

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCE DE LA MER
Option : INGENIERIE DE GESTION ET PROTECTION DU LITTORAL

THEME :

**Protection de la plage Club des pins par les géotubes
Et l'élargissement de la plage par les stabiplages**

Réalisé par : Kouidri manel
Zarzouni Sarra wiam

Soutenu le : 27-09-2022 à 12h00

Devant le jury composé de :	Grade	Qualité
-Mr OTMANI.H	MMA (ENSSMAL)	Présidente
-Mr BELKESSA.R	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
-Mme RAHAL.F	Ingénieur (Dtp Alger)	Co-promotrice
-Mme Mahdid.S	MAA (ENSSMAL)	Examinatrice
-Mme CHaa.h	MCB(ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire : 2021- 2022

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DES SCIENCES DE LA MER ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Terre et de l'Univers
Filière : Gestion et protection du littoral

THEME :

**Protection de la plage Club des pins par les géotubes
Et l'élargissement de la plage par les stabiplages**

Réalisé par : - koudri manel
-zarzouni sara wiam

Soutenu le : 27-09-2022 à 12h00

Devant le jury composé de :	Grade	Qualité
-Mr OTMANI.H	MMA (ENSSMAL)	Présidente
-Mr BELKESSA.R	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
-Mme RAHAL.F	Ingénieur (Dtp Alger)	Co-promotrice
-Mme Mahdid.S	MAA (ENSSMAL)	Examinatrice
-Mme Chaa.h	MCB(ENSSMAL)	Examinatrice

Année universitaire : 2021- 2022

REMERCIEMENTS

AVANT D'OUVRIR CE MÉMOIRE, ON TIENT À REMERCIER LE BON DIEU LE TOUT PUISSANT DE NOUS AVOIR DONNÉE LE PRIVILÈGE ET LA CHANCE D'ÉtudIER ET DE SUIVRE LE CHEMIN DE LA SCIENCE ET QUI NOUS A DONNÉ LE COURAGE, LA VOLONTÉ ET LA PATIENCE POUR FAIRE CE TRAVAIL.

CE TRAVAIL NE SERAIT PAS AUSSI RICHE ET N'AURAIT PAS PU VOIR LE JOUR SANS L'AIDE ET L'ENCADREMENT DE NOTRE PROMOTEUR M.BELKASSA R, ON LE REMERCIE POUR LA QUALITÉ DE SON ENCADREMENT EXCEPTIONNEL ET SA DISPONIBILITÉ DURANT NOTRE PRÉPARATION DE CE MÉMOIRE.

NOS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT AUSSI À NOTRE CO-PROMOTRICE MME. RAHAL F POUR SON AIDE ET SES ENCOURAGEMENTS.

UN ÉNORME MERCI À TOUS LES MEMBRES DE JURÝ QUI ONT ACCEPTÉ D'ÉVALUER CE TRAVAIL ET DE PARTICIPER À CETTE SOUTENANCE.

M. OUTMANI H POUR AVOIR ACCEPTÉ DE FAIRE PARTIE DU JURÝ, ET POUR L'HONNEUR QU'IL NOUS A FAIT D'ÊTRE PRÉSIDENT.

MME. MEHDID ET M. CHAA POUR AVOIR ACCEPTÉ DE FAIRE PARTIE DU JURÝ D'EXAMINATEURS.

NOUS TENONS À REMERCIER AUSSI LES MEMBRES DE LA DIRECTIONS DES TRAVAUX PUBLIQUE SURTOUT MME RAHALI ET DE LA H.M.I DU CLUB DES PINS MS NERBASLA POUR L'ACCUEIL QU'ILS NOUS ONT RÉSERVÉ, LE TEMPS QUE CHACUN DE SES MEMBRES NOUS A ACCORDÉ, ET PLUS GLOBALEMENT POUR TOUTES LES INFORMATIONS, RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES, RÉFLEXIONS ET CORRECTIONS QUE CHACUN A APPORTÉ, ET QUI ONT NOURRIT CE TRAVAIL, GRÂCE À EUX NOTRE TRAVAIL EST SORTI DES TÉNÈBRES À LA LUMIÈRE.

NOS REMERCIEMENTS S'ADRESSENT ÉGALEMENT À TOUS LES PROFESSEURS, LES DOCTORANTS, LES ENSEIGNANTS ET LES ÉTUDIANTS DE L'ENSSMAL POUR LEUR GÉNÉROSITÉ ET LEUR GRANDE PATIENCE, ILS ONT SU FAIRE PREUVÉ DE PARTAGE DE CONNAISSANCES MALGRÉ LEURS CHARGES ACADÉMIQUES ET PROFESSIONNELLES

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A celle qui m'arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour incessible à la mère des sentiments fragiles qui ma bénie par ces prières à ma très chère mère KHADIDJA.

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

Au support de ma vie, qui m'a appris d'être forte et ma dirigé vers la gloire à mon très cher père AISSA.

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

*Et surtout à la personne qui était toujours à mes coté, qui m'a aidé pour être l'ingénieur et la personne que je suis aujourd'hui forte, patiente, courageuse et confiante, à **MOI**.*

A mes très chères sœurs KHAWLA, BOUTHY, SAMAR, NINI puisse dieu vous donne la santé, le bonheur et surtout la réussite.

A mes grands-parents paix à leurs âmes.

A mon binôme MaNeL et mes meilleurs amis : KHOLOUD, BRAHIM, CHAIMA, RYMA, DJOUHAINA, CYNTHIA, HAYET², SOFIAN, AYA, DOUAA, RANIA, SIHEM.

A mes collègues de la promo GPL : Salim, Akram, Maroua, Amel.

A mon boule d'amour poilé mon petit chat noir NiNo.

Enfin je dédie ce travail à toutes les personnes de l'ENSSMAL et les personnes qui de près ou de loin m'ont apporté leur aide, du fond de mon cœur je vous dédie ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail accompagné d'un profond amour

*A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis
aujourd'hui*

Au support dans ma vie, qui m'a appris d'être forte et ma dirigé vers la gloire mon père.

*A celle qui m'arrosé de tendresse et d'espoirs, à la source d'amour incessible à la mère des
sentiments fragiles qui ma bénie par ces prières ma mère.*

*A mon cher frère Abdelmounim et mes chères sœurs Imene ; Selma ; Hanaa et mon bout de
sucré ma chère nièce Serine qui a illuminé ma vie*

A mes grands-parents paix à leurs âmes.

A mon chère oncle Brahim pour son soutien

*A mon binôme Wawa et mes meilleures amies Radia ; Rania ; Hamza; Jojo ; Batoul ; Rihab ;
Hadjer ; Sabrina ; Serine ; Chouchou ; Hayet ; Sefiane*

*A tous mes chers collègues Akram, Redouan Amel Yahia Lounis Salim Djouhaina Cynthia
hayet ² sofiane et la promo GPL.*

*Et ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce mémoire soit possible, je vous dis
merci.*

Sommaire

Table des matières

Introduction Générale.....	13
Introduction :.....	1
Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude	3
I. Situation géographique.....	4
1. La Plage Club-des-Pins:	4
2.La zone d'étude :.....	4
II. Etat initial du site :	5
III. Contexte physique du site :	6
1. Géomorphologie et géologie :.....	6
2. Sismicité :.....	7
3. Hydrologie :.....	8
4. Aspect morphologique de la baie d'El Djamila :	9
5. Cadre océanographique :.....	9
6. Topographie sous-marine de baie el Djamila :.....	12
7. L'évolution du trait de côte :.....	12
8. Climat :.....	14
IV. Qualité du milieu.....	16
1. Les rejets Urbains :.....	16
2. Les ports	18
Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse.....	19
Introduction	20
I. Evolution de trait de côte :.....	20
1. Erosion côtière et SIG	20
2. Méthode d'acquisition des données :.....	21
3. Matériel d'étude :	21
4. Methodologie suivie :.....	22
II. Etude de la réfraction de la houle :	27
1. Principe de calcul de la réfraction de la houle :	27
2. Données bathymétriques	28
3. Choix du secteur angulaire	29
III. Etude bathymétrique :	29
1. Mode de mesure bathymétrique :.....	29
2. Mode de mesure du sonar latéral :	29

3. Logiciel utilisé :.....	30
IV. Etude sédimentologie	31
1. Positionnement des points de prélèvement	31
2. Méthode d'analyse au laboratoire	32
3. La fraction fine :	33
4. La fraction grossière :	33
5. Analyse modale	34
6. Analyse calcimétrique	34
Chapitre III : Résultats et discussions	36
I -Etude de réfraction de la houle	37
1-Maillage :	37
2.Réfraction de la houle :	40
II- Etude de la Bathymétrie :	47
1. Morphologie sous-marine :	47
2. Profils bathymétriques :	48
3. Modélisation du transport sédimentaire :	50
III. Evolution de trait de côte :	50
1. Les traits des cotes :	50
2. Les Transects :.....	51
3. Evolution de trait des cotes :	53
IV. L'étude sédimentologique	60
1. Analyse de fraction fine :	60
2. Analyse de la fraction grossière	61
3.5 Analyse calcimétrique :	69
3.6. Conclusion sur l'étude sédimentaire :	70
Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins.	71
I. Contexte du projet de protection :	72
II. Les différentes solutions envisagées	72
III. Solution retenue pour la protection de la plage du Club des Pins.....	74
1. Caractéristiques technique de la solution retenue :	75
2. Règles De calcul.....	77
IV. Description détaillée du projet	79
1. Notions de Base.....	79
2. Consistance des travaux à réaliser	80

V.Brise-lames en géotextile	81
1. Caractéristiques des Brise-Lames	81
3. Présentation détaillée des Brise-lames en géotubes	83
4. Stabiages	86
5. Reconnaissances, analyses et reprofilage éventuel des fonds préalables aux travaux ...	94
6. Implantation des ouvrages de protection.....	95
Conclusion générale	96
Bibliographie.....	98
ANNEXES	101

Liste des figures :

Figure 1:image satellitaire de la Baie d'El Djamila.....	4
Figure 2:localisation géographique de la zone des travaux sur la plage du Club des Pins.....	5
Figure 3:dégâts observes après la tempête de 2007(source APDO LEM 2008).....	6
Figure 4:géologie de la zone d'étude (source AitSaadi, Mansouri, 2020).....	7
Figure 5:carte du zonage national sismique Algérien RPA version 2003(source mémoire ENSSMAL2020).....	8
Figure 6:Rose des houles au large de la zone d'étude.....	10
Figure 7: Evolution de trait de côte du littorale de Club des Pins entre 1972 et 1999.....	13
Figure 8:Recul du trait de côte dégradation subie sur les habitations suite à la tempête de 2007 sur le littorale de Club des Pins.....	13
Figure 9:Précipitations et températures dans la région de la baie d'El Djamila (source données de l'Office National de la Météologie).....	14
Figure 10:: rose des vents données MEDLASTA (1999-2004) Baie El Djamila.....	16
Figure 11:Rejets d'eau dans la zone d'étude.....	17
Figure 12:Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro.....	23
Figure 13::Prejection du trait de côte en utilisant l'outil d'ArcGIS.....	23
Figure 14:Digitalisation du trait de côte sous ArcGIS.....	24
Figure 15:Les données créent dans ArcCatalog et ArcMap (ArcGIS10.5).....	25
Figure 16:: le concept du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ArcMAP.....	26
Figure 17:: La table Attributaire issue lors du traitement sous ArcMAP.....	27
Figure 18:Organigramme de création d'une carte bathymétrique.....	31
Figure 19:Situation de stations de prélèvement (source Mémoire ENSSMAL 2020°.....	32
Figure 20:Situation des stations de prélèvement des échantillons pour l'étude de la calcimétrie dans la région de Club des Pins.....	34
Figure 21: Maillage du modèle régionale (club des pins sidi fredj).....	38
Figure 22:carte bathymétrique de la zone sidi fredj (méche par mike 21).....	38
Figure 23:carte bathymétrique de la zone club des pins.....	39
Figure 24:Réfraction de la houle pour une direction Nord 360 °N et une période de 10 s (koudri zarzouni mike 21).....	41
Figure 25:Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord.....	41
Figure 26: Réfraction de la houle pour la direction Nord Est 45°N et T=10s.....	42
Figure 27:Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord-Est.....	43
Figure 29:Réfraction de la houle pour une direction 315 °N et une période de 10 s (koudri ; zarzouni mike 21).....	44
Figure 28:Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord Ouest.....	44
Figure 30:Réfraction de la houle pour la direction Ouest 270°N et T=10s (koudri et zarzouni).....	45
Figure 31:: Résultats de la courantologie de la houle de direction Ouest.....	46
Figure 32:: carte bathymétrique de Club des Pins (LEM 2009).....	47
Figure 33:carte bathymétrique en 3D de Club des Pins.....	48
Figure 34:modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Club des Pins.....	49
Figure 35:Carte bathymétrique et les profils traces dans le secteur de Club des Pins.....	49
Figure 36:Carte des traits de côtes de la Club des Pins.....	51
Figure 37:Carte des transects de la plage Club des Pins.....	52

Figure 38:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2002_2007).	53
Figure 39:Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2002_2007 au niveau de la plage Club des Pins	53
Figure 40:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2007_2012).	54
Figure 41:Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2007_2012 au niveau de la plage Club des Pins	55
Figure 42:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2012-2017).	56
Figure 43:Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2012_2017 au niveau de la plage Club des Pins	56
Figure 44:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2017_2022).	57
Figure 45:Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2017_2022 au niveau de la plage Club des Pins	58
Figure 46:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2002_2022).	59
Figure 47:Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2002_2022 au niveau de la plage Club des Pins	59
Figure 48:Répartition des pérites dans la région de Club des Pins	60
Figure 49: courbe cumulative S49	61
Figure 50:courbe cumulative S : 01	61
Figure 51:courbe cumulative S : 25	61
Figure 52:Histogramme uni modale	61
Figure 53: courbe uni modale	61
Figure 54:courbe bi modales	62
Figure 55: Histogramme bimodale	62
Figure 56: courbe plurimodale	62
Figure 57: Histogramme plurimodale	62
Figure 58:Répartition des déciles inférieurs dans la région de Club des Pins	63
Figure 59:Carte de la répartition du premier quartile Q25 dans la région de Club des Pins	64
Figure 60:Répartition des médianes D50 dans la région de Club des Pins	65
Figure 61:Répartition des quartiles supérieurs dans la région de Club des Pins	66
Figure 62:Répartition des déciles supérieurs dans la région de Club des Pins	67
Figure 63:Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane	67
Figure 64:Relation entre l'indice de classement et la médiane	68
Figure 65:Fréquence d'apparition modale	68
Figure 66:Répartition du mode 160µm dans la région de Club des Pins	69
Figure 67:Résultats de l'analyse calcimétrique des sédiments de la plage de Club des Pins	69
Figure 68:Coupe de principe des solutions d'aménagement envisagées sur le littoral de Club des Pins	72
Figure 69:Présentations générales des ouvrages	73
Figure 70:Plan de protection du rivage marin de la plage Club des Pins	75

Figure 71:Description des éléments d'effet de brise-lames, (D'après J.Viguié 2002).....	77
Figure 72:Installation du chantier	80
Figure 73: Schéma de principe du brise-lames en géotextile (1/2).....	82
Figure 74: Schéma de principe du Brise-lames en géotextile (2/2).....	83
Figure 75:Exemple de l'utilisation de la technologie stabiplage, côté droit avant, côté gauche après	87
Figure 76:Coupe type de stabiplage	87
Figure 77: Coupe longitudinale de la plage : implantation des stabiplages.....	87
Figure 78:Fouille en tranché	89
Figure 79:: Stabiplage en cours de mise en place	90
Figure 80:stabiplage en début de remplissage.....	91
Figure 81: Fin de remplissage et finitions de stabiplag.....	91
Figure 82:L'étalement du sable sur la plage avec une pente de 15/1 au moyen d'un bulldozer....	92
Figure 83: Coupe type de rechargement de la plage	93
Figure 84: Détail d'implantation d'un brise-lames	104

Introduction Générale

Introduction Générale

Introduction :

Les littoraux meubles sont fréquemment caractérisés par l'instabilité : on ne peut jamais être assuré qu'ils resteront stables, ou continueront d'évoluer comme au cours de la période d'observation. Un rien suffit à changer leur « équilibre », à détruire un état que nous jugeons pourtant adapté à nos besoins, à provoquer une évolution inattendue, parfois, du reste, fort heureuse pour les usagers, mais plus souvent dommageable (Pinot, 1998).

La région méditerranéenne a toujours été un lieu d'intenses activités humaines. La mer Méditerranée et son littoral recèlent de nombreuses ressources développées dans la région et sont des moteurs du commerce. Elle est une zone maritime relativement petite et fermée avec un accès limité aux bassins océaniques et d'une grande variété d'écosystèmes sensibles. Ces caractéristiques, combinées à la complexité politique de la région, font que la gestion et la protection de l'environnement marin et côtier nécessiteront des réglementations et des accords environnementaux multilatéraux validés à un niveau international (UNEP, 2017).

Située entre la pointe de Sidi Fredj à l'ouest et le cap Ras Acrata à l'est, la baie d'El Djamila fait en effet aujourd'hui face à de nombreuses contraintes, tant physiques qu'anthropiques, dont la plupart sont dues aux activités maritimes et au rôle négatif de l'homme dans l'exploitation de son environnement. Cette pression s'est le plus souvent imprimée sur les éléments géomorphologiques sensibles, et parfois sur les formes dynamiques irréversibles du tronçon côtier étudié (érosion des dunes, des plages et des hauts de plage). L'approfondissement du recul des plages et le déficit de leur patrimoine sédimentaire, en particulier la plage du Club des Pins, ainsi que l'émergence et la convergence de plusieurs formes de pollution marine (bactériologique, chimique et physique) et de perturbation biologique du sous-marin (*Posidonia prairie*), sont les principales et les plus souvent visibles dans la zone étudiée avec des formes de dégradation.

Des jours de temps violent plagent subissent des dommages qui ne peuvent être réparés par les saisons calmes à moins que leurs bilans sédimentaires ne soient équilibrés. Ce sont les événements à faible fréquence et à grande échelle qui déplacent vraiment la côte, et non les vagues déferlantes habituelles. C'est le cas de la plage du Club des Pins, fortement érodée depuis de nombreuses années par l'action de la mer et surtout par des événements extrêmes comme la tempête de 2007. Les plages peuvent donc subir une érosion naturelle. D'une manière générale, on est en droit de dire que la situation actuelle, qui résulte à la fois du stade de leur évolution géologique, de la conservation du niveau marin planétaire, du régime hydrodynamique général, n'est pas propice au maintien de leur équilibre. Il en résulte une grande fragilité et une sensibilité marquée aux interventions humaines d'aménagement. (Paskoff R, 1992).

Le projet de protection de la plage du Club des Pins a été lancé en 2009 pour protéger la plage des effets de la mer et affaiblir l'énergie des vagues, afin de mieux protéger l'arrière-pays de cette plage, au potentiel exceptionnel, qui est la première commande politique (résidence domaniale) et la seconde à caractère touristique grâce à la présence de l'hôtel Sheraton, la ligne à protéger s'étend sur 3 000 m de la plage de Moretti à « l'Ouest jusqu'à la plage des Dunes à l'Est ».

Introduction Générale

L'objet de ce travail dans le projet de fin d'étude intitulé "Travaux de conservation du littoral maritime de la résidence Sahel Club des Pins" est d'analyser ce projet de conservation selon une certaine logique :

Présentation des propriétés physiques de notre zone et de son état initial.

Présentation détaillée du projet de protection de la plage Club des Pins.

Réalisation d'une étude d'impact environnementale du projet en cours de réalisation sur la zone.

Suivi des travaux de réalisation des géotubes immergés dans le cadre du projet de protection du rivage marin de la plage Club des Pins.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude

I. Situation géographique

1. La Plage Club-des-Pins:

Administrativement, la plage du Club des Pins appartient à la ville de Staoueli, l'un des 19 villages côtiers d'Alger. La plage est située à l'ouest de la ville dans la baie d'El Djamila. Cette baie est orientée au sud-ouest-nord-est et s'étend sur environ 6 km. Elle est ouverte sur la mer face aux vagues arrivant des secteurs ouest au nord. La baie est délimitée au sud-ouest par la presqu'île de Sidi Fredj (commune de Staouali), sur laquelle se trouve le port de plaisance de Sidi Fredj, et au nord-est Ras Acrata, au-dessus duquel se trouve le port d'El Djamila (ex. La Madrague) à 2°53'42"Est et 36°48'6"N. (Otmani, Assassi, 2011 ;

La baie est une cellule hydro-sédimentaire fermée et aucun échange sédimentaire ne peut avoir lieu de part et d'autre du fait de la présence de deux caps. L'Oued Béni Messous, débouchant au niveau de la plage « les Dunes » à environ 2 km au sud-ouest du port de La Madrague, est donc la seule source d'approvisionnement des habitations de la baie. (LEM, 2011, APD)



Figure 1: image satellitaire de la Baie d'El Djamila

2. La zone d'étude :

La zone d'étude comprend la plage du Club des Pins et s'étend sur un littoral d'environ 2 400 m. Le 15 décembre 2015, l'étude relative au projet d'extension sur 800 m de la protection en cours a débuté. La plage du Club des Pins est délimitée à l'ouest par un mur transversal à l'extrémité ouest de l'hôtel

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

Sheraton (le mur représente la limite ouest de la propriété de l'hôtel Sheraton) et à l'est par un mur en limite de propriété du Sahel Club des Résidence de pins.

L'emplacement exact de la plage est indiqué sur la figure 1. La délimitation géographique de la zone des travaux est comprise entre les latitudes $36^{\circ} 48' 5.796''$ N et $36^{\circ} 45' 43.092''$ N et la longitude $2^{\circ} 53' 42.792''$ E et $2^{\circ} 50' 54.744''$.



Figure 2:localisation géographique de la zone des travaux sur la plage du Club des Pins

II. Etat initial du site :

Le diagnostic de la situation de référence réalisé dans les études précédentes a montré que, le littoral de la baie d'El Djamila recule globalement et que le littoral du Club des Pins subit une érosion intense depuis 34 ans. Le déclin du littoral est estimé à 40 m, soit un recul moyen de 1,25 m par an suite aux fortes tempêtes survenues en 2007 notamment

Le site du Club des Pins a subi un recul important et net du littoral. Certaines habitations ont même un contact direct avec la mer

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.



Figure 3:dégâts observés après la tempête de 2007(source APDO LEM 2008)

-Les facteurs d'érosion :

- La configuration entre les deux caps
- L'urbanisation et la présence d'ouvrages côtiers
- La réduction des apports sédimentaires
- Le régime de la houle

III. Contexte physique du site :

1. Géomorphologie et géologie :

La région d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire, le massif d'Alger bordé de dépôts sédimentaires du sahel et de Mitidja

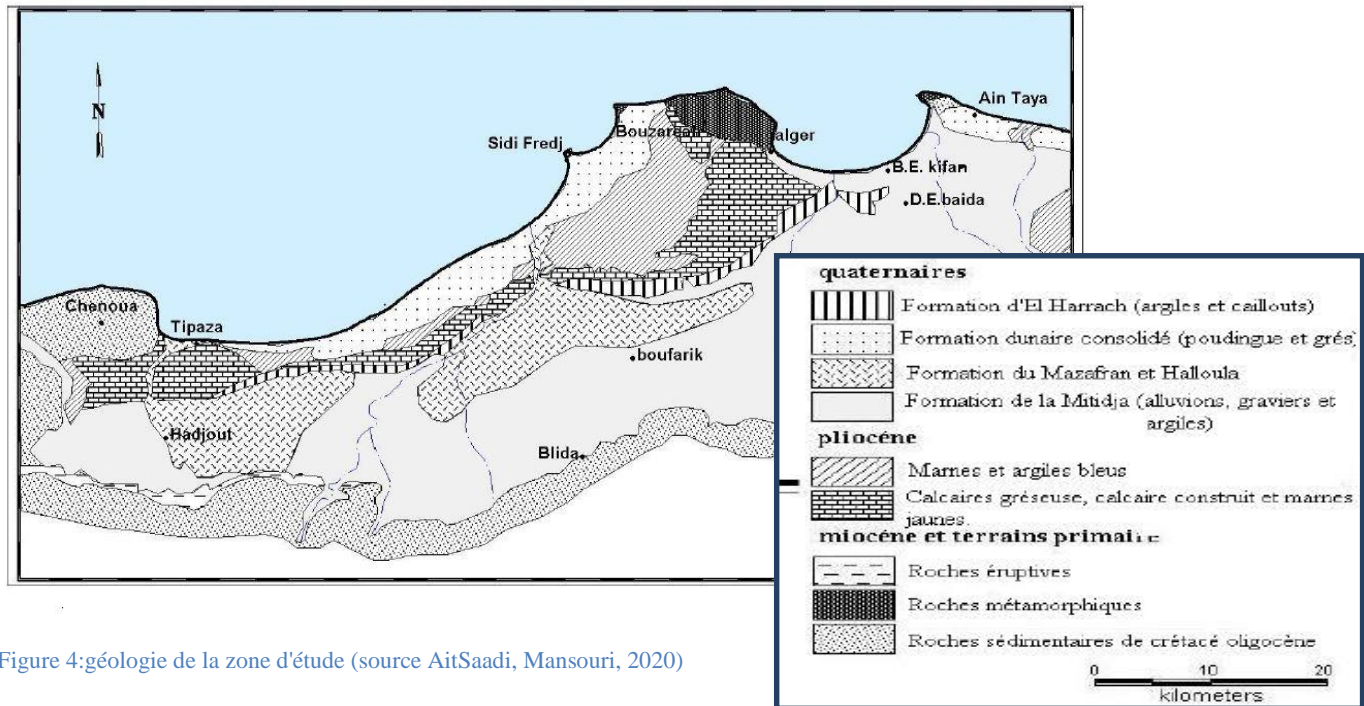
Le massif de Bouzareah qui est l'unité morphologique la plus élevée de la région (407m d'altitude), formé de roche cristallophyllienne (schistes, micaschistes, et marbres) qui affleurent également le long du littoral algérois, à Sidi Fredi à l'Ouest et à Bordj El Bahri à l'Est;

Le sahel marneux dont l'altitude varie entre 50 m et 200 m séparant la Mitidja de la mer, il est formé de marnes grises et bleues du Plaisancien;

Le Sahel mollassique qui représente le prolongement du sahel marneux, les altitudes ne dépassent pas les 80 m, il représente une variété lithologique associée à une sédimentation marine de haut-fond; La plaine de la Mitidja qui s'étend sur une superficie de 1 300 km² et une altitude moyenne de 20 à 50 m, elle est représentée essentiellement par les alluvions épaisses, quaternaires ;

Plateau dunaire littoral, c'est une formation sableuse, peu consolidée dont l'épaisseur varie entre 20 et 40 m, il occupe la baie d'Alger et la côte Ouest, limité au Sud par le Sahel c'est l'unité morphologique sur laquelle se situe notre site

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.



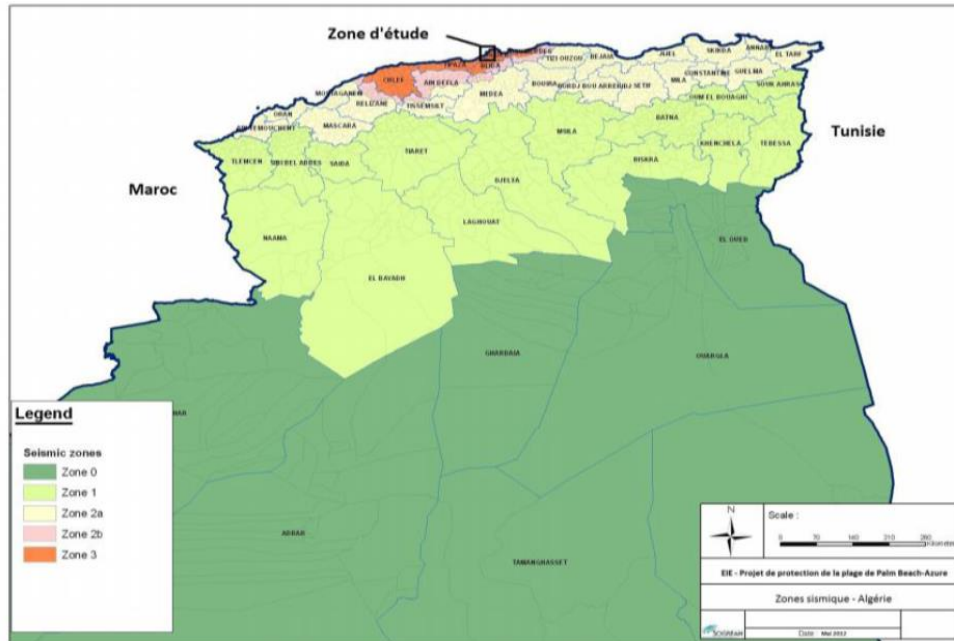
2. Sismicité :

Le territoire Algérien est divisé en quatre régions sismiques selon les Règles Parasismiques Algériennes RPA 99 / version 2003.

- Zone 03 : Zone d'intensité forte ;
- Zone 02 : Zone d'intensité moyenne ;
- Zone 01 : Zone d'intensité faible ;
- Zone 0 : Zone non sismique.

Une activité sismique considérable se produit dans les zones côtières et dans la mer Méditerranée. Dans cette région de la Méditerranée occidentale, il s'agit du contact entre les plaques africaines au sud et les plaques eurasiennes au nord. La tectonique de compression qui en résulte génère de nombreuses failles actives dont le frottement provoque des tremblements de terre. La zone du projet se situe dans la zone 3, qui est considérée comme une zone à haute intensité.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.



Toute la côte nord de l'Algérie se situe dans une zone tectonique des plus propices aux tremblements de terre.

3. Hydrologie :

Le relief de la zone étudiée est coupé par un réseau hydrographique exoréique dont l'écoulement va du sud-est au nord-ouest. Tous les oueds et leurs affluents sont des cours d'eau aux débits irréguliers. En été, les lits des oueds sont presque à sec ou se transforment en courants d'eau ordinaires. En revanche, ils connaissent des inondations très violentes pendant la période hivernale.

Au Sahel, tous les oueds sont perpendiculaires à la côte, traversant la plaine de la Mitidja du sud au nord avant de se jeter dans la mer. Ces oueds prennent naissance dans l'Atlas tellien. La descente continue de la rivière Mitidja et la montée de l'anticlinal sahélien ont conduit à l'imposition du réseau hydrologique.

- Les principaux Oueds dans la région d'étude sont situés dans la commune de Staoueli :

Oued Boukraa : il passe par la rue de Goumaz et rue de l'abattoir, il se déverse dans la mer à Club des Pins, sur le long de ce oued il y a une station de traitement d'eau.

Oued el Bridja : il passe par la zone de La Bridja.

Oued Guergour : il est au milieu de l'exploitation de Chehatt et Khiati, le cours d'eau de Bridja et celui de Guergour se rassemblent dans un seul cours avant de se déverser dans la mer à Palm Beach.

Oued Lagha : il constitue une frontière physique entre la commune de Staoueli et la commune de Zeralda, l'Oued est toujours appelé le ravin des voleurs il se déverse à Azur plage.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

4. Aspect morphologique de la baie d'El Djamila :

Selon la carte géomorphologique établie par Ayme en 1960, le littoral entre Sidi Fredj et Ras Acarta est caractérisé par une importante accumulation de sable courant et sous-courant. La côte ouest de la baie entre l'embouchure du fleuve Oued Beni Messous et la pointe de Sidi Fredj est bordée par une bande de sable dunaire délimitée par des plages plus ou moins importantes (Staoueli et Club des Pins). Le seul oued pénétrant dans la baie est à environ 5 km à l'est de Sidi Fredj, il s'agit de l'oued Beni Messous ; prend sa source à Grand Cheraga, traverse la ville de Bouzaréah, Dely Brahim et Ain Benian, et débouche au niveau de la plage (Dunes) à environ 2 km à l'ouest du port d'El Djamila. A l'est de cet estuaire, le littoral est creusé dans la falaise qui domine la mer à certains endroits.

4.1. Les dunes littorales

Les dunes littorales sont une accumulation de sables d'origine marine, les dunes littorales de la baie d'El Djamila constituent le prolongement oriental du cordon dunaire issu de l'embouchure de l'oued Mazafran et s'étendant à l'est de l'oued Beni Messous. Le cordon atteint sa largeur maximale sur les plages de Staoueli et du Club des Pins. Ces dunes ont une étendue et une morphologie très variable selon la direction des vents dominants.

En effet, il existe deux bandes côtières parallèles à la côte. L'une est bordée par une haute plage, c'est une zone de dunes mouvantes, l'autre est à l'intérieur des terres et se caractérise par une végétation dense ; c'est une zone de dunes fixées.

4.2. Les plages :

Derrière les dunes et à l'est du quai sud du port de Sidi Fredj, on trouve une zone de plages de sable de granularité variable, parallèle à la côte, qui s'amincit vers le sud-est.

Derrière les plages de Staoueli et du Club des Pins, des dunes littorales se développent. A Bou Ismail, il y a eu une importante déstabilisation des phénomènes d'apport et de dépôt, due aux carrières d'exploitation de ces sables entre Oued Mazafran et Ras Acarta.

4.3. Les plateaux rocheux :

De nombreuses zones rocheuses émergent au niveau du littoral et s'étendent sous l'eau jusqu'à 4 à 5 mètres de profondeur sur la plage de Moretti et le Club des Pins. Actuellement, une partie de l'affleurement est recouverte de sable dans la zone adjacente au quai sud du port.

5. Cadre océanographique :

5.1. Les marées et les variations du niveau marin

En mer Méditerranée, l'amplitude des marées est généralement faible ; elle varie considérablement avec la période lunaire et est le plus souvent masquée par la montée ou la baisse des niveaux d'eau causée par les changements des conditions climatiques.

En moyenne, l'amplitude de la marée de la pleine lune est de 25 à 30 cm, et l'amplitude de la nouvelle lune est de 5 à 15 cm. Cet effet astronomique peut se superposer à d'autres phénomènes tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

De forts vents marins locaux peuvent également, par impact direct sur la surface de la mer, faire gonfler la retenue. Le niveau de la mer pourrait donc atteindre une hauteur maximale d'environ 1 m, en raison des phénomènes en contrebas

5.2. Les houles au large :

Les données de la houle au large sont reprises d'un document intitulé « SUMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATION » (S.S.M.O Tome 2, zone Algiers). Ces données s'étalent sur une période de 8 ans (de 1963 à 1970).

