notre domaine d'étude (mesh file), puis on précise la durée de simulation qui est de 24h avec un intervalle d'une heure, c'est-à-dire que chaque une heure on aura un résultat (Output).
- ✓ Puis on génère la table sédimentaire (Q3D Sédiment Transport Table) qui permet de calculer les taux de transport des sédiments non cohésifs ($m^3/s/m$) en utilisant l'effet combiné des vagues et du courant, ceci pour le modèle numérique de transport de sable MIKE 21-ST.
- ✓ Enfin on termine la préparation des données de simulation en rentrant la hauteur, la direction et la période des différents houles au niveau du modèle numérique Spectral Waves (MIKE 21-SW)

Le principe général de la simulation par les codes de calcul MIKE est résumé dans le schéma suivant :

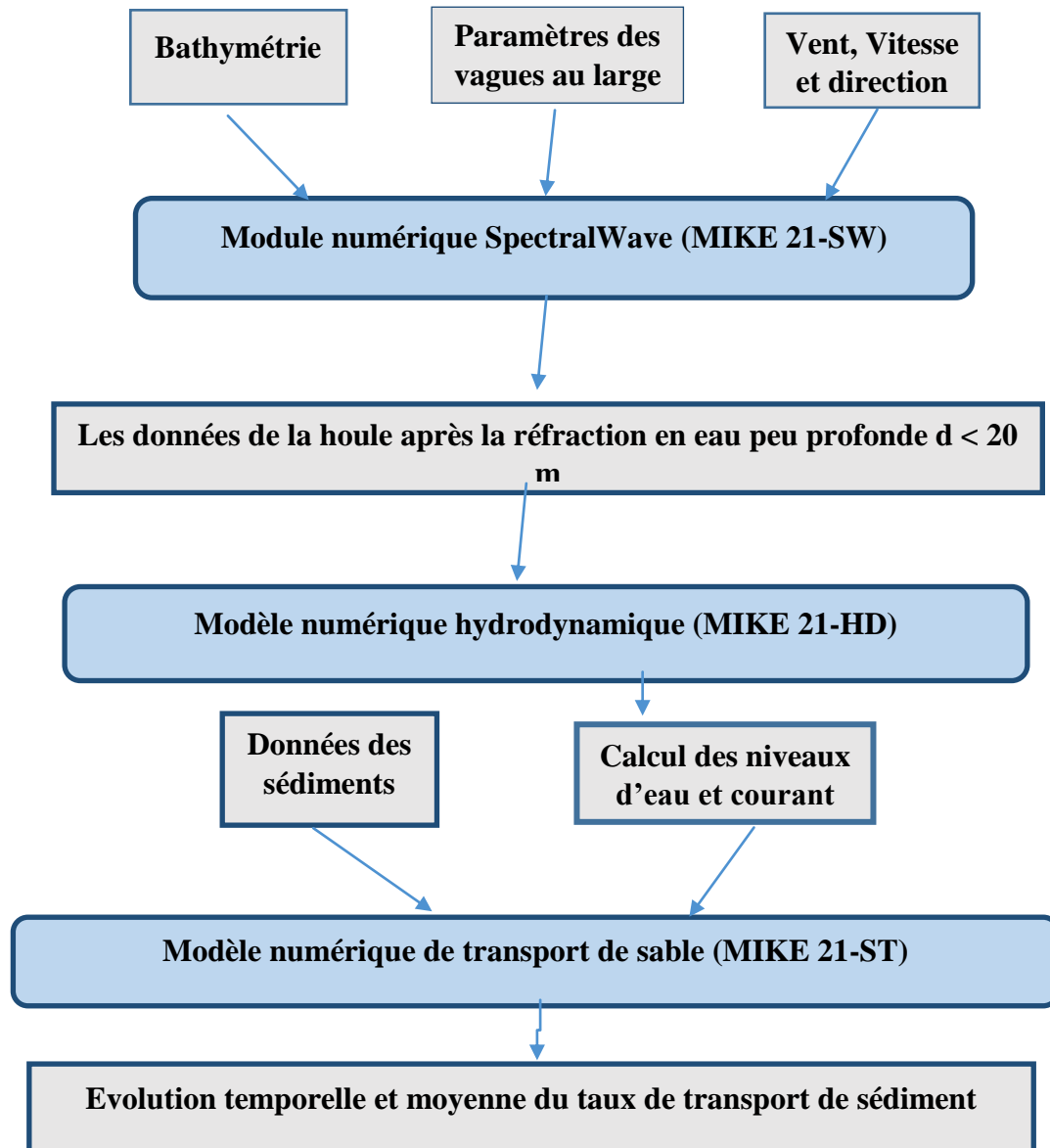


Figure III. 4: Approche méthodologique de la modélisation par les codes MIKE-21

III.2. Données de base :

Cette étude a nécessité l'utilisation des données statistiques de houle au large et des données bathymétriques.

➤ Création d'une Bathymétrie 2D

L'étude bathymétrique est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine, pour cela nous avons procédé à une analyse bathymétrique selon deux méthodes pour essayer d'obtenir un résultat fiable et précis.

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 Tipaza Ras Matifou échelle : 1/120000 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissance sur site réalisée au mois d'août 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection et d'aménagement de la côte de Lido.

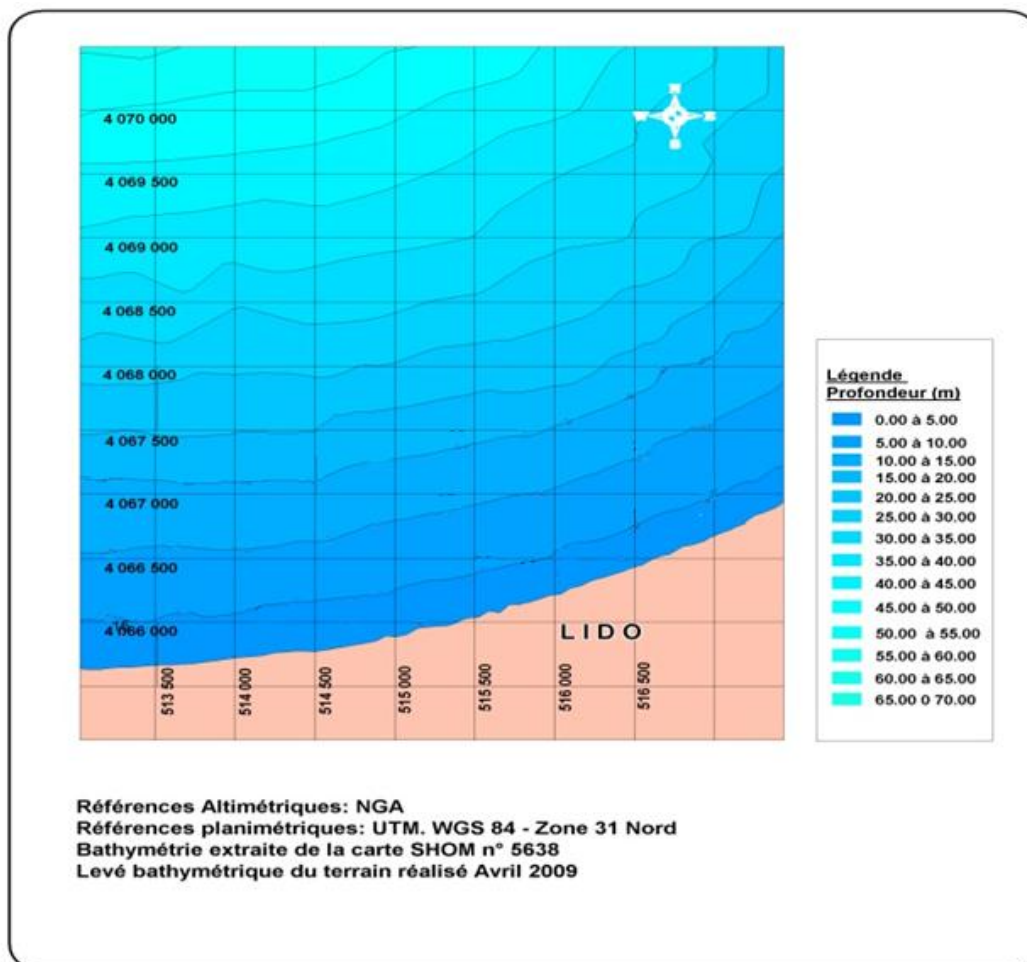


Figure III. 5: Carte bathymétrique de la zone d'étude (LEM 2009)

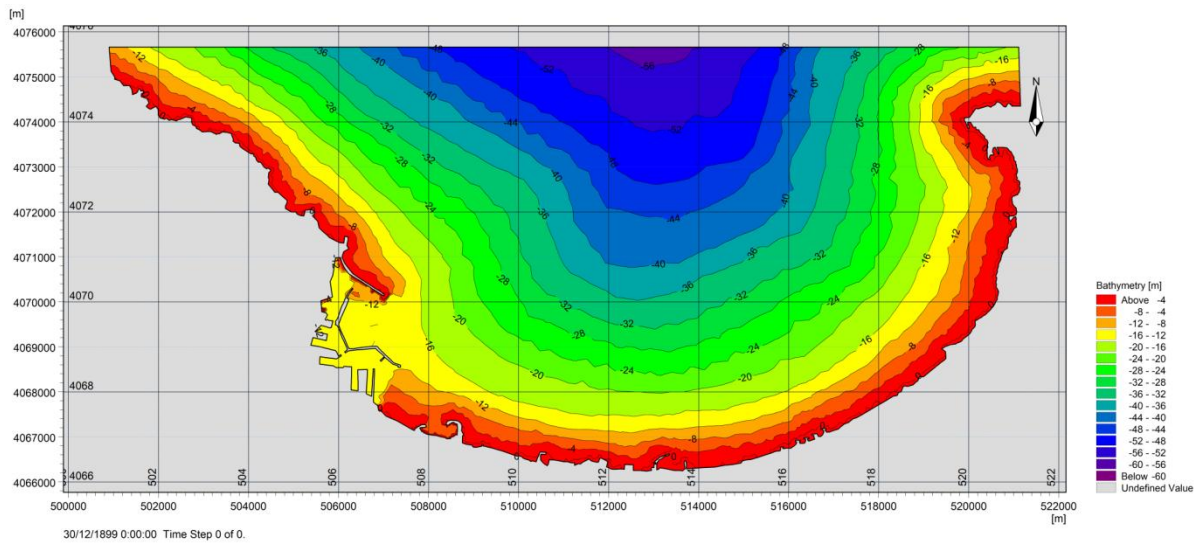


Figure III. 6: Carte bathymétrique de la Baie d’Alger

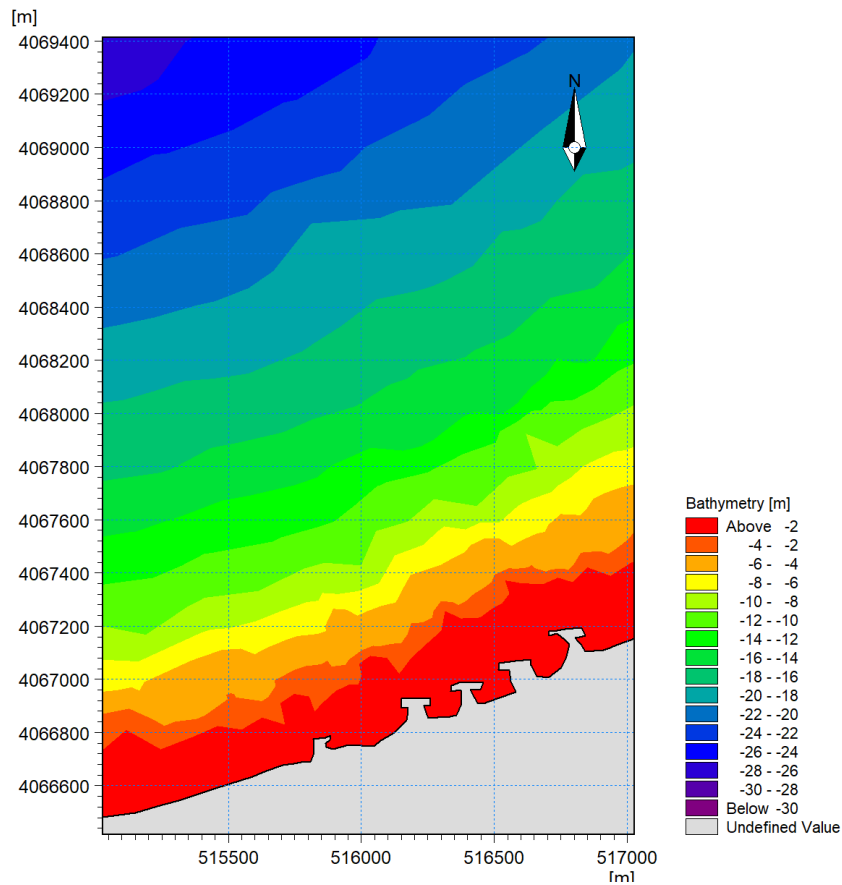


Figure III. 7: carte bathymétrique de la zone d’étude réalisée avec le Mike 21

Après avoir conçu les cartes bathymétriques de la baie d’Alger, nous avons pu faire les constatations suivantes :

Deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence :

- Une zone au large : montre des isobathes généralement régulières (entre 8 à 60 m), 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 Matifou, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement des fonds rocheux.
- Une zone côtière : montre des isobathes généralement hétérogènes bien serrés (entre 1 à 8 m) et une morphologie particulière caractérisée par la présence de rides d'avant côte discontinue, cette irrégularité est due au rapport de l'Oued el Harrache et l'implantation des ouvrages de protections (Sablette,...). La zone Est est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

Bien que l'étude bathymétrique nécessite une précision assez importante pour les calculs hydrodynamiques. Des zones d'étude ont été choisies sur ce littoral.

Au niveau de la zone du Lido on constate deux zones importantes, une zone comprise entre la ligne de côte et l'isobathe -16m. Cette zone montre de l'isobathe généralement hétérogène serrée surtout au voisinage des ouvrages. Une zone au large caractérisée des isobathes généralement régulières parallèles au rivage.

➤ Données de houle au large

Afin d'optimiser les calculs sur le modèle MIKE21, nous avons procédé au calcul d'une houle équivalente par période et par direction. Celle-ci correspond à la moyenne des amplitudes significatives pour une période donnée, les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6-8 et 10 secondes (Tableau III.1).

Tableau III. 1: Houle équivalente (LEM. 2009)

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

Pour les simulations sur le modèle SWAN, Un traitement statistique des données du Summury of SynopticMeteorological Observations (SSMO) sur la période de 1963 à 1970a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles cinquantennales(voir tableau III.2).

Tableau III. 2: Houle cinquantennale(LEM. 2009)

Période de retour	Direction houle au large		
	N 315°	N 360°	N 45°
50 ans	Hs = 6,65 m	Hs = 7,87 m	Hs = 7,53 m
	Tp = 12,6 s	Tp = 13,6 s	Tp = 13,5 s

III.3. Résultats et discussion

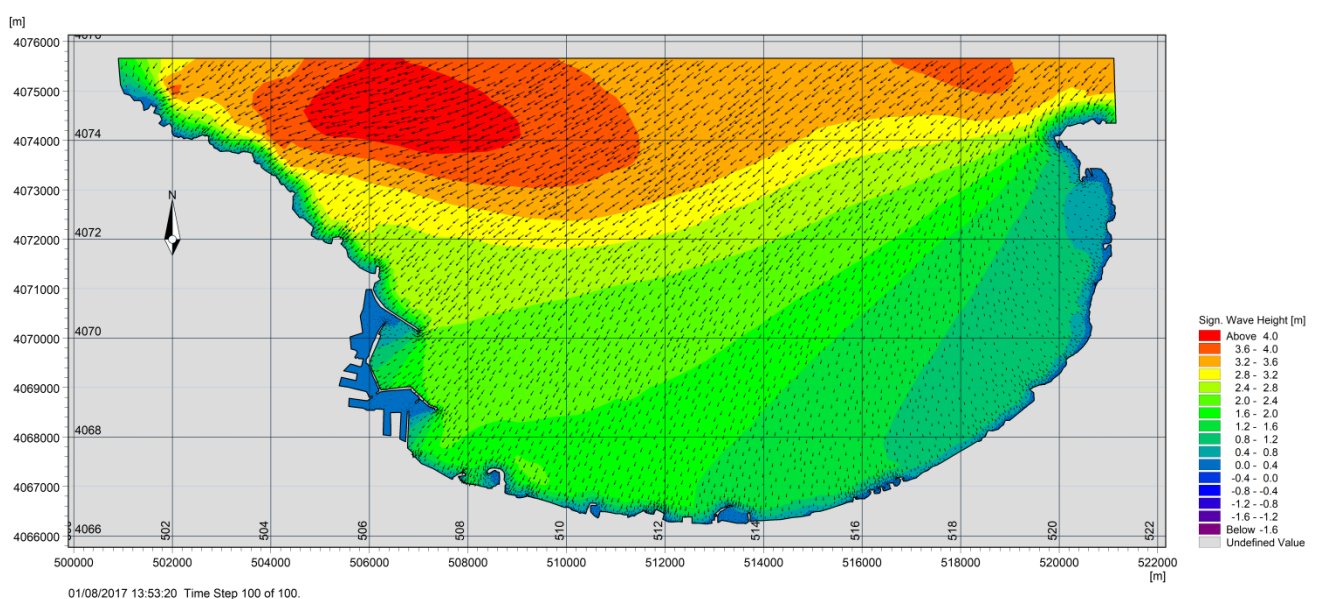
III.3.1. Propagation de la houle (Modèle SW)

Pour chaque simulation, il est alors possible d'extraire en tout point du maillage les caractéristiques de la houle (période, hauteur, direction). Les caractéristiques de la houle sont également disponibles sous forme de carte présentant la direction (vecteurs) et les contours des isohauteurs ou des isopériodes.

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est perpendiculaire au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

▪ Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)

Les figures ci-après (figure III.8 et III.9) montrent le plan de propagation de la houle a des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord-Est avec une hauteur significative de 2.6 m.

**Figure III.8 :** Champs de houles (Nord-Est) sur la Baie d'Alger

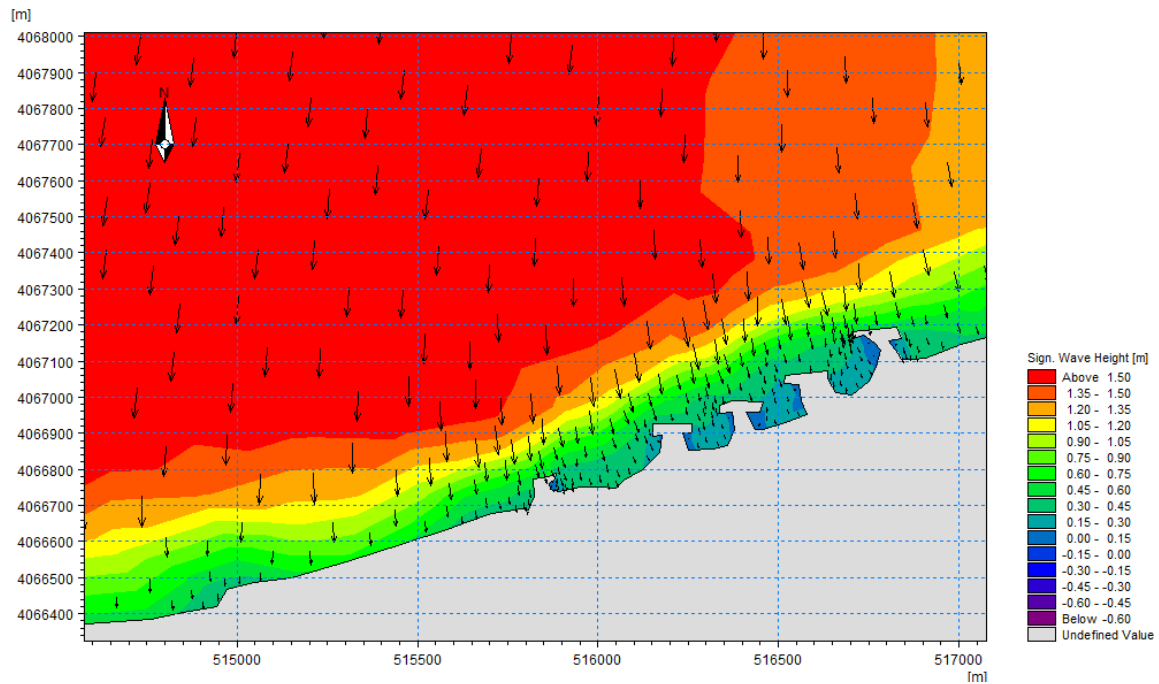


Figure III.9 : Champs de houles (Nord-Est) sur la zone de Lido

Au large, ces houles de direction Nord-Est (45°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la houle change ses caractéristiques du large, la hauteur de la houle diminue considérablement dans la partie Ouest suite à la diffraction et à la réfraction de la houle. La zone d'étude est abritée, elle ne subit que les houles diffractées au niveau du Cap Matifou. L'étude de la réfraction montre que cette zone d'étude est protégée des houles du secteur Nord-Est, la hauteur de la houle est comprise entre 0.2 m et 1 m.

▪ Propagation des houles de direction Nord (360°)

La figure ci-après (figure III.10 et III.11) montrent le plan de propagation de la houle à des profondeurs allant de 60 m jusqu'au rivage, venant de la direction Nord avec une hauteur significative de 2.67 m.

D'après les cartes, on remarque que les houles de secteur 360° N sont frontales, c'est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nul, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux du Cap Matifou et d'autre part c'est liée à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles. Presque la totalité de la côte de la baie d'Alger est exposée à la houle Nord.

Les houles du Nord ont tendance à arriver de manière perpendiculaire à la côte en gardent presque la totalité de leurs énergies du large. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre de 0,2 et 0.6 à la profondeur de 5 m peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière

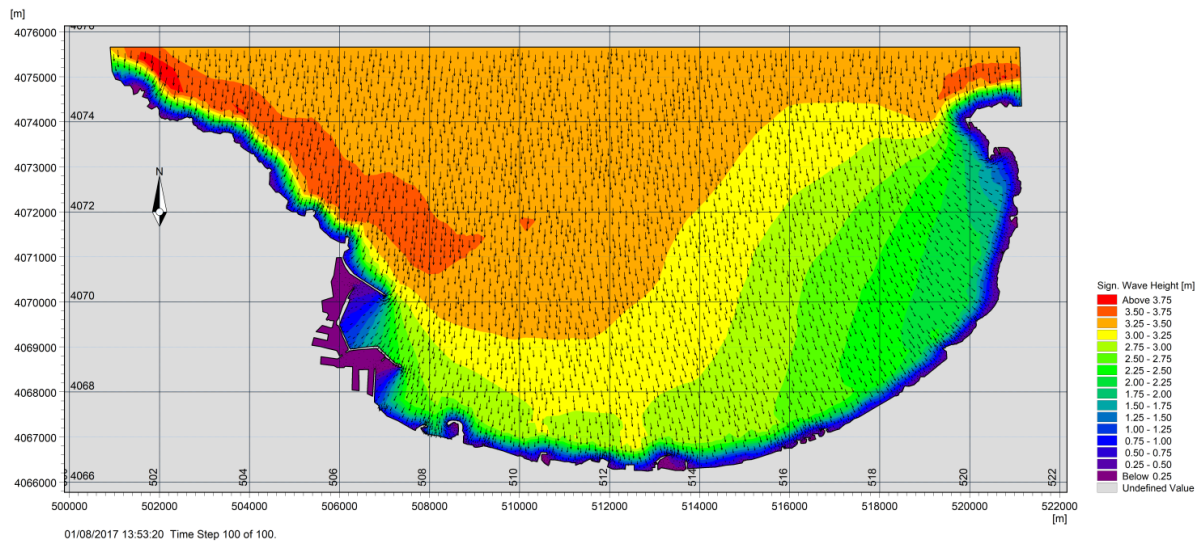


Figure III.10 : Champs de houles (Nord) sur la Baie d'Alger

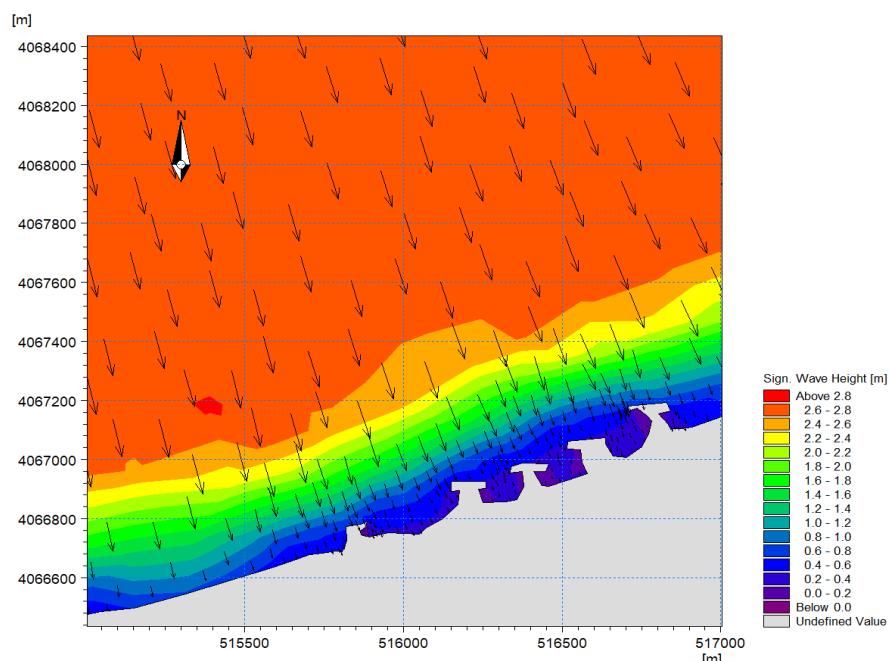


Figure III.11 : Champs de houles (Nord) sur la zone de Lido

- **Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)**

Les houles issues du secteur 315° N (figure III.12 et III.13), ce sont des houles hivernales, elles sont réfractées. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 3° et 10° . Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de la Sablette et la zone de Lido. 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 Est où on observe des hauteurs qui varient entre 0.9m et 1.5m. Ces houles dont le coefficient de réfraction moyen varie entre 0.6 et 1 peuvent générer des courants littoraux et entraîner l'érosion côtière.

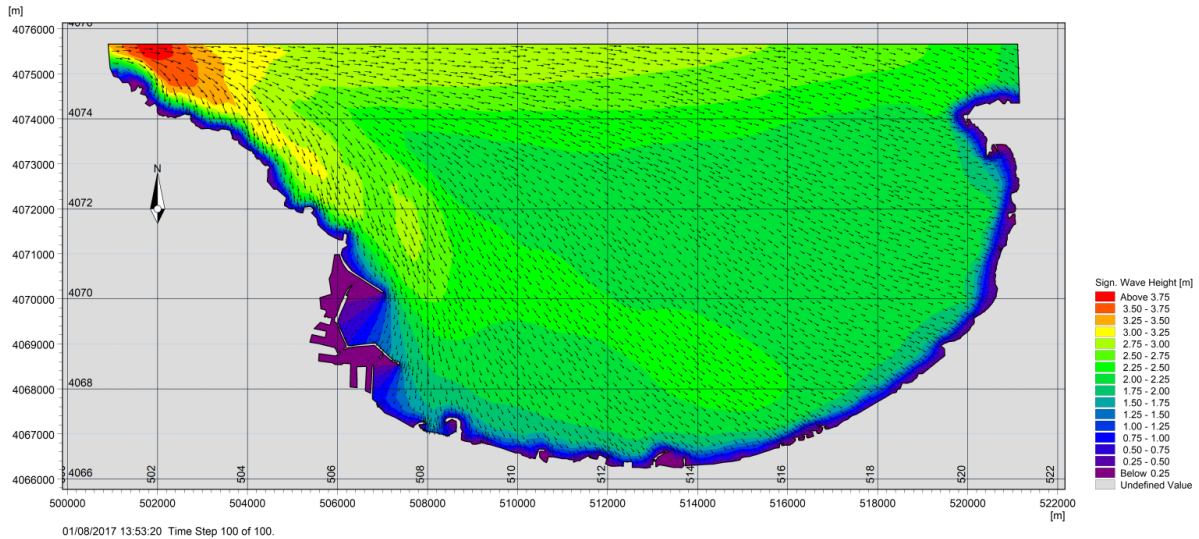


Figure III.12 : Champs de houles (Nord- Ouest) sur la Baie d’Alger

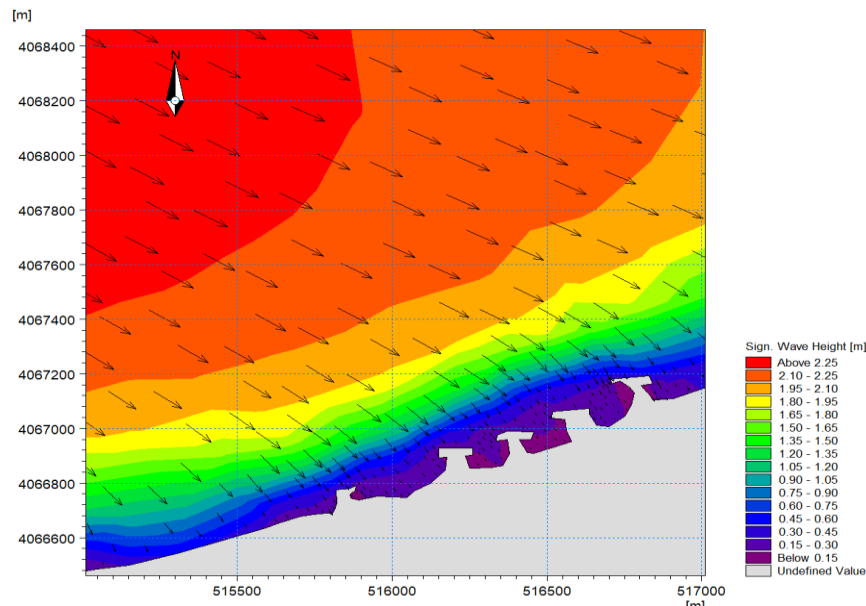


Figure III.13 : Champs de houles (Nord-Ouest) sur la zone de Lido

III.3.2. Champs de courants générés par la houle (Modèle HD)

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond.

Les figures ci-après (Figures III.14 – III.19) montrent les champs de courants induits par les vagues calculées au moyen du modèle numérique MIKE21-HD pour les trois directions de houles sélectionnées.

Les vagues venant du secteur Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest avec des vitesses faibles comprises entre 0.10 m/s et 0.40m/s au niveau de la partie centrale jusqu'au port d'Alger. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone Ouest dû généralement à la diffraction de la houle et à la concentration des orthogonales de la houle dans cette zone. Ce courant de dérive accentue l'érosion des plages.

Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement opposée mais avec des vitesses nettement faibles dans la partie Est ou les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.3m/s.

On observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport à la direction Nord Est, qui est dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s dans la partie Ouest et une vitesse de 0.4 m/s dans la partie Est. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages de protection, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages.

▪ **Champs des courant pour un MDW=45° :**

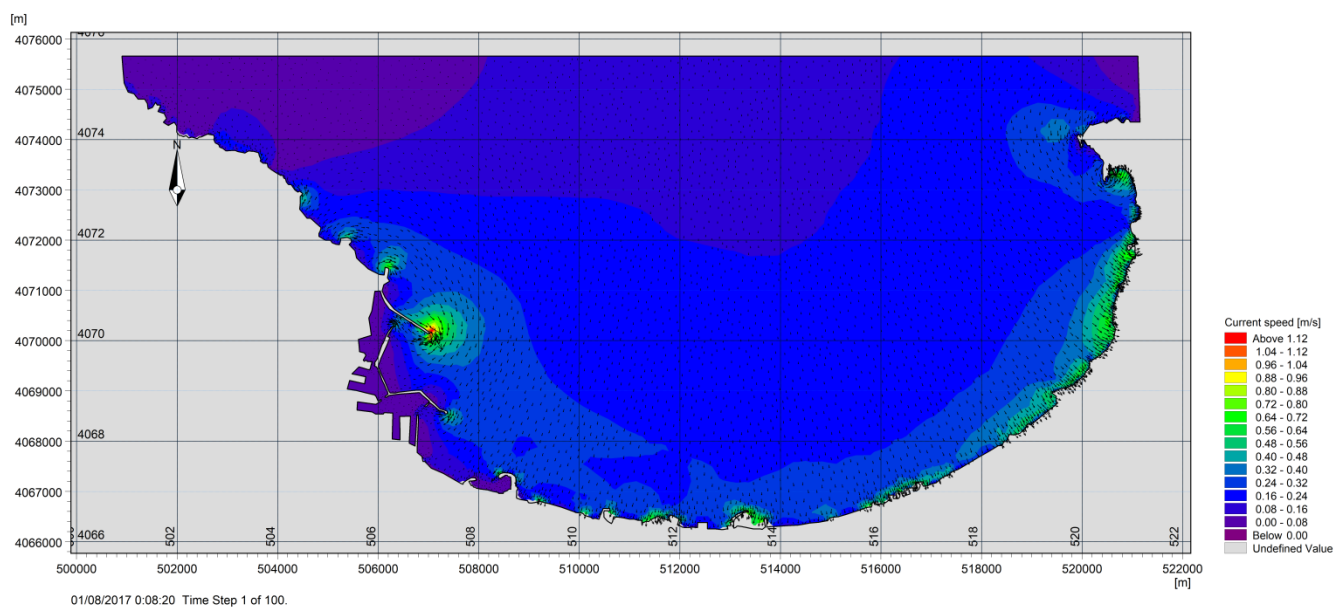


Figure III.14 : Champs des courants sur la Baie d'Alger pour (Nord-Est).

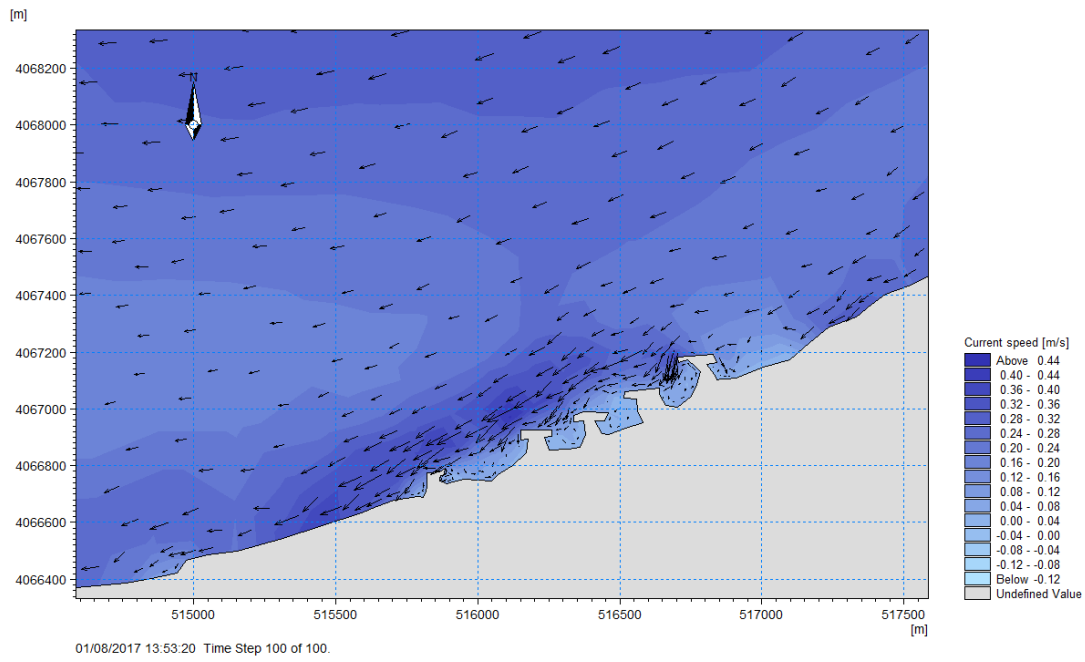


Figure III.15 : Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction(Nord-Est).

▪ **Champs des courant pour un MDW=360° :**

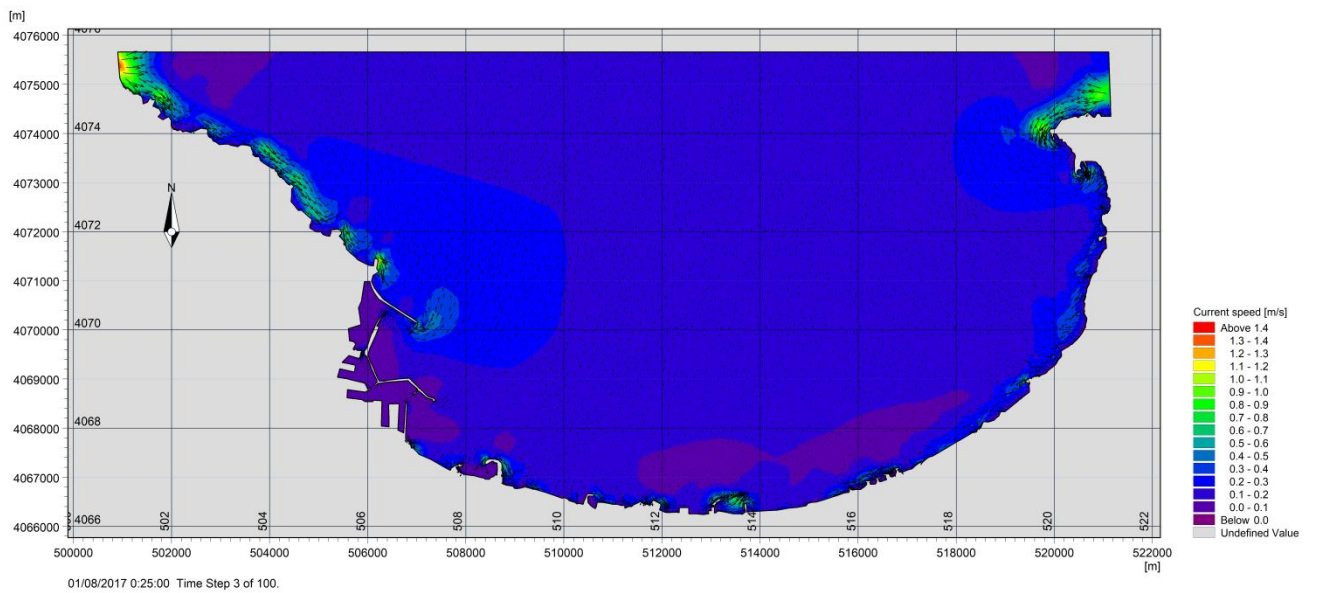


Figure III.16 : Champs des courants sur la Baie d’Alger pour(Nord).

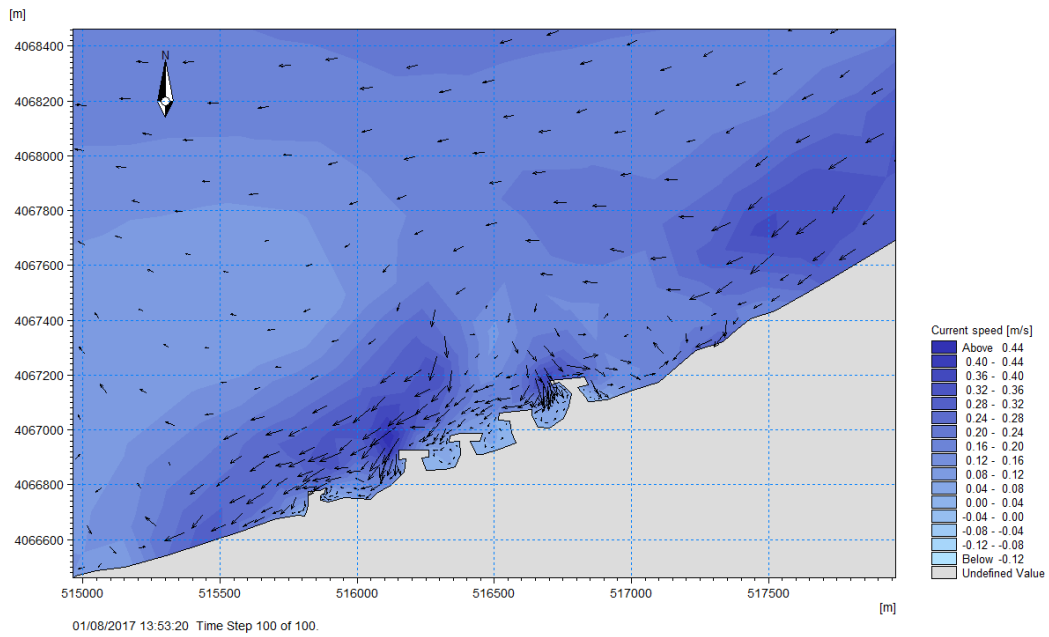


Figure III.17 : Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction(Nord).

▪ **Champs des courant pour un MDW=315° :**

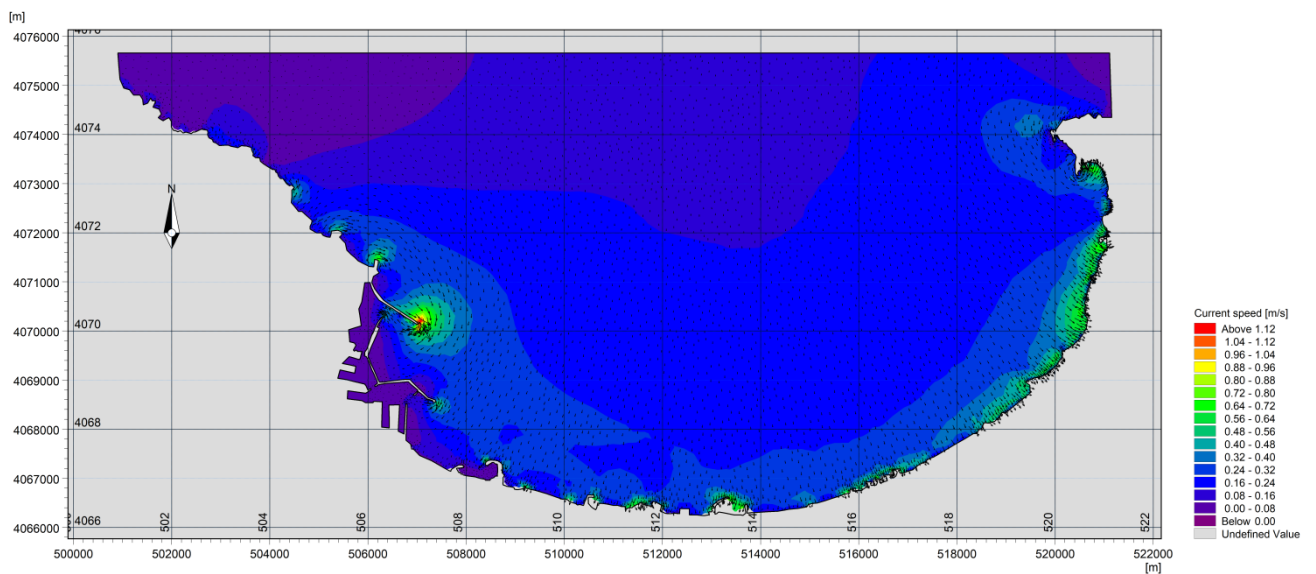


Figure III.18 : Champs des courants sur la Baie d'Alger pour(Nord-Ouest).