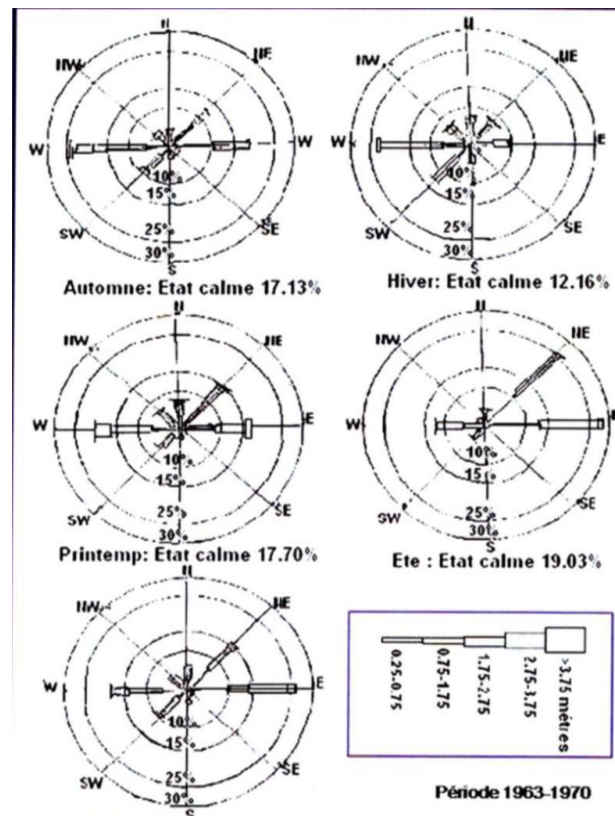


Figure 6: Rose des houles au large de la zone d'étude

L'analyse statistique de ces données de base permet d'identifier les secteurs d'ondes dominants et leurs amplitudes. Les données sont trimestrielles et annuelles. En hiver, les houles du secteur nord-ouest (plus de 80%) prévalent avec une durée moyenne de, des périodes supérieures à 10 s, pouvant aller jusqu'à 13 s soulevées lors des tempêtes importantes.

L'amplitude moyenne la plus courante est de 2 à 3 m, les vagues peuvent avoir une amplitude maximale de 4 à 6 m.

La longueur d'onde des anticyclones hivernaux les plus courants varie de 150 à 170 m à une vitesse de 14 m/s. En « temps violent » les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde 200 m et vitesse 17 m/s. dans ces conditions, la profondeur de l'effraction peut être estimée à 6-9 m.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

5.3. Les courants :

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire, ils y participent dans l'évolution des formes de la plage en conduisant à des ensablements à des envasements ou à des érosions.

Les courants généraux :

Ces courants sont le résultat du déplacement des masses d'eau de l'Atlantique qui traversent le détroit de Gibraltar. Ils se dirigent vers l'est des côtes algériennes à des vitesses allant de 0,5 à 2,5 nœuds.

Ces courants ne jouent pas un rôle significatif dans le phénomène d'érosion, mais jouent un rôle majeur dans la mise en suspension et le transport flottant des particules fines.

Les courants côtiers :

A) le courant d'entraînement :

Ils sont provoqués par le mouvement des masses d'eau dans le sens de l'endiguement, ils sont à l'origine d'apports sédimentaires lors de leur déploiement sur le littoral, notamment ceux en suspension, et participent donc activement à la sédimentation en cours.

B) le courant de retour :

Le courant de retour participe activement à l'érosion côtière de la zone étudiée, c'est un courant de compensation sur le fond qui va vers le large par suite du retour des masses d'eau charriées par la houle sur la côte. Leur action est remarquable surtout par mauvais temps, généralement en hiver. Sa suppression s'y produit jusqu'à une profondeur de 30 m, ce qui accentue la frontière dynamique, qui se matérialise par l'apparition de rides oscillatoires symétriques au fond et la disparition des rides asymétriques.

c) courant de dérive littorale :

Le courant de dérive côtière est défini comme le résultat de tous les mouvements vers l'intérieur des terres de l'eau du rivage qui ne s'approche normalement pas du rivage. Dans le cas général des crues de faible et moyenne amplitude, les courants ne sont perceptibles que dans la zone de claquage. Ils assurent donc le transport latéral (dérive latérale) et la dispersion des sables et graviers de la côte. Les ondes de grande amplitude peuvent opérer jusqu'à une profondeur de 40 à 60 mètres.

En surface, la dérive globale dans la zone d'essai est provoquée par un contre-courant marin (Atlantique) tournant dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne, généralement très faible, de l'ordre de 0,3 km/h ; lorsque le vent souffle dans une direction nord-est, il atteint 3,2 km/h. Près des fonds marins, la vitesse de ces courants chute très rapidement et devient pratiquement insignifiante.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

6. Topographie sous-marine de baie el Djamila :

La configuration des fonds marins affecte la propagation des vagues, les caractéristiques des vagues à l'approche de la côte et les mouvements de sédimentation qu'elles génèrent.

Sur une grande partie du littoral de la baie d'El Djamila, les fonds marins sont relativement réguliers. Les distances des isobathes -10, -20 et -50 m du rivage sont données dans le tableau ci-dessous avec les pentes des fonds respectifs.

Tableau 1: Distances des isobathes à la cote et pente des fonds

Profondeur (m)	-10	-20	-50
Distance à la côte (m)	600	2000	3600
Pente moyenne des fonds	De 0 à -10 m 1,66 %	De 0 à -20 m 1,00 %	De 0 à -50 m 1,40 %

7. L'évolution du trait de côte :

L'une des principales raisons des travaux de conservation de la plage du Club des Pins est le recul du littoral (érosion des plages). Dans l'ensemble, le littoral de la baie d'El Djamila est généralement en déclin et le littoral du Club des Pins est sujet à l'érosion des plages.

Ce phénomène est fortement accentué dans la partie droite de la zone des habitations, dont certaines ont un contact direct avec la mer, et la photo Google Earth de 1999 couvrant la zone étudiée a permis de retracer l'évolution du littoral au niveau de la zone étudiée.

Sur une durée de 32 ans le recul est estimé en moyenne à 40 mètres. Suite aux grosses tempêtes de l'année 2007 le site de Club des pins a subi des dégradations importantes et un net recul du trait de côte comme le montrent les photos ci-dessous.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

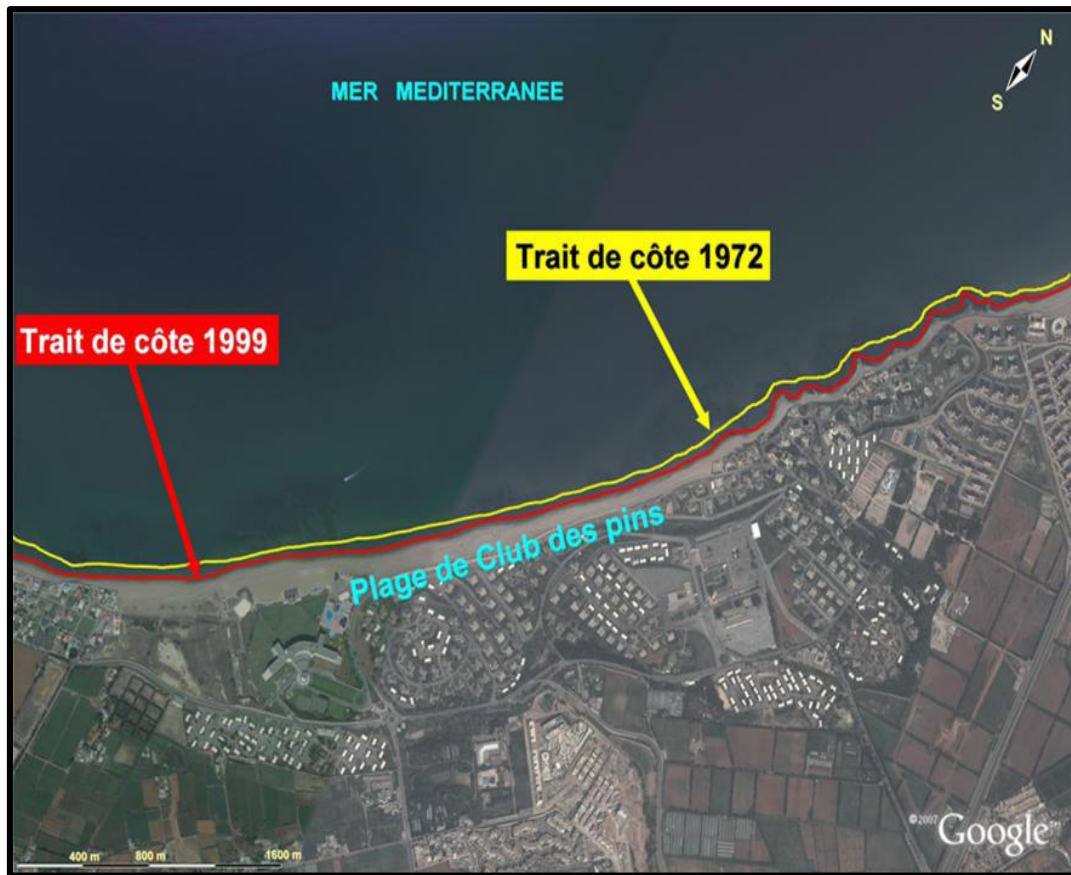


Figure 7: Evolution de trait de côte du littoral de Club des Pins entre 1972 et 1999

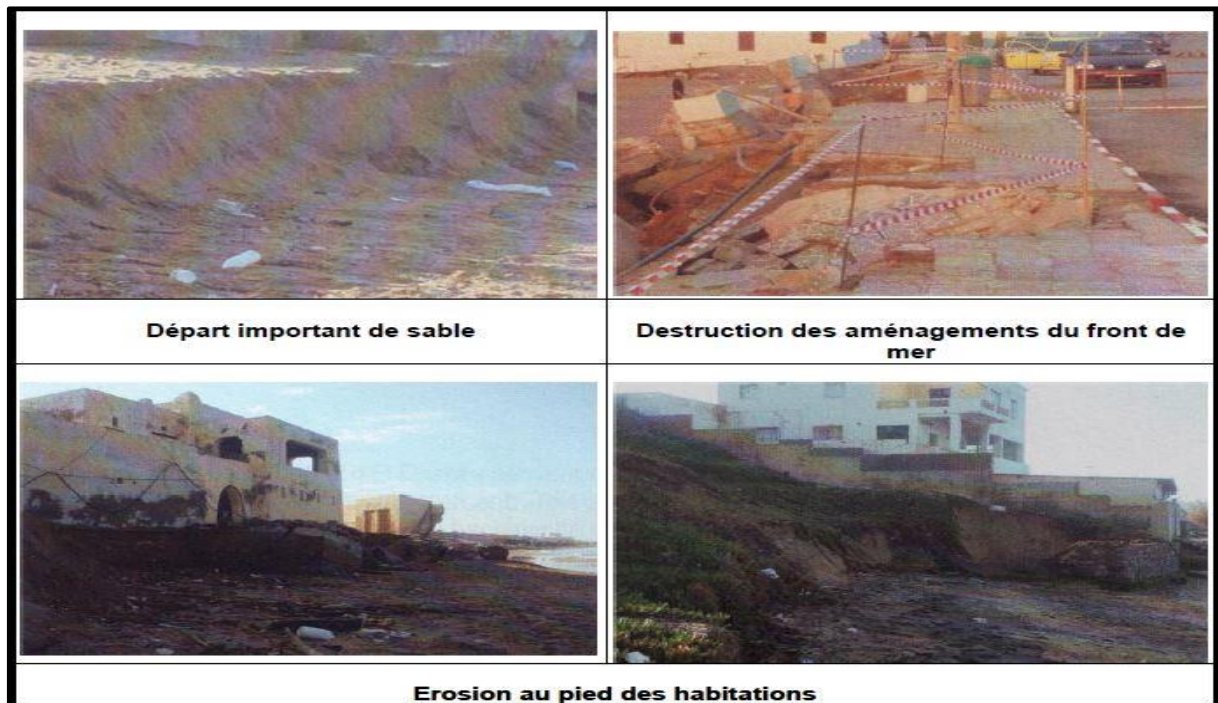


Figure 8: Recul du trait de côte dégradation subie sur les habitations suite à la tempête de 2007 sur le littoral de Club des Pins

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

8. Climat :

L'irrégularité du régime et l'alternance de deux saisons nettement opposées sont les éléments fondamentaux du climat des pays sahéliens.

La proximité de la mer confère à ces régions un climat exceptionnellement tempéré dû à l'influence plus douce de la mer. La côte algérienne appartient à la zone méditerranéenne subhumide. Le climat est méditerranéen, avec des étés secs et chauds et des hivers humides et froids.

8.1. Précipitation :

La baie d'El Djamila est soumise à un climat méditerranéen humide et reçoit des précipitations annuelles variant de 600 à 800 mm/an. Ce climat se définit par deux saisons bien différenciées.

- La saison des pluies : s'étend d'octobre à avril avec des valeurs mensuelles de 60 à 110 mm. Globalement, les mois les plus pluvieux sont novembre et décembre avec un cumul de l'ordre de 100 à 110 mm/mois. Ces pluies hivernales sont généralement courtes et intenses. Les débits liquides sont directement liés à ces précipitations, créant ainsi un régime hydrographique très irrégulier ;
- Saison sèche : dure le reste de l'année, de mai à septembre.

Le graphique présentant les caractéristiques des précipitations de la zone d'étude est présenté sur la Fig. 09

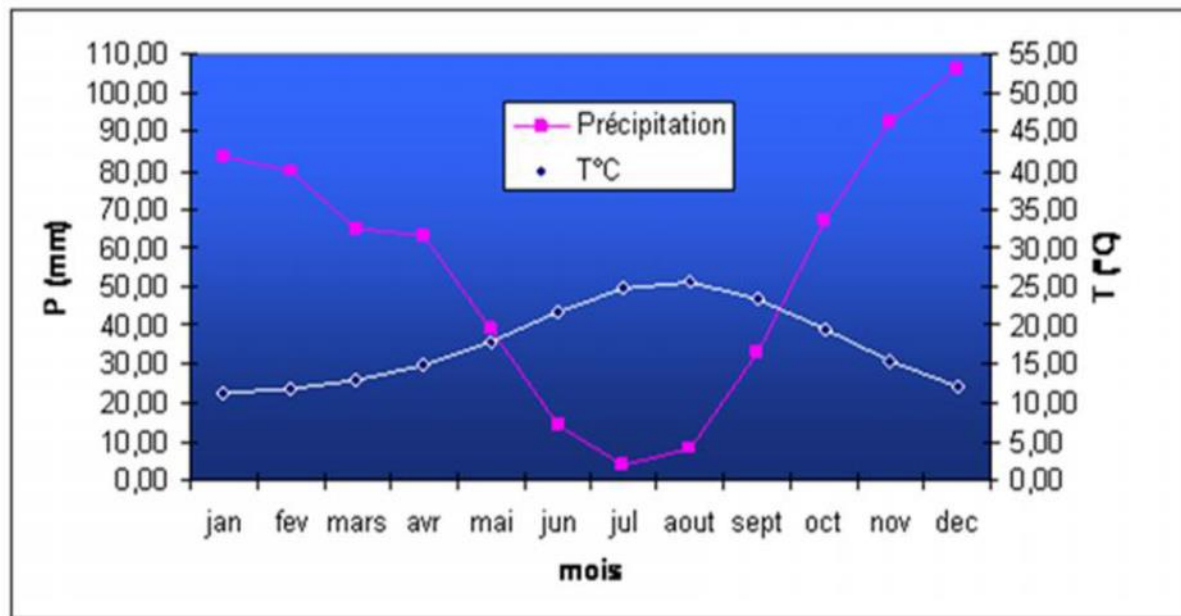


Figure 9; Précipitations et températures dans la région de la baie d'El Djamila (source données de l'Office National de la Météologie)

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

Tableau 2:Données pluviométriques sur la station de BOUHAROUN sur la période 1993-1996(source: Office National de la Météologie ONM 2005)

		Mois												
		Jan.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	
Précipitation (mm)	Année	1993	10,1	84,1	14,2	62,9	34,7	0	0,5	2,1	25,3	22,7	70,2	17,0
	1994	78,6	34,1	1,1	43,3	3,7	0	0	108,9	30,8	40,8	54,3	48,5	
	1995	94,8	45,7	57,8	15,9	0	13,0	0	40,0	24,3	11,9	74,1	48,5	
	1996	73,2	85,6	39,2	154,3	/	/	/	/	/	/	/	/	

8.2. Température :

Comme pour les précipitations (voir figure), la température est définie par deux saisons distinctes : l'hiver (novembre à avril) et l'été (mai à octobre).

- Période hivernale : la température moyenne est de 11,0 à 15,0°C, la température minimale en janvier (11°C) ;
- Période estivale : la température moyenne est comprise entre 18,0 et 26,0°C, le maximum en août (26°C).

Tableau 3:Données de températures sur la période 1976-2005(source: Office National de la Météorologie ONM)

Mois		Jan.	Févr.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
Température °C	Min	5,5	5,9	7,1	8,8	12,3	16,1	18,9	19,8	17,6	14,2	9,8	7,2
	Max	16,7	17,4	19,2	20,9	23,9	28,2	31,2	32,2	29,6	25,9	20,8	17,9

8.3.Les Vents :

Le vent est un élément important de la dynamique des eaux marines. En effet, il est à l'origine de vagues, de collines et de courants superficiels qui interfèrent avec l'évolution et la reconstruction des dunes.

Pour évaluer le régime des vents dans la zone d'étude, nous avons utilisé les dernières données publiées par MEDATLAS dans les années 1999-2004. Les données MEDATLAS sont fournies dans le paragraphe suivant.

- **Données de MEDATLAS (1999-2004) :**

La reconstitution du climat de 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 les 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 20 m/s pour les directions comprises entre 240° et 270° N (cf. Fig. 10).

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

Aussi pour les directions comprises entre 45° et 90° N on observe des vitesses de vent qui atteignent les 16 m/s.

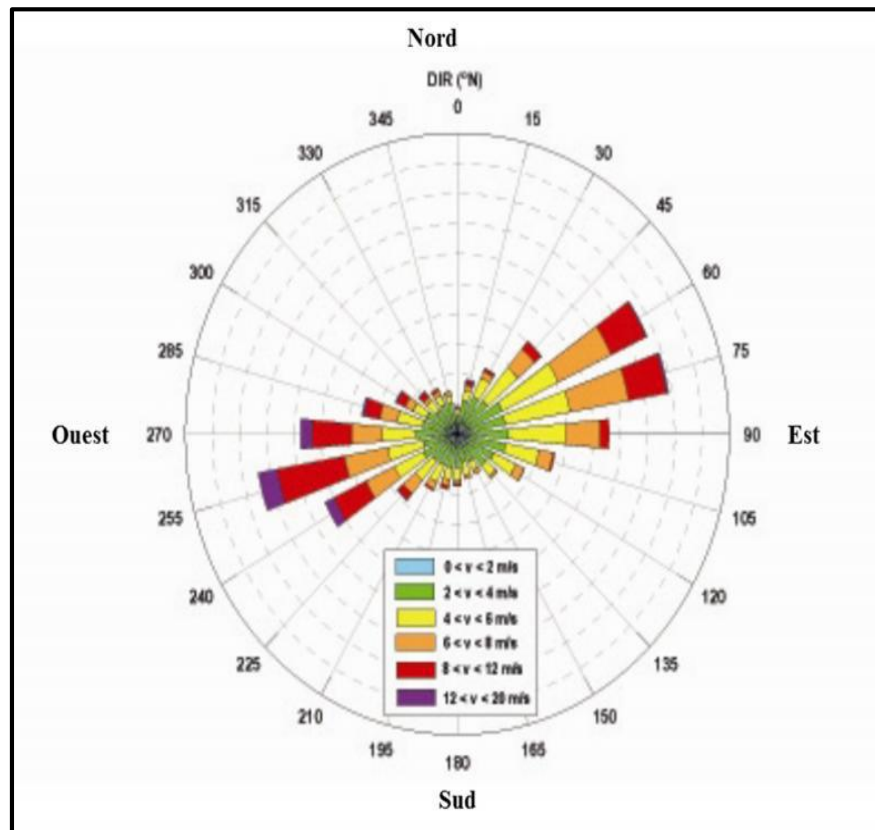


Figure 10:: rose des vents données MEDLASTA (1999-2004) Baie El Djamilia

IV. Qualité du milieu

1. Les rejets Urbains :

Il est important de noter l'existence de plusieurs émissaires des eaux usées et/ou de pluies au niveau de la plage de Club des pins, ces rejets sont à ciel ouvert sans aucun traitement préalable des eaux de rejets.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.



Figure 11: Rejets d'eau dans la zone d'étude

Les eaux usées du complexe du Club des pins débouchent directement sur le haut de plage à ciel ouvert, constituant une source de pollution des eaux de baignade et peuvent avoir une incidence néfaste sur l'herbier à posidonie qui joue un rôle important dans le piégeage des sédiments.

Chapitre I : Généralités et description de l'état initial de la zone d'étude.

2. Les ports

Les deux ports de Sidi Fredj et d'El Djamila peuvent être à l'origine de plusieurs sources de pollution liées aux rejets de différentes activités qui s'y exercent. On distingue plusieurs type de pollution.

La pollution physico-chimique des eaux (par les émissaires et les ports) peut participer à la dégradation de la qualité des eaux et au recul des herbiers à posidonie vers le large. Ces herbier ont un rôle naturel de protection de la plage selon trois aspects : ils réduisent l'énergie de la houle lorsqu'elle se propage au-dessus de l'eau ; ils fixent les sédiments ; enfin, leurs masses mortes, lorsqu'elles s'échouent sur la plage ont un rôle de maintien du sable de plage.

L'étude réalisée par le Ministère de la Pêche et des Ressources Halieutiques (MPRH) sur l'évaluation des stocks halieutique dans le cadre de la coopération Algéro-espagnole révèle des rendements parmi les plus faibles de la côte algérienne au niveau du secteur centre, notamment la région algéroise, ceci est valable pour la plupart des espèces commerciales de haute valeur marchande.

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Introduction

Des études initiales (études de réfraction et études sédimentologies) sont nécessaires afin de pouvoir proposer différentes solutions d'aménagement correspondant aux besoins suivants :

- Rendre la plage du Club des Pins permanente contre les tempêtes pour éviter les dégâts constatés après 2007.

- Combattre l'érosion et arrêter le recul du rivage dans la région Par ailleurs, le site du Club des Pins étant un site relativement sensible, il a été demandé de proposer des solutions esthétiques qui ne nuisent pas à l'environnement local et surtout ne dénaturent pas le site. A cet effet, LEM a proposé une solution cohérente avec la nature, et afin de pouvoir déterminer les effets probables (positifs ou négatifs) de cette protection, une Etude d'Impact Environnemental a été lancée en 2012.

Ce chapitre comporte 4 études :

- Etude de la réfraction de la houle.
- Etude bathymétrique.
- Evolution du trait de côte.
- Etude sédimentologie

I. Evolution de trait de côte :

Les études de l'évolution côtière examinent et explorent les raisons pour lesquelles la position et la nature du trait de côte se modifient d'un moment à l'autre. En général, il a été constaté que de nombreux littoraux mondiaux sont sous la menace de l'érosion (**Williams et al. 1990**).

L'analyse de la cinématique littorale requiert avant tout le choix d'un indicateur du trait de côte, la mise au point d'une méthode d'extraction et de suivi adaptée au marqueur utilisé selon le type de côte, le matériel et les données disponibles.

1. Erosion côtière et SIG

L'érosion côtière constitue une préoccupation croissante dans le monde entier (Bartlett et Smith, 2005) qui est causée par des forces naturelles, telles que, courants, vagues, ondes de tempête, les vents ainsi que les développements anthropiques (HEO et al. 2009).

C'est un problème mondial ayant des implications économiques concernant le tourisme côtier et le développement durable. Les changements côtiers sont considérés comme un des indicateurs de l'environnement le plus important en raison de son impact direct sur le développement économique du littoral et la gestion des terres (STOKKOM et al. 1993).

Les changements du trait de côte peuvent être utilisés comme un bon indicateur de présence de l'érosion côtière. Aussi le meilleur indicateur pour décrire l'érosion du littoral est-il le taux de récession du trait de côte (HEO et al. 2009). Le rivage est fortement dynamique et mobile dans le

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

temps et dans l'espace en réponse aux variations des processus côtiers (BIRD, 1993 ; CARTER, 1988 ; 1994).

2. Méthode d'acquisition des données :

Pour cette étude on a utilisé un des méthodes les plus efficaces et moins coûteuse qui est :

2.1. La méthode de suivi photographique :

Il s'agit de prendre une série de clichés à partir d'un même point de vue (au sol ou aérien), à des intervalles réguliers qui peuvent varier de la saison au siècle. Si le suivi est rigoureux et systématique, il permet une étude diachronique avec identification des changements. Cet outil, plus qualitatif que quantitatif, est complémentaire des photographies aériennes verticales et possède un bon rapport coût/efficacité. Il est insuffisant pour estimer précisément les volumes de matériaux mobilisés et le suivi de différents compartiments sédimentaires, mais peut être porteur d'un message clair, car visuel, pour les décideurs (T. Bulteau, M. Garcin, 2011).

3. Matériel d'étude :

Google Earth Pro : L'utilisation gratuite des images présentées par le logiciel n'est autorisée que par des captures d'écran ou une utilisation en ligne. Google Earth Pro permet d'imprimer des images en haute résolution, alors qu'il faut se contenter de la résolution de l'écran avec la version basique. Mais aussi bien d'autres fonctions. Il ajoute aux étonnantes fonctionnalités de Google Earth des outils encore plus puissants. Il est également possible de procéder à un géocodage d'adresses par lot, d'importer automatiquement des images SIG et d'avoir « accès à des données démographiques, à des données cadastrales et à des données de circulation ». Les outils de mesure sont plus évolués, tout comme celui permettant de créer des cartes. Il est également question de Movie Maker qui permet de « créer une vidéo qui suit le mouvement de la caméra ».

ArcGis : ArcGIS est une plateforme logicielle SIG développée par la société ESRI. Cette plateforme correspond à l'intégration de deux distincts plus anciens (ArcInfo et Arcview) et exploite, d'une part, le potentiel des nouvelles puissances de calcul disponibles sur le PC de la fin des années 90 et répond, d'autre part, à de nouveaux besoins telles que la gestion des données SIG en réseau et sur internet. Ainsi, en 1999 ESRI a réalisé son produit d'ArcGIS 8.x), ensuite 9.x en 2004 et la dernière version est ArcGIS 10.x en 2010. Ce système complet (ArcGIS) propose trois produits (1) produits bureautiques (ArcGIS Desktop) ; (2) produits serveurs (ArcGIS Server) et (3) produit nomades (ArcGIS Mobile, ArcPad). Il propose également une plateforme collaborative en ligne (ArcGIS Online).

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

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

ArcInfo. ArcGlobe permet d'afficher de grandes quantités de données SIG à la surface d'un globe (visualisation 3D).

3.1. 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 2022 qui a été cartographiée, étant plus précise et plus récente.

3.2. 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).

4. Méthodologie suivie :

4.1. Méthode de digitalisation :

Sous 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 (Figure...).

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

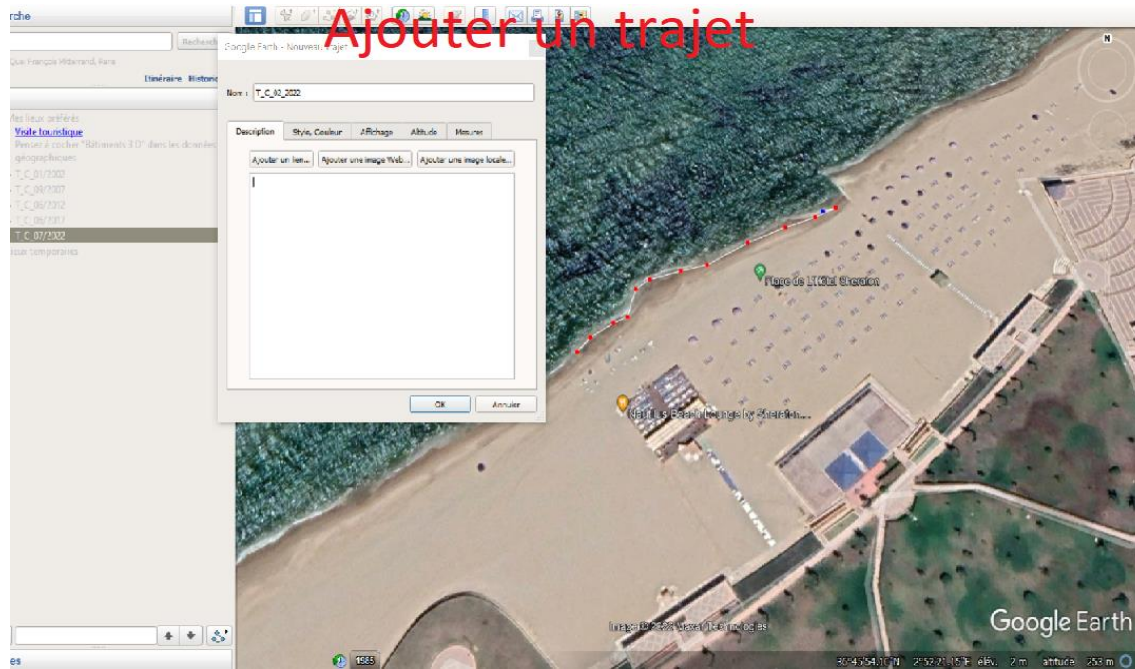


Figure 12: Digitalisation du trait de côte en utilisant l'extension de Google Earth Pro

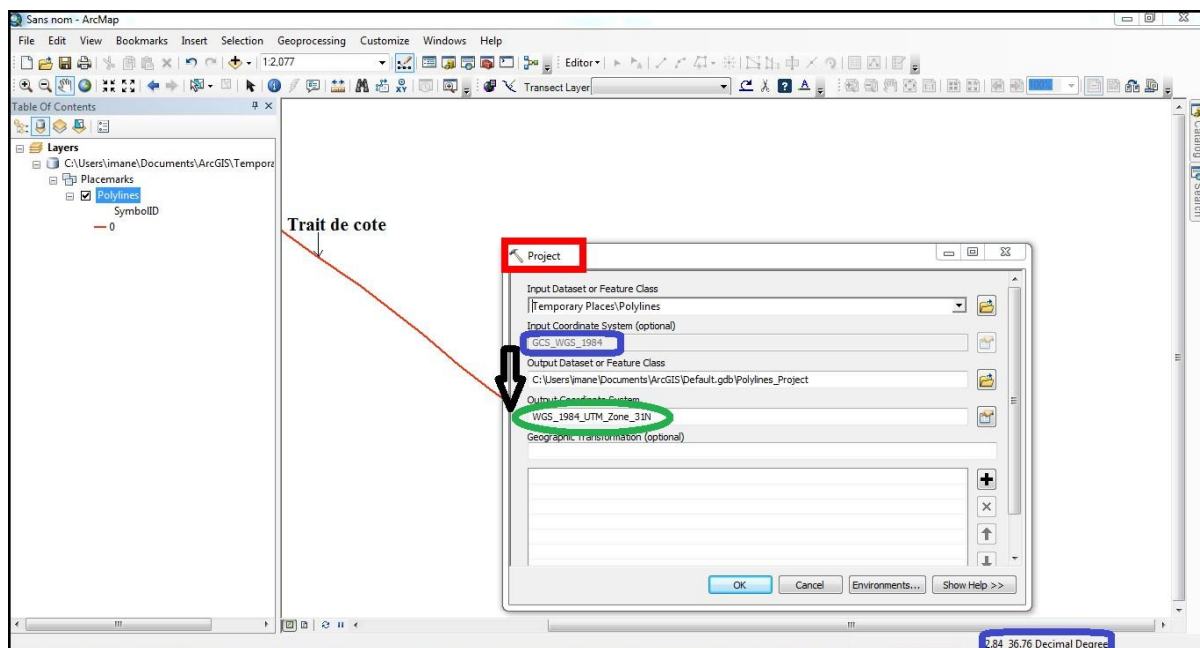


Figure 13: Projection du trait de côte en utilisant l'outil d'ArcGIS

Les traits de côte enregistrés en KML dans Google Earth Pro ont été intégrés dans ArcGIS puis converti 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 projetés dans un autre système de coordonnées WGS84_UTM à l'aide de l'outil 'Project'

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Pour les deux photographies aériennes, nous avons utilisé le logiciel SIG, qui est ArcGis 10.5 afin de digitaliser le trait de côte

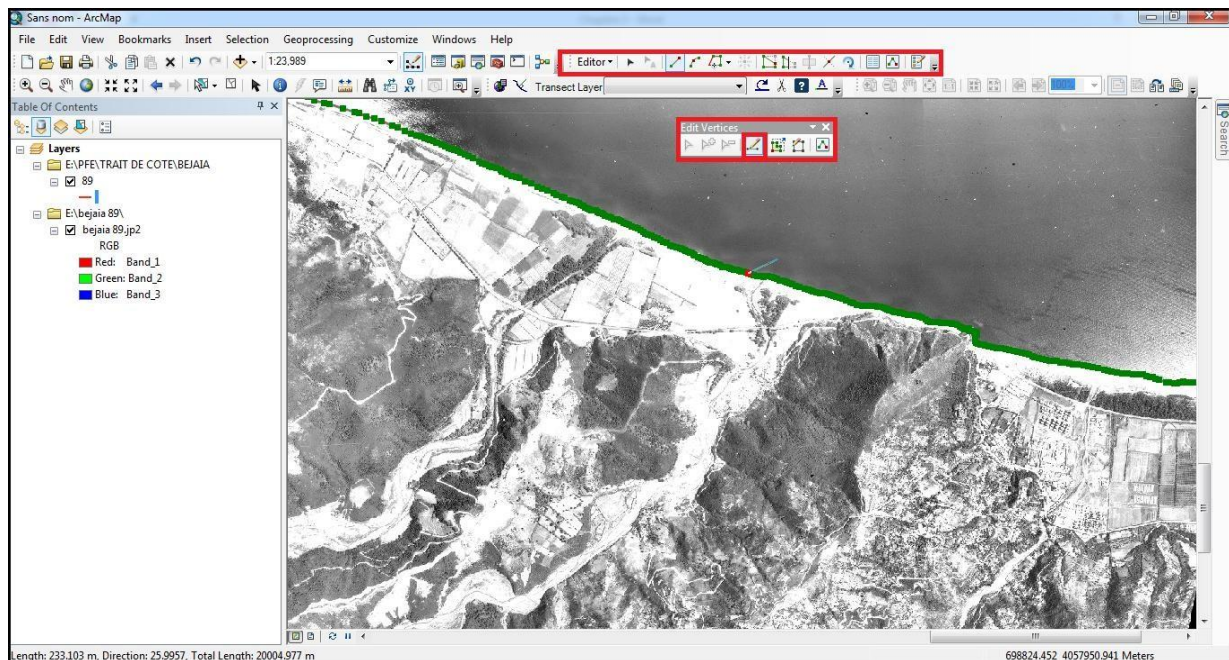


Figure 14: Digitalisation du trait de côte sous ArcGIS

4.2. 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 ...), 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

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Type géométrique (une ligne).