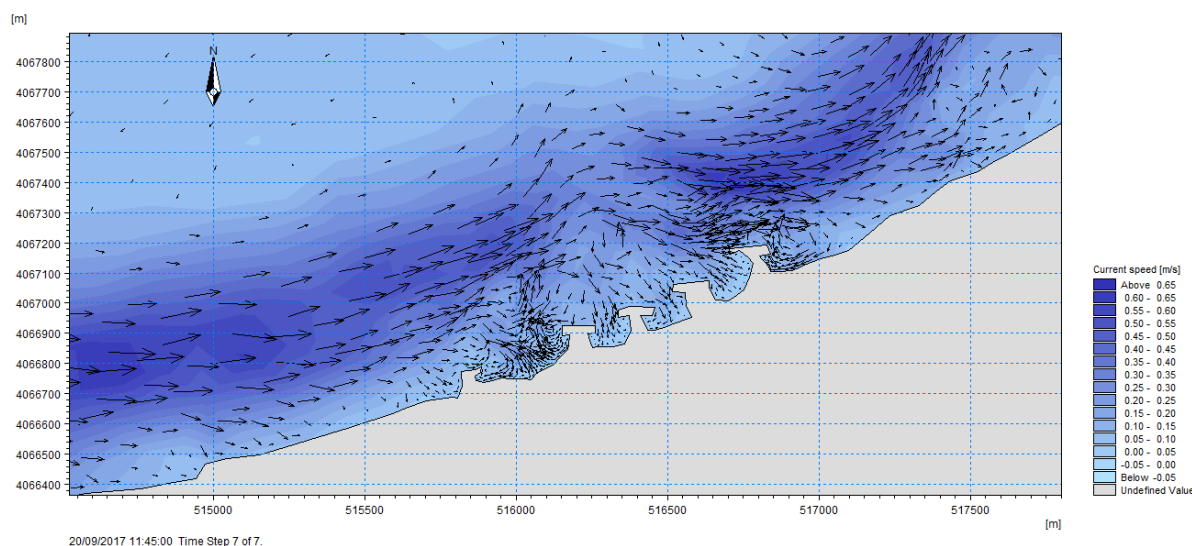


Figure III.19 : Champs des courants au niveau de la zone de Lido pour la direction(Nord-Ouest).

III.3.3. Transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant (modèle Mike 21 ST)

Le calcul et la prévision de l'évolution du littoral dépendent de l'équilibre du transport des sédiments dans le secteur d'étude.

Cette partie consiste à modéliser le transport sédimentaire induit par les courants et les houles simulés au moyen du module ST de la compilation MIKE 21. Sous l'action combinée des courants et des vagues, le modèle Mike 21 ST calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée.

Les figures présentées ci-après (figure III.20 – III.25) représentent une capacité de transport instantanée en $m^3/m/s$ et sont exploitées pour comprendre qualitativement ce qui se passe au niveau du transport. L'échelle de couleur peut être légèrement modifiée d'une figure à l'autre pour illustrer de la meilleure manière le transport. Les résultats de la modélisation du transit littoral net sur l'ensemble de la baie et la zone de Lidou indiquent d'une manière générale, le transit a une résultante portant vers le Nord.

Sur la partie Ouest de la zone, le transport est assez uniforme et confirme ce qui a été observé en termes d'hydrodynamique. Les houles en provenance du Nord-Ouest vont engendrer une dérive littorale vers l'Est au voisinage de la cote. Ses courants de dérives changent leurs direction vers le large lorsque ils rencontrent les ouvrages perpendiculaire et donnent naissance à des courants de retours (figure III.20 – III.25), alors que les houles en provenance de Nord et Nord-Est vont plutôt engendrer un transport vers le Ouest par cette

drive et un transport vers le large suite au courant de retours dirigés vers le large avec un débit varie entre $466 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et $1555 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ environ. La résultante de cette dérive dépendra des amplitudes des houles respectives. On s'attend à ce qu'elle soit globalement orientée vers le Nord, étant donné la dominance des régimes de Nord-Est et de Nord.

Sur les plages de la partie Est, à l'ombre du Cap Matiffou, le transport s'effectue vers le Nord-Ouest à cause d'une recirculation des courants. Les résultats du transport sédimentaire sur la zone sont qualitativement conformes à l'analyse des écoulements menée précédemment et confirment la dérive littorale parallèle à la côte sur cette zone. Sur cette zone, l'intensité de la dérive diminue entre le Nord et le Sud ce qui aurait tendance à favoriser une accumulation de sable dans certaines parties abritées, mais que dans le même temps les houles de Nord-Ouest engendrent un transport en direction du large. Le bilan sédimentaire est donc complexe, et résulte de la contribution de chaque houle.

Il existe également des gradients dans le transport brut le long du rivage sur l'ensemble du site suite à l'installation des ouvrages. Au niveau de la partie Est, la capacité du transport brut est constante de l'ordre de -25 à $-1200 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ vers le large engendré par les courants de retours. Le transport brut augmente de -50 à $-2000 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ dans la partie Ouest et cela du à l'exposition de cette zone aux différentes houles. Pour toute variabilité naturelle de l'orientation du trait de côte, l'intensité du transport brut reste relativement stable. Ces pertes de sables vers le large engendrent l'érosion continue de ces plages sableuses, qui est confirmée avec les résultats obtenus avec le modèle DSAS.

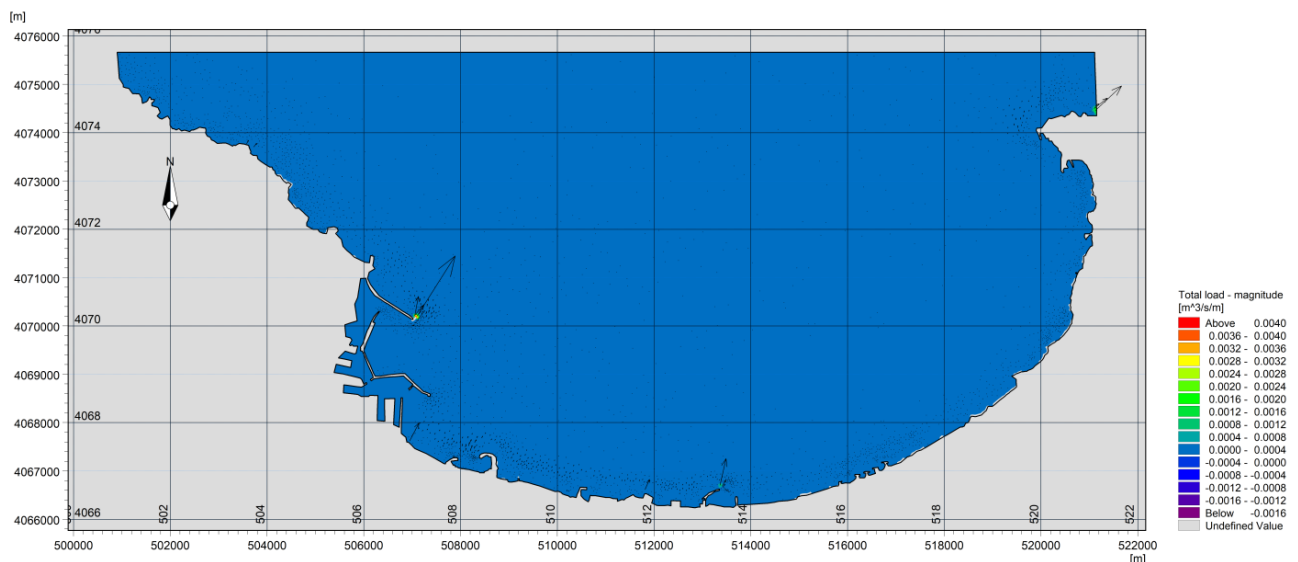


Figure III.20: Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord-Est).

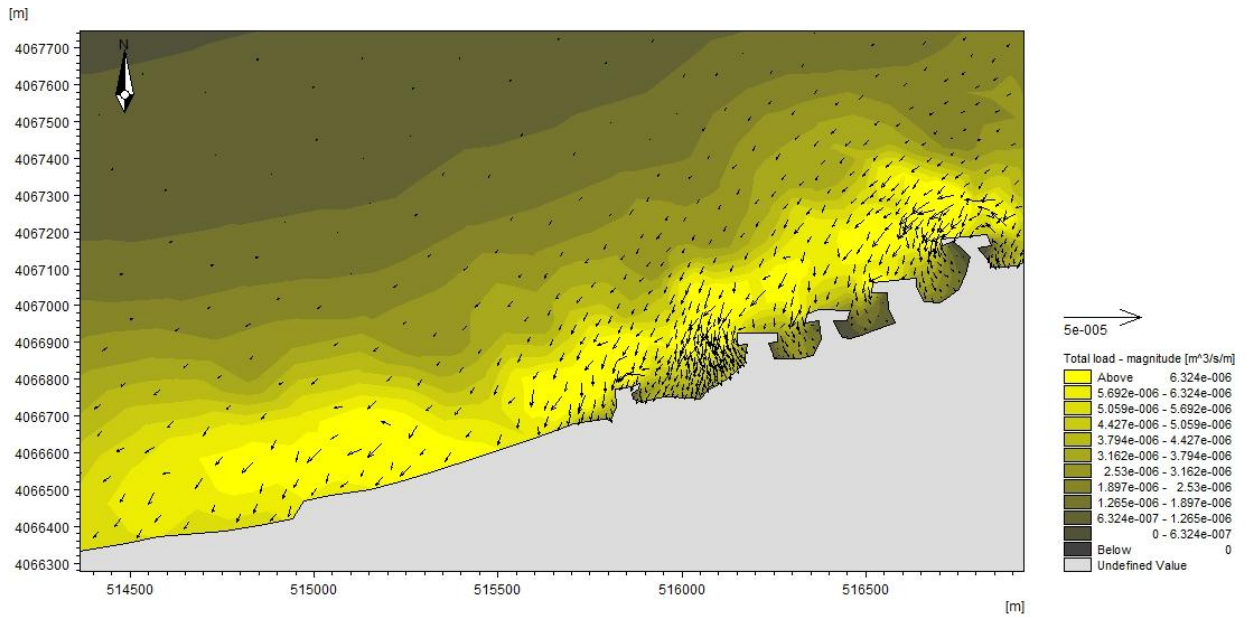


Figure III.21: Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord-Est).

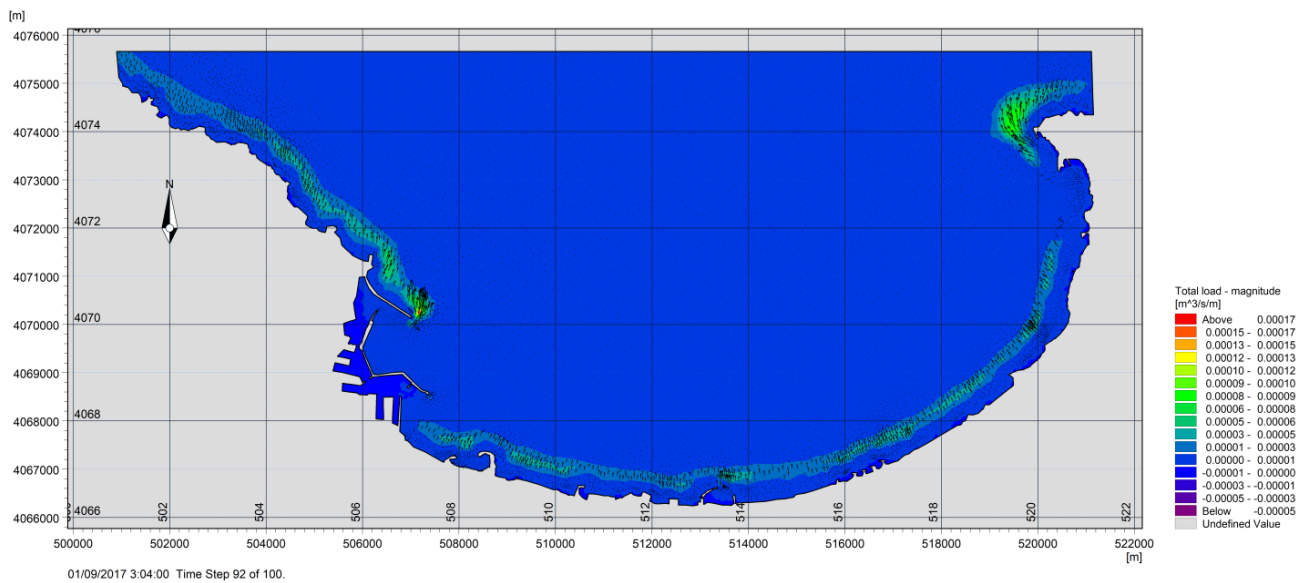


Figure III.22: Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord).

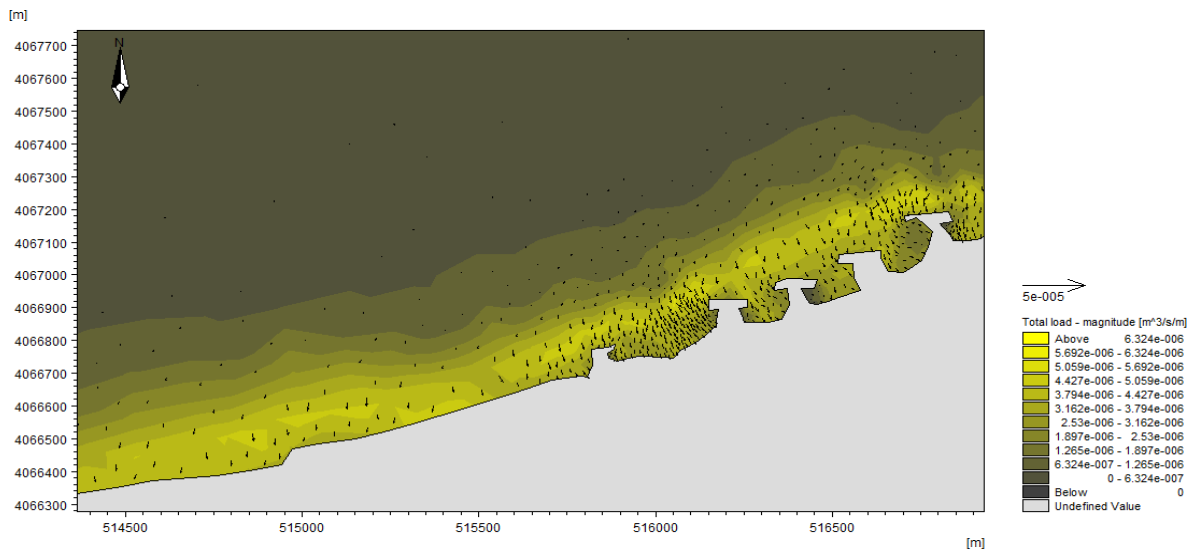


Figure III.23: Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord).

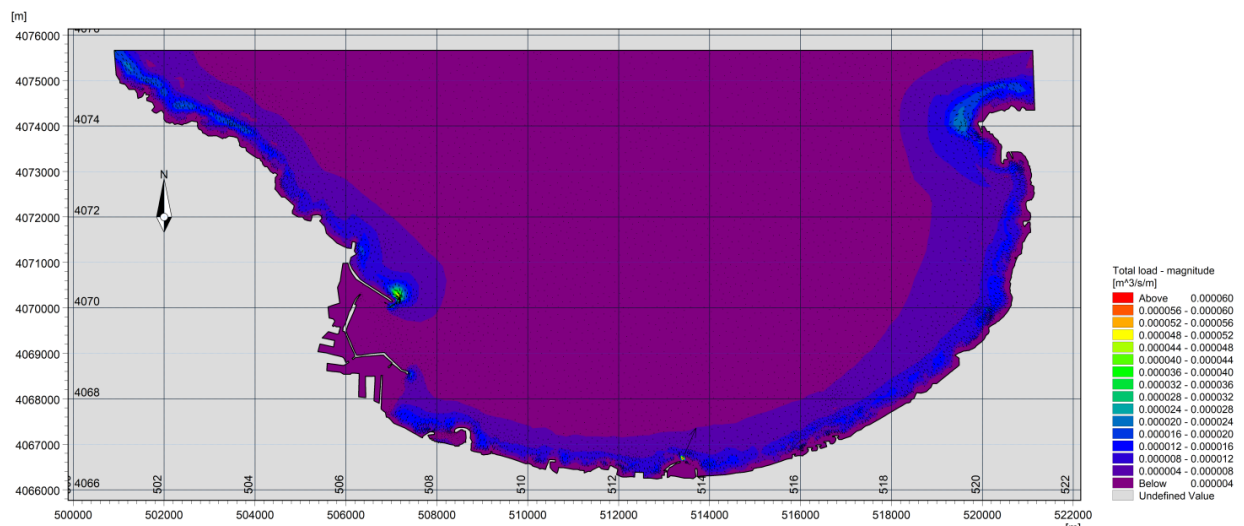


Figure III.24: Dynamique sédimentaire sur la Baie d'Alger (Nord-Ouest).

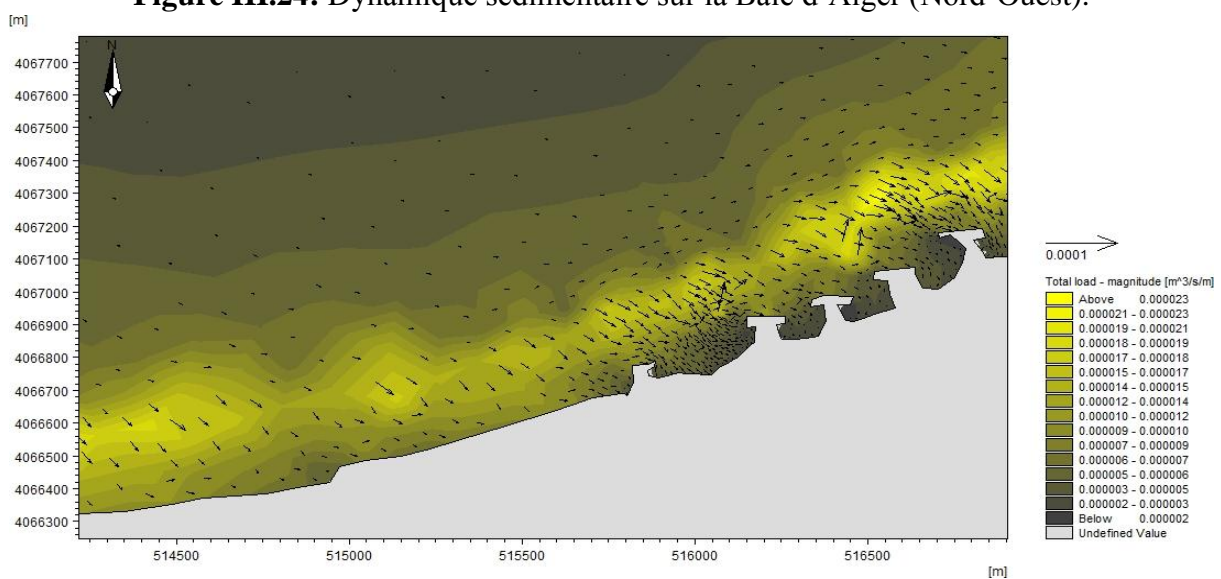


Figure III.25: Dynamique sédimentaire sur la zone d'étude (Nord-Ouest).

III.3.4. Propagation de la houle cinquantennale (Modèle SWAN)

Les résultats issus du calcul de la réfraction de la houle ayant une période de retour de 50 ans seront utilisés comme données d'entrée au dimensionnement des ouvrages de protection.

Les résultats de l'étude de propagation de la houle sont illustrés par :

- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle (voir figures III.26 à III.28).
- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points, qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle à cette profondeur qui sera dimensionnement des ouvrages de protection.

Le coefficient de réfraction (K_r) a été calculé pour chaque direction retenue à une profondeur d'environ 10m, profondeur limite de la dynamique sédimentaire. Le coefficient de réfraction est présenté ci-après pour chaque direction de houle considérée :

Tableau III. 3. Tableau Résultats du calcul de la houle cinquantennale. (LEM)

Direction (degré)	Période de retour	Hs Large (m)	Profondeur 1m		Profondeur 3m		Profondeur 5m		Profondeur 10m		Profondeur 15m	
			Hs	Kr	Hs	Kr	Hs	Kr	Hs	Kr	Hs	Kr
N45°	50	7.53	1.34	0.18	2.23	0.30	3.11	0.41	4.81	0.64	5.14	0.68
N360°	50	7.87	1.34	0.17	2.24	0.28	3.14	0.40	5.22	0.66	6.42	0.82
N320°	50	6.65	1.29	0.19	2.16	0.32	3.01	0.45	5.01	0.75	6.22	0.94

Les résultats du tableau montre que la hauteur significative de la houle diminue du large vers la côte pour les trois directions accompagnée d'abaissement plus au moins important de son énergie ce qui a été exprimé par les valeurs de coefficient de réfraction qui ont une tendance de se rapprocher vers une valeur nul , en allant vers la côte.

Ce fait est dû à la topographie sous-marine de la zone qui affecte tous les secteurs de la houle. Ces derniers atteignent un coefficient de réfraction maximum d'ordre 0.82 qui correspond à la direction Nord-Ouest sur une profondeur de 15m et un minimum d'une valeur 0.17 qui est dévoilée par la direction Ouest sur 1m de profondeur. Cela montre que la houle vienne sous un angle de 270° à une déviation plus élevé à celles de N320 et N360 et qu'elle a perdu une énergie importante de large.

En somme, les hauteurs significatives de la direction Est sont plus importantes comparant aux autres ce qui mène à une élévation de leur énergie qui a une action dominante sur la zone.

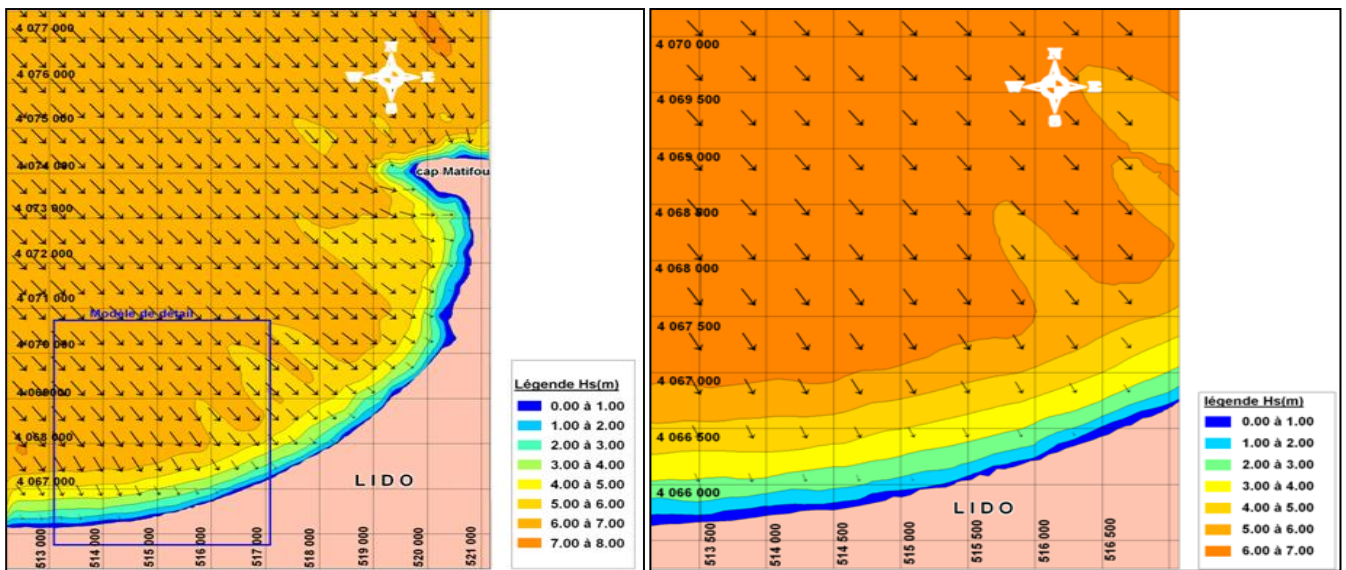


Figure III. 26: Epures de réfraction houle cinquantennale N 320, $H_s=6.65$, $T_p=12.6$ (LEM 2009)

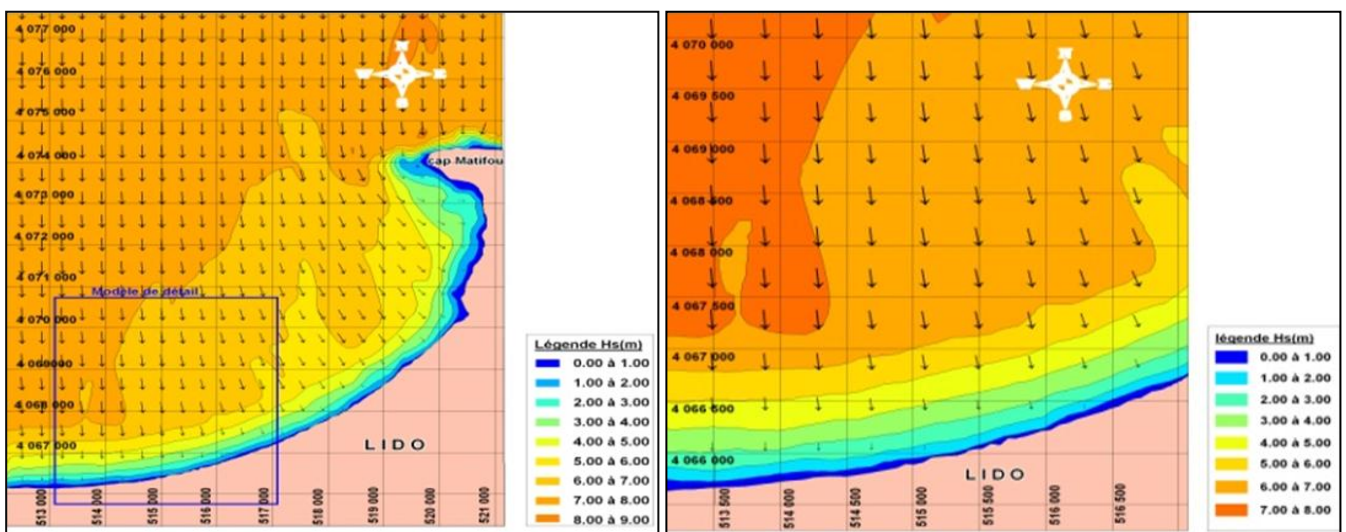


Figure III. 27 : Epures de réfraction houle cinquantennale N 360 $H_s=7.87$ m, $T_p=13.57$ s(LEM 2009)

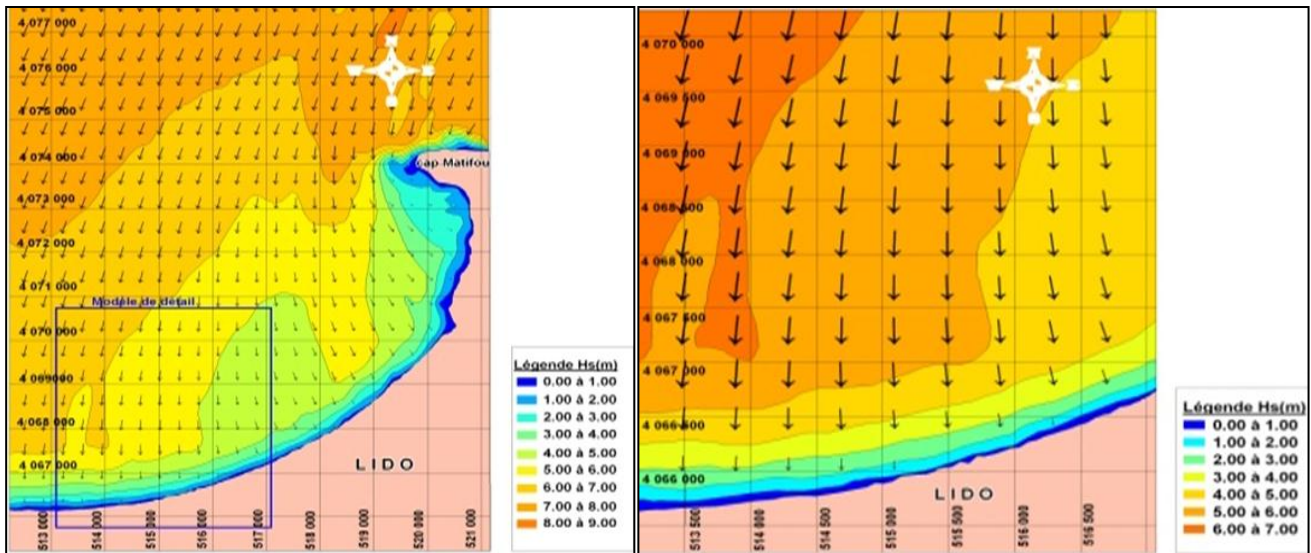


Figure III.28: Epures de réfraction houle cinquantennale N 20Hs=7.53m, Tp=13.52s (LEM .2009)

III.4. Estimation de la capacité de transport par la houle

L'estimation de la capacité de transport sédimentaire sous l'action de la houle est réalisée par un calcul manuel en utilisant la formule du LCHF suivante :

$$Q = \frac{K}{C} * g * H_s^2 * T * t * f(\alpha)$$

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)

Hs = amplitude significative de la houle (en 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 s).

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 0,5 mm le coefficient k peut s'exprimer par la relation suivante : K= 1,8 10⁻⁶ D^{-1/2} avec D, diamètre en mm.

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

- Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par : Hs². T. t.
- La fonction f (α) liée à l'obliquité de la houle f (α) = sin [7/4 (α)].

Dans ce qui suit seront présentés le calcul du bilan énergétique annuel et l'estimation de la capacité de transport par la houle.

Les données nécessaires à l'estimation de la capacité de transport par la houle proviennent des résultats de l'étude de réfraction de la houle réalisée dans le cadre de cette étude et sont obtenus par extraction des valeurs de la houle au point 9, situé au niveau de l'isobathe -10 m, à partir du modèle SWAN.

Tableau III. 4: Récapitulatif du bilan d'énergie annuel par direction et par période (LEM. 2009).

Direction	45°N	320°N	360°N
Période (s)	(H_S)². T. t (m²s²)	(H_S)². T. t (m²s²)	(H_S)². T. t (m²s²)
6	27 485 092	12 409 830	17 532 790
8	10 322 251	10 985 362	11 256 263
10	2 766 931	1 310 007	3 151 819
Total	40 574 274	24 705 199	31 940 872
Total Général : H_S². T. t = 97 220 345 m²s²			

Le bilan énergétique annuel est estimé à : 97.10⁶m²s²

Tableau III. 5 : Récapitulatif de l'estimation de la capacité de transport par la houle par période et direction (LEM.2009)

Direction	45°N	320°N	360°N	Total par période Q (m ³ /an)	
Période (s)	Q (m³/an)	Q (m³/an)	Q (m³/an)		
6	-16 075	6 089	- 5 560	6 089	- 21 635
8	-5 064	4 470	- 3 043	4 470	- 8 107
10	1185	445	- 702	445	-2 414
T/direct	-22851	11 004	-9 305	11 004	-32 156
Total général= 34160 m³/an					

Ouest (+) 11 004 m³/an

-32 156 m³/an (-) Est.

Rappel : par convention le signe (+) correspond à un transport l'Est vers Ouest et le signe (-) correspond à un transport vers l'Ouest.

Le volume résultant des sédiments pouvant être déplacés de l'Ouest vers l'Est serait de 21000 m³/an.

Chapitre IV : Evolution spatiotemporelle de la ligne de côte

Introduction

La morphologie des littoraux meubles est complexe et s'organise très souvent sur des secteurs longs de plusieurs kilomètres, où interagissent un grand nombre de facteurs physiques, biologiques et sédimentaires. Dans ces environnements, la tendance naturelle d'érosion est accélérée par des interventions humaines limitant le volume des sédiments essentiel au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (PASKOFF, 1998). Ceci conduit à des perturbations dans les évolutions côtières. Localement, les effets des ouvrages de protection (digues, épis, ouvrages portuaires) contribuent à un déséquilibre de la dynamique sédimentaire littorale. Raison pour laquelle, le recours à la technique de la photo-interprétation, à différentes dates, permet une vision générale et rétrospective des phénomènes.

Le but est de présenter les résultats préliminaires d'une étude faisant appel aux documents cartographiques et à l'imagerie satellitale multodate pour mesurer les conséquences des installations touristiques sur l'évolution du trait de côte et la répartition des masses sableuses dans la cote de Lido.

IV.1. Historique d'évolution de trait de côte de la zone Lido

D'une manière générale, le littoral de la baie d'Alger est globalement en recul. L'érosion est liée aux facteurs naturels régissant la dynamique littorale et à l'action anthropique notamment, l'extraction de sable, l'urbanisation proche de la mer ainsi que la pollution. La somme de tous ces facteurs se solde par l'altération de l'équilibre naturel du littoral.

Le littoral du Lido (zone militaire non comprise) est sujet à une érosion de la plage. Ce phénomène s'accroît fortement au droit de la zone des habitations dont certaines se retrouvent en contact direct avec la mer. Le défaut de réseaux de collecte des eaux usées et pluviales se traduit par une destruction du profil de la plage qui favorisera sa récession à court terme.

Sur une durée de 27 ans (1980-2007), le recul du trait de côte a été estimé en moyenne à 20 mètres, soit un recul de 70 cm par an (LEM.2009). Cette évolution est du même ordre de grandeur que celle observée sur le site voisin de Stamboul (au SW de l'avancée rocheuse de Bordj el Kiffan). Actuellement le trait de côte se situe au pied des habitations du secteur. Des dégradations avancées d'habitations entières comme le montrent les images de Google Earth pro prises en 2000, 2005, 2007 et 2019.

L'idée de base dans la détermination du déplacement de la ligne de côte de Bordj El Kiffan lido est de superposer les traits de côte numérisés, et de mesurer la distance entre eux à différents points le long du littoral. Cela permet de calculer des taux de changement annuels (en mètre par an).



Figure IV. 1: Les images Google Earth de la zone de Lido

IV .2 .Méthodes et techniques utilisées

IV .2.1 Les logiciels utilisés

- **Google Earth**

Google Earth pro est une mappe monde virtuelle qui vous permet de visualiser les images, enregistrées par des satellites, de la plupart des endroits de la Planète. C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60cm (SPOT, Quickbird, Ikonos,...). Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure.

- **Logiciel ArcGis 10.2**

Le logiciel ArcGis 10.2 est un système d'information géographique développé par la société ESRI (Environmental SystemsResearch Institute). C'est un outil pour manipuler, gérer, visualiser, cartographier, interroger et analyser toutes les données disposant d'une composante spatiale.

ArcGis Desktop se compose de quatre applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox et ArcGlobe. ArcCatalog est l'application de gestion des données, qui permet de parcourir l'ensemble de données et des fichiers sur l'ordinateur, la base de données, ou autres sources. En plus de montrer les données disponibles, ArcCatalog permet aussi aux utilisateurs de prévisualiser les données sur une carte, offre aussi la possibilité de visualiser et gérer les métadonnées de l'aménagement de l'ensemble de données. ArcMap est l'application utilisée pour visualiser, éditer des données géospatiales, et créer des cartes. ArcToolbox contient des outils de géotraitement, la conversion et d'analyse des données, ainsi que la plupart des fonctionnalités dans ArcInfo. ArcGlobe permet d'afficher de grandes quantités de données SIG à la surface d'un globe (visualisation 3D).

- **DSAS**

Le système d'analyse numérique des traits de côte DSAS (Digital Shorelines Analysis System) est une extension conçue pour le logiciel ArcGis, elle est disponible gratuitement. DSAS calcule les statistiques du taux de changement pour une série chronologique des données vectorielles du littoral.

IV.2.2. Utilisation de l'extension DSAS pour l'analyse de l'évolution du trait de côte

- **Choix de la ligne de référence**

L'étude de la dynamique du trait de côte commence par le choix de la ligne de référence. Dans le cas des côtes sableuses, l'ados de plage s'avère être le plus fiable (Robin, 2002). C'est la ligne de contact entre le haut de la plage et l'arrière plage. Cette ligne est facilement reconnaissable sur les photos aériennes puisqu'elle représente la limite des surfaces mouillées (sur les photos elles apparaissent en gris foncé) (Dolan et al., 1992). Nous avons adopté la ligne de rivage de 2007 qui a été cartographiée, étant plus précise et plus récente.

- **Choix de la ligne de base**

En vue de caractériser l'évolution à moyen terme de la côte, il est important de pointer un marqueur physique, proche de la ligne des plus hautes eaux (proche de l'interface milieu terrestre/ milieu marin) mais présentant surtout une faible variabilité journalière, saisonnière ou infra-annuelle. Ce marqueur doit être identifiable sur les photographies aériennes et les images satellitaires pour faciliter la génération des transects.

En ce qui concerne spécifiquement les côtes meubles et les plages sableuses, la ligne de base a été définie comme limite de végétation qui marque généralement la transition entre le système de plage marin et l'arrière-plage soumis à des processus éoliens, où se développent les dunes littorales si les apports sableux sont suffisants. Cette limite est considérée comme le marqueur le plus probant des évolutions côtières à moyen et long terme sur les littoraux sableux (UNESCO-CSI).

IV.2.3. Méthode de digitalisation :

A partir de Google Earth Pro, le trait de côte a été digitalisé pour chaque année et pour chaque zone d'étude, manuellement, à l'aide de l'extension '*Ajouter un trajet*' puis enregistrer au format KML. Nous avons choisi de prendre toutes ces traits de côte à une altitude de 300 mètres afin qu'ils aient tous la même échelle et qu'ils nous donnent le même niveau de précision.

Les traits de côte enregistrés en KML dans Google Earth Pro ont été intégrés dans ArcGIS puis convertis en Shapefile, en utilisant l'extension '*KML To Layer*' dont les entités en sortie sont générées dans le système de coordonnées géographique WGS84. Ces dernières ont été reprojetées dans un autre système de coordonnées WGS84_UTM à l'aide de l'outil '*Project*'. Pour les deux photographies aériennes, nous avons utilisé le logiciel SIG, qui est ArcGis 10.2 afin de digitaliser le trait de côte.



Figure IV. 2: Evolution de trait de côte de la zone d'étude (Lido)

IV.2.4. Méthode de génération de transects :

ArcGIS 10.2 a été utilisé pour créer et traiter les données pour cette étude. Toutes les données créées seront stockées dans une géodatabase dans laquelle un jeu de classe d'entité (feature dataset) a été créé. Il permet de regrouper toutes les classes d'entités (traits de côte) qui seront créées et qui auront le même système de coordonnées projeté (WGS84_UTM) et le même type de géométrie (une ligne « shapefile »). La géodatabase, le jeu de classe d'entité et les classes d'entité sont créés dans ArcCatalog (Figure IV.3), avec une classe d'entité pour chaque trait de côte. En plus, deux autres classes d'entité sont créées, une pour la ligne de base et l'autre pour les transects ayant aussi le même type géométrique (une ligne).

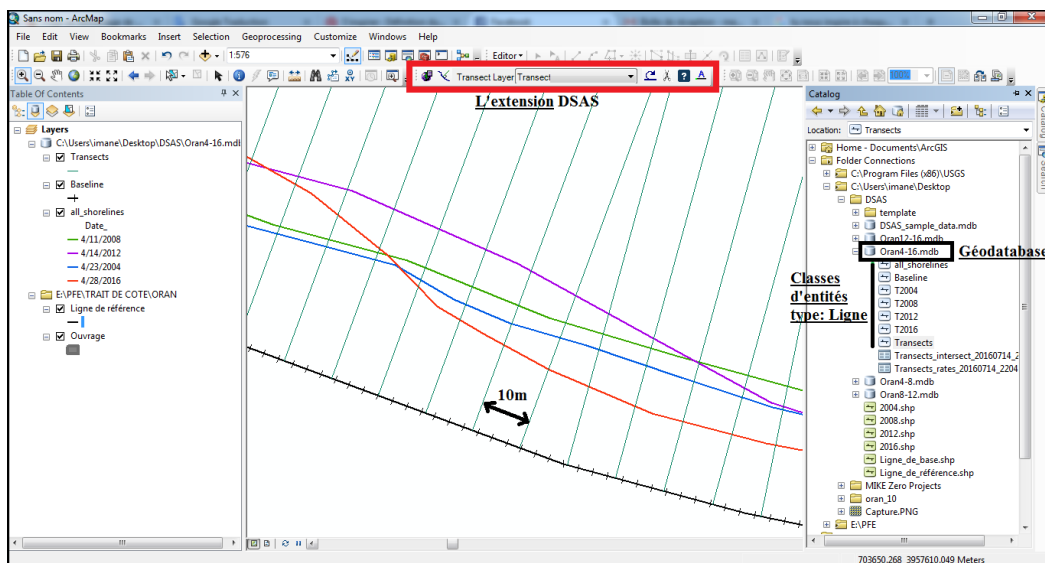


Figure IV. 3: Les données créées dans ArcCatalog et ArcMap (ArcGIS 10.2)

La génération des transects perpendiculaires sur la ligne de base a été réalisée à l'aide de l'extension Digital ShorelineAnalysis System (DSAS) conçue par Thieler et Danforth (1994).

L'emploi de ce outil a nécessité de définir une ligne de base (limite de végétation), une longueur pour les transects (300 m) ainsi qu'un pas de mesure (10 m) et de disposer de traits de côte projetés dans le même système de coordonnées. Ces transects ont été numérisés et numérotés de l'Est à l'Ouest (Figure IV .4).

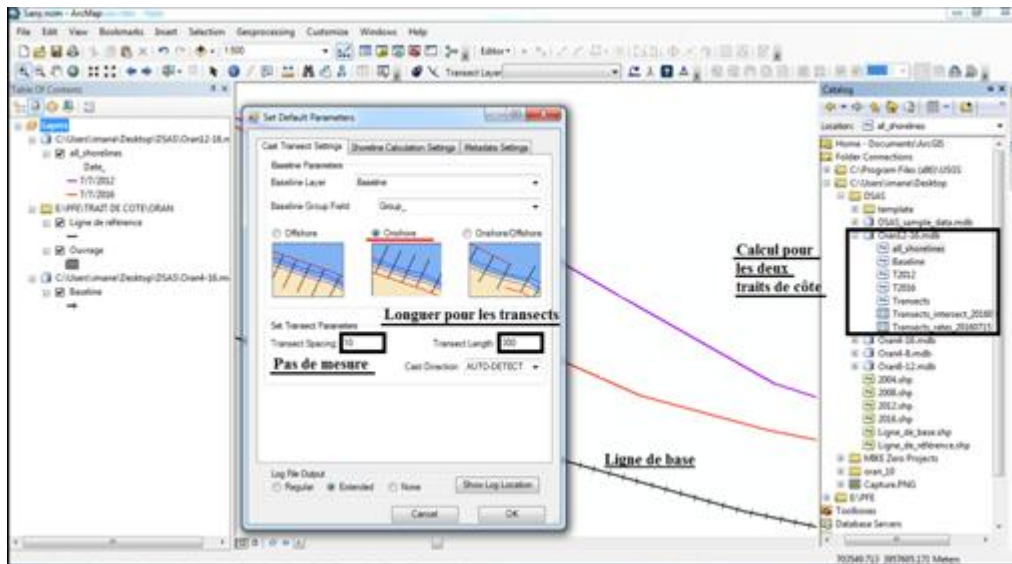


Figure IV. 4: Le concept du DSAS (Digital ShorelineAnalysis System) sous ArcMap.