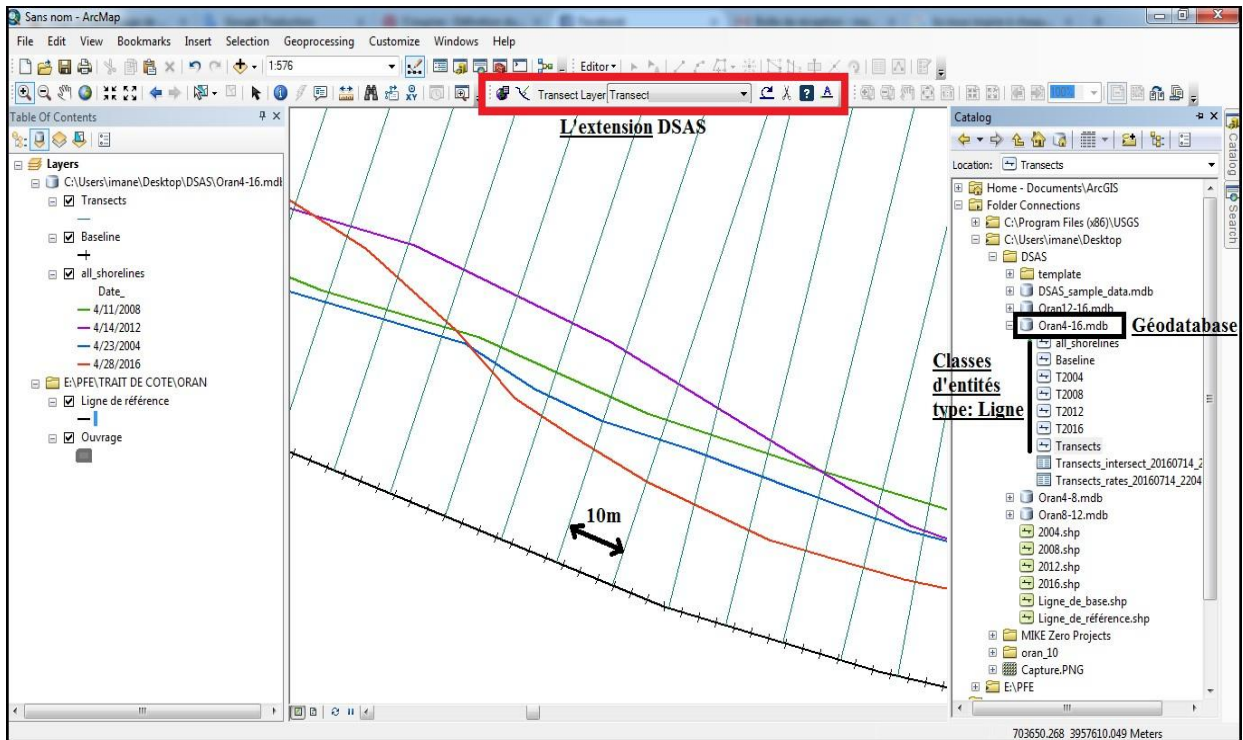


Figure 15: Les données créées dans ArcCatalog et ArcMap (ArcGIS10.5)

A ; Géodatabase et classes d'entité créés dans ArcCatalog

B ; échantillonnage des traits de côte digitalisés, ligne de bases et transects créés dans ArcMAP

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

L'emploi de cet 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....).

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

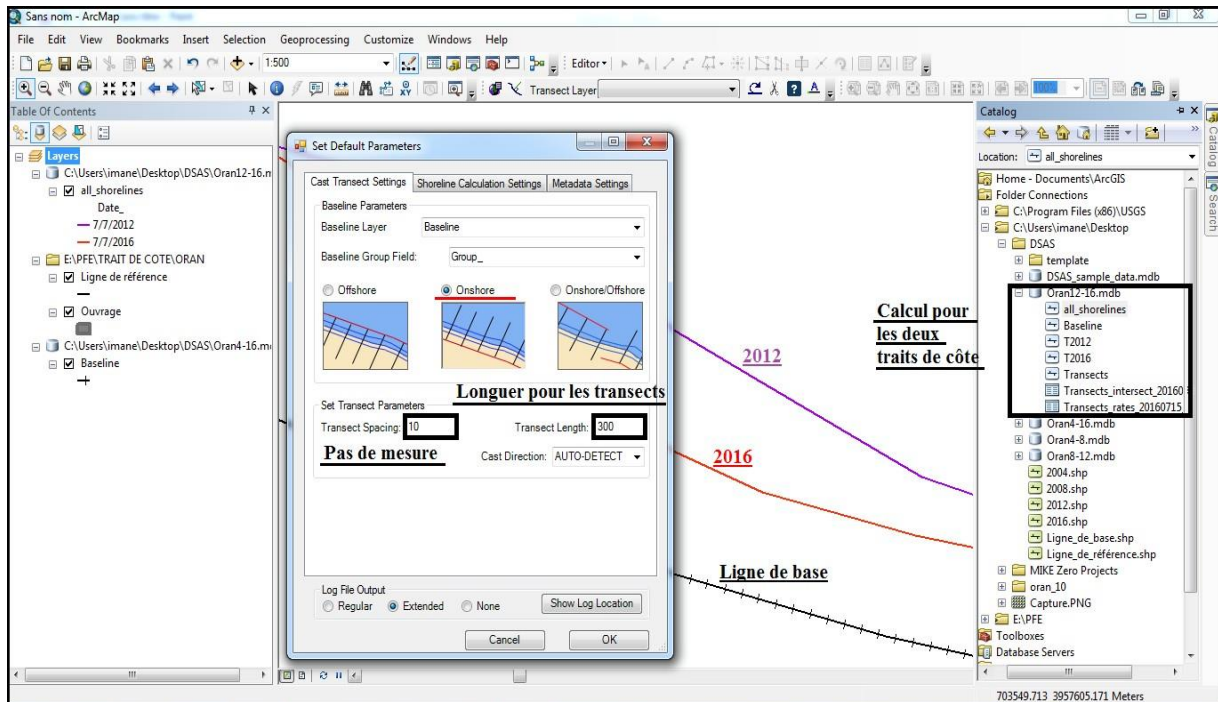


Figure 16: le concept du DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sous ArcMAP

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 deux, au moins, sont à retenir (Figure ...).

Le *Net Shoreline Movement* (NSM) est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne.

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.....), 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).

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

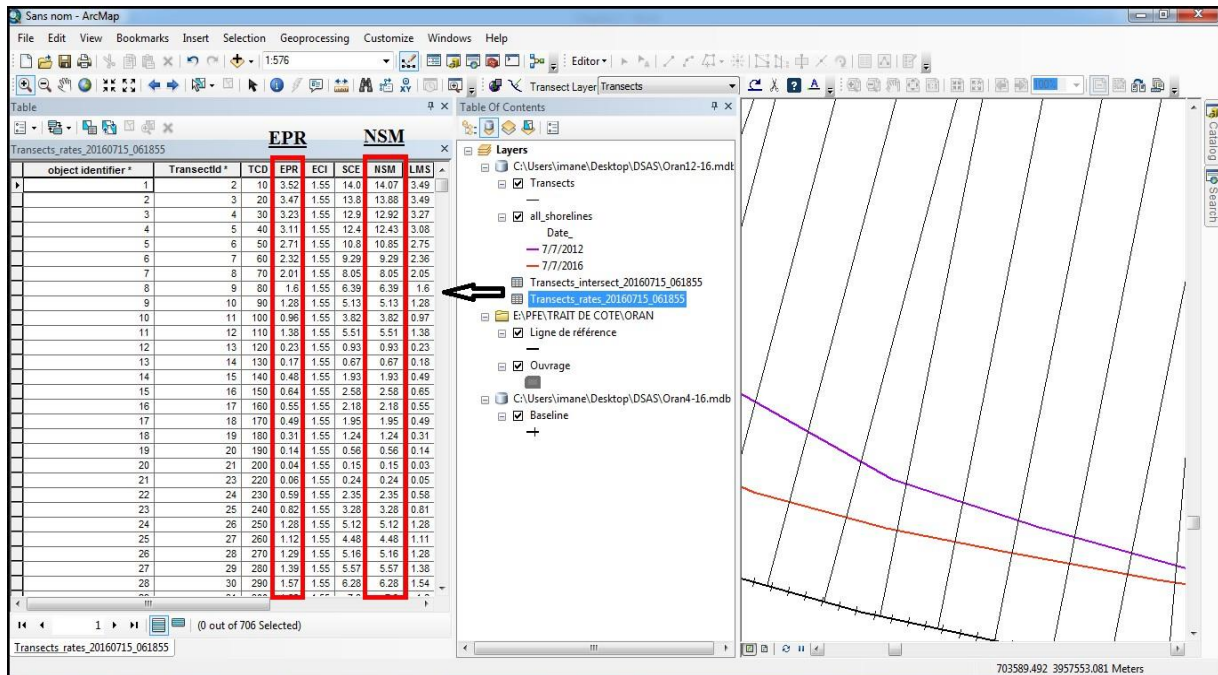


Figure 17:: La table Attributaire issue lors du traitement sous ArcMAP

II. Etude de la réfraction de la houle :

Lorsqu'une vague s'approche de la côte, les crêtes des vagues ont tendance à s'aligner sur les lignes d'iso profondeur (isobathe), ce phénomène de réfraction est généralisé à toutes les ondes qui se propagent dans un milieu hétérogène à évolution lente. L'étude de ce phénomène permet d'estimer avec une bonne approximation les caractéristiques des vagues (hauteur, période et direction) dans la zone étudiée sur la base des caractéristiques des vagues en mer. Les résultats de l'évaluation des caractéristiques des vagues pour la côte serviront comme données d'entrée pour le calcul et le dimensionnement des structures marines. La propagation des ondes entre le large et la côte, étudiée avec le logiciel MIKE21 est basée sur des données bathymétriques issues des cartes marines du SHOM et de la bathymétrie au sol.

1. Principe de calcul de la réfraction de la houle :

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

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large}}$$

K_r : coefficient de réfraction de la houle

H_s : la hauteur significative des houles (m)

L'atténuation de l'énergie lorsque $K_r < 1$ (divergence des vagues).

La conservation de l'énergie lorsque $K_r = 1$ (propagation rectiligne des vagues).

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

La concentration de l'énergie lorsque $Kr > 1$ (convergence des vagues).

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique MIKE 21 pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction), en compte les phénomènes de :

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

2. Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3030 intitulée « carte septentrionale d'Afrique partie comprise entre Alger et Cherchell-échelle : 1/100720 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de juillet 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage du Club des Pins.

2.1. Données de houle au large

Elles sont prises du document de l'U.S. Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observations » (S.S.M.O tome II, Zone Algiers (1963-1970).

Les données sont statistiquement traitées afin de déterminer les fréquences d'apparition des houles par direction et période :

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée.

Les houles de fortes amplitudes ($>10S$), ont une probabilité d'apparition relativement faible.

Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes

Tableau 4: Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude

Période	Direction de la houle au large			
	N 270°	N 315°	N 360°	N 45°
6s	Hs =1,19m	Hs =1,10m	Hs =1,00m	Hs =1,09m
8s	Hs =2,67m	Hs =2,64m	Hs =2,67m	Hs =2,56m
10s	Hs =5,54m	Hs =4,53m	Hs =4,92m	Hs =5,05m

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Tableau 5:Caractéristiques des tempêtes qui ont frappes la plage de club des pins entre 2001-2008

Date	Hs (m)	Direction (N°)	Tp (s)
11/11/2001	5,9	354	10,3
31/01/2003	5,9	346	10,5
30/12/2004	5,5	26	11,6
19/03/2008	5,0	26	10,5

3. Choix du secteur angulaire

Le secteur angulaire est choisi en fonction de la configuration géographique du site ainsi que par le secteur des houles les plus fréquentes selon les données SSMO.

Pour cette étude, quatre directions ont été prises en compte d'après les données des tableaux de fréquence des houles au large par direction et angle d'incidence par rapport à la zone d'étude :

Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N)

Deux directions de houle à incidence oblique (270°N, 360N)

III. Etude bathymétrique :

1. Mode de mesure bathymétrique :

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

Le récepteur GPS Real Time Kinematic (RTK) peut mesurer un point avec une précision inférieure à cinq centimètres (<5 cm). Cette précision verticale est utilisée pour déterminer les corrections de niveau d'eau (corrections de marée). Pour réaliser les essais bathymétriques, le matériel utilisé consistait en une embarcation équipée d'un caisson métallique et d'un support vertical, sur lequel se trouvent un transducteur sonar à la base et une antenne GPS sur la tête. Le sondeur calcule la profondeur à partir des mesures effectuées par le transducteur, le résultat de ces deux opérations conduit à la connaissance des coordonnées du point bathymétrique mesuré. Ces données fournies par le LEM ont été utilisées avec le logiciel MIKE pour créer les cartes bathymétriques

2. Mode de mesure du sonar latéral :

Le sonar latéral est un moyen d'utilisation qui fonctionne en émettant des ondes acoustiques à travers un transducteur remorqué par un bateau. Ces ondes se propagent vers le fond de part et d'autre du bateau jusqu'à ce qu'elles heurtent un obstacle (fond ou autre). La réflexion des ondes

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

s'effectue dans des directions différentes, mais seule l'onde réfléchi selon le même axe que l'onde incidente est reçue par le transducteur qui fait également office de récepteur. Le signal de rétrodiffusion est affiché sur l'enregistrement sous forme de lignes juxtaposées successives suivant le mouvement du navire. Cela donne une image comparable à une photo en diagonale du fond qui aurait été prise sous un éclairage en contre-plongée. Par conséquent, le sonar à balayage latéral fournit des informations importantes sur la nature du fond à travers l'intensité de l'écho réfléchi et sa morphologie. Des mesures ont été effectuées le long de 41 profils parallèles distants de 20 m sur une longueur totale de profil de 50 km à travers le LEM à l'aide du sonar C-MAX 2 et du GPS cinématique en temps réel (RTK), qui permet le positionnement du levé en utilisant la même méthodologie que la mesure bathymétrique.

3. Logiciel utilisé :

MIKE 21 : est un système de modélisation complet pour la simulation des phénomènes hydrauliques et liés à l'hydraulique dans les estuaires, les eaux côtières et les mers. Il peut être appliqué à tout écoulement à surface libre bidimensionnel où la stratification peut être négligée. Le système a une large gamme d'applications techniques et environnementales dans les domaines de l'hydraulique côtière, de l'océanographie, de la dynamique des vagues, des ports, des rivières, de l'hydraulique environnementale et des processus sédimentaires. Un module complet de prétraitement et de post-traitement permet l'analyse et la présentation graphique des données et des résultats du modèle, qui sont stockés dans une base de données simple. Un système de menu flexible et interactif facilite la gestion des données, la saisie du modèle et l'exécution du programme. Il fonctionne sur les postes de travail Unix, y compris les PC avec le système d'exploitation Sco Unix.

Modèle numérique hydrodynamique (Mike 21/3 HD) : modèles hydrodynamiques en 2D ou en 3D, respectivement. Chaque modèle peut être utilisé seul ou en mode couplé avec un ou plusieurs modèles de transport de matières dissoute et/ou particulaire. Un exemple de couplage typique en zone côtière est celui du modèle Mike21-HD avec le modèle de réfraction de vague Mike21-SW et le modèle de transport de sable Mike21-ST et cela pour l'étude du transport de sable autour d'un port. Le choix d'un modèle en 3D (Mike 3) est conseillé pour un environnement stratifié en densité (ex. estuaire) et/ou dans un domaine semi-renfermé (ex. lagune, baie, etc.) où la direction des courants de gradient en profondeur est généralement opposée à celle des courants de dérive en surface causés par les vents.

Sur le plan vertical, le modèle Mike 3-HD offre une version non-hydrostatique qui permet un meilleur calcul des vitesses verticales dans des régions où celle-ci deviennent significative. Un exemple est celui de la remontée rapide d'eau douce en milieu marin à partir d'une source située sur le fond ou d'un diffuseur sous-marin d'eaux usées. (**Dahmani A.2019**),).

Traitement des données :

Géoréférencement de la carte marine dans le système de projection (**WGS_1984_UTM_Zone_31N**), sur Arc Gis.

Création des shapefiles ligne pour digitaliser les isobathes et le trait de côte.

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

Conversion des shapefiles ligne on point, pour les isobathes et pour le trait de côte. On ajoute les champs X, Y, Z, dans les tables attributaires.

Convertir les tables attributaire en fichier Excel, puis en texte.

A ce stade on vient de créer un fichier X, Y, Z.

Création d'une Mesh de la zone d'étude la baie de Bou-Ismaïl par l'utilisation de l'extension « Mesh Generator ».

Les étapes de la création de carte bathymétrique sont résumées dans la figure suivante :

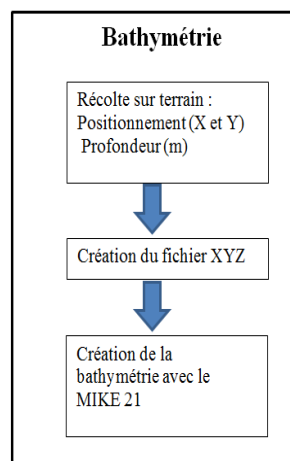


Figure 18: Organigramme de création d'une carte bathymétrique

IV. Etude sédimentologie

Analyse granulométrique selon NF P 18-560 (Septembre 1990) La taille des particules est la première priorité des sédiments, ce qui les soumet à l'érosion, au transport et au dépôt (Blott et Pye, 2001). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur l'origine, l'historique du mouvement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (Friedman, 1979 ; Bui et al. 1990).

1. Positionnement des points de prélèvement

Pour effectuer l'analyse granulométrique 49 échantillons ont été prélevés au niveau de la zone d'étude : 39 échantillons en mer à l'aide d'une benne preneuse du type Van Veen, et 10 sur la plage. Les échantillons prélevés dans des sacs en plastique étiquetés sont ensuite analysés au laboratoire pour enfin établir une carte de répartition spatiale.

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse



Figure 19: Situation de stations de prélèvement (source Mémoire ENSSMAL 2020°

2. Méthode d'analyse au laboratoire

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

Les masses des différents refus ou celles des différents tamis sont rapportées à la masse initiale de matériau, les pourcentages ainsi obtenus sont exploités, soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique (courbe granulométrique).

Le procédé de l'analyse granulométrique se fait selon les étapes suivantes :

Sécher l'échantillon à l'étuve pendant 24h à 105°C

Peser 200g de l'échantillon

Rincer les 200g de l'échantillon à l'eau dans un tamis à 50 µm afin d'éliminer la fraction fine

Remettre l'échantillon sécher à l'étuve pendant 24h à 105°C

Une quantité de 180g de sédiment pour chaque station est tamisé pendant 10 min par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 4000- 3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40.

Peser le refus de chaque tamis et calculer le pourcentage pondéral pour chaque classe granulométrique

NB : les prélèvements d'échantillons et le tamisage a été effectués par le LEM

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

3. La fraction fine :

L'étude de la fraction fine porte sur l'évaluation du pourcentage de la fraction inférieure à 50 µm de chaque 200g d'échantillon par station, pour ensuite établir une carte de répartition des pélites dans la zone d'étude de Club des Pins.

4. La fraction grossière :

Les pourcentages de tamis cumulé ou ceux des refus peuvent être présentés soit sous forme de tableau (exploitation statistique), soit le plus souvent sous forme de courbe.

Pour tracer de la courbe : il suffit de porter les divers pourcentages des tamis ou des différents refus cumulé pour obtenir une courbe semi-logarithmique tel que :

En abscisse : les dimensions des mailles, sur une échelle logarithmique.

En ordonnée : les pourcentages sur une échelle arithmétique.

A partir de la courbe granulométrique on peut extraire les paramètres de position utilisés dans le calcul des différents indices

4.1. Les paramètres de position :

- **Les quantiles :**

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

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

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

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

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

- **Le mode granulométrique :**

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

- **Les indices granulométriques :**

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

Il donne une idée de l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen. Cet indice nous renseigne sur l'importance du tri lors de transport et de la sédimentation, il est défini par l'équation suivante :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}}$$

$S_0 < 2$ le sédiment très bien classé

Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

$2 < S_0 < 2,6$ le sédiment moyennement classé

$S_0 > 2,6$ le sédiment mal à très mal classé

- Indice d'asymétrie (SK ; Skewness de Trask)

Il indique un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers, il est défini par l'équation suivante :

$$S_K = \frac{Q_{25} \times Q_{75}}{D_{50}^2}$$

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

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

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

5. Analyse modale

Le mode est le diamètre du tamis qui correspond à la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon. (Rivière. A, 1977) distingue trois courbes :

Unimodale : qui représente une dominance d'un seul stock sédimentaire.

Bimodale : qui représente la dominance de deux stocks sédimentaires.

Plurimodale : qui représente la dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

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

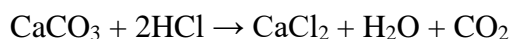
6. Analyse calcimétrique

La calcimétrie consiste à mesurer la teneur en carbonates de Calcium CaCO_3 présent dans le sédiment dans le but d'obtenir des informations sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques ainsi que connaître la fraction biogène du sédiment, pour avoir une idée sur l'origine du sédiment.

L'étude calcimétrique a été effectuée sur 7 échantillons de sédiments superficiels prélevés en mer :

6.1.Principe de la méthode

Le principe consiste en une attaque de l'échantillon par de l'acide chlorhydrique (HCl) de concentration relativement élevée selon la réaction suivante :



Chapitre II : Matériels et méthodes d'analyse

La décomposition du calcaire après attaque du sédiment à l'acide Chlorhydrique implique une diminution de la masse de l'échantillon, la différence entre la masse initiale et la masse après l'attaque à l'acide correspond à la masse des carbonates contenus dans l'échantillon.

6.2.Mode opératoire

Peser 20g du sédiment de chaque station dans des Erlenmeyer,

Injecter de l'acide Chlorhydrique jusqu'à extinction de l'effervescence,

Laisser décanter,

Aspirer le surnage contenant le dichlorure de calcium à l'aide d'une seringue,

Rincer à l'eau et aspirer le surnage une deuxième fois,

Sécher les échantillons à l'étuve,

Repeser les échantillons

Chapitre III : Résultats et discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

I -Etude de réfraction de la houle

1-Maillage :

Pour présenter les bases de données bathymétriques en données numériques 2D détaillées, on a eu recours au module (Mesh Generator) pour avoir un format souple de maillage, ce module consiste à importer les données du trait de côte, notamment les bathymétries pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation. Nous pouvons par la suite utiliser les options d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats.

Pour construire la bathymétrie on doit d'abord établir un système de projection, ce choix influence uniquement le format des résultats et de l'affichage, le système utilisé est le UTM WGS84 ZONE 31, tous les outputs sont enregistrés sous le format « *.XYZ ». (DHI 2014).

A l'aide de ce module nous pouvons importer le fichier « *.XYZ » qui correspond au trait de côte ou le contour Limite du maillage.

Cependant, la vitesse de calcul pour les triangulations est proportionnelle à la taille du plus petit élément du maillage, le modèle MIKE21, choisi le pas de temps pour assurer la condition de stabilité CFL inférieure à 1 pour tous les éléments de la mèche.

Pour ce cas d'étude la mèche générée est construite de 23000 éléments pour 100000 nœuds. Le générateur de maillage donne des possibilités à l'égard de deux interpolations pour les éléments triangulaires. Les deux routines d'interpolation sont possibles : le voisin naturel et l'interpolation linéaire. Elles sont indépendantes du type de maillage utilisé.

Pour notre cas d'étude on a utilisé l'interpolation du type le voisin naturel.

Après la vérification que les arcs du trait de côte sont bien fermés on passe au données bathymétriques « *.XYZ » qui sont importées dans le fichier du maillage.

Chapitre III : Résultats et discussions

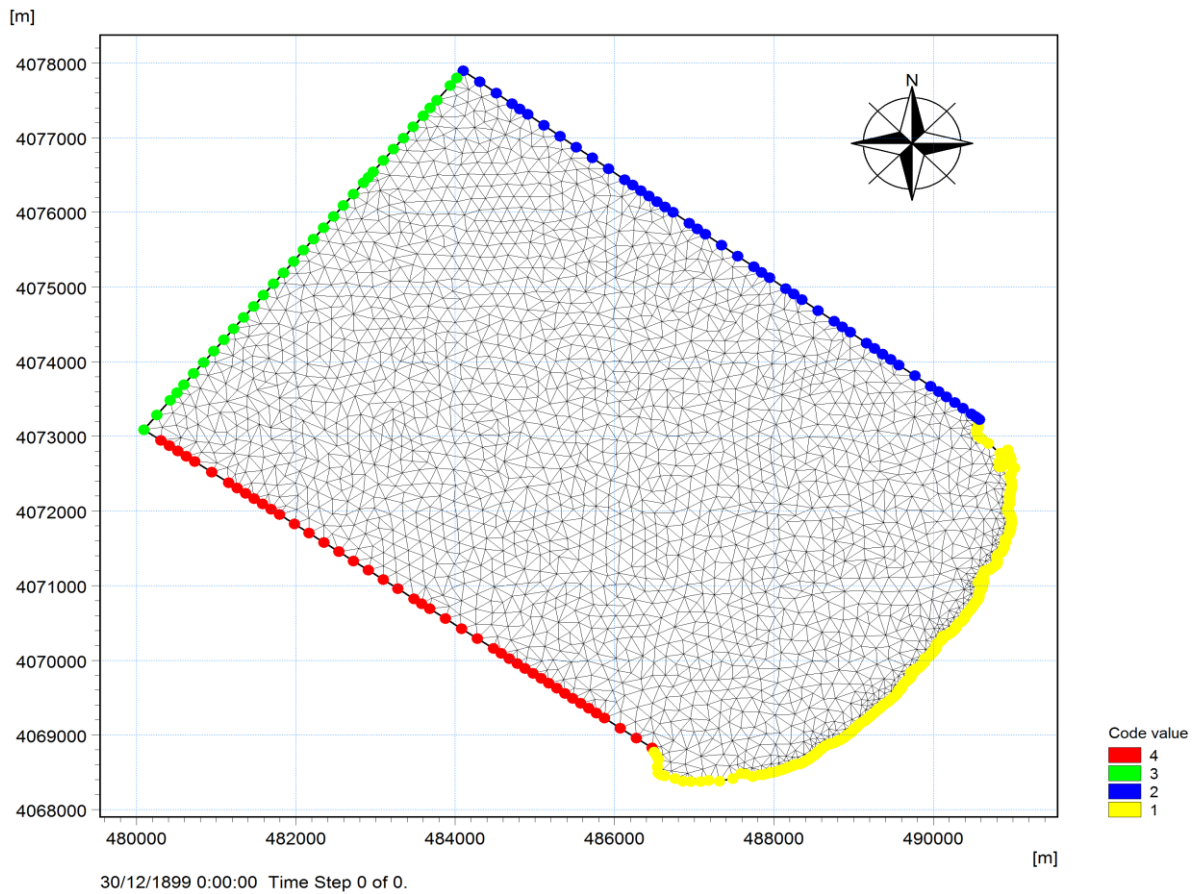


Figure 21: Maillage du modèle régionale (club des pins sisi fredj)

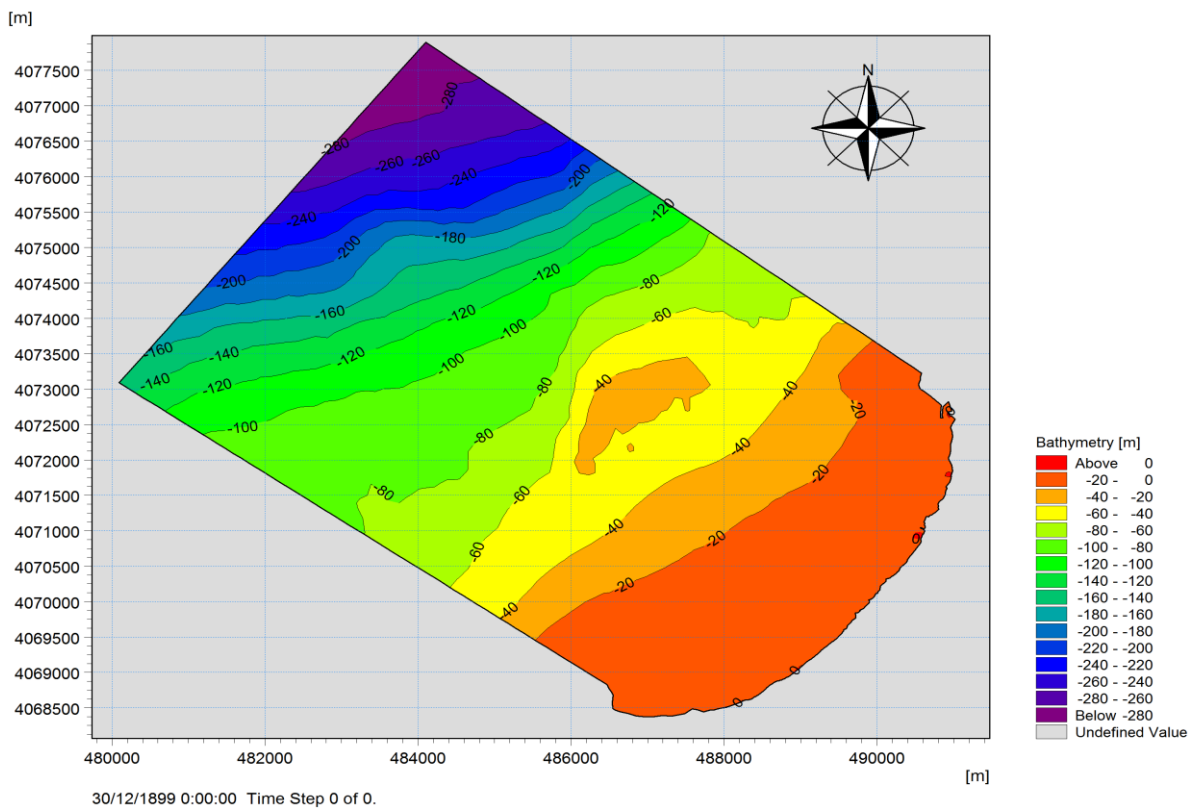


Figure 22:carte bathymétrique de la zone sisi fredj (méche par mike 21)

Chapitre III : Résultats et discussions

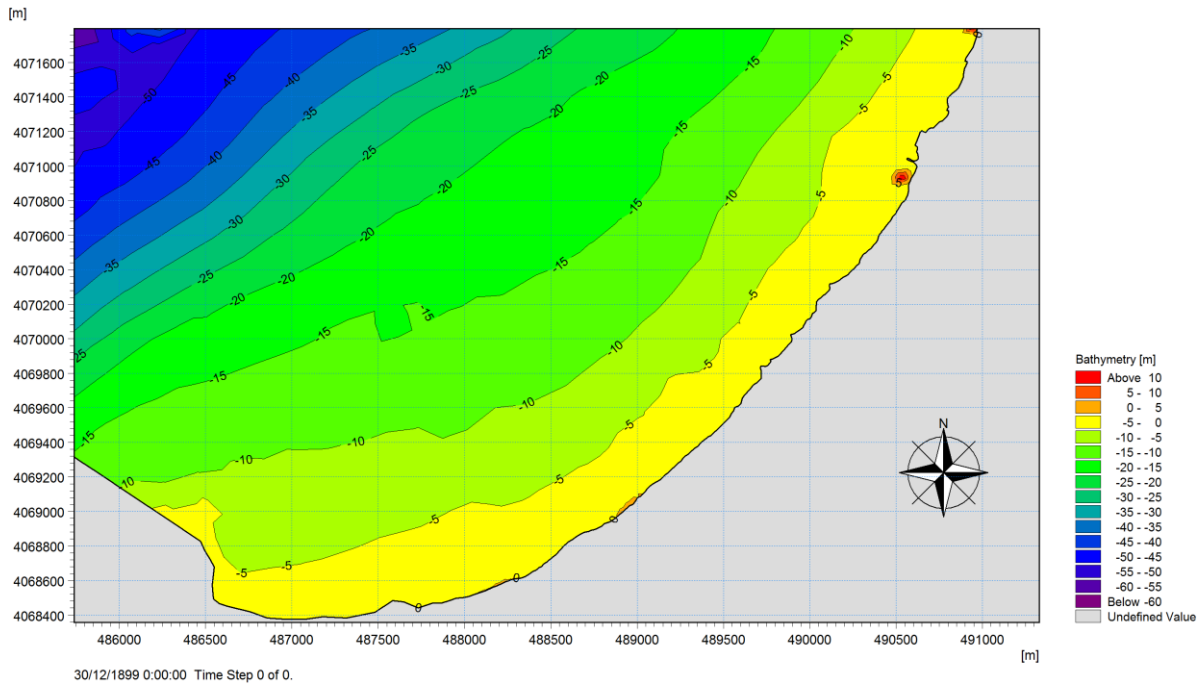


Figure 23: carte bathymétrique de la zone club des pins

Dans cette partie nous allons interpréter les résultats obtenus dans la partie précédente afin de mieux décrire la morphologie sous-marine de la zone d'études et les critères qui vont être expliqués ultérieurement, l'interprétation bathymétrique a été divisée en deux parties.

D'après les cartes bathymétriques de la baie d'El djamila, qui couvre une zone s'étendant de Cap Acrata à l'est, jusqu'à cap sidi fredj à l'ouest. Nous avons pu constater que les deux zones morphologiques mises en évidence selon la répartition des isobathes sont les suivantes :

- **La zone au large** : montre des isobathes généralement régulières entre -90 et -280 m, parallèles au rivage, un fond régulier et une pente douce en réalité. Cela se traduit par une faible activité du fonds par rapport aux zones.
- **La zone côtière** : présente des isobathes plus ou moins irréguliers et hétérogènes et irréguliers bien serrés et qui varie entre -0 et -80 m avec une morphologie irrégulière causée par la présence des ouvrages de protection tout au long de la zone côtière et la zone cependant la nature du fond marin dépend principalement des fluctuations hydrométéorologiques.

Chapitre III : Résultats et discussions

2. Réfraction de la houle :

Tableau 6 : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle

Direction de la houle	de la	Amplitude de la houle Hs (m)	de la	Amplitude de la houle à (-20) m	Coefficient de réfraction	de
360° N	Nord	4.92		3.4	0.69	
45° N	Nord-Est	5.05		3.3	0.65	
315° N	Nord Ouest	4.16		3.4	0.81	
270° N	Ouest	5.54		4.6	0.81	

L'étude de la houle à la côte réalisée par un modèle de transformation numérique de la houle (Mike 21 SW), conçu pour fournir notamment des conditions de houle à des points de référence sur le site, qui seront utilisées comme données d'entrée à d'autres modèles numériques, pour le dimensionnement de l'ouvrage de protection maritime. Chapitre II Etude hydro morphologique 33 Les résultats des simulations numériques représentés ci-dessous, permettent de calculer le coefficient de réfraction (k_r) pour chacune des directions retenues, pour une houle moyenne ($T = 10s$) et une profondeur de (-20m). Le coefficient de réfraction est défini comme suit :

$$k_r = \frac{H_s \text{ locale}}{H_s \text{ large}}$$

Chapitre III : Résultats et discussions

2.1.. Les houles au large de Direction Nord :

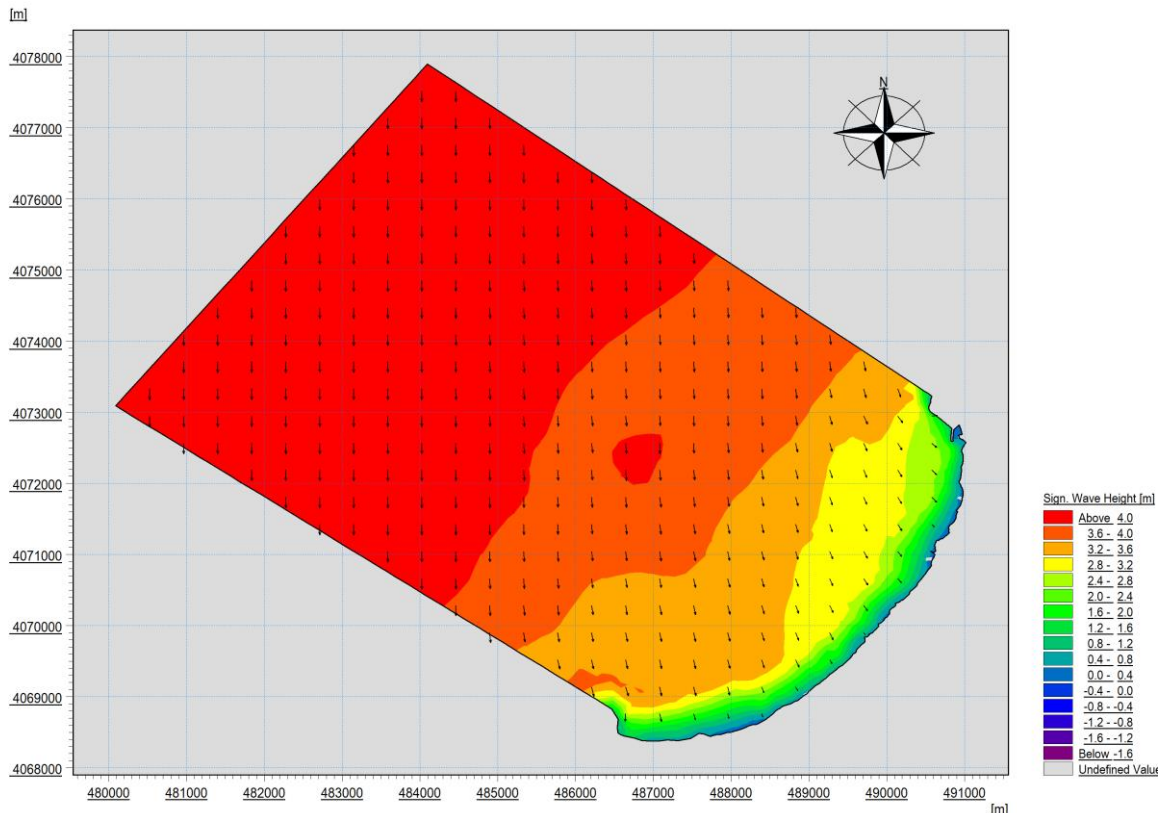


Figure 24: Réfraction de la houle pour une direction Nord 360 °N et une période de 10 s (koudiri zarzouni mike 21).

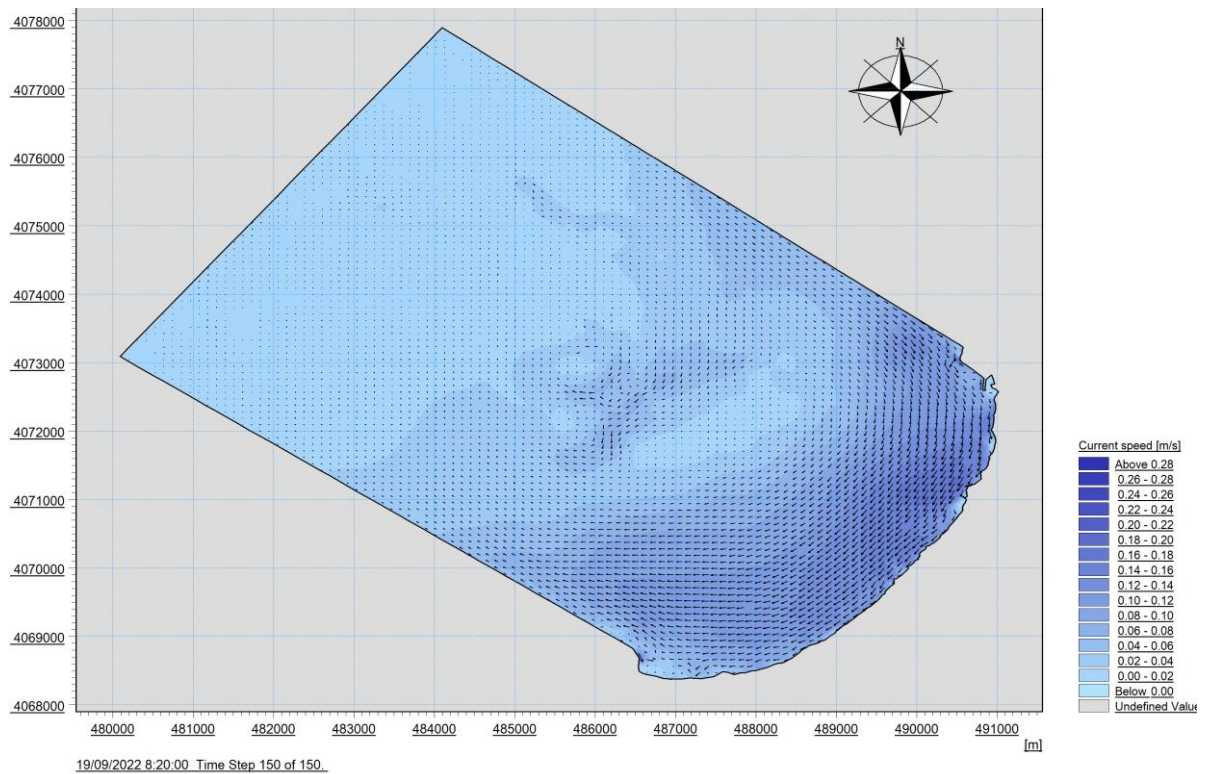


Figure 25: Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord.

Chapitre III : Résultats et discussions

Commentaire :

La figure présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et de période de 10 secondes cette propagation est faite de façon oblique

La houle atteint les 4 m au large lorsqu'elle se rapproche vers la côte la houle commence à se dissiper avec une hauteur significative de 0.4 à 0.8m. Ce qui engendre un courant de dérive de vitesse 0.28 m/s tout le long de la ligne de rivage

2.2. Les houles au large de direction Nord-Est :

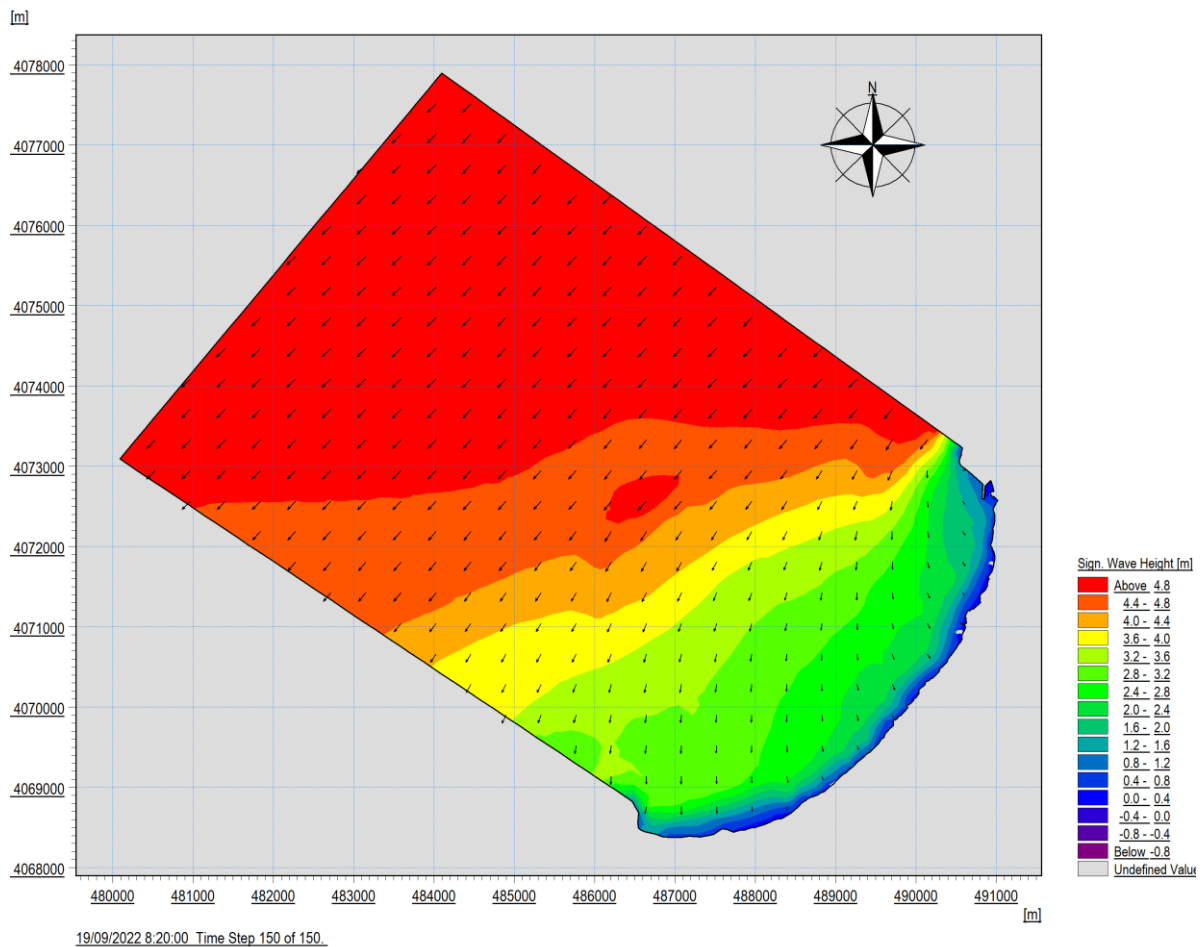


Figure 26: Réfraction de la houle pour la direction Nord Est 45°N et T=10s

Chapitre III : Résultats et discussions

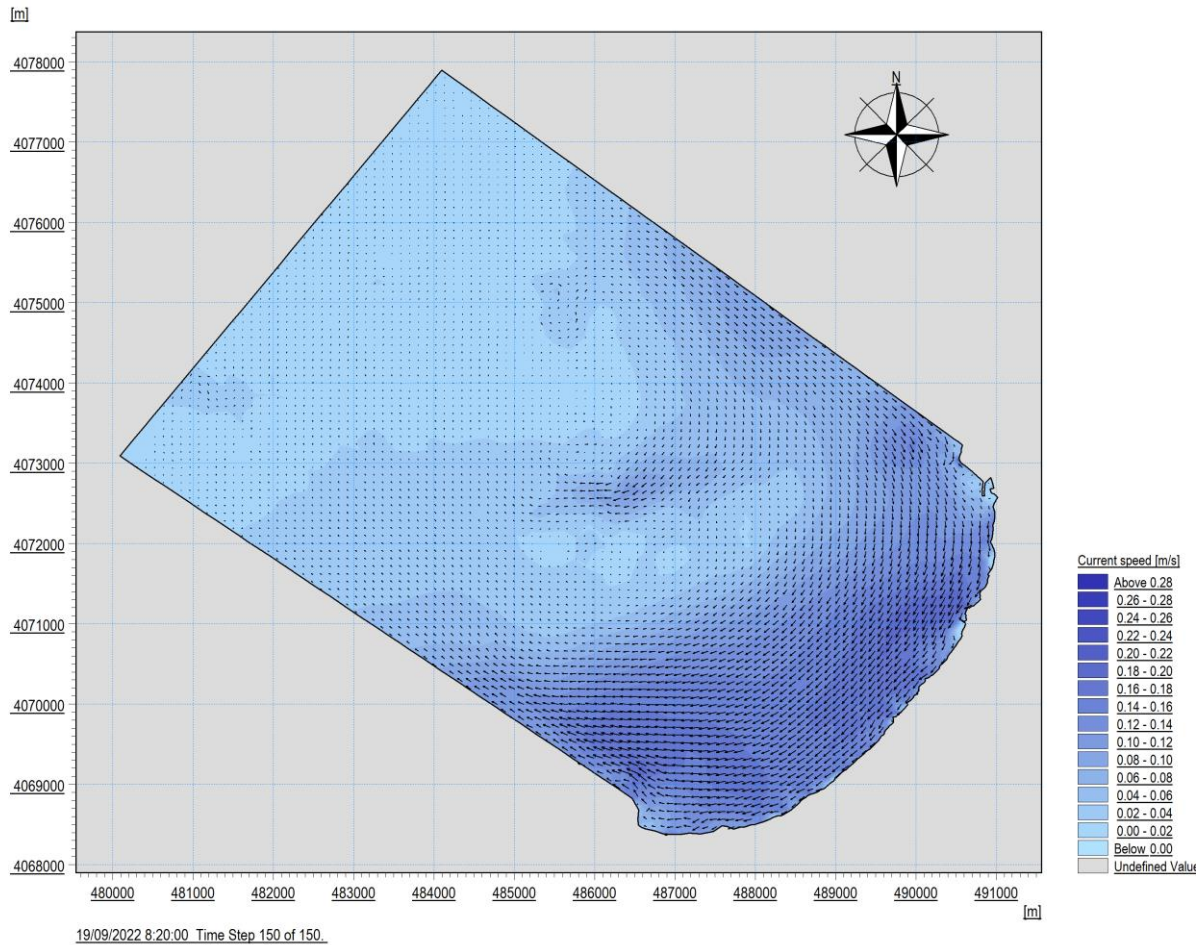


Figure 27: Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord-Est

Commentaire :

Les résultats d'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Est (figure 7) et de période de 10 secondes, montre que l'énergie de la houle diminue en allant vers la côte, avec un coefficient de réfraction en moyenne égal à 0,45 à 10m de profondeur, alors la houle ne conserve que la moitié de son énergie du large

La dissipation de l'énergie se présente par un changement de direction des orthogonales en direction Nord à Nord – Est, avec un angle moyen de 35° ce qui engendre un courant de dérive 0.28 m / s près de la ligne de rivage ce dernier se propage de direction régulière et une vitesse égale à 0.20 m/s

Chapitre III : Résultats et discussions

2.3. Les houles au large de direction Nord-Ouest :

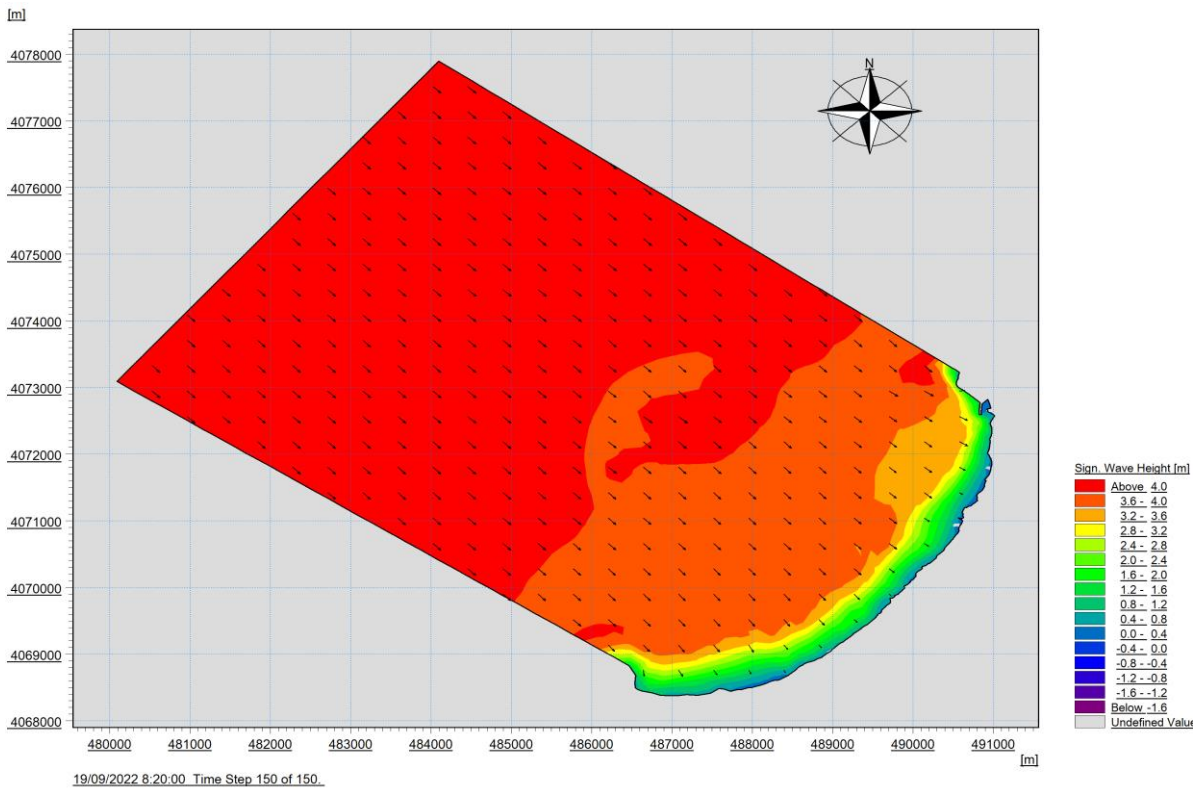


Figure 29: Réfraction de la houle pour une direction 315 °N et une période de 10 s (koudri ; zarzouni mike 21)

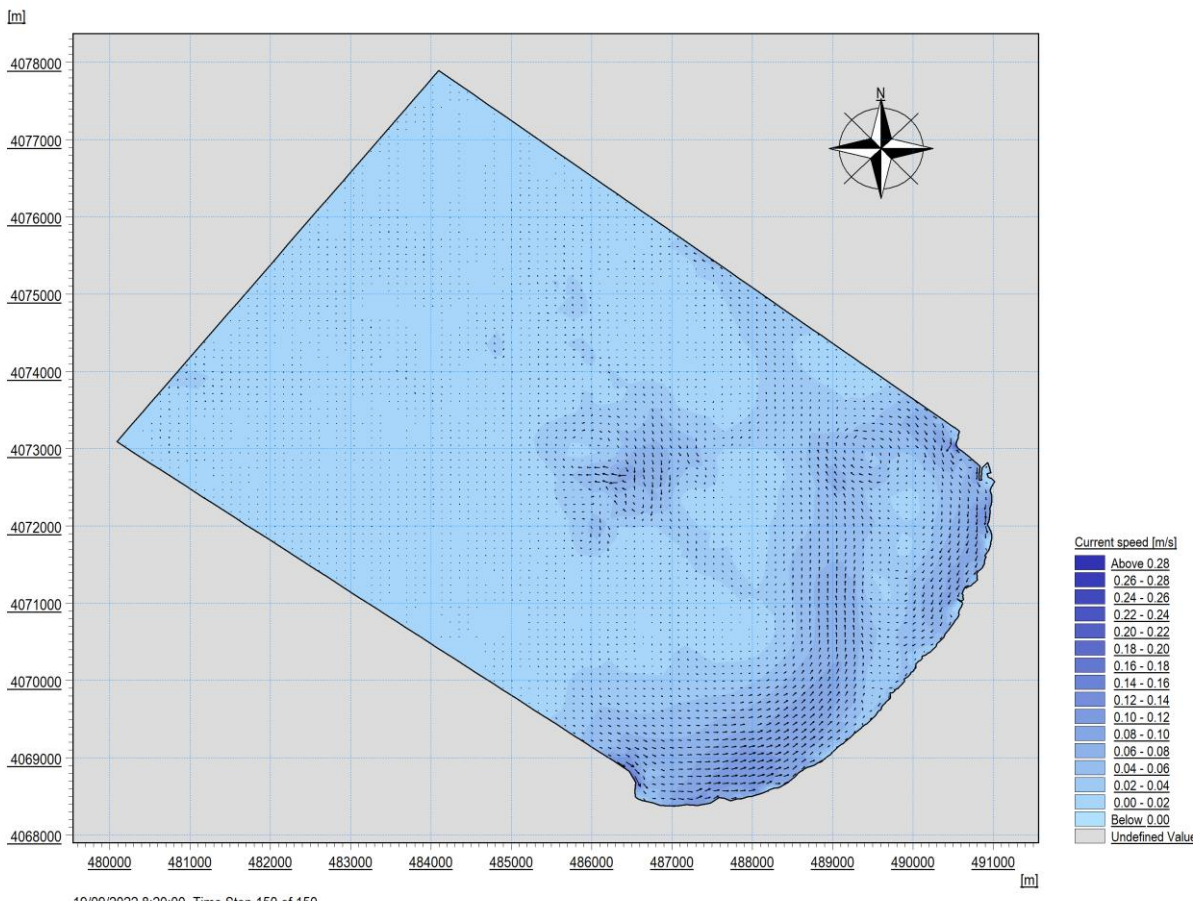


Figure 28: Résultats de la courantologie de la houle de direction Nord Ouest

Chapitre III : Résultats et discussions

Commentaire :

Pour le secteur nord-ouest l'étude de la réfraction pour une houle de période de 10 secondes la propagation est faite de façon perpendiculaire

Les houles perdent beaucoup de leur énergie les orthogonales en approchant du rivage de moyenne de 0.4m ; après avoir propagé de 4m tout le large

Ces houles atteignent la zone de Club des pins sans changer de direction

En terme d'énergie les houles sont beaucoup moins importante que les houles de direction ouest ce qui provoquent un courant de dérive de 0.6 a 0.8 m/s au long de ligne de rivage

2.4. Les houles au large de direction Ouest :

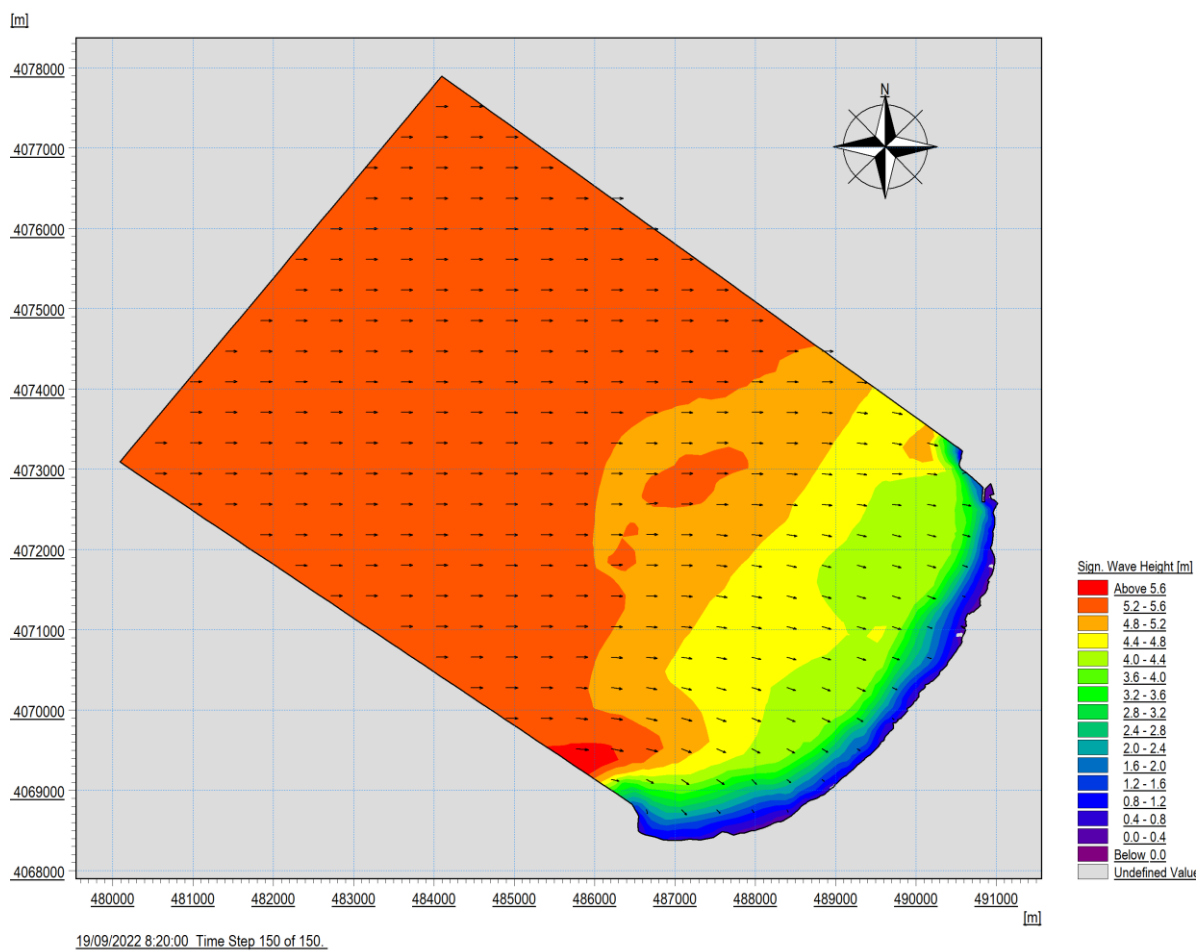


Figure 30: Réfraction de la houle pour la direction Ouest 270°N et T=10s (koudri et zarzouni)

Chapitre III : Résultats et discussions

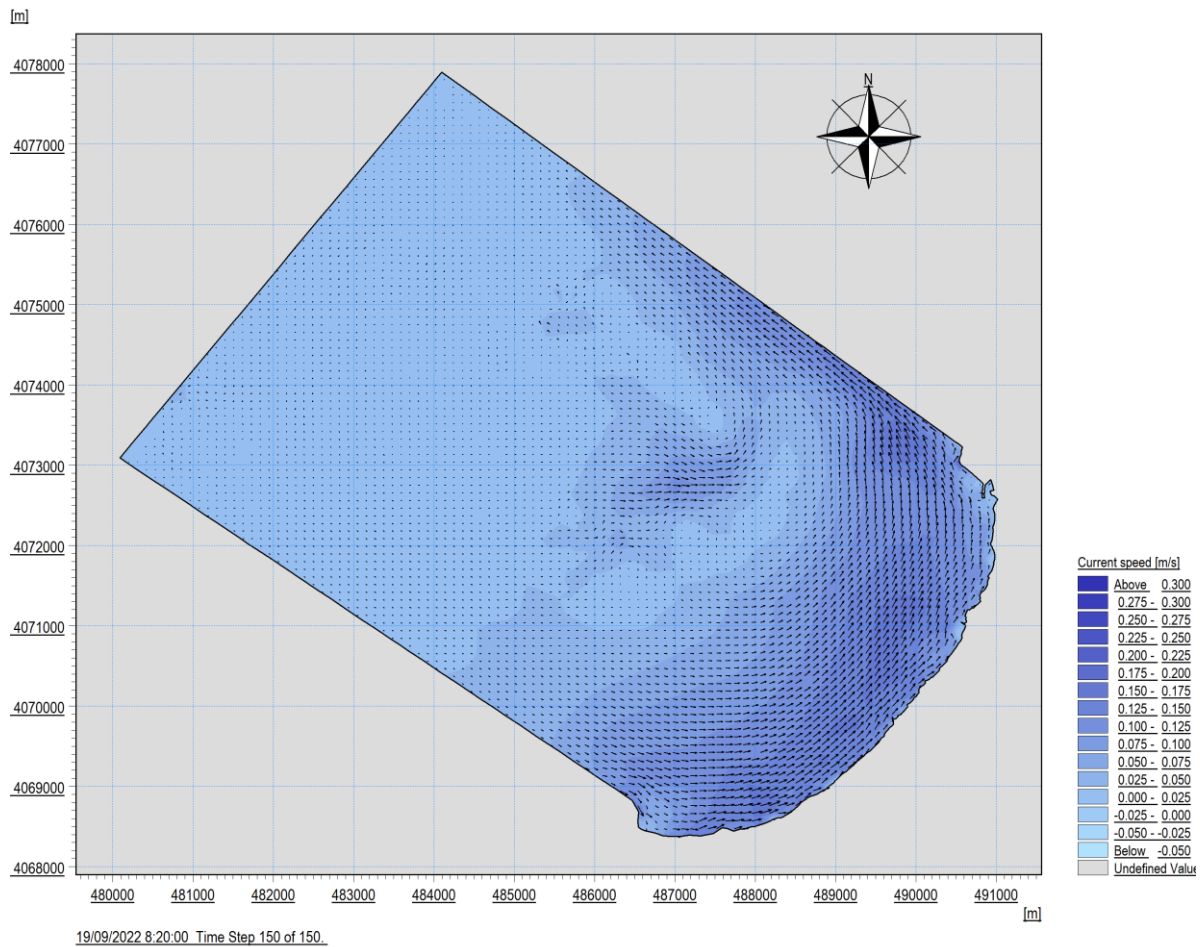


Figure 31:: Résultats de la courantologie de la houle de direction Ouest

Commentaire :

La figure présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Ouest et de période de 10 secondes cette propagation est faite de façon frontale ; le coefficient de réfraction est en moyenne 0.74 à 10 m de profondeur ; donc les houles ne perdent que peu de leur énergie en allant vers la côte

La dissipation de l'énergie se présente par le changement de direction des orthogonales en direction Nord-Ouest à Nord avec un angle moyen de 22° qui nous permet de dire que la direction Ouest est une direction pénalisante

La houle atteint les 5.6 m au large lorsqu'on se rapproche vers la côte la houle commence à se dissiper avec une hauteur significative de 0.4 à 0.8 m au ligne de rivage ce qui engendre un courant de dérive de vitesse 0.200 m/s

La direction pénalisante de notre zone est cette direction ouest car elle est plus influencée par ce dernier

II- Etude de la Bathymétrie :

1. Morphologie sous-marine :

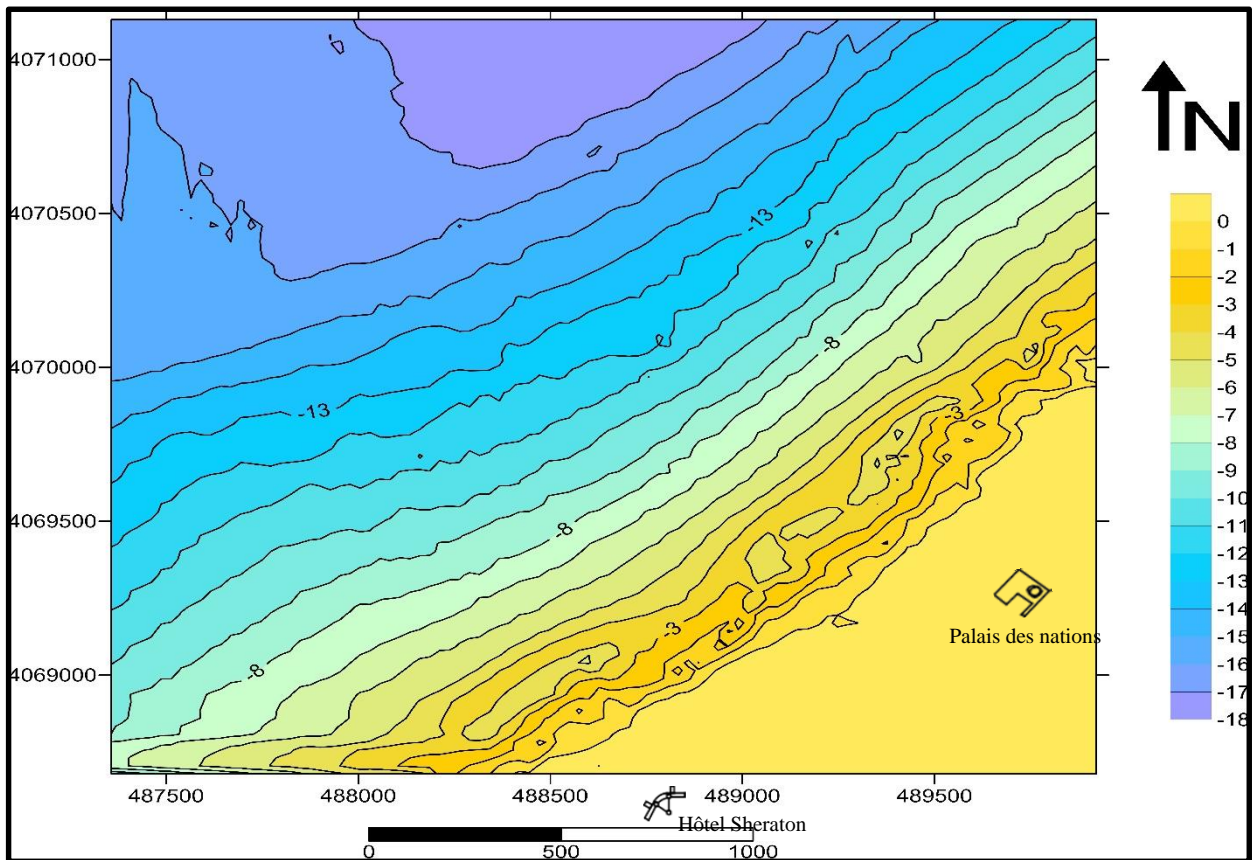


Figure 32:: carte bathymétrique de Club des Pins (LEM 2009)

Commentaire :

La carte bathymétrique présente des isobathes plus ou moins régulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous-marine est régulière jusqu'à l'isobathe - 4m, cependant, elle est marquée entre les isobathes -4 m et -3 m par la présence de barres régressives et des creux plongeants (fosses de lévigation), disposés parallèlement à la côte à des distances entre 300 et 700m du trait de côte, à des profondeurs entre -3 et -5m.