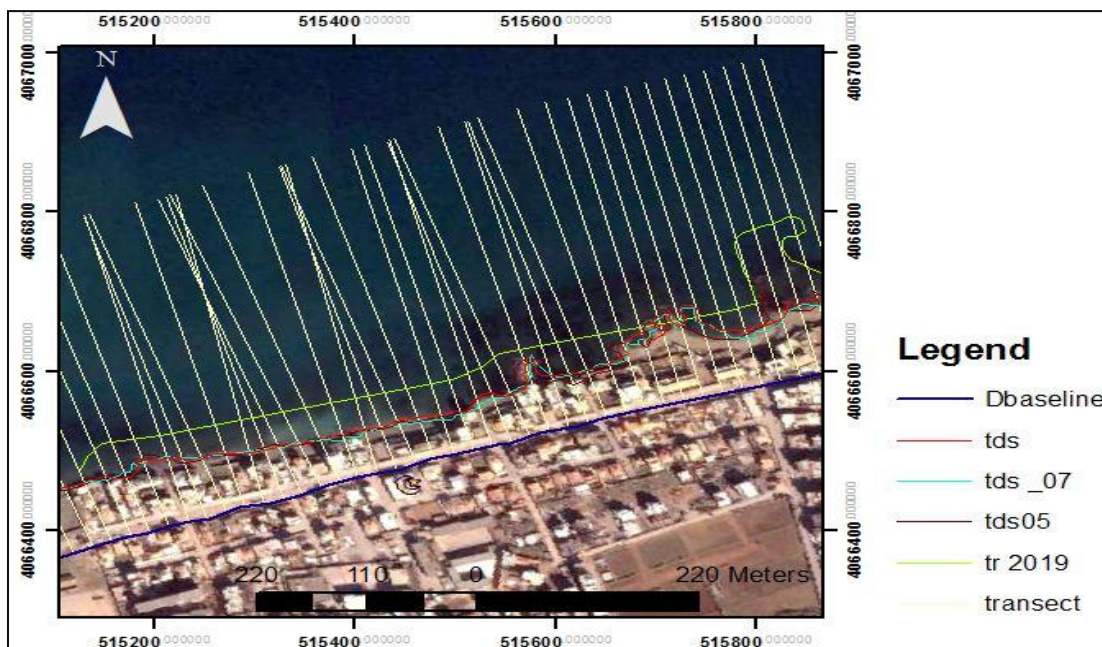


Figure IV. 5: génération des transects perpendiculaires sur la ligne de base.

Lorsque tous les paramètres d'entrées sont correctement saisis, DSAS génère automatiquement, selon le pas de mesure défini, des transects perpendiculaires aux linéaires côtiers, mesure les écarts entre les traits de côte et calcule les taux moyens de déplacement le long de chaque transect. Cette analyse automatique de tous ces transects permet de définir des secteurs d'évolution type et d'en calculer les valeurs moyennes. Dans les tables attributaires des transects, on dispose, à l'issue du traitement, en plus des attributs géographiques, des attributs statistiques dont trois, au moins, sont à retenir.

- *Le Net ShorelineMovement(NSM)* est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il rend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil (Faye, 2012).
- *Le LinearRegression Rate-of-change (LRR)* est une droite de régression linéaire des moindres carrés établie grâce à toutes les intersections des traits de côtes historiques pour un transect. La pente de cette droite est le taux de régression linéaire en mètres par an, (Himmelstoss. 2009 ; Jamont. 2014). Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analyse la cinématique littoral pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (Faye, 2012).
- *L'End Point Rate (EPR)* est le rapport de la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur le temps (nombre d'années) écoulé entre les deux dates. Exprimé en mètres/an, C'est cet attribut que l'on retrouve dans le modèle cartographique (Figure IV.6), sous le libellé « vitesse de l'évolution ». l'EPR convient bien lorsque l'on ne dispose que deux traits de côte pour évaluer la cinématique littorale (Thieler et al., 2005).

$$EPR = \frac{NSM}{\text{Nombre d'années entre le plus ancien trait de cote et le plus récent}}$$

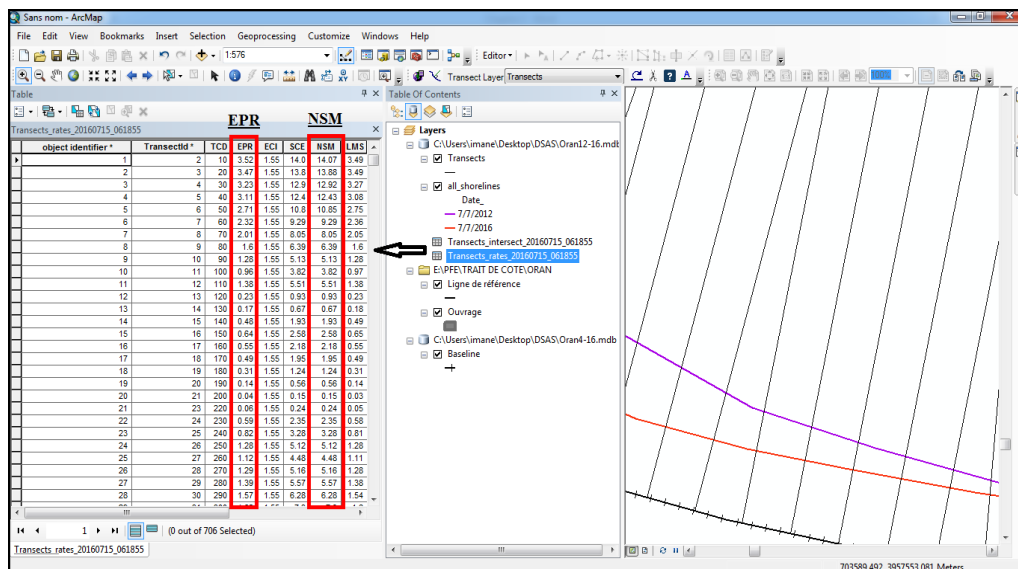


Figure IV. 6: La table attributaire issue lors du traitement sous ArcMap

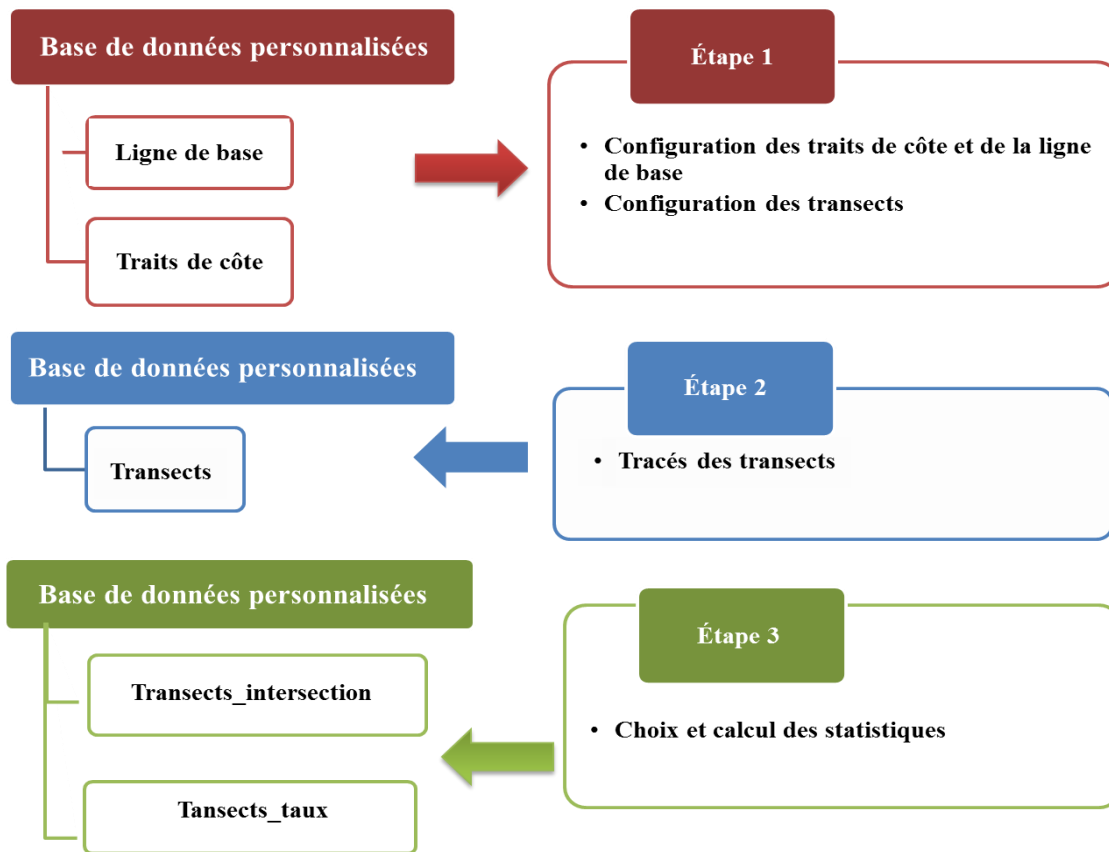


Figure IV. 7: Schéma du fonctionnement de l'extension DSAS

IV.3 Visualisation des résultats

L'évolution et la visualisation des résultats a été sur l'intégralité des quatre traits de côte (2000, 2005, 2007 et 2019) du site d'étude Lido. Afin d'avoir ces résultats, une ligne de base qui suit l'orientation générale de la côte a été créée. Ensuite dans le cadre de ce travail il a été choisi de générer des transects perpendiculaires à cette ligne de base tous les 10 mètres, l'ensemble de la côte de Lido est donc couverte par 39 transects avec une longueur de 300 mètres pour chacun.

IV.3.1 L'End Point Rate EPR

➤ Période de 2000-2005

D'après ces résultats, on remarque qu'on a assisté à un recul significatif dans toute la partie, pour les profils qui sont colorés en jaune le recul est faible de -0.65 jusqu'à -1.2 m/an, tandis que les profils colorés en orange, vert et bleu signifient un recul plus au moins important, on remarque un recul dans la plage de la partie Ouest en rouge avec un taux à -1 m/an. On peut constater aussi une légère avancée de la ligne de rivage sur la zone qui est caractérisée par des formes rocheuses.

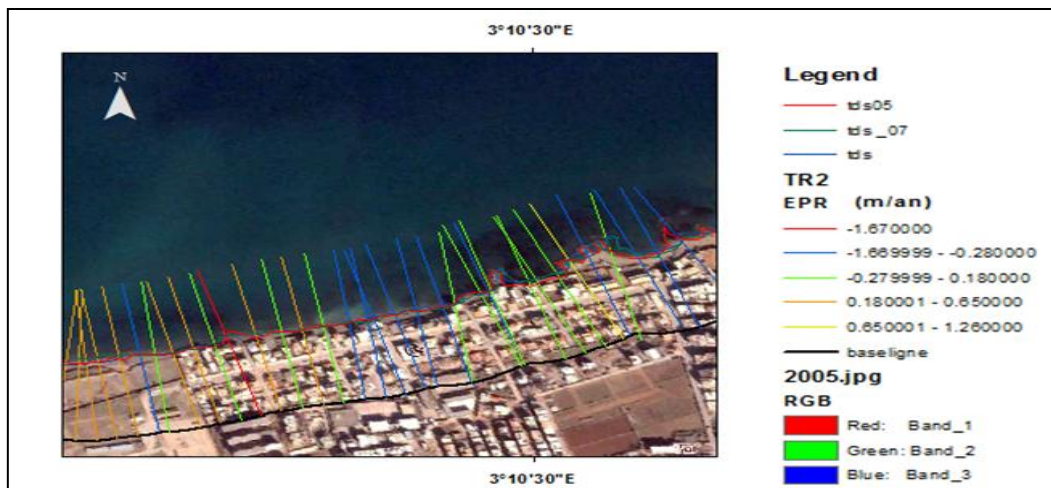


Figure IV. 8: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000- 2005.

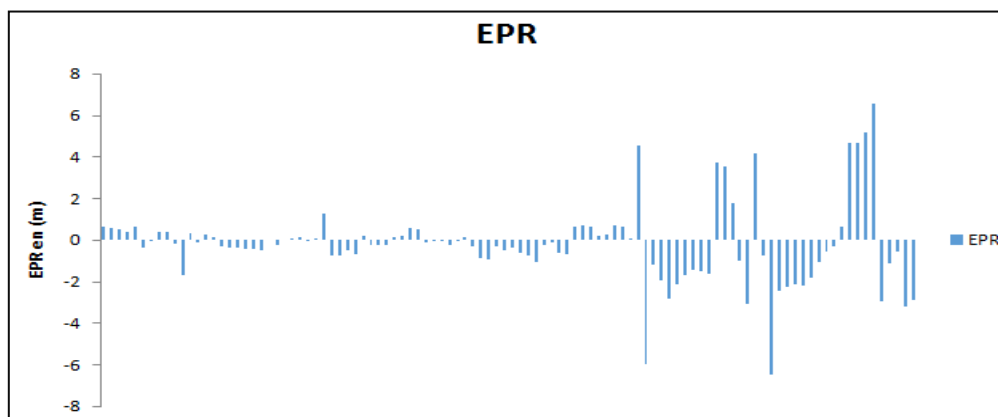


Figure IV. 9 : Variation de la vitesse de déplacement du trait de cote selon les transects au niveau de la zone Lido 2000 - 2005

➤ **Période de 2005-2007 :**

La période est caractérisée par une alternance de phases de recul et de progradation de la plage (figure IV.10 et IV.11). Une avancé plus significative est marquée autour dans la partie Ouest avec un taux d'avancement de +4m/ans, cela est dû aux activités anthropique et le dépôt des sédiments transportés par les courants de dérive. Alors que la partie centre et Est on constate une légère rétrogradation de la ligne du rivage, avec des valeurs comprises entre -0.82 à -0.68 m/an. Ce recul est déclenché par les facteurs hydrodynamiques.

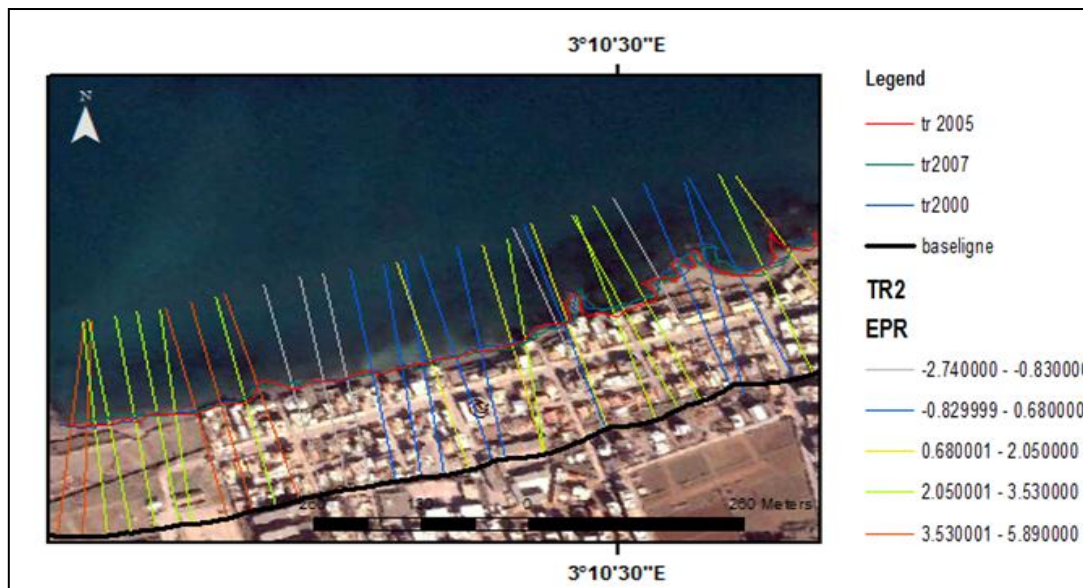


Figure IV. 10: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2005 et 2007

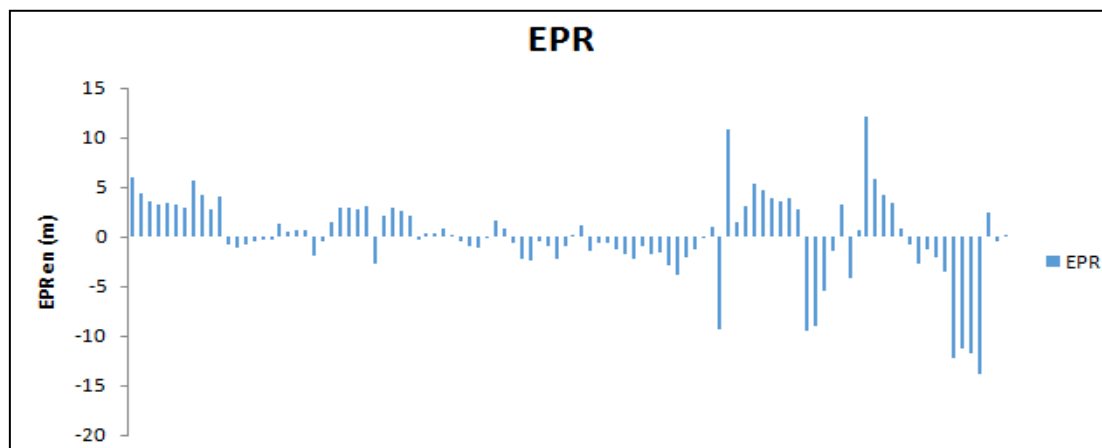


Figure IV. 11 : variation de la vitesse de déplacement du trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido 2005- 2007

➤ **Période de 2007-2019 :**

Lors de cette période (figure IV .12et IV.13), on constate une variation de la ligne de rivage, on assiste à une progradation avec une avancée de grandeur de 1.5 à 2 m/an, sauf entre le transect violet et blanc le trait de côte a connu un taux de recul d'environ supérieurs à -1 m/an. Cette évolution positive est favorisée par l'installation des ouvrages de protection qui jouent un rôle de pièges à sédiments.

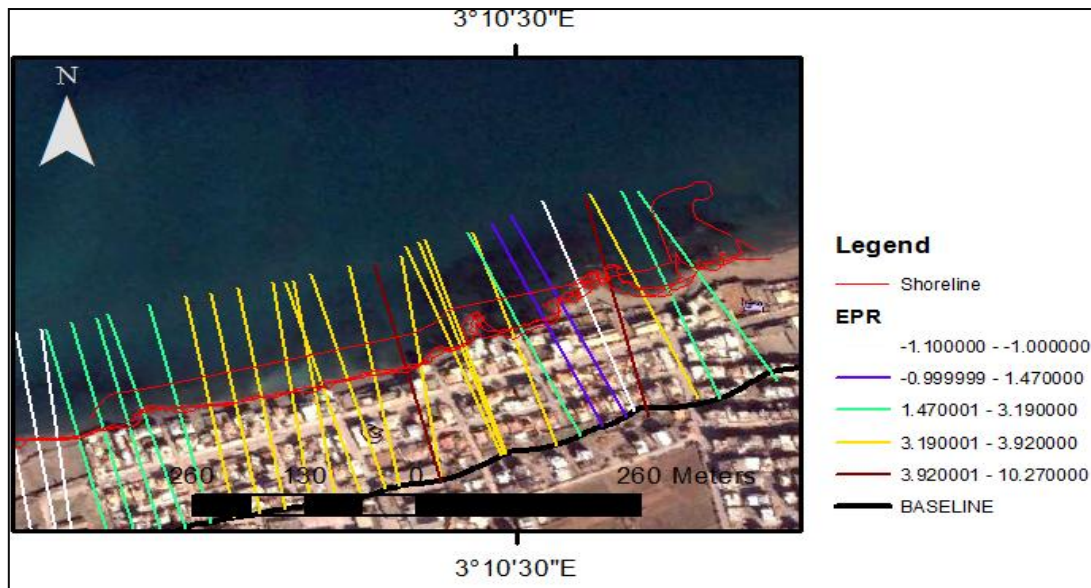


Figure IV. 12: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007- 2019.

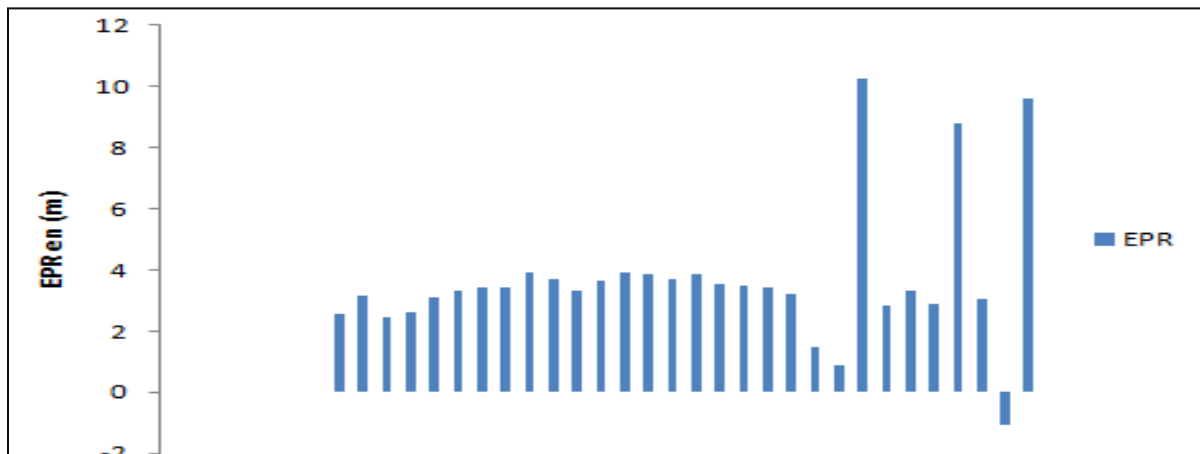


Figure IV. 13: Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2007_2019

➤ **Période de 2000-2019 :**

L'évolution du linéaire côtier de notre zone d'étude, pour la période qui s'étend entre 2000 et 2019, est caractérisée par un faible recul. Une tendance accumulative a continué a marqué les zone d'implantation des ouvrages de protection. Cette dernière a abouti à l'épuisement du stock sédimentaire des zones voisines

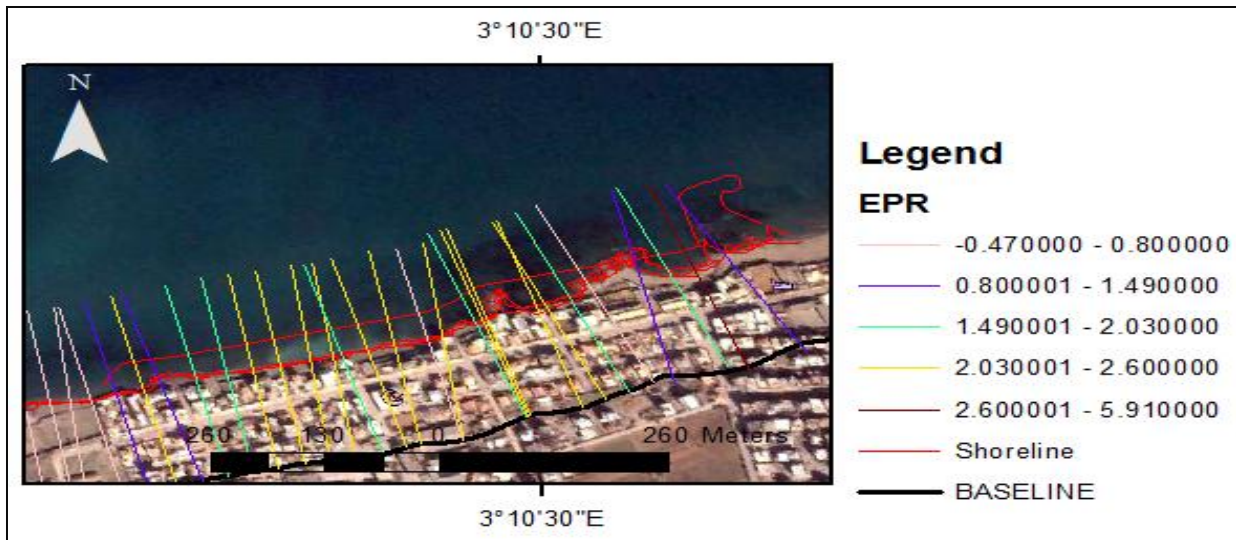


Figure IV. 14: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2000- 2019.