□ formation des barres sous-marines :

Dans les mers à faible marées et généralement en plage droite, il existe un état morphologique caractérisé par une morphologie sous-marine présentant une barre et une fosse disposées parallèlement au rivage.

Les barres sableuses sont le résultat des mouvements sédimentaires à proximité du fond dans les zones de déferlement des houles. Leur formation et déplacements se fait en fonction de la force et de direction des houles : lors des fortes turbulences, causés par les tempêtes et les vents locaux, le haut de plage et la dune se dégarnissent, les sables érodés s'accumulent dans la zone externe au déferlement, en formant une barre de déferlement et une fosse de lévigation. La barre, alimentée

Chapitre III : Résultats et discussions

par le courant de dérive littoral s'étend latéralement tout en restant parallèle au rivage. L'extension latérale de la barre est interrompue par la formation d'espace inter-barres causé par le courant de retour.

Elles constituent en effet la première ligne de défense contre la mer, en participant à la dissipation de l'énergie des vagues de tempête en provoquant leur déferlement au large. Elles sont de plus des réservoirs sableux importants dont les relations avec la dynamique du trait de côte sont encore mal identifiées en raison notamment de la rareté de longues séries de données (Stéphanian,2002)

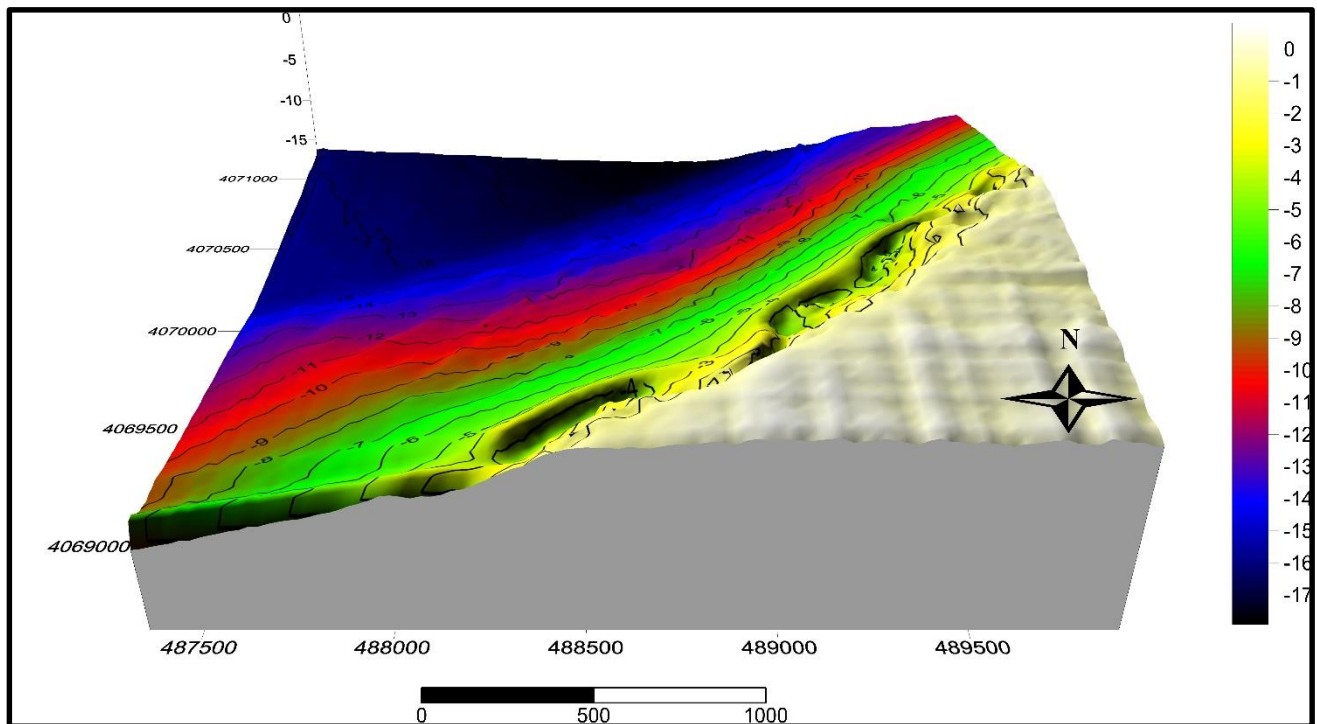


Figure 33:carte bathymétrique en 3D de Club des Pins

2. Profils bathymétriques :

Dans le but de mieux étudier les caractéristiques morphologiques sous-marines et mieux visualiser et comprendre l'évolution du fond de notre zone d'étude, on a tracé 8 profils sur la carte bathymétrique représentés sur (figure

2.1.Conclusion sur les résultats de l'étude de la réfraction :

Les houles qui ont une grande influence et plus d'énergie sur la zone de Club des Pins sont les houles de direction Ouest, elles sont responsables de transit littoral et vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

Les houles frontales de direction Nord-Ouest sont responsables du transport sédimentaire dans le profil et elles atteignent la zone de Club des Pins sans se réfracter

Chapitre III : Résultats et discussions

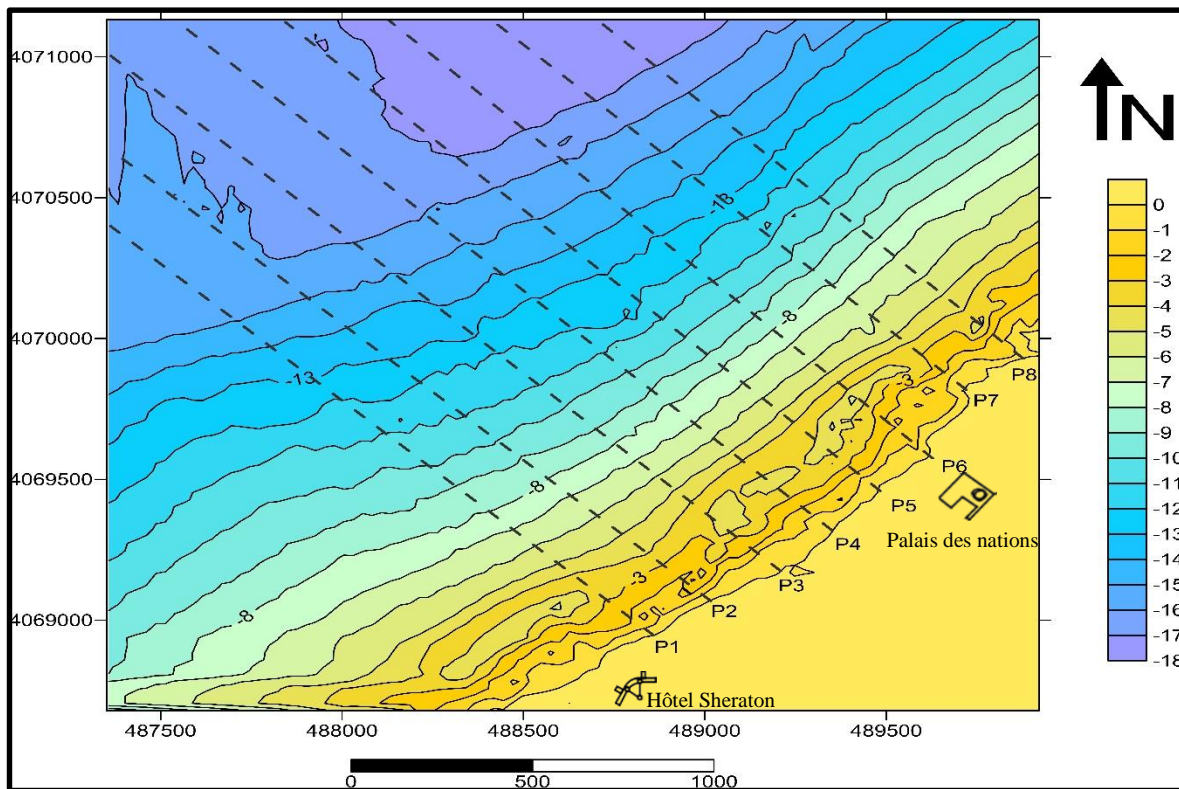


Figure 35: Carte bathymétrique et les profils traces dans le secteur de Club des Pins

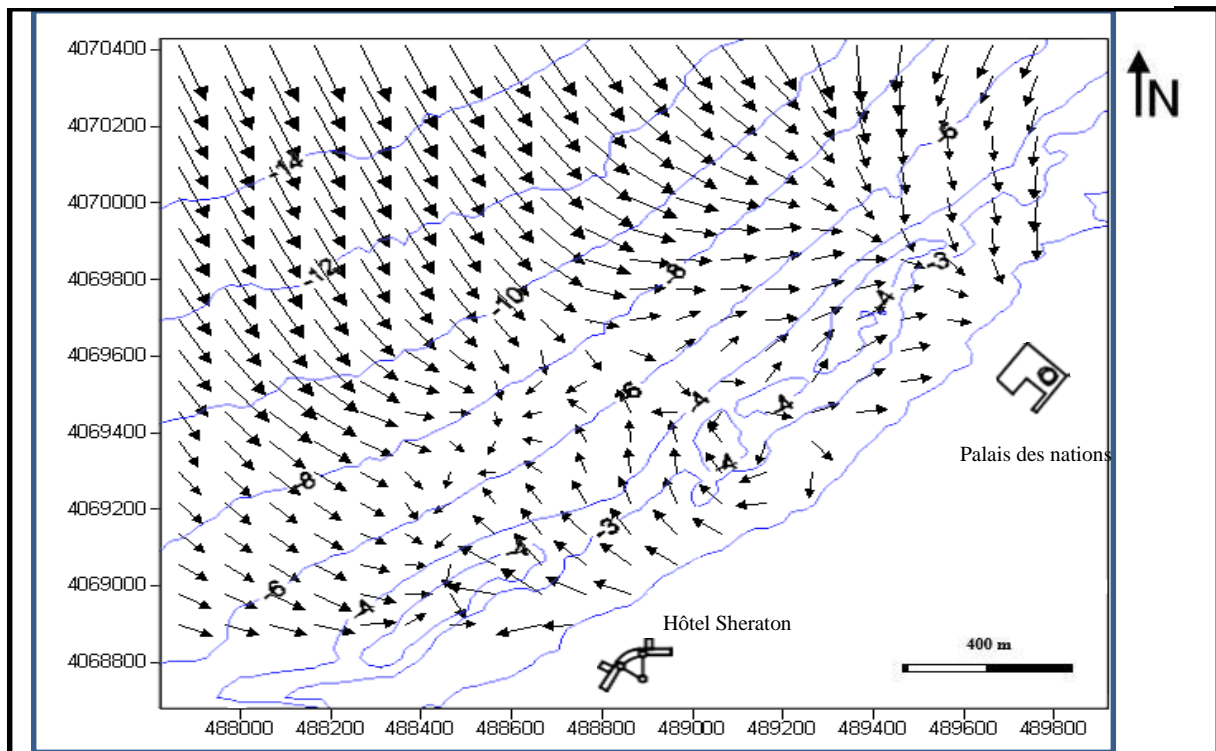


Figure 34: modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Club des Pins

Chapitre III : Résultats et discussions

3. Modélisation du transport sédimentaire :

Commentaire de la figure 34 :

Dans la Figure qui représente une modélisation du transport sédimentaire dans la zone de club des pins nous avons deux zones

Première zone ouest :

Cette zone n'est pas influencée par les houles du secteur ouest mais plutôt par les houles de secteurs Nord-ouest transversales et responsables du transport sédimentaires vers le large ; donc il y a une tendance de perte de sédiment

Deuxième zone Est :

Influencée par la houle du secteur ouest la réfraction des sédiments du large ; vont s'installer sur la côte pour arriver à club des pins

III. Evolution de trait de côte :

1. Les traits des côtes :

L'évolution du trait de côte est un phénomène naturel complexe résultant de l'action combinée de plusieurs processus dynamiques (océaniques, continentaux et biologiques), en fonction des caractéristiques géomorphologiques du système côtier. Cependant, ces phénomènes naturels sont accentués (exacerbés) par les activités anthropiques qui perturbent l'homéostasie (l'équilibre) des milieux côtiers (Daniel & Hubaud, 1996).

Dans la présente étude, la procédure utilisée est l'analyse diachronique par le biais d'ArcGIS et son module DSAS, basée sur la comparaison d'images de périodes différentes extraites de Google Earth.

Chapitre III : Résultats et discussions

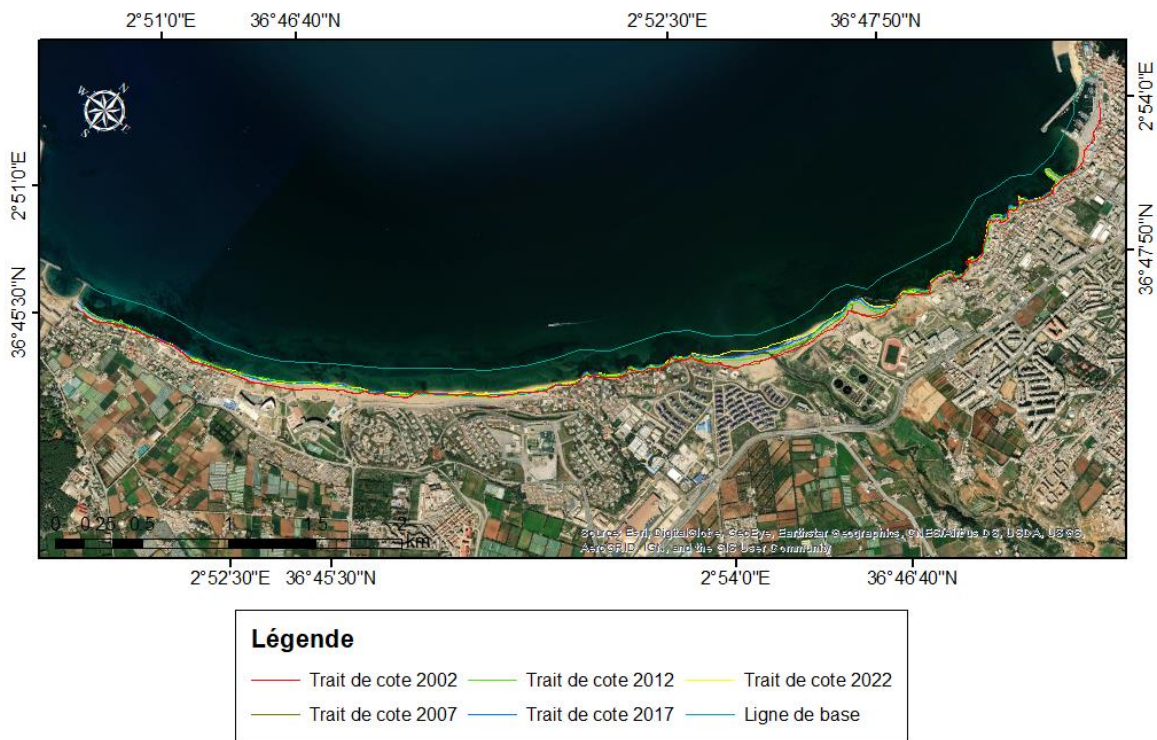


Figure 36: Carte des traits de côtes de la Club des Pins

L'extraction de la ligne de référence a été réalisée par digitalisation manuelle sur fond d'images de Google Earth pour les années 2002, 2007, 2012, 2017 et 2022. Les fichiers sont enregistrés sous format (.kml), importés ensuite dans ArcGIS 10.5. Grâce à l'outil de conversion d'ArcGIS, les traits de côte digitalisés sous Google Earth ont été convertis en shapefile et intégrés dans une géodatabase personnelle comme données d'entrée dans le logiciel DSAS.

2. Les Transects :

La cinématique du rivage du site d'étude est définie par l'analyse des différents traits de cote avec une incertitude de calcul de 1 m.

La ligne de base

Pour l'obtention de ces résultats, une ligne de base a été créée qui suit l'orientation générale de la côte. Des transects perpendiculaires à cette ligne de base tous les 25 mètres ont été réalisées grâce à l'extension DSAS, l'ensemble de la plage Club des Pins est donc couverte par 305 transects avec une longueur de 4 00 mètres pour chacun, et une incertitude de 1m.

Chapitre III : Résultats et discussions



Figure 37: Carte des transects de la plage Club des Pins.

Pour mieux comprendre ces résultats, une nouvelle étude par période est réalisée, en prenant comme référent le Net Shore Mouvement (NSM) qui nous indique la distance entre les plus anciens et les plus récents rivages pour chaque profil (Faye 2012), et EPR (End Point Rate) calcule le rapport de la distance entre le trait de côte correspondant à la date la plus ancienne et à la date la plus récente.

On a obtenu 5 résultats pour 4 périodes et une période globale qui suivent :

- Période globale 2002 à 2022
- Période 2002 à 2007.
- Période 2007 à 2012.
- Période 2012 à 2017.
- Période 2017 à 2022.

3. Evolution de trait des cotes :

3.1.Période 2002_2007

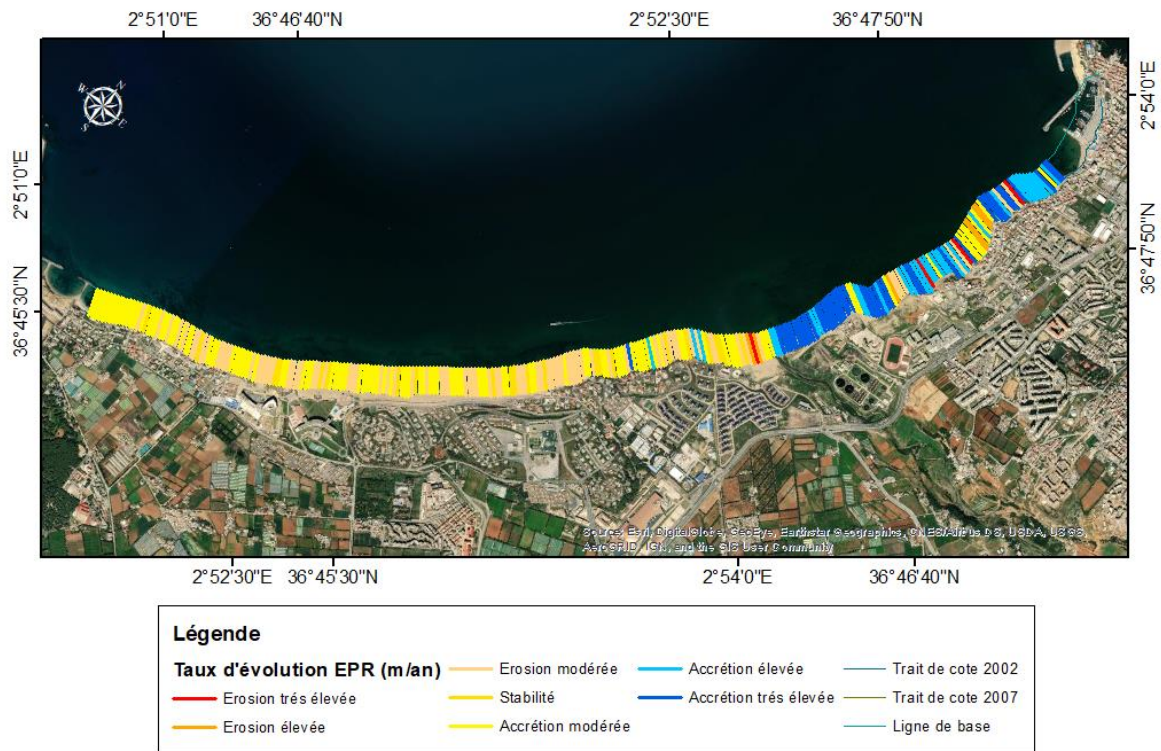


Figure 38: Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2002_2007).

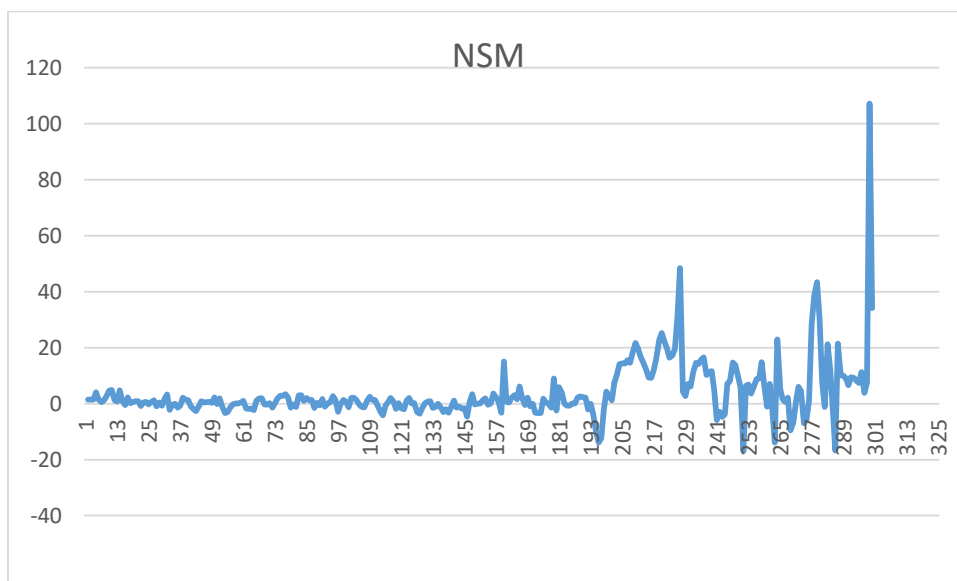


Figure 39: Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2002_2007 au niveau de la plage Club des Pins

Chapitre III : Résultats et discussions

Les figures si dessus nous montrent les transects obtenus pour la période de 2002-2007 et la variation du NSM à cette période.

Les figures indique que durant cette période on peut constater une position d'avancée et de recul tout au long des secteurs EST et le centre de la zone d'étude avec un EPR moyen 0.31 m/an et un NSM moyen 1.37m.

Par contre au secteur Ouest affiche une accrétion élevée à très élevée de NSM=112m de transects N° 223 avec un EPR maximale 5.62m/an

3.2 Période 2007_2012 :

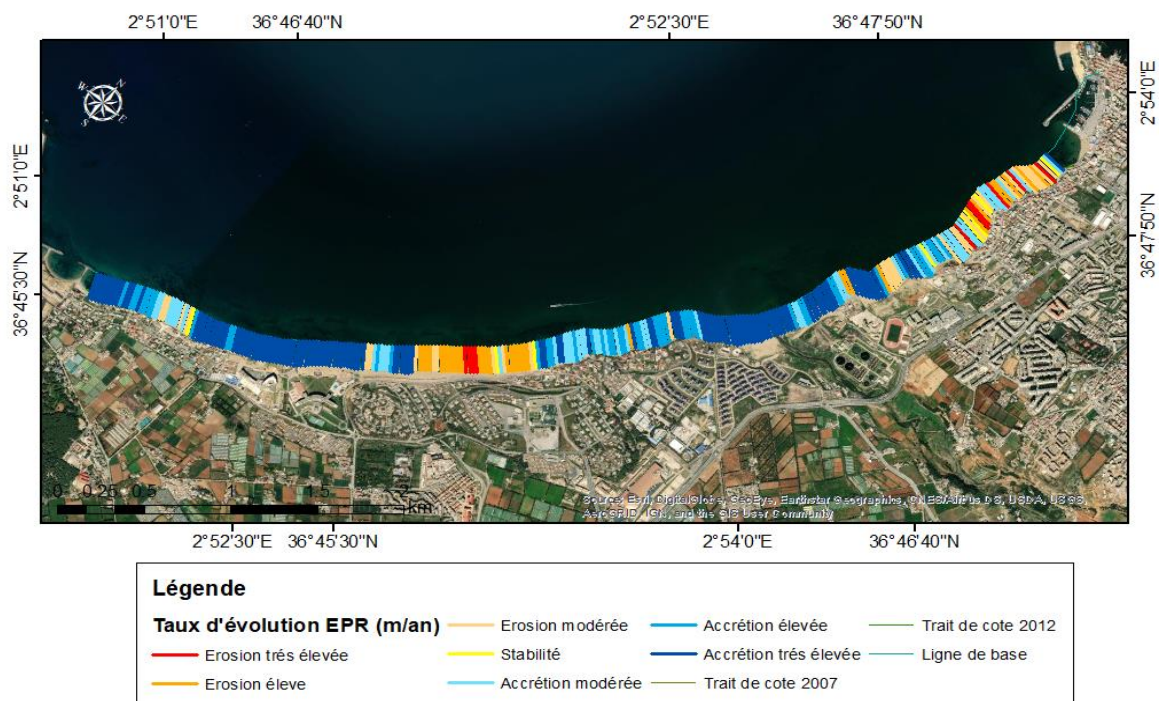


Figure 40: Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2007_2012).

Chapitre III : Résultats et discussions

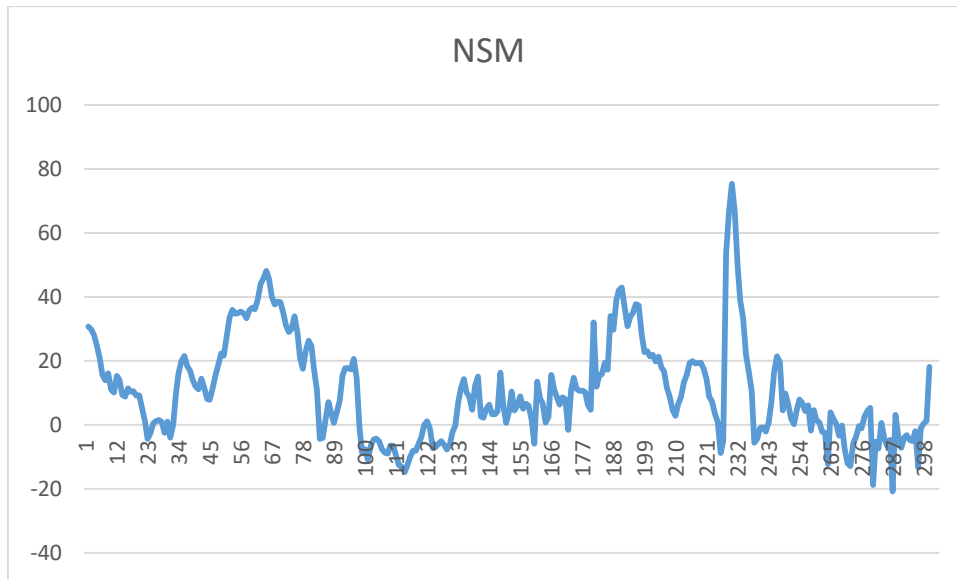


Figure 41: Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2007_2012 au niveau de la plage Club des Pins

Commentaire :

Les figures ci-dessus nous montrent les transects obtenus pour la période de 2007-2012 et la variation du NSM à cette période.

Les figures indiquent que durant cette période, la couleur bleue des transects correspond à l'accrétion de 0.5 à 78m, par contre, les couleurs qui indiquent la régression sont le rouge et l'orange de grandeurs respectivement d'environ 0 à -21m, avec un EPR moyen 3.32 m/an et un NSM moyen 10.75 m.

- L'accrétion est très importante atteignant le pic des 78m due à la présence des stabiplages qui jouent le rôle d'un ouvrage de piégeage de sédiments. Ainsi qu'au niveau de l'Ouest mais d'une valeur égale à 49 m
- L'érosion est remarquée au niveau du centre de la zone d'étude de -19m

3.3.Période de 2012_2017 :

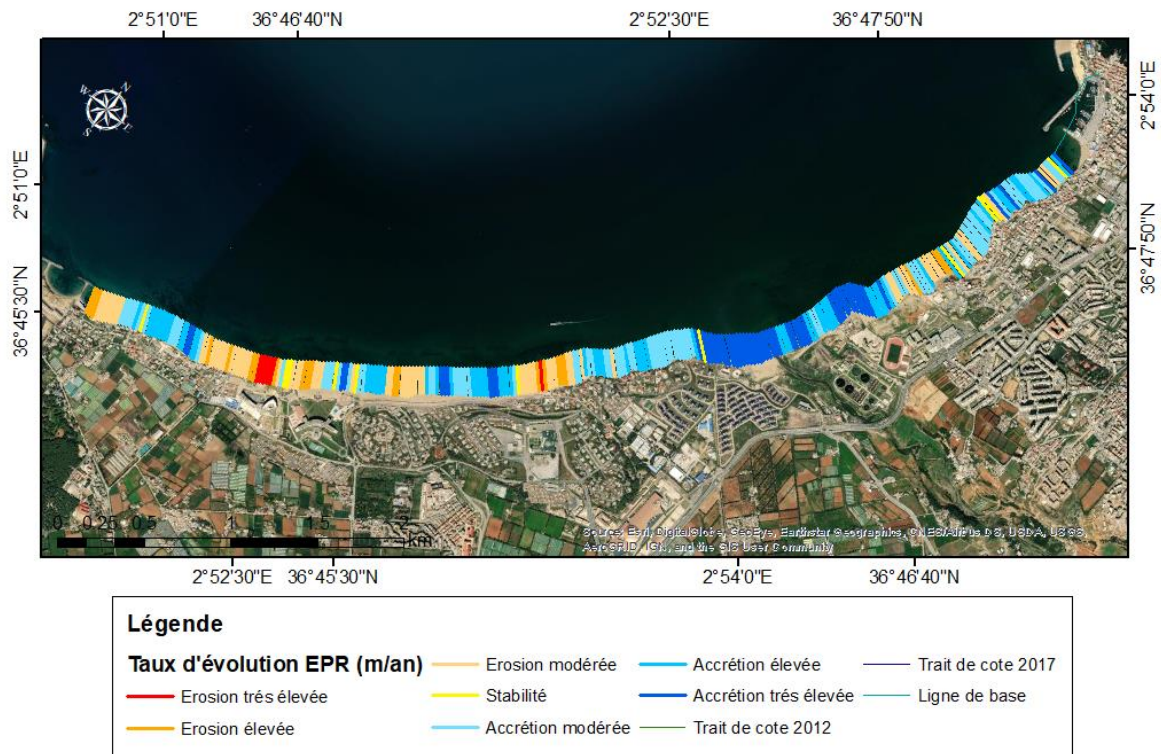


Figure 42: Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2012-2017).

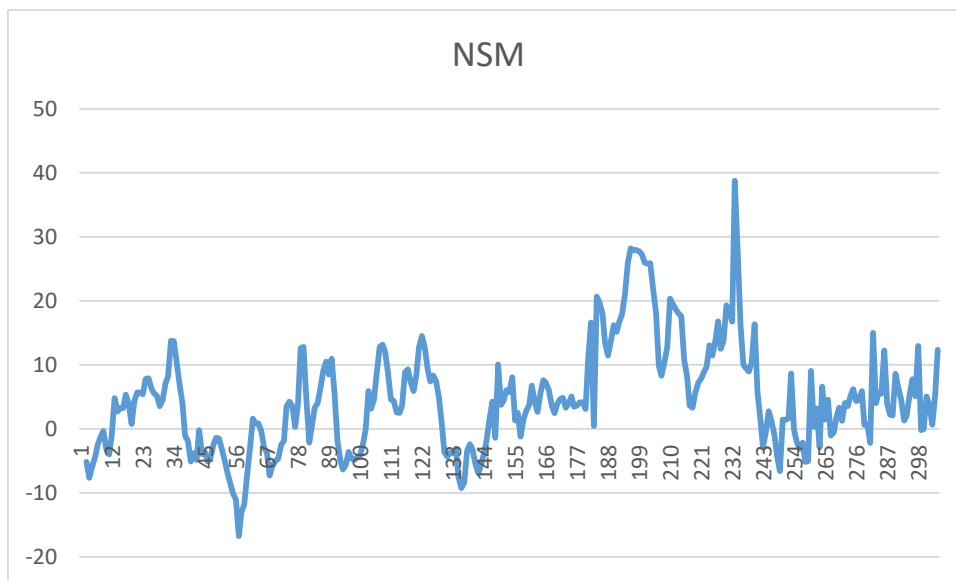


Figure 43: Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2012_2017 au niveau de la plage Club des Pins

Chapitre III : Résultats et discussions

Commentaire

Les figures si dessus nous montrent les transects obtenus pour la période de 2007-2012 et la variation du NSM à cette période.

Les figures indique que durant cette période, l'accrétion est de 0.2 à 39m, par contre, la régression est de grandeurs respectueusement d'environ 0 à -17 m, avec un EPR moyen 1.67 m/an et un NSM moyen 4.72 m.

Cette periode se caractérise par une accrétion modérée le long de la cote et surtout au secteur Est où elle atteint les 39m au pique. L'action érosive est faiblement remarquable au niveau de cette période sauf à l'extrémité Ouest où elle atteint -17m.

3.4.Période 2017_2022 :

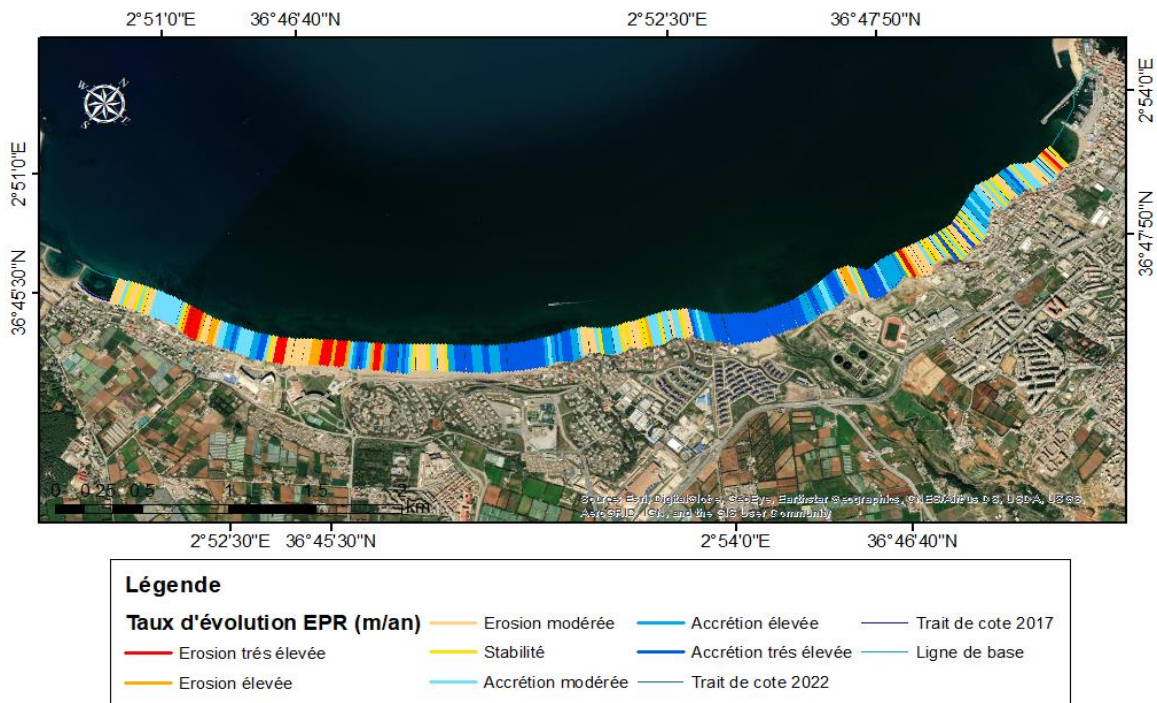


Figure 44:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2017_2022).

Chapitre III : Résultats et discussions

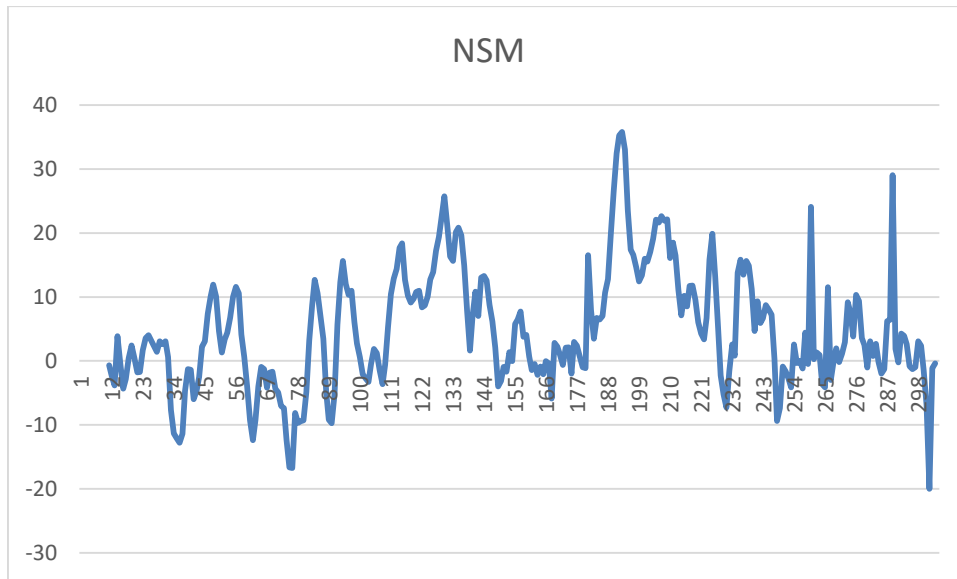


Figure 45: Variation du NSM du trait de côte selon les transects de 2017_2022 au niveau de la plage Club des Pins

Commentaire :

Les figures ci-dessus nous montrent les transects obtenus pour la période de 2017-2022 et la variation du NSM à cette période.

Les figures indiquent que durant cette période le secteur central de notre zone d'étude connaît une accrétion importante où le pic est de 36m et 30m à l'extrême est, avec un EPR moyen 1.88 m/an et un NSM moyen 4.82 m.

L'érosion de fort degré manifeste à l'extrême est de -21m.

3.5.Période globale 2002_2022 :

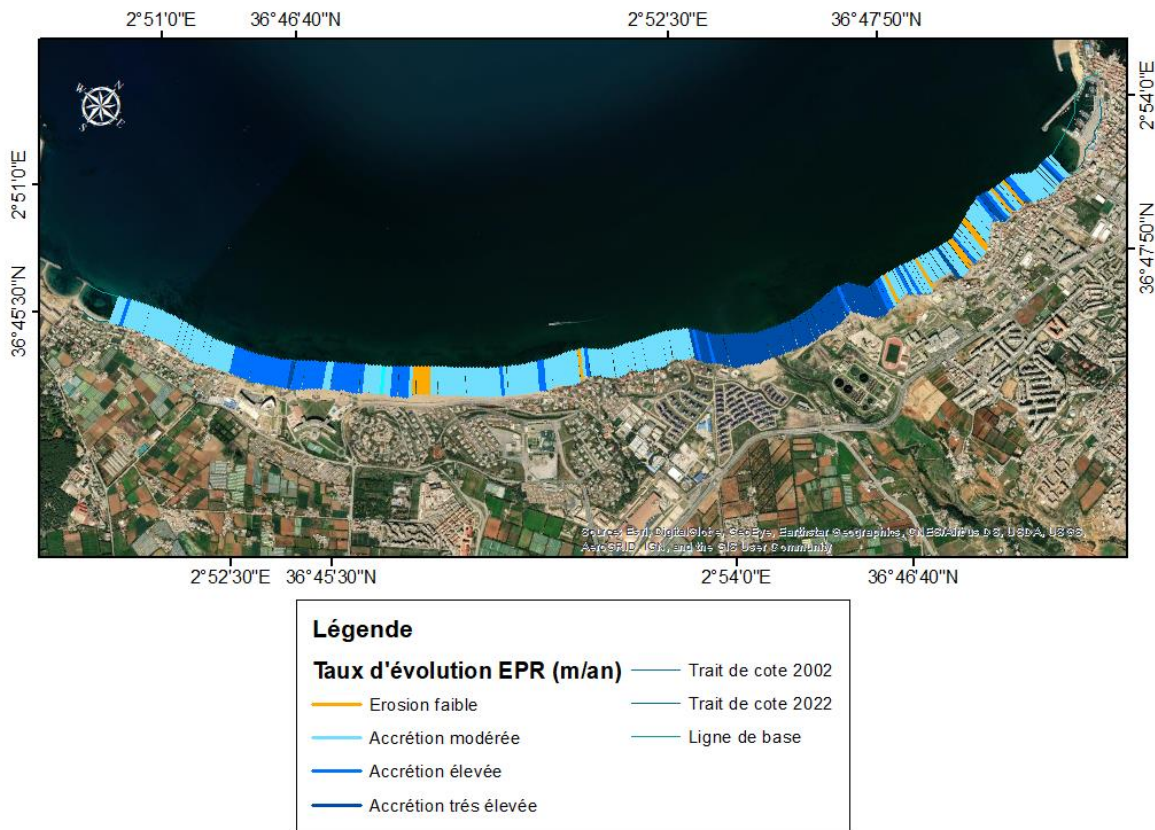


Figure 46:Carte représentative du rythme d'évolution du trait de côte EPR (m/an) (2002_2022).

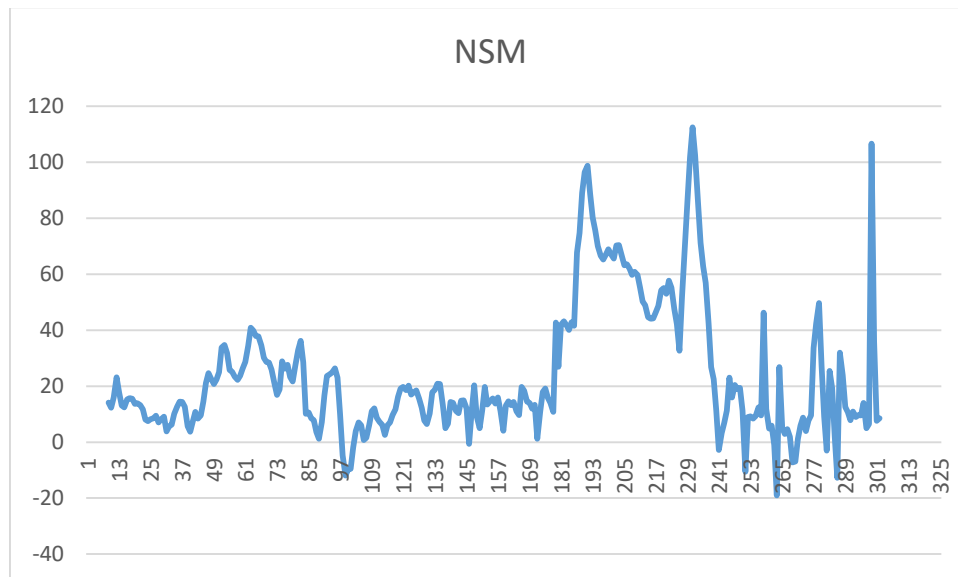


Figure 47:Variation du NSM du trait de côte selon lesf transects de 2002_2022 au niveau de la plage Club des Pins

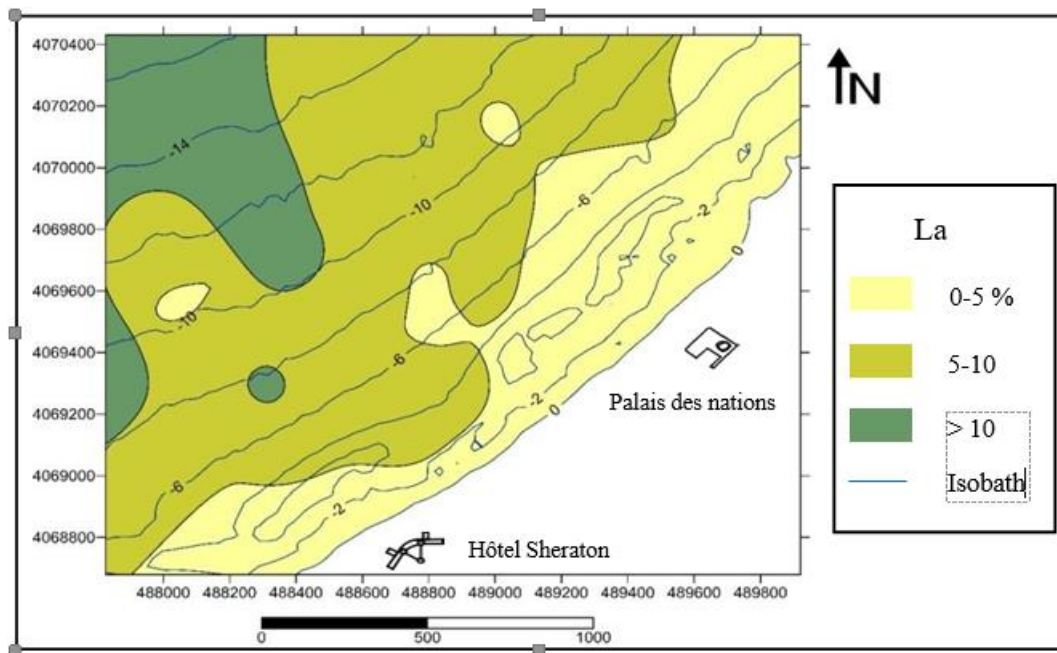
D'après les figures la zone de Club des Pins subit une accrétion tout le long de la cote avec une vitesse d'avancé moyenne qui est élevé avec une valeur de 1, 27 m/an. Par ailleurs elle subit une érosion très faible la vers l'EST et le centre avec valeur maximale -0.95 m/an transect 265 d'une distance de recul.

IV. L'étude sédimentologique

La cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et des conditions de dépôt (Friedman, 1979 ; Bui et al, 1990 in Cordier, 2017)

A partir des prélèvements superficiels effectués dans notre zone d'étude on a pu cartographier la couverture sédimentaire dans la région avec une interpolation permettant de prédire les valeurs dans les endroits non échantillonnés.

1. Analyse de fraction fine :



Commentaires :

Bien que les scores des échantillons prélevés soient très faibles (entre 1 et 16%), la carte de répartition des pélites montre la répartition spatiale des teneurs en fractions fines qui augmentent de la côte vers le large.

On constate sur notre carte la présence de 3 franges tel que :

- le rebord d'une profondeur de 0 à 5 m, descendant par endroit jusqu'à -8 m, a une teneur en pélites comprise entre des valeurs inférieures à 5 %
- la deuxième arête entre les isobathes de 6 à 13 m de profondeur, atteignant par endroits l'isobathe -16 m, la teneur en pélite varie de 5 à 10 %
- la troisième ligne commence par l'isobathe -14m vers la mer, la teneur en pélite augmente à 16%

Chapitre III : Résultats et discussions

Le faible niveau d'éléments fins observé à faible profondeur s'explique par l'augmentation de l'énergie des vagues qui favorisent la remise en suspension des sédiments et l'élimination d'une grande partie de la fraction fine vers les zones.

2. Analyse de la fraction grossière

2.1. Les courbes granulométriques

- **Courbes cumulatives**

Dans l'ensemble, Les courbes sont généralement redressées ce qui indique l'homogénéité des sédiments analysés.

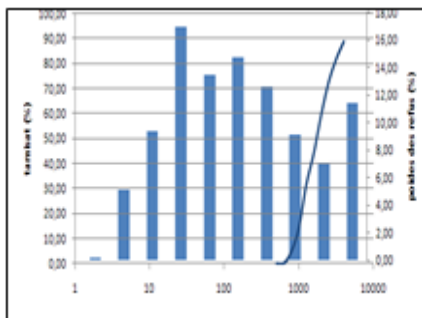


Figure 50: courbe cumulative S : 01

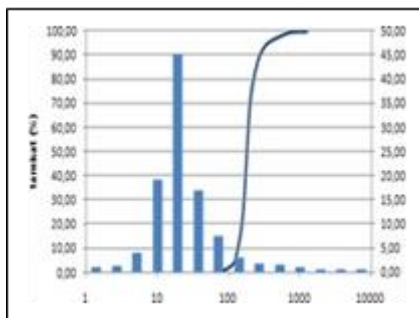


Figure 51: courbe cumulative S : 25

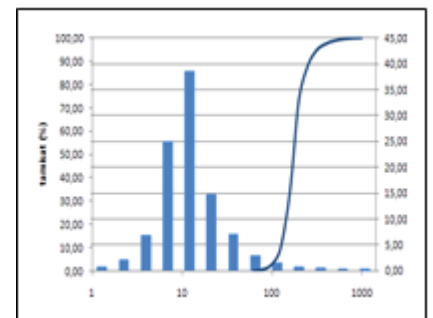


Figure 49: courbe cumulative S49

Courbes uni modales :

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

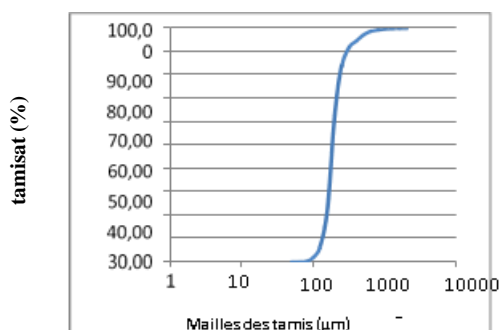


Figure 53: courbe uni modale

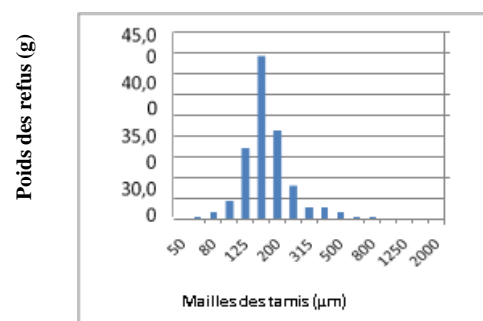


Figure 52: Histogramme uni modale

Courbes bimodales

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

Chapitre III : Résultats et discussions

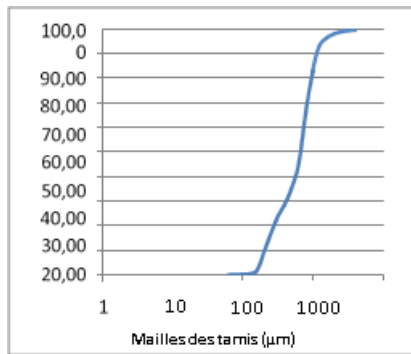


Figure 54: courbe bi modales

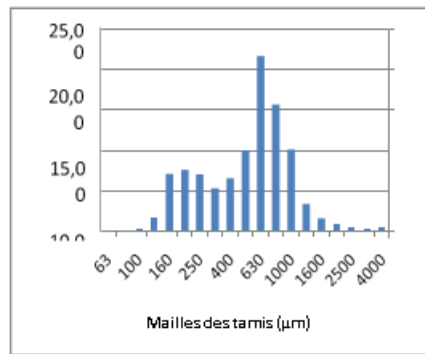


Figure 55: Histogramme bimodale

Courbe plurimodale :

Elles nous informent sur la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique (surtout représentatives du sédiment grossier).

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

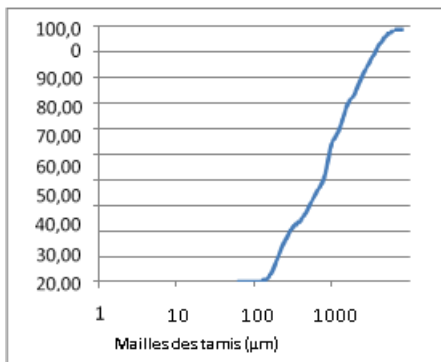


Figure 56: courbe plurimodale

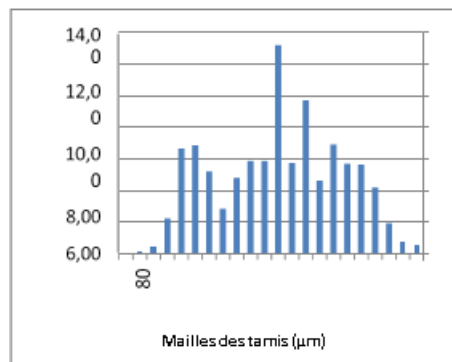


Figure 57: Histogramme plurimodale

Chapitre III : Résultats et discussions

3.2 Les quantiles :

Le décile inférieur :

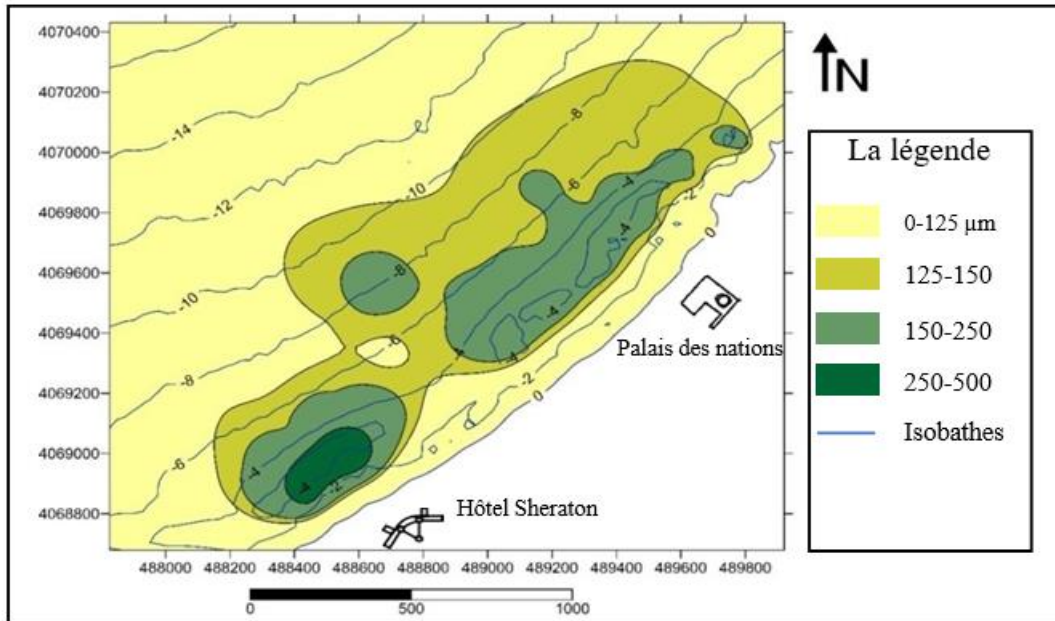


Figure 58: Répartition des déciles inférieurs dans la région de Club des Pins

Commentaires :

La figure nous renseigne sur la répartition spatiale des déciles inférieurs D10 qui apparaît centrée avec :

- la domination des diamètres inférieurs à 125 µm se déplaçant du rivage vers la mer par les deux extrémités de la zone.
- Entre 5 et 9 m de profondeur (et à -3m sur quelques endroits), les diamètres dominants vont de 125 à 150 µm.
- Dans la zone de profondeur allant de 3 à 5 m, on a la dominance des diamètres de 250 à 500 µm, c'est dans cette zone que le fond présente des tiges et des piqûres de ligature.

Chapitre III : Résultats et discussions

- **Premier quartile Q25 :**

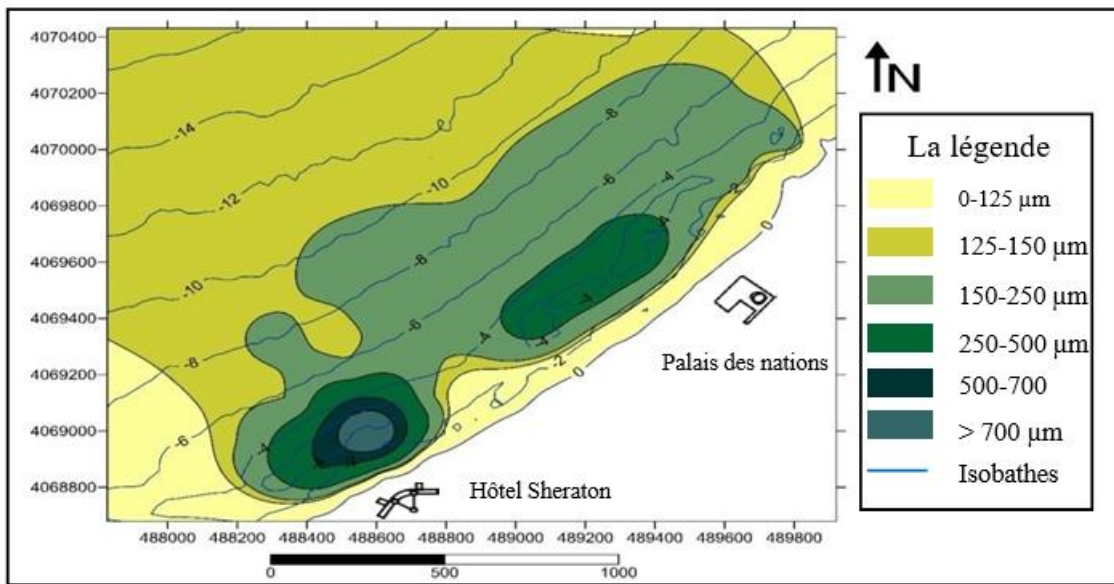


Figure 59: Carte de la répartition du premier quartile Q25 dans la région de Club des Pins

Commentaires : Répartition des faciès inférieurs à 125 µm présents sur tout le littoral et se prolongeant vers la mer aux extrémités

- Les deuxièmes faciès entre 125 et 150 µm dominant à partir de 1 m de profondeur et se développent en mer.
- Le troisième faciès est de l'isobathe de -2 m à -10 m avec le diamètre prédominant de 150 à 250 µm.
- Le quatrième faciès dans la zone de 3 à 5 m de profondeur est dominant avec un diamètre de 500 à plus de 700 µm, cette zone correspond à la présence de bâtonnets et de cavités constatée sur la morphologie du fond.

- **La médiane D₅₀ :**

Chapitre III : Résultats et discussions

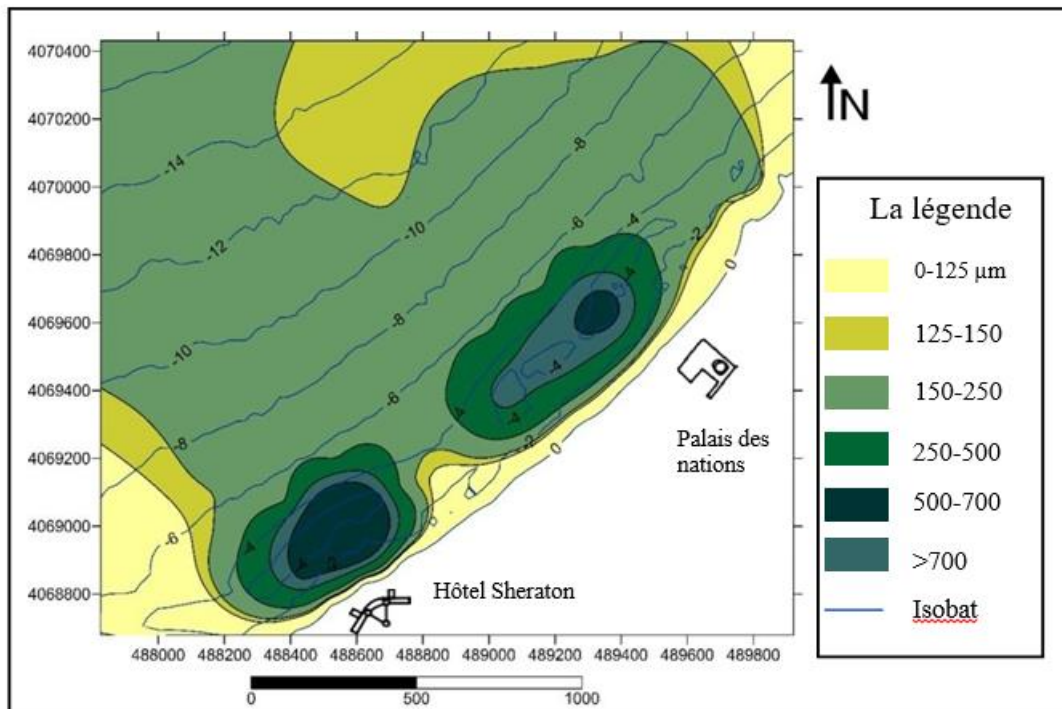


Figure 60: Répartition des médianes D50 dans la région de Club des Pins

La figure ci-dessus montre la répartition spatiale du D50 médian, établie à partir de la taille médiane des grains issue des courbes cumulées.

Les diamètres médians vont de 140 à 1900 µm avec une relative uniformité. La moyenne des médianes est d'environ 238 µm, ce qui signifie la dominance du sable moyen dans la composition des sédiments.

Cette distribution montre l'augmentation de la valeur médiane vers le centre de la zone telle que

- Le long de la côte jusqu'aux extrémités de la zone, le diamètre dominant est de 0 à 125 µm.
- A partir d'une profondeur de 1 m vers la mer, le diamètre dominant augmente jusqu'à une valeur de 125 à 150 µm.
- De l'isobathe -2m vers la mer et légèrement plus centré dans cette dernière, le diamètre dominant dépasse 150 µm à 250 µm.
- Au centre de la zone, entre les isobates -2 et -6m, les diamètres médians vont de 250 µm à des valeurs supérieures à 700 µm ; cela est due à la présence des fosses et des barres sableuses.

- **Le quartile supérieur Q75 :**

Chapitre III : Résultats et discussions

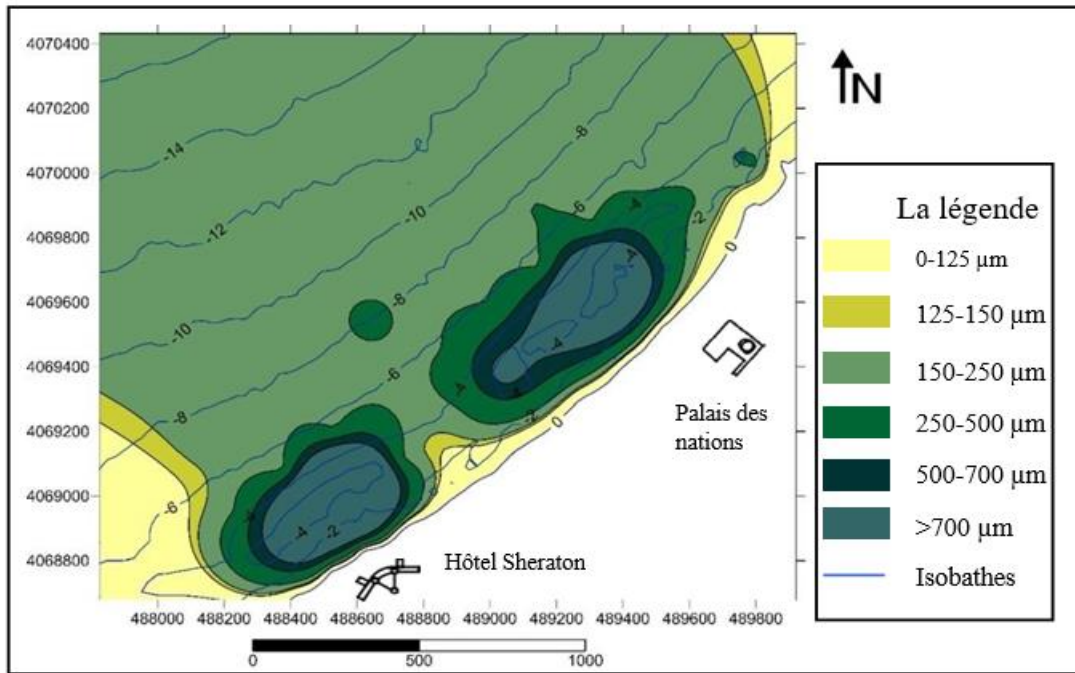


Figure 61: Répartition des quartiles supérieurs dans la région de Club des Pins

Commentaire :

La figure ci-dessus présente la répartition des quartiles supérieur Q75, où la distribution garde le même aspect centrique que les cartes précédentes avec des diamètres dominant variant entre 150 et plus de 700µm tel que :

- Le long de la côte et jusqu'à 1 m de profondeur en allant vers la mer aux deux extrémités de la zone on trouve un diamètre très fin allant de 0 à 125 µm.
- La disposition des diamètres entre 125 et 250 µm est la même que dans l'intervalle précédent, légèrement plus centrée dans la zone.
- Au centre de la zone, entre les isobates -2m et -7m avec une tache à -8m, les diamètres varient entre 250, 500, 700 µm et plus, augmentant vers le centre correspondant aux puits et crayons immergés.

- **Le délice supérieur D₉₀**

Chapitre III : Résultats et discussions

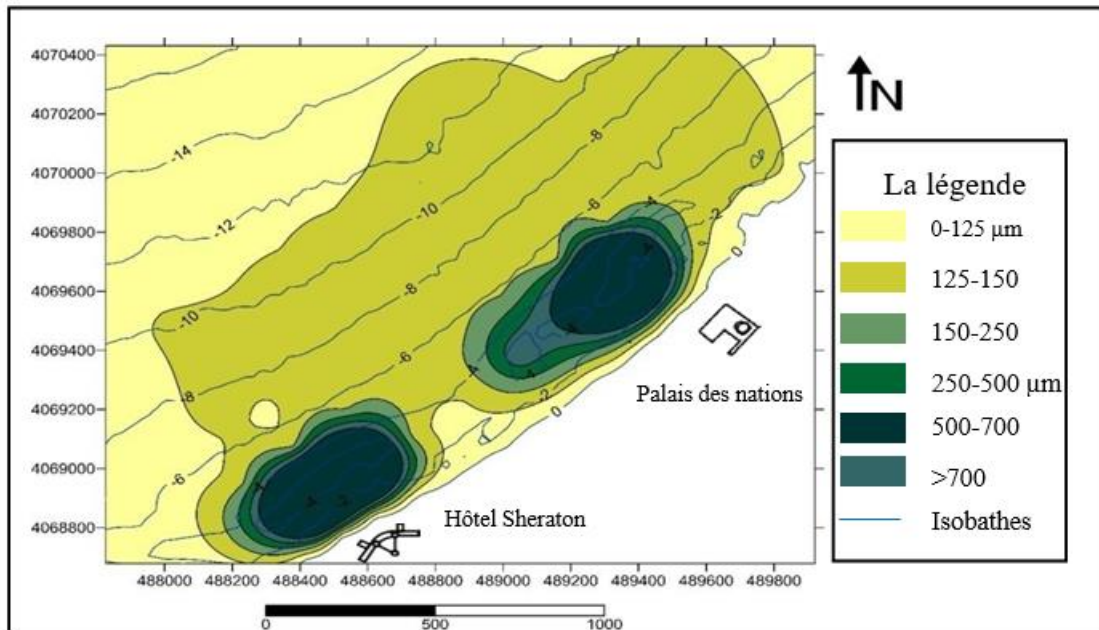


Figure 62: Répartition des déciles supérieurs dans la région de Club des Pins

Commentaire :

La figure ci-dessus présente la répartition spatiale des déciles supérieurs D_{90} qui garde l'aspect concentrique dégagant 3 faciès dominants :

- le premier de diamètre inférieur à $125 \mu\text{m}$, évoluant de la côte vers le large, passant par les deux extrémités de la zone et poursuivant son évolution vers le large au-delà des isobathes -10 et -13m.
- le second évolue de 1m de profondeur (-3m sur quelques endroits) jusqu'à -10m, avec une variation de diamètre comprise entre 125 et $150 \mu\text{m}$.
- le troisième faciès a une profondeur de 2 à 6 m, avec des diamètres dominants dans ce dernier allant de 150 à des valeurs supérieures à $700 \mu\text{m}$

3.3. Les indices granulométriques :

- Indices d'asymétrie (SK)

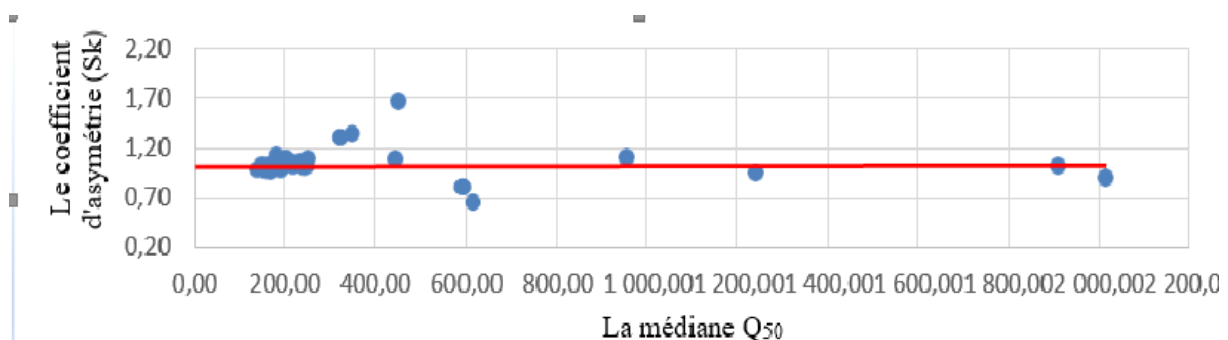


Figure 63: Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane

Chapitre III : Résultats et discussions

Commentaire :

Les valeurs de cet indice sont majoritairement proches ou égales à 1, indiquant une symétrie du classement vers les particules fines sauf quelques stations qui présentent une symétrie de classement vers le grossier.