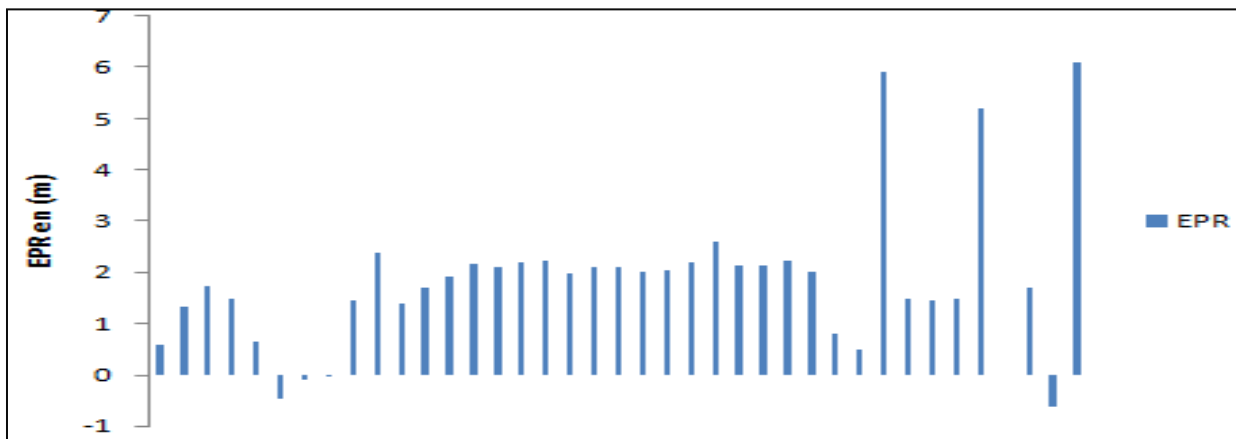


Figure IV. 15: Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2000_2019

IV.3.2. Net Shore Mouvement (NSM)

➤ Période de 2000-2005 :

La figure IV.14 et IV.15 représentent les résultats de NSM obtenus à partir de l'extension DSAS pour la zone de Lido. Les transects en jaune indiquent une accumulation variée entre 0.89 et 6.32 et en bleu représentent une régression faible -8.34 et -1.4 et en gris une forte régression (-8.35)

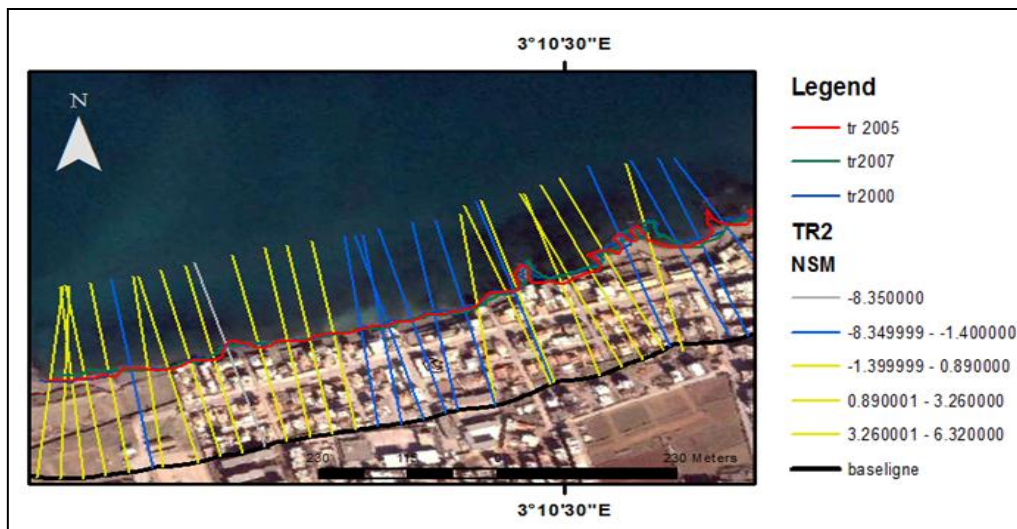


Figure IV. 16: Visualisation l'évolution du trait de côte en m/an entre 2000 et 2005

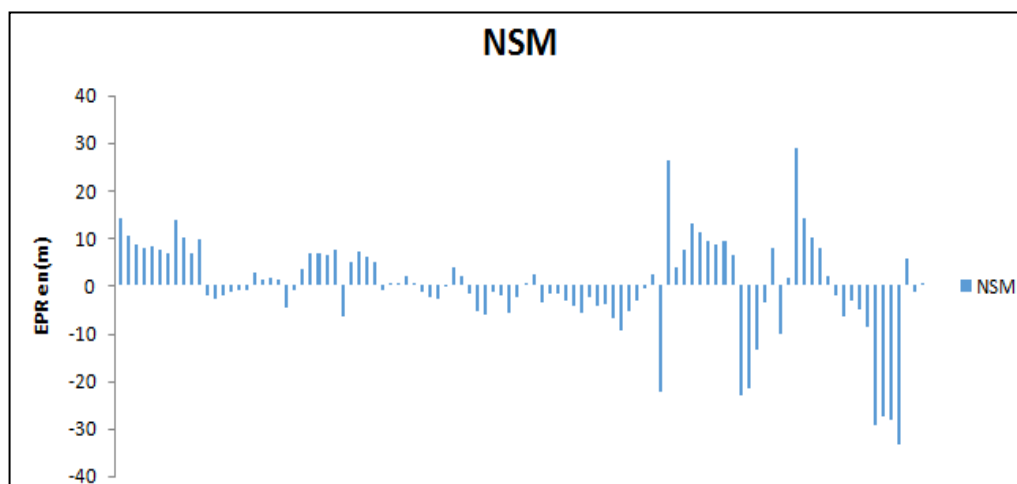


Figure IV. 17: Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2000 - 2005

➤ Période de 2005-2007

La comparaison des traits de cote de 2005 et d 2007 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates le long de la cote. Le taux moyen d recul est plus important que la période précédente. Durant cette période la plage enregistre un taux de recul d'environ -5 a -10m au niveau de la partie Ouest et un maximum de recul au niveau de la partie Est d'environ -25m. on observe une avancée remarquable de +10 dans quelques point de la zone Est.

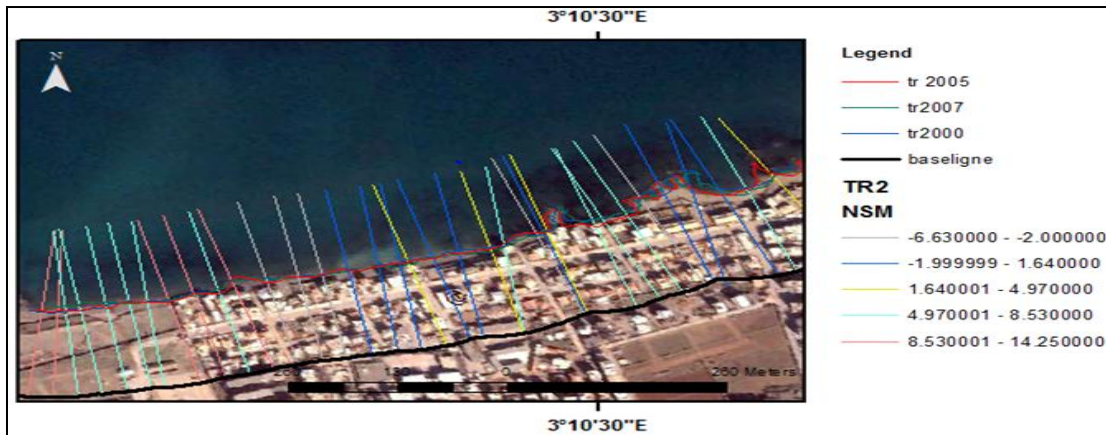


Figure IV. 18: Visualisation de l'évolution du trait de côte en m/an entre 2005 et 2007

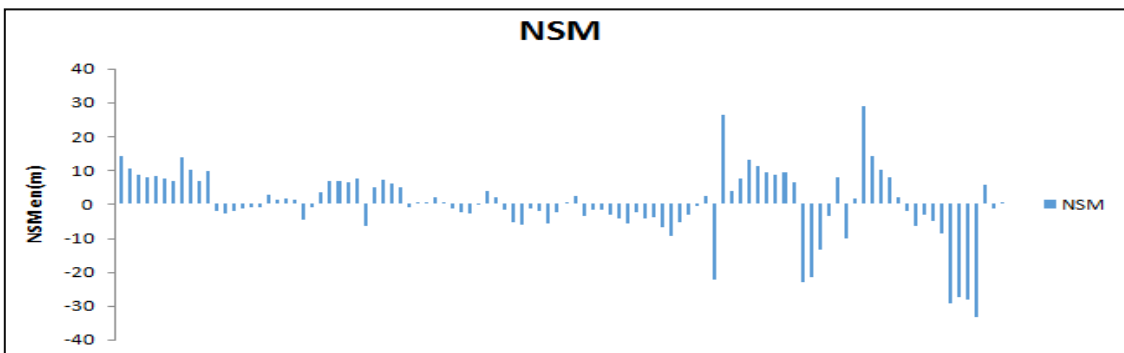


Figure IV. 19: Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2005 et 2007

➤ Période de 2007-2019

Les figures IV.24 et IV.25 indiquent les variations de la distance entre les traits de côte de l'année 2007 et celui de l'année 2019. On observe que la zone Lido fait apparaître une stabilisation avec une accretion moyenne de 20 m environ le long de la cote, cela est du généralement à l'implantation des ouvrages de protection.

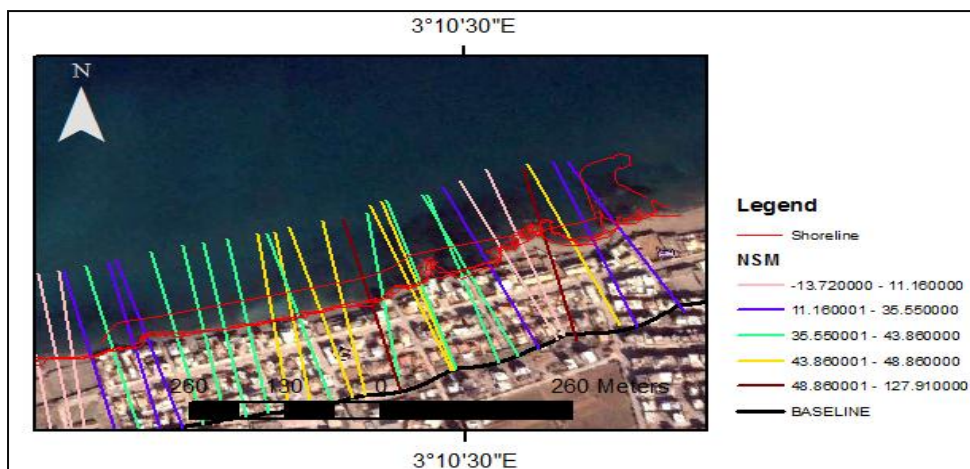


Figure IV.20: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte en m/an entre 2007- 2019.

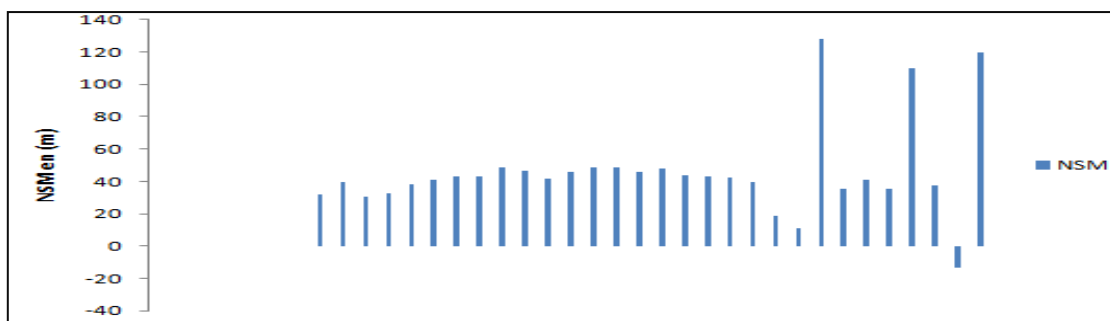


Figure IV. 21: Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2007_2019

➤ **Période de 2000-2019**

Les résultats d’analyse des changements de la position de la ligne de rivage au cours de ces 19 ans dernières années (2000-2019) ont révélé que la cote de la zone d’étude est soumise soit à l’érosion ou à l’accumulation en fonction des secteurs. Apres la construction des ouvrages de protection la cote a une tendance à une progradation d’une moyenne de +20m d’environ suite au piégeage des sédiments derrière les ouvrage.

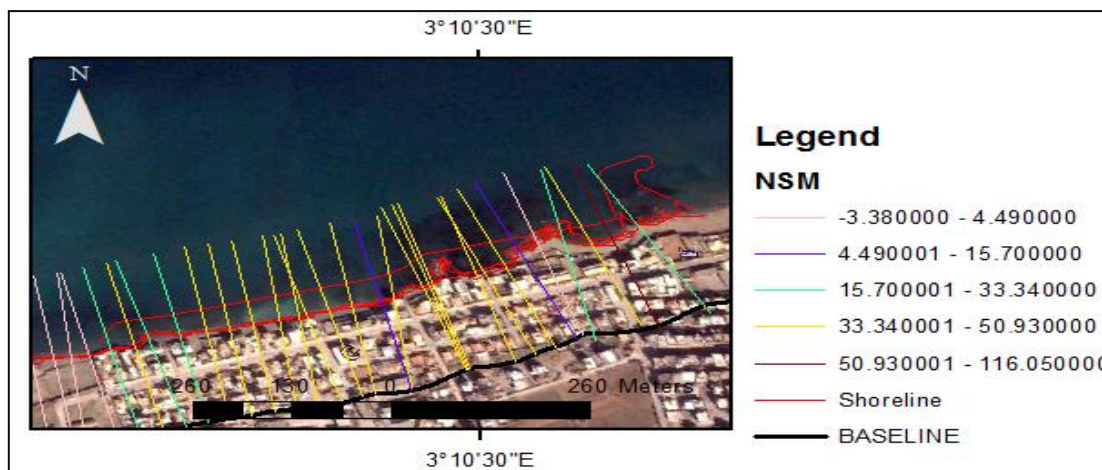


Figure IV. 2218: Illustration du rythme d’évolution du trait de côte en m/an entre 2000-20019.

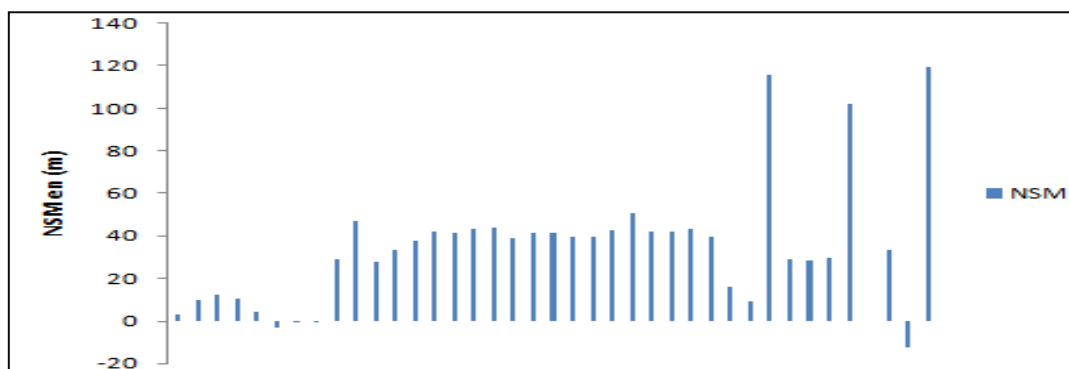


Figure IV. 193: Evolution de trait de côte selon les transects au niveau de la zone Lido en m entre 2000_2019

IV.3 .3 Linear Regression Rate-of-change (LRR)

Les résultats d’analyse des changements de la position de la ligne de rivage au cours de ces 19 ans dernières années (2000-2019) montrent une position du rivage qui oscille entre recul et avancée (figure V.24 et V.25) selon les endroits. La zone la plus touchée par l’érosion est l’extrémité ouest de la zone d’étude. L’accrétion la plus importante de la cote est observée au niveau de la zone abritée par les brise-lames avec une avancée de l’ordre de 2m/an.

Durant cette période, la tendance évolutive du rivage de Lido s’est caractérisée généralement par un engraissement

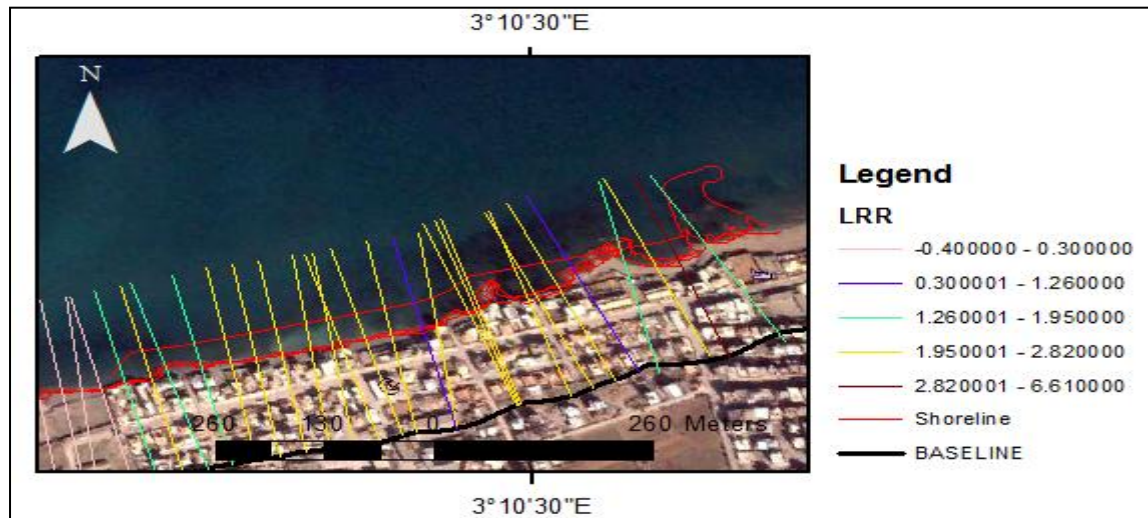


Figure IV. 204:Illustration du rythme d’évolution du trait de côte en m/an entre 2000- 2019.

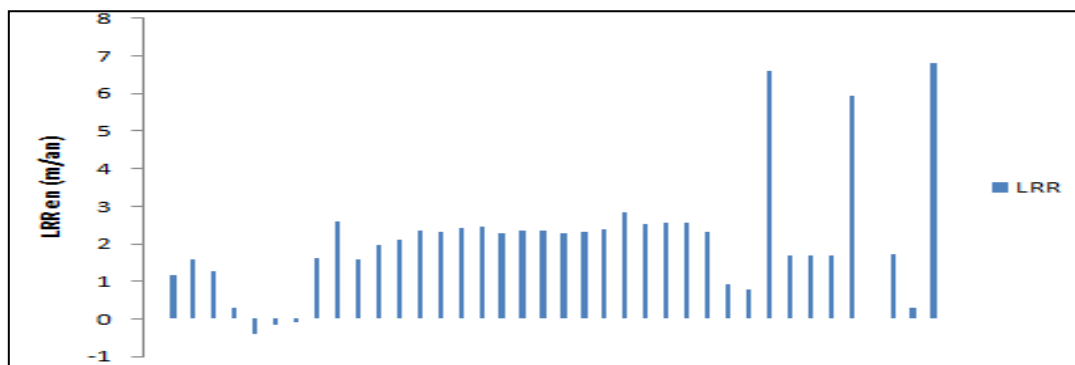


Figure IV. 215:Evolution de trait de côte selon les transects ai niveau de la zone Lido en m entre 2000-2019

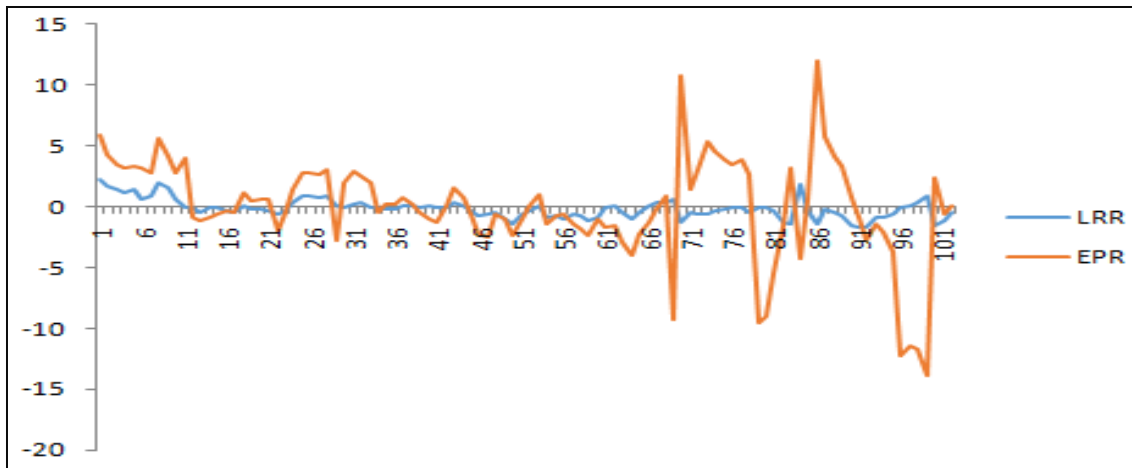


Figure IV. 26: Représentation graphique des variations des paramètres d'évolution de trait de côte LLR et EPR en m/an

Les résultats des taux de changement du trait de côte obtenus par les deux approches statistiques (LLR et EPR) ont été comparés entre eux. La figure IV. 26 démontre une forte corrélation entre les deux courbes au cours de la période 2000 et 2019. Les valeurs des taux de changement de position de trait de côte obtenus par EPR et LLR sont très proches au long de la zone de Lido.