- **Indice de classement**

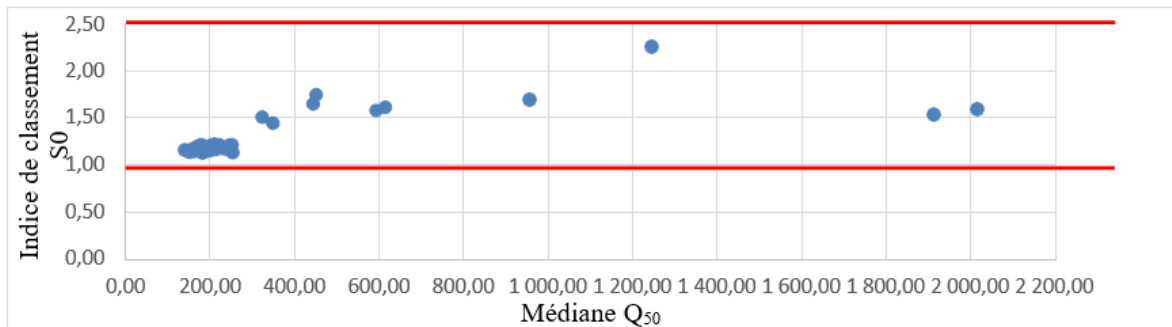


Figure 64: Relation entre l'indice de classement et la médiane

Commentaire :

Les valeurs de l'indice de classement dans notre zone d'étude varient entre 1 et 2,5 traduisant un sédiment bien trié dans la zone.

3.4.. Analyse modale :

La couverture sédimentaire est caractérisée par la présence d'un seul faciès granulométriques des sables fins (26 stations sur 39 ont un mode de 160 μ m), correspondant à un seul mode granulométrique représentatif des sédiments. L'histogramme qui suit illustre les fréquences des répartitions dimensionnelles des modes.

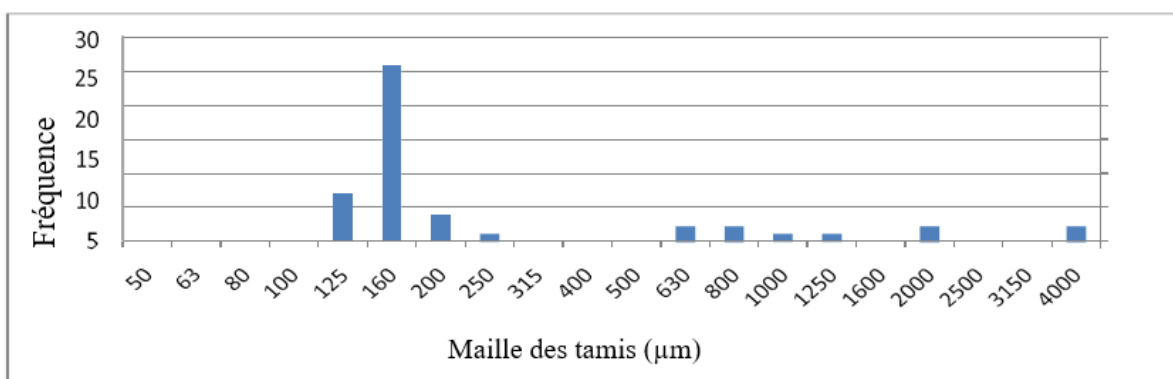


Figure 65: Fréquence d'apparition modale

L'image ci-après représente la répartition spatiale du mode 160 μ m dans la zone d'étude.

Chapitre III : Résultats et discussions

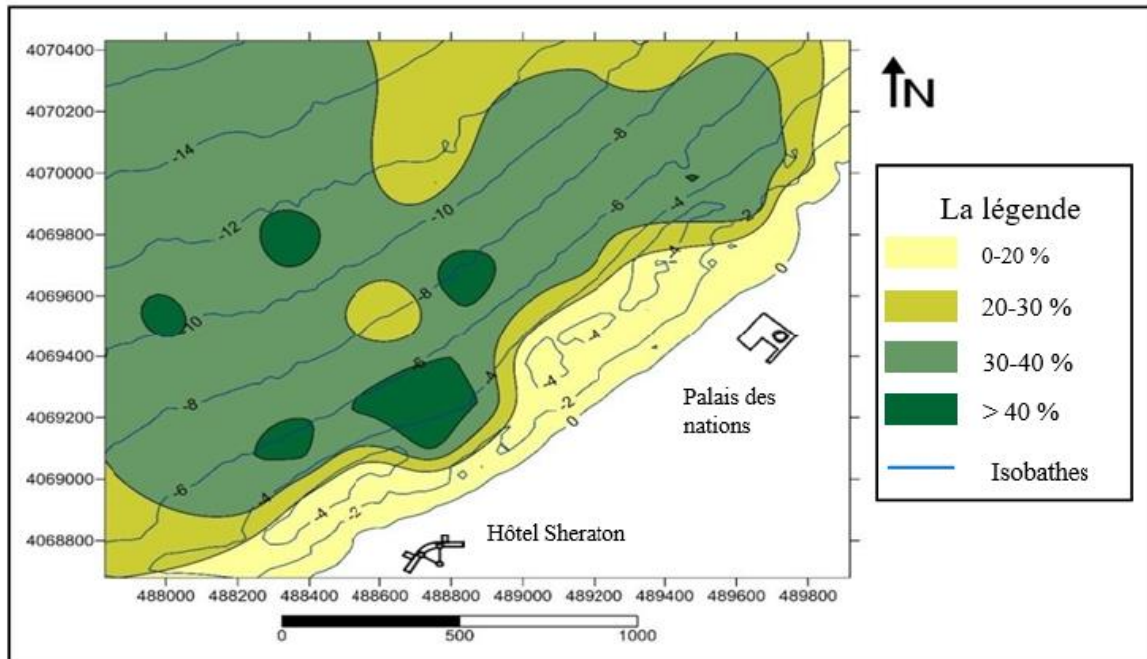


Figure 66: Répartition du mode 160µm dans la région de Club des Pins

Commentaire :

Le mode 160 µm est le plus largement représenté dans la zone d'étude, concentré beaucoup plus à l'ouest de la zone. La distribution de ce mode suit un gradient ascendant, les pourcentages les plus élevés se situent au centre de la zone d'échantillonnage où ils apparaissent de manière hétérogène puis tendent à diminuer en mer. A conditions hydrodynamiques constantes, il est normal de trouver une distribution qui tend à étaler la fraction grossière vers la côte, tandis que la fraction fine est entraînée vers la mer. Cependant, la distribution concentrique représentée sur la figure renseigne sur l'hydrodynamique dont l'intensité diminue à mesure que l'on s'approche du rivage.

3.5 Analyse calcimétrique :

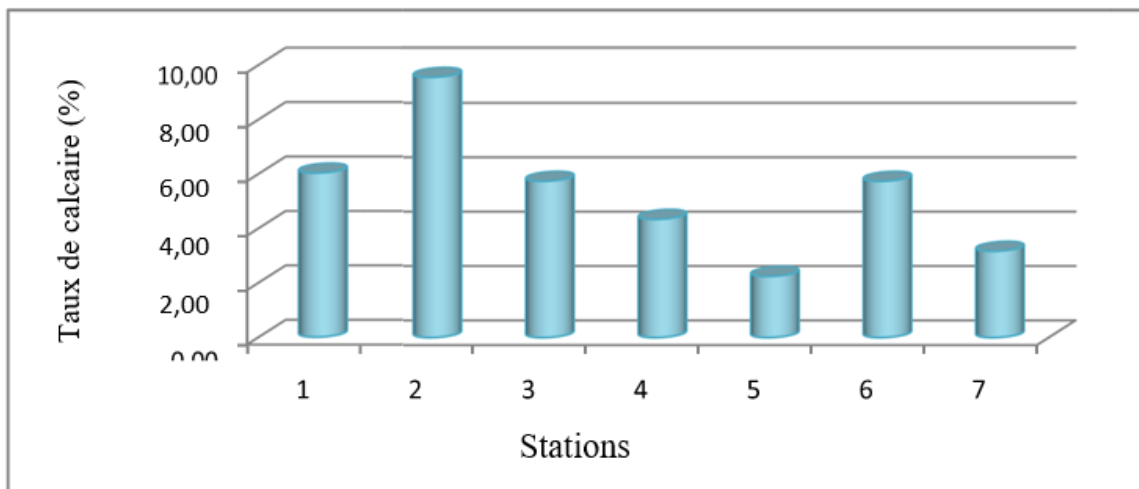


Figure 67: Résultats de l'analyse calcimétrique des sédiments de la plage de Club des Pins

Chapitre III : Résultats et discussions

Commentaire :

Les teneurs en carbonates varient entre 2,25 et 9,57%, ce qui signifie que le poids du calcaire est faible par rapport au poids des grains de sédiment et ne joue pas un rôle important dans le transport sédimentaire.

3.6. Conclusion sur l'étude sédimentaire :

- Dans tous les échantillons analysés, les résultats montrent une très faible teneur en fractions fines (<50 μm), n'excédant pas 16 %, ce qui traduit l'importance de l'hydrodynamisme dans la zone du Club des Pins.
- L'étude des quantiles reflète la classification des grains du sable grossier à l'intérieur au sable fin à l'extérieur.
- L'analyse des courbes de granulation et l'analyse modale montrent la dominance des sédiments de sable fin d'une taille de 160 μm à la plupart des stations.
- L'analyse calcimétrique montre une faible quantité de carbonate sans jouer un rôle important comme marqueur de dépôt.
- Le mécanisme de transport responsable du dépôt et de la distribution des sédiments est l'ondulation. La pente des médianes, décroissante vers l'ouest, résulte d'un criblage ou tri sélectif par gonflement dont l'intensité décroît vers l'ouest, il semble que le tri sélectif, par transport en suspension, s'effectue surtout par gonflement du nord- es

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

I. Contexte du projet de protection :

Depuis plusieurs années, la plage du Club des Pins est soumise à l'action des vagues, ce qui se traduit par de nombreux dommages, tels que : recul important du littoral et dégradation infrastructures en haut de plage (route, maisons, etc.). Face à de tels problèmes, diverses solutions de conservation ont été étudiées pour préserver le mieux, tant en termes de protection contre l'érosion par la mer qu'en termes d'impact visuel ou environnemental. L'étude de la protection du littoral dans les locaux du Club des Pins a été confiée au laboratoire d'études Maritimes (LEM) et mis en œuvre en 2009/2011. Une étude visant à prolonger ce travail a été lancée en 2015 par le bureau d'étude HMI.

II. Les différentes solutions envisagées

Au niveau des solutions proposées / du fait du diagnostic réalisé sur le site, il en existe plusieurs types. Diverses solutions ont été proposées pour protéger la plage du Club des Pins. Ainsi, trois (03) types de solutions de protection de la plage du Club des Pins ont été proposées dans la phase d'Avant-Projet Sommaire (APS) qui consiste à :

Solution01: Brise-lames immergés en enrochement;

Solution02: Brise-lames immergés en enrochements + rechargement de la plage

Solution03: Brise-lames immergés en géotextiles + rechargement de la plage.

-La coupe de principe des solutions envisagées est résumée par la figure suivante

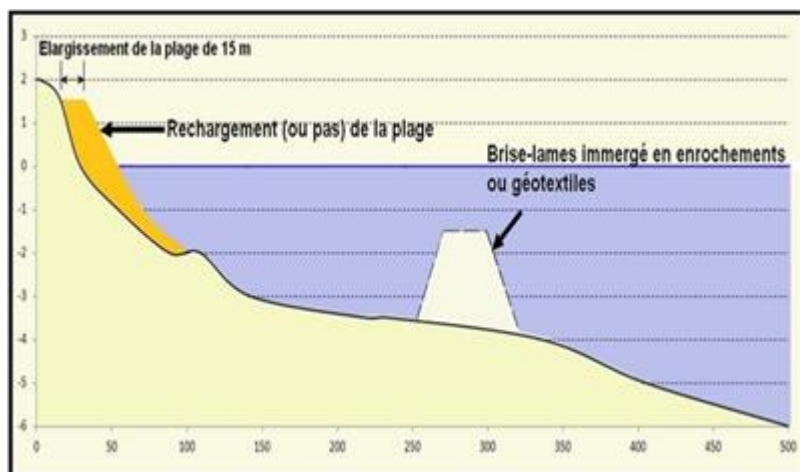


Figure 68: Coupe de principe des solutions d'aménagement envisagées sur le littoral de Club des Pins

III. Solution retenue pour la protection de la plage du Club des Pins

Afin de comparer les différentes solutions proposées, une analyse multicritère a été réalisée. Les critères comparatifs pris en compte dans cette analyse étaient les suivants :

- Efficacité technique de la solution en termes d'effets hydrauliques sur les ouvrages le haut de gamme;
- Impact environnemental et présence d'herbiers de Posidonia ;
- L'effet visuel, notamment dû au côté particulièrement sensible ;
- Les activités nautiques surtout en été;

Cout de la solution :

Au terme de cette analyse comparative, la Direction Algérienne des Travaux Publics choisit l'option 03 (batterie de brise-lames immergés dans le géotextile + rechargement plage).

Afin d'améliorer la solution 3 retenue dans APS, plusieurs types de dimensionnement ont été testés dans un modèle à l'échelle physique dans un creux sur un fond fixe et dans un canal à houle sur un fond mouvant.

Les travaux comprennent toutes les livraisons et mises en œuvre nécessaires à la mise en œuvre Protection du site Club des Pins au-dessus de 3000 ml :

Brise-lames sous-marin constitué de quinze (15) "brise-lames" coulés constitués de géotube diamètre (Ø) 4.00m et 4.50m pour près de 3000 ml, posé en profondeur 3,50 m le long de la côte et aménagé selon le plan de stage et le plan de zone loin du rivage.

Du rechargement de la plage, sur la même la longueur tout en la dotant d'un dispositif de vingt (28) géotubes transversaux semi enterrés pour la stabilisation du sable mis en place (Stabiplages) de diamètre 1.00 m et de longueur variable de 28 m à 55 m.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins



Figure 70: Plan de protection du rivage marin de la plage Club des Pins

1. Caractéristiques technique de la solution retenue :

Le but de cette partie est de présenter les caractéristiques techniques de la solution finale retenue à l'issue des études préliminaires, des essais physiques et d'après les critères identifiés pour l'élaboration de la solution.

1.1. Critères de projet

- Critères d'efficacité

On présente dans le tableau ci-dessous les caractéristiques au large des plus fortes tempêtes ayant balayé le site du Club des Pins 2001 à 2008, issues des données WW3.

Tableau 6: Caractéristique des tempêtes qui ont frappé la Plage du Club des Pins entre 2001-2008

Date	Hs(m)	Direction (N°)	Tp (s)
11/11/2001	5.9	354	10.3
31/01/2003	5.9	346	10.5
30/12/2004	5.5	26	11.6
19/03/2008	5.0	26	10.5

Quatre tempêtes importantes ont donc été relevées depuis le début des enregistrements des données WW3 ; toutes en hiver : mi-novembre 2001, fin janvier 2003, fin décembre 2004, et en mars 2008. Ces houles dont les hauteurs significatives étaient supérieures à Hs=5,0 m possédaient des périodes pics comprises entre Tp=10,3 s et Tp=11,6 s. De même, ces houles provenaient toute du secteur Nord (N 346° au N 26°).

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Les observations réalisées par le LEM sur la plage du Club des Pins avaient mis en évidence des dégâts importants à la suite de tempêtes au cours de l'année 2007. Les données WW3 ont effectivement révélé des séries de tempêtes.

Tableau 7:Caractéristiques de la tempête de l'année 2007

date	Hs(m)	Direction (°N)	Tp(s)
09/02/2007	3,9	267	5,2
08/03/2007	4,9	291	6,3
09/03/2007	4,4	17	9,4
11/03/2007	4,4	24	10
20/03/2007	3,8	350	8,4

Ayant pas de données exactes quant à l'influence de chacune de ces tempêtes sur le trait de côte, nous avons décidé de prendre la houle la plus conservative. Ainsi, la houle de projet utilisée pour le dimensionnement possède les caractéristiques au large suivantes :

Direction: N 360 °

Hs = 4,9 m

Tp = 10 s

Il est rappelé que le but de la solution est de diminuer la hauteur de la houle de 50% pour ne pas qu'elle atteigne les infrastructures d'une part, et qu'elle n'affecte pas trop la plage nouvellement engraisée d'autre part.

- **Critère paysager**

La solution technique se doit d'être intégrée au paysage. Pour cela, elle ne doit pas avoir un impact visuel négatif sur l'aspect esthétique de la plage de Club des Pins.

1.2.Réponse aux critères d'efficacité

Les modèles numériques, les calculs théoriques et les modèles bidimensionnels et tridimensionnels employés ont permis de vérifier la réponse aux critères d'efficacité de la solution retenue.

- **Protection de la Plage**

A partir de l'analyse des essais obtenus sur le modèle physique, la solution avec élargissement de la plage couplé à un ouvrage arasé à -1.25 m NGA et implanté à -3.0 m NGA permet, par rapport à la situation actuelle, de réduire considérablement l'impact hydraulique. De plus, les calculs théoriques ont montré que l'utilisation de l'ouvrage arasé à -1.0 m NGA et implanté à - 3.5 m NGA permettait d'avoir, au moins, des résultats aussi probants.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

- **Atténuation de la houle par l'ouvrage**

Le modèle 3D a permis de confirmer les résultats des coefficients de transmission théoriquement calculés. Ainsi, l'utilisation d'un ouvrage correspondant à la Solution 3 montre une atténuation des vagues de l'ordre de 55% à 60% pour des vagues équivalentes à des hauteurs significatives au moment de l'effondrement et au-dessus (dont l'impact côtier est très important) et de 0 à 50 % pour les vagues plus basses (sans affecter le rivage).

- **Rechargement de la plage**

Rechargement de la plage

Le prolongement de la plage d'au moins 12 m dans le remblai permet de reculer la position Inrun1 des vagues en cas de tempête (risque d'inondation) et préserve ainsi l'infrastructure jusqu'au haut de la plage. Pour une bonne durabilité, le sable ajouté doit avoir une granulométrie au moins égale (si possible supérieure) à celle du sable présent sur le chantier. Cela conduit à un matériau de remplissage avec les propriétés suivantes :

- Diamètre moyen : $0.500 \text{ mm} < D50 < 0.700 \text{ mm}$.
- Volume total de sable de rechargement : $50\,000 \text{ m}^3$.

2. Règles De calcul

2.1. Brise-lame immergé en géotubes

Les brise-lames sont disposés approximativement parallèlement à la côte. Ils ont pour objectif la réduction de la houle et de favoriser le dépôt des sédiments par les courants induits (induced currents) par la diffraction de la houle.

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

- Sa longueur,
- Sa distance à la côte,
- Sa côte d'arasement (submersible ou insubmersible).

Pour une batterie de brise lames, l'écartement entre brise lames est un facteur essentiel. Il n'y a pas de lois bien établies, cependant il existe quelques principes généraux dans le cas d'un brise-lames implanté dans la zone de déferlement.

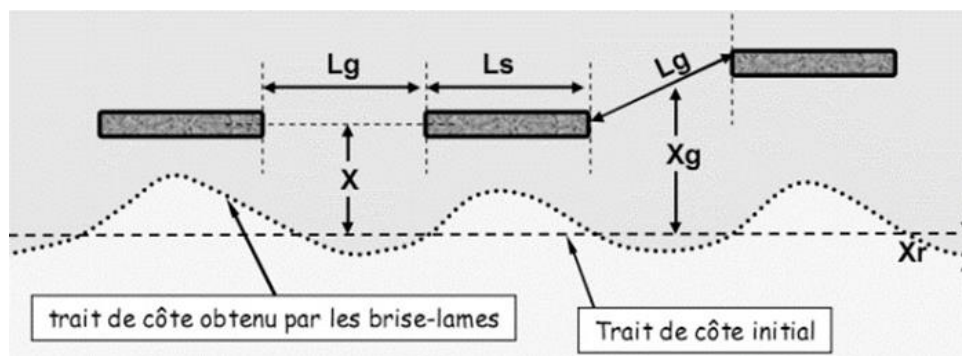


Figure 71:Description des éléments d'effet de brise-lames, (D'après J.Viguié 2002)

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Ls : longueur du brise-lames (m),

Lg : longueur d'ouverture entre 2 brise-lames,

X : distance entre brise lames, et le trait de côte initial,

Xg : distance entre le centre de l'ouverture et le trait de côte initial ($Xg = X$ si les brise- lames sont alignés),

Xr : recul du trait de côte face à l'ouverture entre deux brise-lames.

Il existe une influence de la longueur de brise lames sur la formation du dépôt de sédiments, dénommé tombolo qui se forme derrière le brise lames et qui va dépendre essentiellement du rapport Ls/X :

Pour $Ls / X \geq 1 \Rightarrow$ le tombolo se rattachera au brise lames au fur et à mesure que le rapport s'accroîtra.

Pour $Ls / X < 1 \Rightarrow$ le tombolo ne se rattachera pas au brise lames et en sera d'autant plus éloigné que ce rapport diminuera.

Pour $Ls / X < 0.3 \Rightarrow$ le brise lames n'aura pratiquement pas d'effet sur la plage.

Pour les côtes méditerranéennes, et selon les expériences préconisées par le Centre des Etudes Techniques Maritimes et Fluviales(CETMEF) des tombolos peuvent être obtenus à l'abri de brise-lames non submersibles lorsque : $0.6 X < Ls < 1,3 X$.

La longueur de l'ouvrage est souvent comprise entre 0.6 et 1.3 fois sa distance à la côte. Dans le cas d'une batterie de brise -lames, il convient de prendre en considération :

$Lg / X \geq 1,3$: L'écartement des brise- lames est trop grand, un recul très important du trait de côte se produira face à l'ouverture.

$0.8 \leq Lg / X \leq 1,3$: Un recul du trait de côte peut se produire face à l'ouverture, (un apport de sable initial permet de limiter voire supprimer ce recul).

$Lg / X \leq 0,8$: Pas de recul du trait de côte face à l'ouverture mais le linéaire d'ouvrage par rapport au linéaire protégé augmente.

2.2.Calcul de la stabilité des géotubes

Pour la stabilité des géotubes on va utiliser la formule suivante (W. Pilarczyk, 2000)

$$H_s / (\Delta \cdot b) < 1$$

Hs : la hauteur significative des vagues au pied de l'ouvrage ($H_s = H_d = 2,25m$), b : la largeur du géotube,

Avec : $\Delta = (1-n) * (\gamma_s - \gamma_w / \gamma_w)$

n : La porosité du sable (30%)

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

γ_s : La masse volumique de sable utilisé pour remplir le géotube ($1,8 \text{ t/m}^3$), γ_w : la masse volumique de l'eau de mer ($1,028 \text{ t/m}^3$),

On obtient :

Pour une largeur du géotube de 5.7 m :

$$H_s / (\Delta \cdot b) = 0, < 1 \quad (\text{La condition est vérifiée})$$

Cette valeur est en accord avec les résultats expérimentaux

Pour une largeur du géotube de 5.1 m :

$$H_s / (\Delta \cdot b) = 0, < 1 \quad (\text{La condition est vérifiée})$$

Cette valeur est en accord avec les résultats expérimentaux

IV. Description détaillée du projet

1. Notions de Base

1.1 Brise-Lames

Sur les fonds, parallèlement au tracé de la côte, ont pour but d'atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent. Ils provoquent une décélération de la dérive littorale en diffractant aussi la houle lorsqu'elle heurte les extrémités des brise-lames induisent une sédimentation à leur abri. Parfois rattachement des côtes aux Brise-lames, on les appelle des Tombolos. Les brise-lames arrêtent l'érosion des côtes et accroissent en superficie des plages. En accroissant la sédimentation dans la zone d'ombre qu'ils créent, ils provoquent dans le secteur immédiatement adjacent à l'aval, dans le sens de la dérive littorale, un déficit de matériaux qui accentue les phénomènes d'érosion. (Paskoff Roland 1993).

1.2. Géotubes

Les géotubes sont de longues structures tubulaires remplies par injection hydraulique directement sur le site. L'enveloppe géotextile est tissée afin d'offrir une haute résistance pour accueillir les matériaux, surtout du sable, qui la rempliront (Shin and Oh 2007). Un tapis anti-affouillement peut aussi être installé sous le géotube. Le géotube est rempli hydrauliquement à sec ou partiellement submergé. Le type de pompe utilisé peut varier d'une petite pompe submersible à une pompe utilisée en dragage, selon le type de projet. La pompe hydraulique est branchée sur les points d'injection localisés le long du tube. Lors du remplissage, l'eau sort par les pores du géotextile et le sable reste dans le tube. Dès que le géotube atteint la hauteur requise (1.5 à 5 m), les points d'injection sont fermés.

1.3. Stabiplage

Il s'agit de gros et longs «boudins» de matière poreuse et souple que l'on remplit de sédiments et que l'on immerge soit en pied de dune à sec, soit tout ou partie dans l'eau, en long ou en travers.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

La porosité et la souplesse, mais aussi la cohésion de l'ensemble font que l'ouvrage résiste sans casser, ne s'enfonce pas (système d'ancrage profond), évite les effets de «suction» par les houles et la forme «douce» évite le développement de clapots qui empêcheraient le dépôt du sable. L'avantage est aussi que les plantes aériennes ou aquatiques peuvent prendre racine dans l'enveloppe poreuse.

1.4. Confortement Dunaire

Un cordon dunaire en bon état, capable d'assurer la protection des terres arrière-littorales de façon pérenne, est un cordon stabilisé grâce à une couverture végétale importante (plantations d'oyats) pouvant être renforcée par l'installation de ganivelles et/ou de fascines ou de tout obstacle implanté face aux vents capable d'arrêter une partie du transit sédimentaire éolien et de favoriser ainsi la création et/ou la stabilisation des dunes.

2. Consistance des travaux à réaliser

Les travaux mise en œuvre nécessaire à la réalisation du projet de protection de la plage de Clubdes Pins sont les suivants :

Section 1 : Installation du chantier et repliement ;Section 2 : Terrassement (remblais – déblais) ;
Section 3 : Ouvrage de protection ;

Section 4 : Reconnaissance, analyses et reprofilage éventuel des fonds préalables aux travaux.

2.1. Installation du chantier et repliement

L'installation de chantier peut occuper une surface d'environ 200 m², il comprend tous les équipements et installations pour :

- L'exploitation des carrières ;
- Le tri et le pesage des matériaux ;
- Les moyens de transport et de manutention ;
- Le camp de chantier, les bureaux, l'infirmierie de première assistance ou tout autre imprévu.



Figure 72: Installation du chantier

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

2.2. Terrassement (Remblais/Déblais)

Les travaux de terrassement par le remblaiement et le déblaiement comprennent :

Les déblais et remblais pour l'ancrage des stabiplages sur la plage à 0,50 m sur une largeur de 1,50 m et une longueur variant entre 20 et 55 m. Ces stabiplages une fois ancrés seront recouvert par une couche de sable de 0,50 m d'épaisseur

Le reprofilage préalable à la pose des géotubes pour réaliser une plate-forme horizontale perpendiculaire à l'axe des géotubes. Le reprofilage sera réalisé dans le cas où le fond marin montre des variations ne permettant pas de respecter la cote d'arase indiquées sur plan pour chaque géotube. Ce reprofilage sera réalisé avec un matériau dont la catégorie est laissée.

Le rechargement de la plage par la mise en place du sable de carrière dont le diamètre moyen des Grains varie entre 0,500 et 0,700 mm sur un linéaire de 3000 ml. La hauteur de rechargement est de 0,5 m. La hauteur de rechargement est de 0.50m. Le volume global de sable de rechargement à mettre en place est estimé à 75.000 m³, soit 25 m³ par mètre linéaire de plage. L'étalement du sable sur la plage se fera avec une pente de 1/15 (6,7)

2.3.Ouvrages de protection

Les ouvrages de protection consistent en :

*Quinze (15) brise-lames en géotextiles tissés immergés (géotubes) posés sur une longueur de près de 3 000 m (digues sous-marines) à une profondeur variant entre -3m et -4.50m

*Vingt-huit (28) Stabiplages implantés sur la plage aérienne.

V.Brise-lames en géotextile

1. Caractéristiques des Brise-Lames

La longueur totale de la protection du rivage par 15 digues sous-marines est d'environ 3 000 ml (15 brise-lames de 115m de long chacun avec 80m d'espacement entre eux). La digue sous-marinesera arasée à la cote -1.00m en moyenne (variant de -0.60m à -1.80m en fonction du type de géotube utilisé). Elle est implantée à une distance variant entre 140m à 260m de la cote selon le plan d'implantation des ouvrages.

Cette digue sera constituée de boudins en géotextiles tissés renforcés à l'intérieur par un géotextile non tissé remplis de sable de mer prélevé sur place et pompé sur place dans les géotubes. Ces boudins seront disposés sur un tapis anti-affouillement en géotextile lui-même lesté par des boudins d'ancrage de 0.50m de diamètre comme illustré sur le schéma de principe ci-dessous (figures 5 et 6) ces lests devront être ensouillés après leur remplissage par du sable de mer. Ce tapis anti-affouillement sera de 125m de long pour une largeur variant de 25.30m à 27.10m selon le type de boudin employé, 4.00m ou 4.50m de diamètre.

Les dispositions prévues dans le CPS, prévoit le reprofilage des fonds avant la mise en place des boudins dans le cas où la bathymétrie d'avant-projet révèle des irrégularités dans le fonds, d'ajuster ces fonds par la mise en place de TVC (0-200kg).

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

L'avis technique du BET HMI sur ce détail, est que les tapis anti-affoulements ainsi que les boudins doivent être mis en place directement sur le sable au vu du risque de déchirure des enveloppes des géotubes, qui devaient être posés initialement directement sur du TVC de carrière qui comporte des arêtes vives.

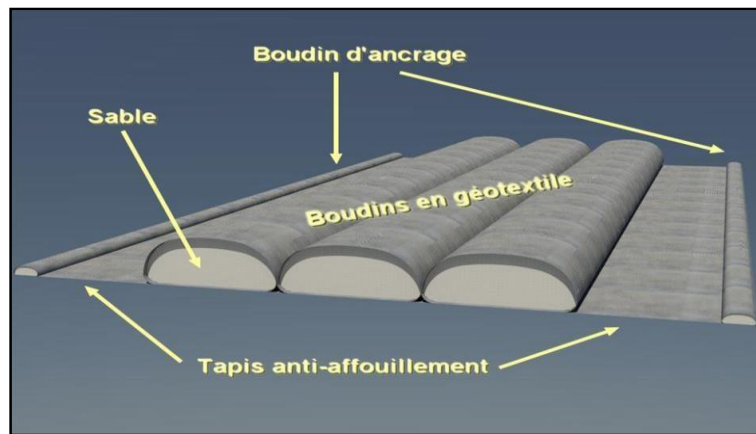


Figure 73: Schéma de principe du brise-lames en géotextile (1/2)

Les fonds doivent être profilés en sable de mer et non en TVC. Mais généralement ce reprofilage n'est pas réalisé, car il est difficile à exécuter.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Chacun des 15 brise-lames sera composé de 3 rangées de boudins adossés dans le sens de la largeur comme indiqué sur le schéma ci-dessous. Chacune des rangées sera formée, dans le sens de la longueur, d'un boudin de 25 m et de 3 de 30 m dont la disposition variera suivant les rangées.

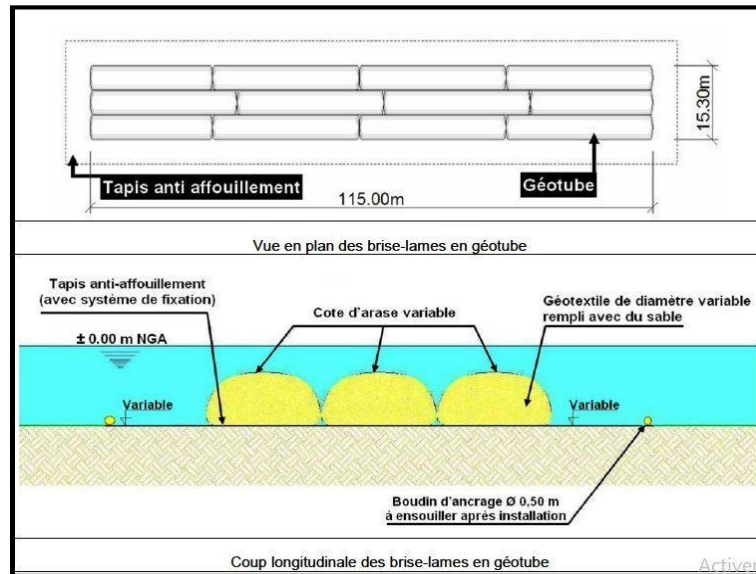


Figure 74: Schéma de principe du Brise-lames en géotextile (2/2)

Les boudins en géotextiles seront pré confectionnés en usine et devront permettre d'obtenir une digue avec les caractéristiques suivantes :

- Une cote d'arase moyenne de -1.00m
- Une largeur minimale après pose variant entre 15.30m et 17.10m en fonction du brise-lames (09 BL de 115m x 17.10m et 06 BL de 115m x 15.30m)

Il est impératif que l'arase supérieure de la digue sous-marine soit respectée pour assurer l'efficacité de l'ouvrage en terme d'atténuation de la houle (atténuateur de houle).

3. Présentation détaillée des Brise-lames en géotubes

Du fait de la longueur de la plage à protéger et pour assurer une bonne circulation des eaux, l'ouvrage sera composé de 15 brise-lames de 115ml de longueur séparés d'environ 80m comme indiqué sur la FIG. N° 2 et l'annexe 1. Les brise-lames devront être réalisés avec des boudins dont les longueurs varient entre 25m et 35m et d'un diamètre avant pose de 4m et 4.50m (Voir tableau ci- après).

Chacun des 15 brise-lames sera composé de 3 rangées de boudins adossés dans le sens de la largeur, chacune de ces rangées sera formée dans le sens de la longueur, d'un (1) boudin de 25m, (2) deux boudins de 30m et d'un boudin de 35m. La disposition des boudins variera suivant les rangées. (Total 115ml) (Voir fig. 5 et 6)

Les brise-lames devront être installés sur du sable. Ainsi, certains devront être installés légèrement plus au large que d'autres pour éviter le faciès rocheux existant sur le site ; Ce qui implique une implantation de ceux-ci à des profondeurs plus importantes. (Voir annexe 1)

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Afin de respecter une cote d'arase plus ou moins identique, deux types de boudins seront adoptés :

Des boudins de 4.00m de diamètre (avant pose) en fonction de la profondeur d'eau

Des boudins de 4.50m de diamètre (avant pose) en fonction de la profondeur d'eau

Les caractéristiques après pose et remplissage sont respectivement de 2,4 m et 2,7 m en hauteur et 5,1 m et 5,7 m en largeur.

Tableau 8:Caracteristiques des 15 brise-lames en géotextile mises en œuvre pour la protection de la plage de Club des Pins

N° BL	Nbr broud 25m/r	Nbr broud 30m/r	$\gamma\theta$ geot avant pose (m)	hauteurH (m) Apr pose	L(m) geot apr pose	Largeur(m) briselame s(m)	Larg ouv 53rang)	Larg tapis A_affoull ement(m)	Profondeur d'implanta tion min/max(m)	Cote d'arase théorique min/max(m)
01	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.35/-3.77	-0.6/-0.74
02	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.63/-4.2	-0.95/-1.26
03	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3.2/-3.55	-1.05/-1.22
04	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3.3/-3.6	-0.97/-1.05
05	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3.6/-4	-0.92/-1.13
06	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.6/-3.4	-0.72/-0.77
07	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.4/-3.6	-1.02/-1.3
08	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.7/-4.3	-1.02/-1.3
09	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.65/-4.25	-0.97/-1.14
10	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3.25/-3.7	-0.76/-0.96
11	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3/-3.6	-0.97/-1.14
12	1	2	4	2.4	5.1	115	15.3	25.3	-3.23/-3.68	-1.05/-1.3
13	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.68/-4.32	-1.05/-1.3
14	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.68/-4.32	-1.05/1.3
15	1	2	4.5	2.7	5.7	115	17.1	27.1	-3.68/-4.32	-1.05/-1.3

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Les brise-lames feront tous 115 m de longueur mais la largeur sera de 15,3 m pour ceux utilisant des boudins de 4,0 m de diamètre, et de 17,1 m pour ceux utilisant des boudins de 4,5 m de diamètre.

Ces boudins après pose et remplissage auront respectivement :

- 2.40 m de hauteur et 5.10m de largeur pour le boudin de 4.00m de diamètre
- 2.70 m de hauteur et 5.70m de largeur pour le boudin de 4.50m de diamètre

Les tapis anti-affouillement en géotextile devra dépasser de 5m de part et d'autre des brise-lames tant dans les sens de la largeur que dans le sens de la longueur.

-Il aura donc une longueur de 125m

-une largeur de 25.30m pour les BL utilisant des boudins de 4m

-une largeur de 27.10m pour les BL utilisant des boudins de 4.50m

Les cotes d'arase minimales et maximales sur chacun des brise-lames sont données dans le tableau N° 1 à titre indicatif, sachant que la zone d'implantation de la digue est située avant la profondeur de fermeture et donc que les fonds sont susceptibles de changer avant les travaux.

C'est pourquoi il est demandé au groupement un levé bathymétrique préalablement au démarrage des travaux qui sera contrôlé contradictoirement par le BET chargé du suivi qui fera son propre levé (150 Ha environ) soit 3000m × 500m (jusqu'à la profondeur de 7m environ).

- **Principe de mise en œuvre des Brise-Lames**

La mise en œuvre des brise-lames immergés en géotextile se fait généralement par voie maritime. Pour ce faire, il devra être réalisé en premier lieu un reprofilage des fonds qui consiste à réaliser une plate-forme horizontale perpendiculaire à l'axe des géotubes, Le reprofilage sera réalisé dans le cas où le fond marin montre des variations ne permettant pas de respecter la cote d'arase définie sur les plans,

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Les modalités de mise en œuvre sont les suivantes :

- ✓ Mise en place d'un ancrage provisoire autour de l'emplacement prévu pour le tapis anti-affouillement;
- ✓ Mise en flottaison du tapis anti-affouillement en géotextile ;
- ✓ Remplissage des boudins de lestage du tapis en géotextile avec du sable au moyen d'une pompe hydraulique ;
- ✓ Plaquage du tapis anti-affouillement sur le fond préalablement reprofilé (si nécessaire) ;
- ✓ Mise en place de points de fixation provisoire de part et d'autre tous les 5 m permettant d'assurer et de garantir la bonne implantation des géotubes;
- ✓ Mise en flottaison du boudin en géotextile ;
- ✓ Remplissage du boudin en géotextile avec du sable au moyen d'une pompe hydraulique successivement sur les cheminées ;
- ✓ Continuité des boudins dans le sens de la longueur assurée par un recouvrement d'environ 5,0m, l'élément rempli reposant toujours sur l'élément à remplir ;
- ✓ Fermeture des cheminées de remplissage une fois le remplissage et la densité atteinte (après essorage).

Le sable de remplissage sera amené par voie terrestre dans un bassin de décantation aménagé sur la plage puis repris par pompe hydraulique afin d'être acheminé par conduite dans les boudins.

4. Stabiplates

4.1. Principe des Stabiplates

La technologie du Stabiplate a été mise au point dans la perspective d'offrir une méthode douce de protection contre l'érosion. A ce titre les ouvrages sont conçus pour s'intégrer de façon optimale dans l'écosystème : intégration dans la dynamique sédimentaire naturelle, respect de la biomasse et des usagers.

Le Stabiplate ne bouleverse pas la nature. Il ne bouleverse pas non plus les équilibres qui la régissent, il les assiste.

La technique a été développée à partir d'une bonne connaissance des environnements côtiers, fluviaux et lacustres. Elle s'appuie sur l'utilisation de matériaux de haute qualité pour créer des ouvrages inédits adaptés à chaque site, à chaque écosystème et à chacun de ses besoins.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

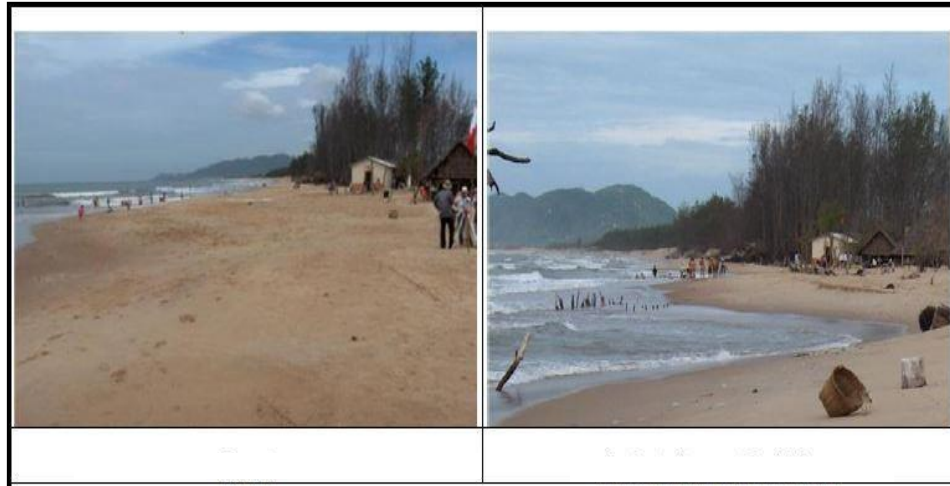


Figure 75: Exemple de l'utilisation de la technologie stabiplage, côté droit avant, côté gauche après

4.2. Caractéristiques des stabiplages

Les stabiplages seront constitués de boudins en géotextile remplis de sables de carrière ancrés à une profondeur de 0,50 m sur la plage aérienne. Le nombre total de stabiplages à mettre en place est de vingt (28). Leurs caractéristiques sont comme suit:

- ✓ Largeur : 1,50 m ;
- ✓ Hauteur : 1,00 m ;
- ✓ Distance entre 2 géotubes : 100 m ;
- ✓ Longueur unitaire variant entre 20 et 55 m ;
- ✓ Diamètre à vide : 1,60 m.

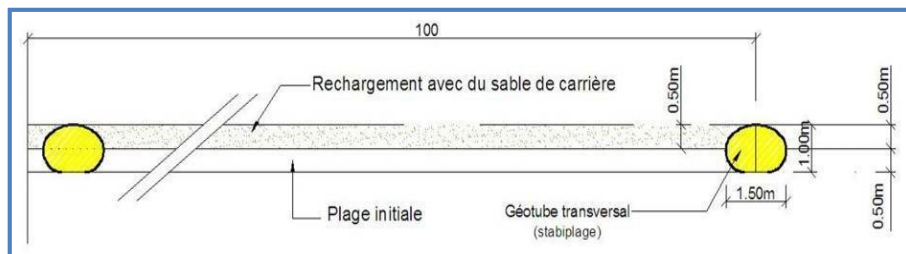


Figure 77: Coupe longitudinale de la plage : implantation des stabiplages

GÉOTUBES IMPLANTÉS SUR LA PLAGE
COUPE E-E
Ech:1/100

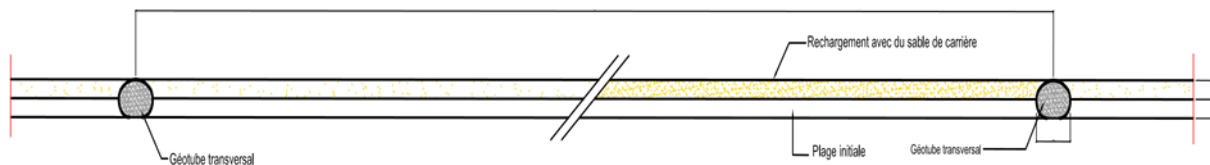


Figure 76: Coupe type de stabiplage

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Le tableau suivant donne une indication sur les dimensions des Stabiplates, diamètre 1,60 m.

Tableau 9:les indications sur les dimensions des stabiplates

N° de Stabiplates	Longeur (ml)
01	46
02	51
03	51
04	51
05	55
06	52
07	51
08	51
09	51
10	53
11	55
12	45
13	52
14	45
15	49
16	50
17	55
18	28
19	34
20	20
21	50
22	50
23	50

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

24	50
25	50
26	50
27	50
28	50

4.3.Réalisation des fouilles

-Les fouilles en tranchées de profondeur variable (suivant terrain naturel)

-Réalisées au droit des stabiplates.

-L'ancrage de stabiplates sur la plage à 0.50 m sur une largeur de 3.50m et une longueur variant entre 46 et 55 m.

-Les fouilles sont exécutées avec des moyens mécaniques (pelle hydraulique, bulldozer) l'emprise doit tenir compte des surlargeurs imposées par les talus selon la pente naturel du sable de mer.



Figure 78:Fouille en tranché

Le géotube de 46 à 55 m de long, mis en place est constitué par un géotextile de type tissé, possédant 4 cheminées de remplissage disposées tous les 15 mètres. Son diamètre est de 1.60 m. Une fois rempli, la hauteur maximale à atteindre sera de 1.00 m.

Après la réalisation de la fouille les points extrêmes de l'axe ainsi que des points de positionnement seront disposés le long du boudin.

Afin de positionner précisément le stabiplate selon les implantations définies et pour faciliter la pose des géotubes, deux rangées de fixations provisoires sous forme de piquets disposés tous les

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

5 m de part et d'autre de l'implantation, seront mis en place, en dehors du gabarit du boudin. Les géotubes seront déroulés et posés avec les cheminées de remplissages vers le haut.

Les boudins seront fixés aux piquets afin d'être positionnés selon l'implantation souhaitée en utilisant toutes les boucles prévues du système avec des cordes.

Pour la partie immergée des géotubes ; la procédure d'immersion sera basée sur l'élimination de la flottabilité avec des sacs de sable.



Figure 79:: Stabiilage en cours de mise en place

4.4.Mise en œuvre des géotextiles pour les stabiilages

Les boudins en géotextiles (les stabiilages) devront être installés par voie terrestre. Les modalités de mise en œuvre sont décrites ci-dessous :

Mise en place de points de fixation provisoire de part et d'autre tous les 5 m permettant d'assurer et de garantir la bonne implantation des stabiilages ;

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins



Figure 80:stabiplage en début de remplissage



Figure 81: Fin de remplissage et finitions de stabiplag

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Remplissage du boudin en géotextile avec du sable au moyen d'une pompe hydraulique successivement sur les cheminées ;

Continuité des boudins dans le sens de la longueur assurée par un recouvrement d'environ 5 m, l'élément rempli reposant toujours sur l'élément à remplir ;

Fermeture des cheminées de remplissage une fois le remplissage et la densité atteinte (après essorage).

4.5. Rechargement de la plage



Figure 82: L'étalement du sable sur la plage avec une pente de 15/1 au moyen d'un bulldozer

Principe

Le rechargement en sable constitue une solution de protection douce du littoral. Son intérêt principal est de recharger la zone actuellement en processus érosif pour élargir le haut estran afin de créer une plage « sèche » (c'est-à-dire non recouverte par les pleines mers) plus étendue et d'offrir un "stock" de sable pour la formation des tombolos derrière les brise-lames.

Ceci permettra d'améliorer la sécurité des ouvrages de bordure de mer et de rendre à la plage son rôle de défense contre la mer.

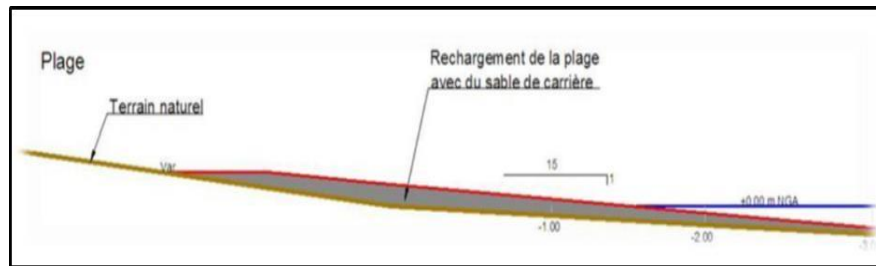
La construction des brise-lames sera accompagnée d'un rechargement en sable de carrière de 50 000 m³ pour la totalité de la plage et sa stabilisation avec la mise en place de vingt (20) géotubes transversaux (stabiplates). Le but étant de stabiliser le trait de côte, d'élargir la plage et de maintenir les matériaux de rechargement en place.

4.6 Granulométrie du sable de Carrière

Le rechargement de la plage doit être fait avec un sable de carrière ayant une granulométrie dont le diamètre moyen des grains varie entre 0,5 et 0,7 mm sur un linéaire de 2 000 m. La hauteur de rechargement est de 0,5 m. Le volume global de sable rechargement à mettre en place est estimé à 50 000 m³, soit 25 m³ par mètre linéaire de plage. L'étalement du sable sur la plage se fera avec une pente de 15/1.

Le remplissage des géotubes doit être fait avec un sable de carrière ayant une granulométrie $\geq 0,3$ mm.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins



4.7. Mise en œuvre

Le linéaire côtier total à recharger est de l'ordre de 3 200 m, le volume de rechargement de la plage nécessite un apport d'environ 50 000 m³.

Dans le cadre des opérations de rechargements de la plage de Club des Pins, seule la voie terrestre est préconisée

Les sables seront amenés à la plage par camions à benne ou dumpers en passant par l'estran. Une fois déversés sur la plage, ils seront étalés vers les petits fonds (pente 1/15) et nivelés à l'aide de bulldozer et/ou chargeur.

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

4.8. Carrières et gisements de sable disponibles

Deux types de ressources peuvent être exploités pour le rechargement de la plage du Club des Pins en sable. Une carrière ou un gisement de sable sera exploité.

Carrières

Les carrières suivantes peuvent être retenues pour une éventuelle exploitation pour les travaux de protection de la plage de Club des Pins :

- Carrière de Diar El Kef (ex Jaubert) à Bab el Oued, Alger ;
- Carrière de Kadarra à Boumerdes ;
- Carrière d'Ammal au Sud –Est de Bourmedes ;
- Carrière de Hamr Al Ain à Tipaza ;
- Carrière de Tabainet Wilaya de Blida.

Dans le cadre de la présente étude, les cinq (05) carrières citées ci-dessus qui présentent le potentiel et les qualités adaptés au projet, peuvent être utilisées mais il est bien évident que ce sera à l'Entreprise adjudicataire des travaux de procéder à l'identification et au choix d'une ou des carrières à utiliser pour le projet. L'Entreprise fournira un dossier complet d'exploitation de carrière avant le démarrage des travaux.

Gisement de sable

Pour le rechargement de la plage de Club des Pins, le sable peut être prélevé. La possibilité de prélèvement du sable analogue à celui de la plage de Club des Pins nécessite une recherche précise (disponibilité de stock, compatibilité granulométrique, proximité géographique...etc.), les caractéristiques de ce sable devront cependant être précisées pour être en adéquation avec les besoins du site.

5. Reconnaissances, analyses et reprofilage éventuel des fonds préalables aux travaux

Un levé Topo-bathymétrique de la zone de projet a été réalisé pendant la période de préparation des travaux.

5.1. Caractéristiques du levé topographique

Le levé topographique a été réalisé sur la zone de rechargement de la plage aérienne (24 Ha) (3000 ml × 80ml).

Les caractéristiques du levé à réaliser sur la zone du rechargement sont définies ci-après :

- Distance entre chaque profil transversal à la future digue : 10 mètres ;
- Enregistrement d'un point tous les 1 à 2 mètres ;
- Relèvement des points singuliers.

5.2. Caractéristiques du levé bathymétrique

Le levé bathymétrique a été réalisé sur la zone allant du trait de côte et au-delà de la zone d'implantation des boudins sur une longueur de 3000ml environ 150 Ha environ (3000 ml × 500 ml).

Chapitre IV : Projet d'aménagement et de protection de la plage Club des Pins

Les caractéristiques du levé à réaliser sur la zone d'implantation de la digue sous-marine sont définies ci-après :

- Distance entre chaque profil transversal à la future digue : 2 mètres au niveau de chacun des 15 brise-lames de 115 m de long ;
- Enregistrement d'un point tous les 10 mètres ;
- Relèvement des points singuliers.

Prélèvement et analyse des échantillons de sable de mer (selon CPS) rentrant dans le remplissage des boudins du B-L ainsi que les Stabiplates : 80 unités en vue de déterminer la granulométrie du sable de remplissage des géotubes.

Toutes les données recueillies lors de cette étape, visent à actualiser les données recueillies de la zone du projet et seront utilisées par le groupement lors de la préparation du dossier d'exécution et la méthodologie de réalisation des travaux.

6. Implantation des ouvrages de protection

L'implantation des Brise-lames et des Stabiplates est réalisée selon le cheminement et tableaux de coordonnées des plans n°05 et 03 indiqués dans les tableaux qui suivent ainsi que le schéma d'implantation détaillé d'un BL.

La position de deux stations topographiques (ST01 et ST02) est indiquée sur le plan n°05 aux coordonnées suivantes :

Tableau 10: La position de deux stations topographiques

	ST01	ST02
X	489 412.263	489 491.443
Y	406 9251.572	406 8285.363
Z	22.501	7.208

Conclusion générale

Conclusion générale

La Résidence el Sahel est une résidence hautement protégée avec d'importantes infrastructures située dans une zone soumise à une intense érosion par les vagues. Après les tempêtes survenues en 2007 notamment, le site du Club des Pins a subi d'importantes dégradations et une forte dégradation du littoral, ce qui a fait que certaines habitations ont eu un contact direct avec la mer.

Face au danger d'érosion de la plage du Club des Pins, le service des travaux publics de Wilaya à Alger a entamé des travaux de protection pour protéger la plage des attaques des vagues, l'étude de ce projet a été confiée au Laboratoire de Recherches Marines (LEM) et réalisée en 2009/2011. Puis, en 2015, le bureau d'études (HMI) a lancé une étude pour prolonger ces travaux.

Le diagnostic de l'état initial de la zone a présente un état de recul du rivage a une moyenne de 1,25 m/an sous l'influence des houles principalement du secteur Ouest, responsables du transport des sédiments et incluses dans le dimensionnement des ouvrages de sécurisation du projet.

La zone de Club des Pins est caractérisée par une morphologie sous-marine uniforme avec une pente moyenne de 1% avec la présence d'une fosse de ligature et d'une barre de déferlement parallèle à la côte affectant l'hydrodynamique de la région, avec une sédimentologie dominée par un seul petit troupeau, distribué sous l'effet de la houle.

Dans le cadre du diagnostic réalisé sur site, plusieurs types d'aménagements différents pour protéger l'ouvrage de la plage ont été proposés et étudiés afin de déterminer le choix d'une solution de positionnement d'une batterie de digues immergées en géotextile + rechargement de plage testée dans un maquette physique dans un creux sur fond solide et dans un chenal une vague sur fond mouvant.

Bibliographie

Bibliographie

Ait Kaci. M, Hamdi. M. S ; 2008 – Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued « Béni-Messous ». *Mémoire de DEUA, ISMAL, p18, p50.*

Assassi. C, Otmani. H ; 2010 – Etude de protection de la zone de Club des Pins. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, p 01, 15, 16, 50, 53-54, 59-60.*

Aubé. M et Hébert. C ; 2014 - Évaluation préliminaire de méthodes de protection des secteurs à risque d'inondation et d'érosion. *Institut de recherche sur les zones côtières inc, p52.*

Azrar. H ; 2014 - Contribution à la valorisation des sédiments de dragage portuaire: technique routière, béton et granulats artificiels. *Thèse de Doctorat, Université de Lille, p16.*

Benallel. A, Dernoun. D ; 2015 - Modélisation numérique des paramètres sédimentologiques et de pollution le long de la côte (cas de Club des Pins). *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, p89- 100.*

Ben Boudiaf. Y, Hadjarab. R ; 2006 - Caractérisation géotechnique d'une portion littorale d'El Djamila ; conséquences sur l'aménagement. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p5-13.*

Berkennou. N, Sallaye. M ; 2012 - Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, p24-26.*

Boutiba. M ; 1996 - Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). *Thèse de magister ISMAL, p123.*

Daoudi. M, Guendouz. M ; 2010 - Impact de l'anthropisation sur l'évolution actuelle des plages du Sahel ouest Algérois" cas de la baie d'El Djamila», *Thèse de doctorat, USTHB, résumé.*

H.M.I ; 2015 -Etude complémentaire sur l'extension de la protection du rivage marin de la Résidence Sahel sur 800 Ml - Avant-projet détaillé APD, Alger, p03-06, 08-09, 13.

H.M.I ; 2019 – Contrôle et suivi des travaux de protection du rivage marin de la résidence Sahel « Club des Pins », *Rapport d'activité du mois d'avril2019, Alger, p25 à 55.*

Jean-Pierre Pinot ; 1998 - La gestion du littoral, Tome I - Littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses, *Institut océanographique de Paris, p136.*

L.E.M ; 1984 - Etude de protection de Rivage Sidi-Fredj Club des Pins, *p8-14.*

L.E.M ; 1987 - Etude de protection de Rivage Sidi-Fredj Club des Pins, *p1-31.*

L.E.M ; 2011 - Etude de protection du rivage du site du Club des Pins – *Avant-projet détaillé APD, Alger, p4-5.*

Nasri. H et al. ; 2015 - Caractérisation calcimétrique et sédimento-métrique des dépôts argileux du bassin néogène de Boudinar (Rif nord-oriental, Maroc) : implication sur l'évolution eustatique et hydrodynamique du bassin et intérêt économique, *Article scientifique, Maroc, p 862-863.*

Paskoff. R ; 1992 – Côte en danger. *Ed Masson, Paris, p50, 52, 57, 86, 207.*

Bibliographie

Paskoff. R ; 1993 – Les littoraux, Impact des aménagements sur leur évolution, 2ème édition. *Ed Masson, Paris, p69.*

Rabehi. W, Rahal. F ; 2011 – Aménagement du port d'El Djamila avantages et inconvénients. *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL, p2, 4, 10.*

REBHI. M, GOUCEM. T ; 2011 - Port de Sidi Fredj : Quantités de sédiments à draguer, *Mémoire de DEUA, ENSSMAL, p3, 4.*

Sogreah ; 2012 - Projet de protection de la plage de Club des Pins ; Etude d'Impact Environnemental-*Rev1, Alger, p23-39, 81-83, 85-106.*

S.S.M.O ; 1963-1970 - Tome II. Zone Algérienne.

Zerouali. K ; 2013 - La méthode GSTA (Global Size Trend Analysis) appliquée à la côte de Stora-Skikda. *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL, p 16-20.*

AitSaadi. Z, Mansouri. F ; 2020 _ Travaux de protection du rivage marin de la residence Sahel Club des Pins. *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL*

ANNEXES

ANNEXES

Trait de cote

Tableau 11:Coordonnées d'implantation des 15 Brise-lames immergés

COORDONNEES D'IMPLANTATION DES 15 BRISES-LAMES IMMERGES

N° brise-lames	N° Points	X (utm)	Y (utm)
Brise-lames 1	1	488299.348	4068882.964
	2	488342.912	4068920.494
	3	488386.475	4068958.024
Brise-lames 2	4	488447.354	4069013.070
	5	488495.535	4069044.452
	6	488543.716	4069075.834
Brise-lames 3	7	488659.246	4069031.523
	8	488705.045	4069066.289
	9	488750.842	4069101.062
Brise-lames 4	10	488796.285	4069164.486
	11	488841.236	4069200.347
	12	488886.203	4069236.183
Brise-lames 5	13	488924.700	4069302.677
	14	488969.667	4069338.513
	15	489014.634	4069374.349
Brise-lames 6	16	489044.659	4069448.532
	17	489089.626	4069484.368
	18	489134.593	4069520.204
Brise-lames 7	19	489195.613	4069571.409
	20	489238.751	4069609.426
	21	489281.890	4069647.443
Brise-lames 8	22	489324.726	4069734.975
	23	489362.584	4069778.254
	24	489400.442	4069821.532
Brise-lames 9	25	489457.316	4069872.951
	26	489504.608	4069905.657
	27	489551.900	4069938.363
Brise-lames 10	28	489612.194	4069993.042
	29	489653.065	4070033.272
	30	489695.078	4070072.529
Brise -lames 11	31	489741.688	4070137.421
	32	489778.513	4070181.582
	33	489815.338	4070225.743

ANNEXES

Brise-lames 12	1	489870.247	4070309.979
	2	488147.587	4068743.948
Brise-lames 13	3	488147.587	4068743.948
	4	488235.467	4068821.171
Brise-lames 14	5	487995.668	4068606.361
	6	488083.546	4068683.584
Brise-lames 15	7	487843.748	4068468.772
	8	487931.575	4068545.954

Tableau 12:Coordonnées d'implantation des Stabiplates

N° Stabiplate	N° Points	X(UTM)	Y(UTM)	Longueur(m)
Stabiplate 01	34	488419.317	4068645.605	46
	35	488392.606	4068683.001	
Stabiplate 02	36	488489.826	4068681.612	51
	37	488458.210	4068722.051	
Stabiplate 03	38	488566.447	4068751.401	51
	39	488532.617	4068789.108	
Stabiplate 04	40	488648.934	4068805.703	51
	41	488617.295	4068845.435	
Stabiplate 05	42	488736.355	4068856.424	55
	43	488702.224	4068899.417	
Stabiplate 06	44	488834.299	4068901.862	52
	45	488800.743	4068941.327	
Stabiplate 07	46	488914.260	4068961.566	51
	47	488881.670	4069000.292	
Stabiplate 08	48	488992.190	4069023.470	51
	49	488959.551	4069062.691	
Stabiplate 09	50	489078.628	4069079.655	51
	51	489045.027	4069117.395	
Stabiplate 10	52	489156.670	4069143.490	53
	53	489120.664	4069182.441	
Stabiplate 11	54	489233.494	4069212.093	51
	55	489197.071	4069247.682	
Stabiplate 12	56	489308.854	4069272.256	45
	57	489279.356	4069305.672	
Stabiplate 13	58	489386.866	4069340.391	52
	59	489349.615	4069376.859	
Stabiplate 14	60	489459.741	4069412.944	45
	61	489427.241	4069444.436	45
Stabiplate 15	62	489531.248	4069482.481	49
	63	489495.989	4069519.937	
Stabiplate 16	64	489599.196	4069552.880	50
	65	489564.241	4069589.282	
Stabiplate 17	66	489651.624	4069642.888	55
	67	489613.952	4069682.054	
Stabiplate 18	68	489710.475	4069730.566	28
	69	489689.194	4069748.002	
Stabiplate 19	70	489892.940	4069945.439	34
	71	489869.370	4069970.102	
Stabiplate 20	72	489996.512	4070073.729	40
	73	489968.901	4070102.625	
Stabiplate 21	74	490 093.8037	4070753.6316	50

ANNEXES

	75	490122.7787	4070412.8830	
<u>Stabiplate</u> 22	76	488320.2377	4068593.0899	50
	77	488348.5770	4068552.8488	
<u>Stabiplate</u> 23	78	488272.2756	4068545.0573	50
	79	488301.1685	4068504.2504	
<u>Stabiplate</u> 24	80	488217.2969	4068490.0068	50
	81	488245.9488	4068449.6083	
<u>Stabiplate</u> 25	82	488160.4170	4068422.9487	50
	83	488189.2727	4068382.1148	
<u>Stabiplate</u> 26	84	488083.5849	4068389.1208	50
	85	488112.5117	4068348.3383	
<u>Stabiplate</u> 27	86	488019.1620	4068340.9834	50
	87	488047.6701	4068300.7531	
<u>Stabiplate</u> 28	88	487960.2803	4068298.4103	50
	89	487988.984	4068257.8868	

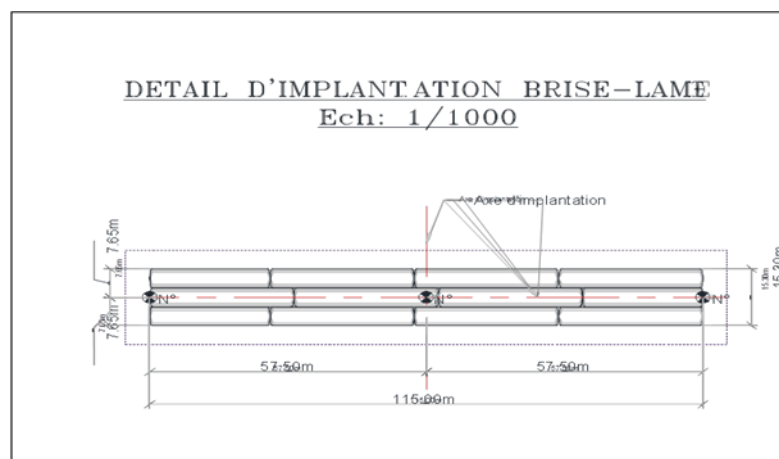


Figure 84: Détail d'implantation d'un brise-lames

- Rappel sur le quantitatif des matériaux (sable) à mettre en place dans les boudins, les Stabiplates et le rechargement de la plage :
- Suivant les calculs du BET HMI ainsi que les indications du C.P.S et le dossier de l'APD, les quantités de sable à mettre en place pour le remplissage des géotubes des Brise-lames, des Stabiplates ainsi que le rechargement de la plage sont indiqués dans le tableau suivant :

Tableau 13: Quantités de sable de mer à mettre en oeuvre

ANNEXES

	Ouvrages	Type de sable	Quantité (m ³)	OBS
1	Boudins pour les 15 BL composés de 15x12= 180 unités	Sable de mer dragué in situ	75 000	Sable de mer
2	<u>Stabiplates</u> 28 unités	Sable de mer dragué in situ	2 400	Sable de mer
3	Rechargement de la plage (3300 ml × 50 m × 0,50 m)	Sable de mer dragué in situ	82 500	Sable de mer
Quantité totale		Sable de mer dragué in situ	159 900	Sable de mer

- Le calcul du volume total de sable à draguer qui est nécessaire pour le remplissage des 180 géotubes, des 28 stabiplates et le rechargement de la plage en partie aérienne est estimé à environ de 160 000 m³.