Chapitre V : Etude d'aménagement

Introduction

La défense des littoraux en général, contre les phénomènes hydrodynamiques tel que l'érosion ou l'ensablement, demeure toujours comme une des disciplines les plus délicates du génie côtier, et l'on doit toujours avoir présent à l'esprit deux données fondamentales : comprendre les phénomènes avec l'observation de tout ce qui se passe en nature (action hydrodynamiques, nature et provenance des matériaux) et quel sera l'impact des ouvrages envisagés non seulement sur le site à protéger, mais sur les sites avoisinants, il est bien certain que les ouvrages seront très différents suivant les causes du phénomène (LEM 2009).

Afin de déterminer l'impact de l'implantation des ouvrages sur la zone d'étude, nous allons décliner dans le présent chapitre l'impact sur l'évolution du linéaire côtier, sur l'évolution bathymétrique, sur la dynamique sédimentaire et sur l'aspect esthétique.

V. 1. Situation de la zone d'étude avant l'implantation des ouvrages

Durant la période 1980-2009, la partie Est de la zone d'étude a été caractérisée par une accrétion moyenne de l'ordre de 0.24 m/an, cependant dans la partie Ouest l'érosion a pris l'avantage sur l'accumulation avec un recul moyen estimé à -0.12 m/an. Ces évolutions de la côte sont d'une part, le résultat de la manifestation des forçages hydrodynamiques et d'autre part, l'intervention du facteur humain par la forte urbanisation du rivage et de son anthropisation. (Bellabes et Boukhari, 2018).

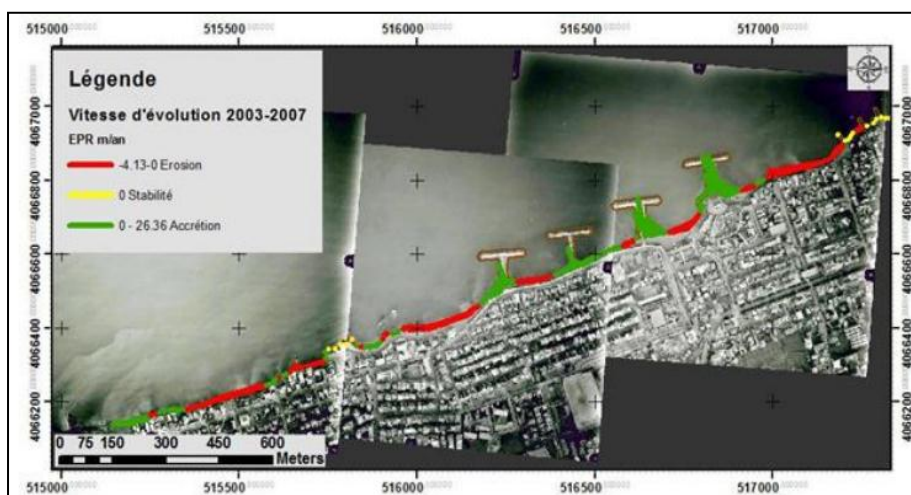


Figure V 1 : Vitesse d'évolution du trait de côte entre 2003 et 2007 dans la zone de Bordj EL Kiffan (Aoudj et al, 2018)

V.2 Proposition d'aménagement

Préambule

Au vu du diagnostic du site réalisé dans le volet I de ce rapport, nous proposons pour protéger le site du «Lido» plusieurs types d'aménagements différents :

- Une défense longitudinale de haut de plage le long du littoral.
- Une défense longitudinale de haut de plage accompagnée de cinq brise-lames bas.
- Une batterie de cinq brise-lames hauts avec un apport en sables grossiers.

V.3 Critères de dimensionnement et contraintes de site

Afin de dimensionner les futurs aménagements sur le site du «Lido», les critères de dimensionnement et les contraintes du site doivent être établis.

La houle de projet :

- ✓ Pour le dimensionnement des ouvrages, la houle de projet à considérer est la houle cinquantennale : au large : $H_s=7,87\text{m}$ et $T_p=13$.
- ✓ Le calcul de la propagation de cette houle vers la côte donne les résultats présentés dans le tableau ci- dessous :

Tableau V 1:Propagation de la houle

Profondeur (m NGA)	Hauteur H_s (m)
1	1.34
2	1.80
3	2.24
4	2.70
5	3.14
10	5.22
15	6.42

- Les niveaux d'eau et surcotes :
 - ✓ La marée astronomique est de type semi-diurne avec inégalité diurne et son amplitude maximale considérée pour le projet est de 40 cm.
 - ✓ Les effets ponctuels liés à un coup de vent persistant (gonflement du plan d'eau au niveau du rivage) ou à un passage dépressionnaire peuvent engendrer une surcote et des fluctuations bien supérieures à la marée astronomique. Ils peuvent provoquer des dénivellations qui peuvent atteindre 1m et masquer l'effet des marées.
 - ✓ Pour le site du «Lido» nous considérons un niveau d'eau maximum à +1m NGA.

- Les sédiments en place : en décrit une zonation granulométrique décroissante de la côte vers le large ; les particules grossières ($D_{50} \geq 500 \mu\text{m}$) se limitent à une aire très réduite dans la partie Ouest de la côte. Dans les autres zones, le sable présente une granulométrie moyenne avec un D_{50} compris entre 250 et 500 μm représentant les sables moyens de la côte à 2m de profondeur, suivie de sable fin qui couvre la majorité du site d'étude. Cette répartition granulométrique répond au schéma classique de la répartition des sédiments en mer, à savoir une diminution graduelle de la taille des particules dans le sens côte-large.

V.4. Présentation des grands principes d'aménagement

Les grands principes d'aménagements pour lutter contre l'érosion et/ou la submersion d'un littoral sont les suivants :

- **Le recule stratégique** : le principe de cette solution est de laisser la nature faire. Ici, la plage continuerait à reculer de l'ordre de -0,4m/an en moyenne (hypothèse du maintien de recule actuel) et faudrait envisager une expropriation des habitants qui vivent entre la plage et le boulevard.
- **Les ouvrages transversaux** : les épis.
- **Les ouvrages longitudinaux** :
 - ✓ Sur le front de mer (perré, etc...) accolés au rivage.
 - ✓ Détachés de la côte dans les petits fonds : brise-lames bas (cavaliers) semi-immergés, affleurant et hauts.
- **Apport /rechargements de la plage avec du sable.**

Nous précisons que compte tenu de morphologie du site et de ses caractéristiques (présence de fonds rocheux à la côte, stock sédimentaire sableux faible et plages de largeur très faible voire inexistante par endroit), certains types de solutions d'aménagement ne seront pas présentés tel que les solutions en géotextile à cause de la présence des rochers.

V.4.1 Les ouvrages transversaux : Epi

V.4.1.1 Objectifs et fonctionnement

Les épis sont adaptés sur des littoraux soumis à un transit littoral longitudinal important, ce qui n'est pas vraiment le cas pour le site du «Lido» où comme on l'a vu dans le chapitre précédent la résultante du transit littoral est presque nulle entre les transits Ouest-Est et Est-Ouest.

Les épis vont engendrer naturellement une accrétion en amont du transit littoral et une érosion en aval de ce dernier.

En effet :

- Des épis courts vont permettre de fixer le littoral en limitant l'accrétion et l'érosion de part et d'autre de l'épi, tout en laissant "passer" une grande partie du transit littoral.
- Des épis long vont stopper tout ou partie du transit littoral. Lorsque le musoir de l'épi au large est par une profondeur supérieure à la profondeur de fermeture (limite d'action de la houle) alors tout le transit littoral est stoppé par l'épi et donc une importante érosion se produit à l'aval de l'épi pouvant entrainer un fort risque sur la plage à l'aval.
- Ainsi, plus l'épi est long et plus il bloquera le transit littoral augmentant ainsi l'accrétion à l'amont et l'érosion à l'aval.

Les épis peuvent être réalisés par différents types de matériaux :

- ✓ En enrochements,
- ✓ En palplanches,
- ✓ En bois,
- ✓ En béton,
- ✓ En géotextiles, ...

Les ouvrages transversaux ne paraissent pas adapter à la problématique du site «Lido» car le transit littoral devant la plage est faible et que la préoccupation primordiale est de protéger les habitations de première ligne face aux tempêtes hivernale ce que ne permettent pas les épis.

V.4.2 Les ouvrages longitudinaux

V.4.2.1 Sur front de mer

V.4.2.1.1 Objectif et fonctionnement

Les fronts de mer, appelés aussi les hauts de plages, ont pour but essentiel de fixer le « blindage » du trait de côte afin de mettre hors d'atteinte de la mer les habitations ou les terrains situés en arrière.

Les fronts de mer sont des ouvrages qui n'ont pas de rôle actif pour le contrôle de la dynamique sédimentaire ; si la plage est en érosion, le processus continuera en particulier dans le cas d'un front de mer mis en place pour protéger des terrains contre l'érosion marine, il y aura continuation :

- du processus d'érosion de part et d'autre de la protection,
- de l'abaissement de la plage devant l'ouvrage.

De tels ouvrages doivent :

- être (si possible) peu réfléchissants,
- résister à la poussée des terrains,
- ne pas être imperméables (mise en charge du massif),
- être réalisés (si possible) au-delà du niveau atteint par les pleines mers de Vives Eaux,
- être munis du dispositif anti-affouillement,

Du point de vue de leur dimensionnement il est impératif de tenir compte de l'évolution future de la plage et des évolutions saisonnières : effet de la houle d'autant plus important que les fonds s'abaissent, risque de déchaussement des fondations, ...

Les ouvrages de front de mer ou perré peuvent être réalisés de différentes manières :

- ✓ Enrochements,
- ✓ Gabions,
- ✓ Perré maçonné,
- ✓ Ouvrages en géotextile, ...

Les ouvrages de haut de plage sont adaptés à la problématique qui est de protéger le front de mer du « Lido ».

V.4.2.2. Les brise - Lames**V.4.2.2.1 Objectif et fonctionnement**

Ce sont des ouvrages de mer parallèles en général à l'orientation du littoral. Ils atténuent fortement l'agitation de la houle devant la plage et bloquent tout ou partie des sables transportés du littoral (il faut qu'il y est du transit) et engraisse la partie à l'arrière du brise-lames en créant tombolo.

Les grands principes de fonctionnement des brise-lames sont les suivants :

- Ils créent un gradient longitudinal des hauteurs des agitations,
- Les courants sont orientés de la zone agitée vers la zone abritée,
- Les sables sont transportés vers la zone abritée où ils s'accumulent.

Cette accumulation de sable à l'arrière du brise-lames s'appelle un tombolo.

Les effets d'un brise-lames sur la plage vont dépendre :

- De sa longueur,
- De sa distance à la côte,
- De sa côte d'arase (submersible ou insubmersible).

Dans le cas d'une batterie de brise-lames, l'écartement entre les brise-lames est un facteur essentiel.

V.4.2.2.2. Types et nature des ouvrages

Il existe différents types de brise-lames en fonction de l'utilisation que l'on souhaite :

- Brise-lames immergés : faible impact visuel, efficacité limitée d'atténuer la houle,
- Brise-lames bas ou affleurant : impact visuel moyen, les ouvrages bas sont franchis par la houle et une partie de l'énergie de la houle est dissipée par franchissement,

Les brise-lames sont généralement constitués en enrochements. Sur certains sites, des brise-lames en géotubes peuvent être envisagés.

V.4.2.2.3 Application du site d'étude

Les ouvrages de type brise-lames sont bien adaptés sur site car ils permettent d'atténuer la houle et donc de limiter les problèmes de submersion et d'érosion de plage rencontrés actuellement sur le site du « Lido ».

V.4.3 Apport rechargement en sable

V.4.3.1 Objectifs et principe

Le rechargement constitue une solution de protection douce du littoral. Son intérêt principal est de recharger la zone érodée pour élargir le haut estran afin de créer une plage « sèche », c'est-à-dire non recouverte par les pleines mers, plus étendue. Ceci dans le but de veiller à la sécurité des ouvrages de bordure de mer et de rendre à la plage son rôle de défense contre la mer. Un apport de sable sur une plage a pour objectifs d'augmenter la superficie de la plage et de limiter l'énergie de la houle de haut de plage.

Un rechargement en sable nécessite au préalable de rechercher de gisements potentiels et de s'assurer de l'adéquation du sable apporté avec celui de la plage (granulométrie, couleur).

Deux solutions sont envisageables :

- L'extraction en mer plus lointaine, dans des zones où les gisements sont présents,
- L'extraction en carrière.

Si les sables sont extraits d'une carrière, le sable pourra être amené sur la plage à l'aide de camions type dumpers. Dans le cas d'une extraction en mer le sable sera prélevé par une drague et déposé sur la plage grâce à une conduite ou par rainbowing (le sédiment est refoulé par la plage depuis la drague).

Le sable sur la plage sera ensuite régalaé à l'aide du boteur. Ces travaux doivent, de préférence être réalisés juste avant la période estivale (en mai par exemple).

Le rechargement de sables sur une plage est soumis à des contraintes :

Du point de vue technique : les sables apportés doivent avoir une granulométrie analogue ou supérieure au sable présent sur la plage. Un sable grossier avec un D_{50} de l'ordre de 1mm est bien adapté au site d'étude.

Du point de vue environnemental : les apports de sable ne modifient pas les processus hydrodynamiques des plages et, par conséquent, ils seront transportés au fil du temps hors des plages. Il faudra donc envisager des rechargements d'entretien.

Ajuster les profils de plage actuels selon des profils théoriques d'équilibre en tenant compte de la distribution granulométrique existante (Méthode de Dean) ; cet ajustement permet de définir les valeurs des constantes de la formulation de Dean.

Définir les caractéristiques granulométriques des sables d'apport (définition du D_{50}) pour le rechargement à partir des gisements potentiels.

Définir les profils de plage rechargés en tenant compte de la granulométrie des sables d'apports et en s'appuyant sur les profils théoriques préalablement définis.

Estimer plusieurs volumes à recharger (volumes nets) en considérant plusieurs élargissements de « plage sèche » (largeurs de berme).

Définir les pertes annuelles liées au rechargement et estimer les volumes réels à mettre en place (détermination du volume théorique de sur-rechargement).

Dans le cadre de notre étude, nous avons vu que les profils à la côte sont presque tous similaires avec une pente de l'ordre de 1%.

Le profil moyen actuel de la plage présente une hauteur de berme aux environs de +1m NGA et une profondeur de fermeture vers -7m NGA. La hauteur active du profil est donc proche de 8m.

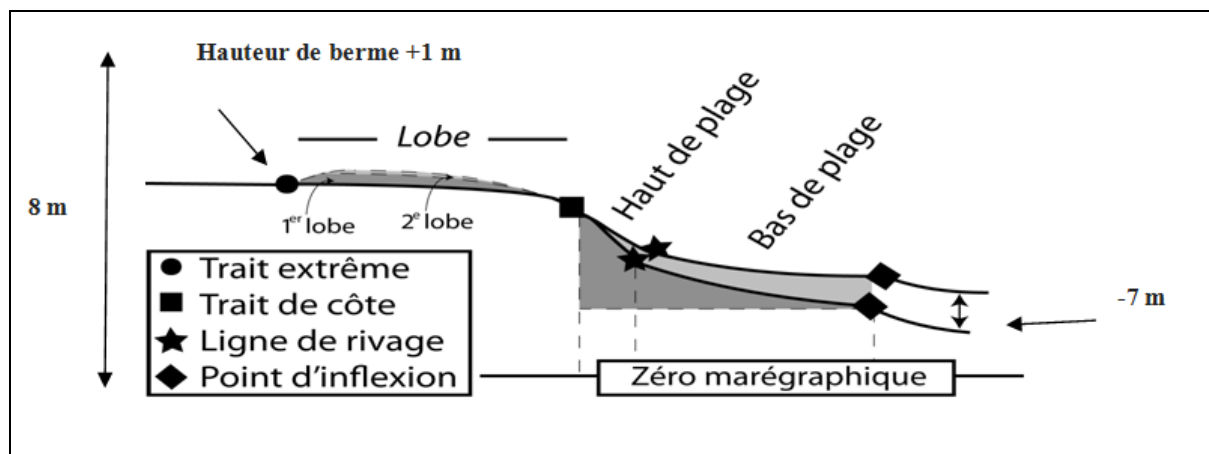


Figure V 2: Profil moyen de la plage avec une hauteur de berme aux environs de 1 m

Ainsi, une avancée de 1 mètre sur un linéaire de 1 mètre représente un volume de 8 m^3

Lors de la mise en place du rechargement, la fonction fine du sable rapporté est perdue ; avec le type de sable envisagé la perte est de l'ordre de 10% du rechargement réalisé. Ainsi, un élargissement de 1 mètre de la plage sur 1 mètre linéaire nécessite un rechargement de l'ordre de $9,0 \text{ m}^3$.

Sur un linaire côtier de l'ordre de 900 m, l'élargissement de la plage d'un mètre nécessite l'apport d'environ 8000 m^3 .

V.5. protection de la zone de Lido

Sur la base des résultats des chapitres précédents réalisés dans le cadre de cette étude nous avons proposé des solutions de protection ayant pour effet d'annihiler l'énergie de la houle et de lutter contre la submersion de la plage et des habitations en haut de plage au cours des tempêtes hivernales

Trois solutions de protection ont été proposées à savoir:

❖ Solution 1

Cette solution est **défense longitudinal en enrochements** qui est située au-devant des zones où les habitations sont les plus proches de l'eau avec aménagement d'une promenade sur une largeur de 10 m. Cela correspond à l'ensemble de la partie Ouest du site de Lido sur une linéaire d'environ 560 m où les habitations sont submergées par les eaux lors des tempêtes. Cet aménagement a pour objectif de lutter contre la submersion de la plage des habitations en haut de plage au cours des tempêtes hivernales du côté Est du site d'étude sera aménagée sur une largeur de 5 m et un linéaire de 440 m une promenade dans la suite de celle proposée du côté Ouest.

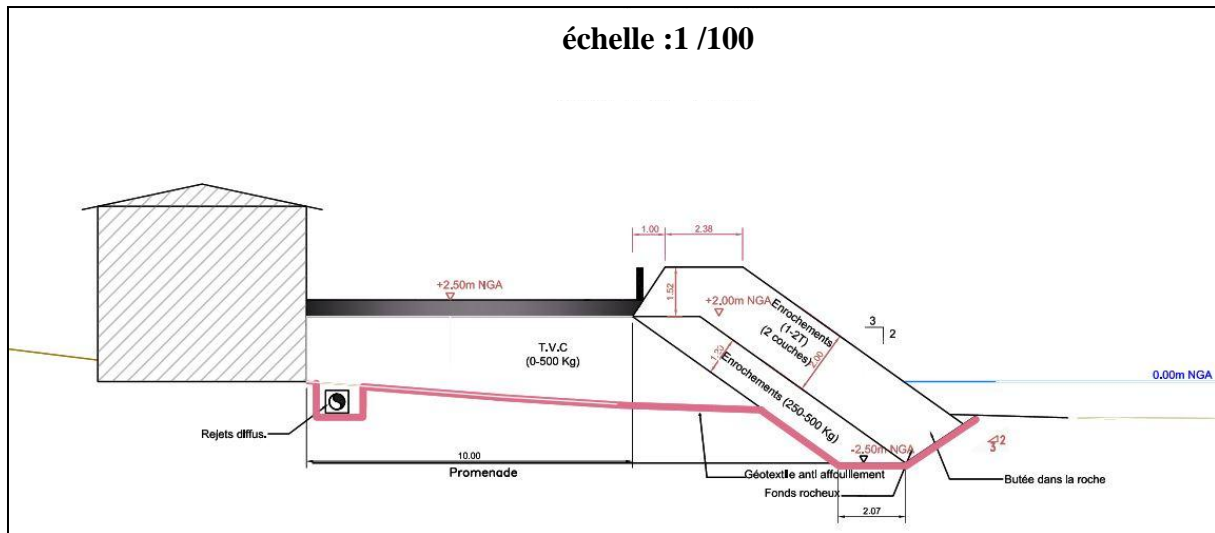


Figure V.3:Défense longitudinale de haut de plage

Cette solution assure une bonne protection contre la submersion de la plage
Le prédimensionnement de cette solution a été réalisé comme suit:

➤ **Carapace**

On utilise la formule d'Hudson pour dimensionner l'ouvrage:

$$W_{50} = \frac{H^3 \gamma_s}{K_d \left(\frac{\rho_s}{\rho_e} - 1 \right)^3 \cot \alpha}$$

avec:

W_{50} : Poids moyen d'un bloc (tonne)

ρ_s : Masse volumique du matériau (2,65 t/m³)

ρ_e : Masse volumique de l'eau de mer 1,028 t/m³

H : Hauteur de la houle de projet (m)

α = angle du talus avec l'horizontale

K_d : Coefficient de stabilité, c'est un coefficient sans dimension qui tient compte de la nature et de l'arrangement des blocs

La houle de projet sous 2 m de hauteur d'eau : $H_s=1,8$ m et $T_p =13$ s(houle cinquantennale calculée avec le model SWAN).

Le poids moyen des enrochements de la carapace externe est de l'ordre de 0,8 à 1,0 t. Le choix des enrochements 1-2 t permet de s'assurer une bonne protection du littoral. La carapace externe de la défense doit donc avoir une épaisseur de l'ordre de 2,0 m.

La côte d'arase de l'ouvrage doit se situer à +3,52 m NGA, soit +3.86 m ZH (en considérant que l'arase de la crête se situe à 1,4Hs au-dessus du plan d'eau).

Il faut au minimum 3 blocs 1/2t sur la crête de l'ouvrage soit une longueur de 3 m minimum.

➤ **Sous couche**

Il convient de respecter des règles de compatibilité granulaire de sorte que ces couches jouent le rôle de filtre en empêchant les matériaux les plus fins de passer à travers les couches les plus grossières

Pour les digues, ces couches sont réalisées en enrochements naturels mais contrairement à la carapace qui doit présenter une catégorie assez homogène pour obtenir une forte porosité en vue de réduire les sous-pressions, les couches de transition posées sur un terrain devraient présenter une granulométrie assez étendue pour participer à l'étanchéité de l'ouvrage et jouer le rôle de filtre.

On applique généralement la règle du 1/10. Elle consiste à prendre 1/10 pour le rapport entre les poids moyens des deux couches.

La carapace externe est de 1-2 t donc on prend une sous-couche sécuritaire en 2 rangées de 250- 500 kg qui donne une épaisseur de 1,20 m. La sous-couche sera arasée à la cote +2,00 m NGA

➤ **Butée de pied**

Cette solution de défense longitudinale sera composée également d'une butée de pied qui sera encastrée dans la roche pour limiter les risques de glissement de la carapace externe et pour stabiliser l'ouvrage. Cette butée sera composée par les mêmes enrochements que la carapace externe et sera dans la continuité de cette dernière jusqu'à -2,50 m NGA. Cette profondeur est sécurisante par rapport au risque d'affouillement prévisible devant un tel ouvrage lorsque les fonds seront sableux. La mise en place de cette butée nécessitera un déroctage des fonds tout en faisant bien attention de ne pas fragiliser les fondations des habitations de première ligne qui seront distantes d'une vingtaine de mètres de cette zone d'excavation.

➤ **Zone tampon**

La zone tampon mesurera 10 m de large entre le perré en enrochements et les habitations pour la partie Ouest du site sur un linéaire de 560m et sera comblée par du tout-venant (0-500 kg). Cette zone à l'arrière de l'ouvrage sera nivelée à +2,00 m NGA et pourrait être aménagée en promenade piétonne.

❖ **Solution 2**

L'aménagement proposé repose sur la réalisation combinée d'une défense longitudinale de haut de plage et de cinq brise-lames bas.

Cette solution est une combinaison

- d'une défense longitudinal en enrochement qui est située au-devant des zones où les habitations sont les plus proches de l'eau avec aménagement d'une promenade sur une largeur de 10 m. cela correspond à l'ensemble de la partie ouest du site du Lido sur un linéaire d'environ 560 m où les habitations sont submergées par les eaux lors des tempêtes. cet aménagement a pour objectif de lutter contre la submersion de la plage et des habitations en haut plage au cours des tempêtes hivernales du côté Est du site d'étude sera aménagée sur une largeur de 5 m et un linéaire de 440m une promenade dans la suite de celle proposée du côté Ouest.
- D'une série de cinq 05 brise-lames bas (cote d'arasement +0.50m) ayant une longueur unitaire de 100 m et distants de 100m de la côte.

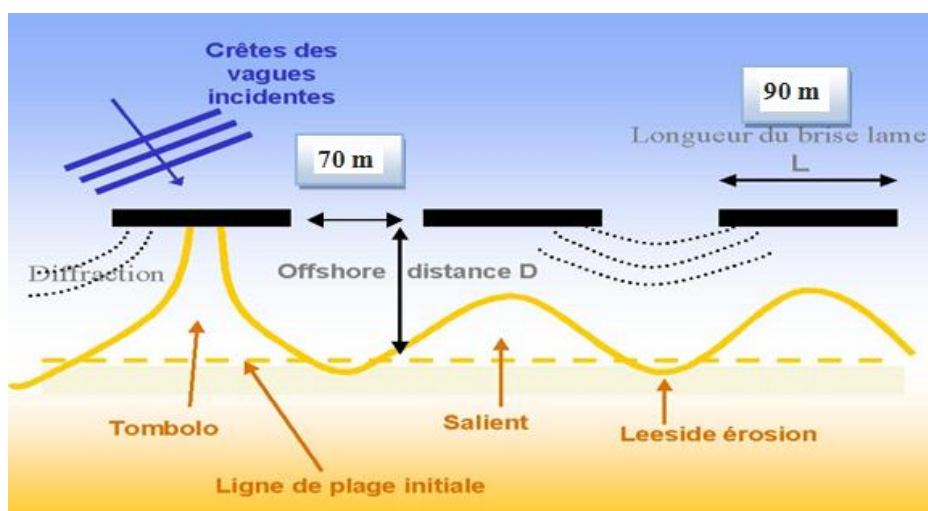


Figure V.4: protection avec une série de brise-lames bas

➤ Les brise-lames bas

Les cinq brise-lames bas constituent un premier élément du dispositif. Pour une surcôte de +1 m et pour une largeur en crête de l'ordre de 8 m, les brise-lames bas présentent un K_t (coefficient de transmission de la houle équivalent à la hauteur de houle transmise divisée par la hauteur de houle avant l'ouvrage) de l'ordre de 0,5

Les cinq brise-lames bas seront arasés à la côte +0,5 m NGA et auront l'avantage par rapport aux brise-lames classiques d'avoir un impact visuel moins fort. Par contre, ils sont moins efficaces que les brise-lames hauts qui atténuent la houle de l'ordre de 80 % contre 50 % pour les ouvrages bas.

Ces ouvrages seront implantés par des fonds de -2,5 m NGA à une distance de la côte de l'ordre de 100 m. Ils seront espacés les uns des autres de 70 m environ et auront une longueur de musoir à musoir de l'ordre de 90 m. La localisation de ces ouvrages est présentée sur la (figure V.4). Les ouvrages bas sont franchis par la houle. Une partie de l'énergie de la houle est dissipée par franchissement, le poids unitaire des enrochements est donc inférieur à ce qu'il serait pour un ouvrage moins franchi tel qu'un brise-lames haut.

Considérant un plan d'eau à +1,0 m NGA, la houle de projet (houle cinquantennale) est calculée pour 3,5m de hauteur d'eau.

Houle de projet devant les ouvrages : Hs=2,5 m et Tp=13 s.

La formule d'Hudson est utilisée pour dimensionner l'ouvrage.

Cela conduit à un poids moyen des blocs d'enrochements de 2,5 t, or l'ouvrage étant franchi régulièrement, on applique un coefficient de 20 % sur le dimensionnement de l'ouvrage qui réduit le poids moyen des enrochements à 2,0 t. Ainsi, la carapace externe des ouvrages doit être réalisée avec des blocs d'enrochements 1/3 t. L'ouvrage sera déposé sur une semelle en tout venant d'un mètre d'épaisseur qui va permettre de stabiliser l'ouvrage

La construction des brise-lames bas sera facilitée par la présence du passage de 10 m de large à l'arrière de la solution de défense longitudinale qui va permettre la circulation des camions et grues le long du littoral. Une piste d'accès devra être construite perpendiculairement à la position de l'ouvrage et sera supprimée une fois les travaux exécutés. Ces matériaux seront pour la grande majorité réutilisés pour constituer les remblais et sous-couches de la défense longitudinale de haut de plage.

❖ Solution 3

Cette solution est une combinaison

- D'une série de 05 brise-lames haut (côte d'arase +2.50m) ayant une longueur unitaire de et distants de 100m de la côte
- D'un rechargement de plage sur un linéaire d'environ 1000m et une largeur de 20 m avec des ayant un diamètre D_{50} de l'ordre de 1 mm.

Le prédimensionnement de cette solution a été réalisé de la même manière que pour la solution 1

L'apport de sables est une solution complémentaire à la mise en place des brise-lames. En effet, les brise-lames ont la particularité d'atténuer fortement la houle mais également de créer des tombolos à l'arrière qui engendrent donc des plages de type alvéolaire.

Cependant, les tombolos ne peuvent se former que lorsque le stock sédimentaire est suffisant. Or, il n'y a aujourd'hui quasiment plus de sable au-devant du littoral du Lido. Ainsi, un rechargement en sable s'impose. Ce sable doit être de granulométrie supérieure (ou au présent actuellement. Un sable grossier avec un D_{50} de l'ordre de 1 mm est bien adapté au site. Plus sable est grossier, moins il partira de la plage par érosion.

Pour le linéaire côtier de l'ordre de 1100 m (de l'extrémité Ouest des habitations jusqu'au premier brise-lames existant à l'Est), l'élargissement de la plage d'un mètre nécessite l'apport de 10 000 m³.

Tout autre élargissement est proportionnel à cette valeur. En effet:

- Elargissement de 10 m + 100 000 m³,
- Elargissement de 20 m +200 000 m³,

- Elargissement de 30 m +300 000 m³.

Il est conseillé d'élargir les plages d'au moins 20 m pour avoir une bonne marge de sécurité au niveau du recul de la plage face à l'ouverture et pour qu'il puisse y avoir la formation d'un salient ou même d'un tombolo pour les ouvrages les plus proches de la côte (ouvrages à l'Ouest).



Figure V 5:une plage protégée avec brise-lame et rechargement artificiel

Conclusion

D'après les études sur les propositions d'aménagement et les conditions de le site
 Une présentation actuelle.

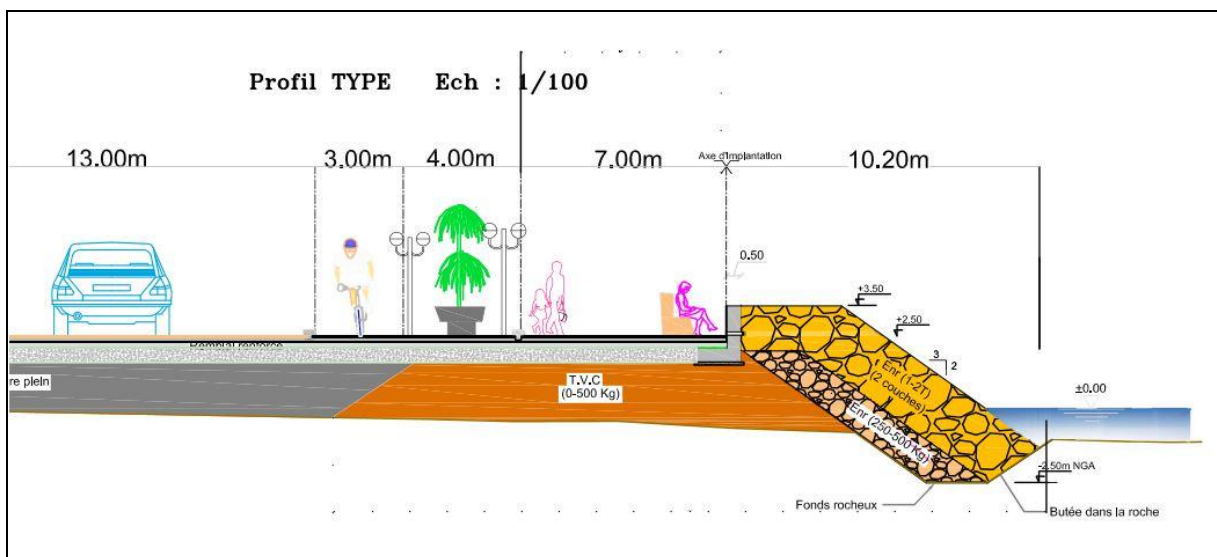


Figure V 6:site de Lido actuelle (LEM 2009)

Conclusion

Les plages sableuses sont des systèmes complexes. Leur fonctionnement est dominé par l'interaction de différents forçages qui apportent de l'énergie et transportent des éléments entre les compartiments du système. La compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires. Le résultat du fonctionnement complexe des plages sableuses s'observe généralement par une modification du volume des compartiments et par une évolution de la morphologie des interfaces.

L'érosion est un phénomène naturel essentiellement liée aux effets météorologiques et hydrodynamiques, toutefois l'emprise humaine sur le rivage accélère et aggrave ce dernier.

Ce mémoire portant sur l'hydrodynamique, la dynamique sédimentaire et la cinématique du trait de côte des plages sableuses, avait pour principal objectif de mettre en évidence et de mesurer les phénomènes d'érosion et d'accumulation intervenus depuis plusieurs décennies.

La plage de Lido qui a fait l'objet de notre zone d'étude se trouvent dans la partie Est de la Baie d'Alger et elle est parmi les plages les plus importantes du littoral centre Algérien

La méthodologie mise en avant dans ce travail a réussi à valoriser les apports de la modélisation numérique par l'utilisation du modèle numérique Mike 21 et d'un SIG.

Tout d'abord, on a utilisé le modèle numérique Mike 21, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle de nos zones d'études. La première partie nous a permis une bonne reconnaissance de la morphologie sous-marine. La deuxième partie nous a également permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative à la côte. Cette modélisation nous a renseignées sur le fond de notre zone d'études qui se caractérise généralement par une morphologie plus ou moins régulière parallèle à la côte.

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

On a pu modéliser l'action de la houle provenant de toutes les directions sur l'ouvrage de protection. Les résultats de la modélisation confirment que le rivage de Lido est un siège d'une dynamique sédimentaire active avec un sens dominant du transit littoral qui s'effectue du Sud-Ouest vers le Nord-Est, dont le taux du transport est d'environ 21 000m³/an ce qui représente un pourcentage important du flux total de la zone. A partir de là on a pu visualiser l'impact de l'implantation des brise-lames sur le rivage de Lido.

Ensuite, on a entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinées des logiciels DSAS et ArcGis ® ESRI). Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation.

L'analyse diachronique de la position de la ligne du rivage sur une période de 19ans, s'est matérialisée par une forte variabilité dont elle nous a permis de constater deux secteurs bien distincts en fonction du taux net du recul du trait de côte :

Le premier secteur englobe la partie sableuse de la plage, protégé par les brise-lames. La période d'érosion la plus importante se situe entre 2000 et 2009 avec un taux de recul de varie entre -1 et -4m/an. A noter qu'à partir de l'année 2009, ce secteur a progradé vers la mer avec

un taux positif d'environ +1m/an, après l'implantation des ouvrages de protection où on a pu marquer une formation des formes sableuses à l'abri des brise-lames. À ce niveau, la progression de la plage est la plus élevée dans ce secteur avec un maximum de taux d'évolution. En revanche, les deux parties non protégées à l'Est et à l'Ouest des ouvrages présentent une régression, le trait de côte n'a pas suivi la même tendance. La plage a été balayé par l'érosion marine où elle peut atteindre un recule de -2m/an mesuré durant cette période.

Bien qu'ils soient bas, ces brise-lames accroissent 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 de matériaux qui induit ou accentue les phénomènes d'érosion. Ainsi leurs impacts désastreux sur le paysage ne peut être nié, ils dénaturent totalement le rivage et ferment en partie la vue sur le large ce qui pénalise un site touristique tel que le site de Lido.

Les solutions de protection envisagées qui consiste à construire une promenade a mis en évidence une relation étroite entre la solution de protection proposée et caractéristiques du site, à savoir les caractéristiques hydrodynamiques et morphologiques.

AOUDJ et AL, 2018 .EL Kiffan :conséquence des implantations des ouvrages de protection sur la zone côtière Bordj El Kiffan.

BELABBAS S. BOUKHARI M.2018. Morpho dynamique et modalisation hydro sédimentaire des plage de littoral centre Algérois (cas de la frange côtière Bordj El Kiffan) mémoire de fin étude en vue d obtention du diplôme d ingénieur ENSSMAL

BIRD ,1985. Les travaux de la Commission sur l'Environnement Côtier de l'Union Géographique Internationale,

DAHMANI H. 2012. Étude hydro-sédimentaire en domaine bidimensionnel d'un milieu côtier par un progiciel de calcul (MIKE 21 et LITPACK). Mémoire de Magister. Science de l'eau. Alger : ENP

DOLAN ET. Al, 1992. An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish littoral

FAYE I. GIRAUDET E AL 2011. Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côté, mappe monde, laboratoire Géome, institut européen de la mer, université de Bretagne occidentale, 12p.

FROIDEFOND J.M .1989. Introduction à la géomorphologie côtière, Butin de l'institut de géologie du bassin d'Aquitaine, Bordeaux-n°45.p13-22.LEM

GARLAN ET AL, 2011.Meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale.

GUILCHER A, 1979. Précis d'hydrologie marine et continentale, 2^{em} édition. Paris, Masson

HIMMELSTOSS. 2009, JAMONT. 2014. Analysis of Shoreline Changes for the Western Tombolo of Giens.

HOUSTON, 1996. Analyse et interprétation des profils bathymétriques d SMNLR

JICA, Ministère de l'Habitat et de l'Urbanisme. Étude de Microzonage sismique de la Wilaya d'Alger-Rapport Résumé-Alger.50 p.

LEM 2009 . Collecte des données de base (bathymétrie, cartes marines, etc.) et étude de la réfraction de la houle Laboratoire d'Etudes Maritimes Etude de la plage artificielle du site du LIDO «Commune de Mohammedia ». MISSION 1

LEM 2009. Reconnaissances générales sur sites (Levés topographiques, Levés bathymétriques, Prélèvements et analyses granulométriques des échantillons de sédiment Laboratoire d'Etudes Maritimes Etude de la plage artificielle du site du LIDO «Commune de Mohammedia ». MISSION 2

LEM 2009. Avant projet sommaire Expertise sédimentologique Laboratoire d'Etudes Maritimes Etude de la plage artificielle du site du LIDO «Commune de Mohammedia». MISSION 3

MAOUCH, S et MORHANGE C et MEGHRAOUI M. 2009. Large boulder accumulation on the Algerian coast evidence tsunami events in the western Mediterranean, *Marine Geology* 262 p.

MAUCHE S, 1987. Mécanismes hydro-sédimentaires en Baie d'Alger (Algérie). Approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. Thèse spécialité, université de Perpignan, 213 p.

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

OTHMANI H, 2014. Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djanet.

ONM. 2017. Statistiques des données météorologiques de la station de Dar El Beida de la période (2006-2016). (Données numérique). 2017

PAC.2005. Programme d'aménagement côtier : Zone côtière Algéroise. Rapport final intégré. MATE.

PASKOFF R, 1985. Les littoraux, impact des aménagements sur les évolution. 2^{eme} Edition Masson, Paris. 264p.

PASKOFF, 1998 .La crise des plages; pénurie de sédiments. Mappemonde. 11-15p.

THIELER ET AL., 2005. User guide and tutorial for the digital shoreline rapport analyse system (DSAS) version 3.2 extension for Arc View. USGS open 2005 1304, 33p.

La plage de la « Lido» fait partie des nombreuses plages Algéroises touchées par un grave phénomène de recule. Victime de son propre succès, il est notable que le littoral algérois a connu, durant 19 ans entre 2000 et 2019 , une croissance urbanistique ainsi qu'une activité anthropique accentuée. Néanmoins les enjeux sont là, au côté d'un risque d'immersion marine des habitations souvent implantées trop près de la mer, se dresse une perspective d'expansion touristique le long de la baie d'Alger. Ce travail traitera des causes liées au phénomène d'érosion de cette plage,

Comme toute la côte algérienne est soumise à ce genre de phénomène ; dont les origines peuvent venir de très loin, la zone de LIDO n'y échappe pas, il est donc souhaitable que des études GIZC soient effectuées pour non seulement trouver des solutions adéquates mais aussi harmoniser le type de protection ou proposer des solutions à la hauteur du phénomène observé.

Mots clef: Trait de côte, érosions, Lido, Modélisation numérique, Mike 21.

يعد شاطئ "اليدو" أحد شواطئ الجزائر العديدة المتأثرة بظاهرة تخلف خطيرة. ضحية لنجاحها ، تجدر الإشارة إلى أن الساحل الجزائري قد شهد ، خلال 19 عامًا بين عامي 2000 و 2019 ، نموًا حضريًا بالإضافة إلى نشاط إنساني مكثف. ومع ذلك ، فإن المخاطر موجودة ، إلى جانب خطر الانغماس البحري للمساكن التي تقع في كثير من الأحيان بالقرب من البحر ، وهناك احتمال للتوسع السياحي على طول خليج الجزائر العاصمة. سيعالج هذا العمل الأسباب المرتبطة بظاهرة التآكل في هذا الشاطئ ،

لأن LIDO الساحل الجزائري كله يخضع لهذا النوع من الظاهرة ؛ التي يمكن أن تأتي أصولها من مكان بعيد ، فإن منطقة ليس فقط لإيجاد حلول مناسبة ولكن أيضًا لمواءمة نوع GIZC ليست استثناءً ، لذا فمن المستحسن أن يتم إجراء دراسات الحماية أو تقديم حلول تتوافق الظاهرة لوحظ.

الكلمات المفتاحية: الخط الساحلي ، التعرية ، ليدو ، النمذجة العددية ، مايك

he "Lido" beach is one of the many Algiers beaches affected by a serious backward phenomenon. Victim of its own success, it is notable that the Algerian coast experienced, during 19 years between 2000 and 2019, an urban growth as well as an accentuated anthropic activity. Nevertheless the stakes are there, alongside a risk of marine immersion of the dwellings often located too close to the sea, there is a prospect of tourist expansion along the bay of Algiers. This work will deal with the causes linked to the erosion phenomenon of this beach,

As the whole Algerian coast is subject to this kind of phenomenon; whose origins can come from far away, the LIDO area is no exception, it is therefore desirable that GIZC studies be carried out to not only find adequate solutions but also harmonize the type of protection or offer solutions that match of the phenomenon observed.