

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



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

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Sujet :

**Etude de protection du rivage maritime
de Stora SKIKDA**

Préparé par :

-GASMI Oussama

-BOULOUATA Samir

Soutenu le 04 /07 /2013 devant le jury suivant :

Mr. HELLEL. M	Maître conférences	ENSSMAL	Président
M ^{me} . MEHDID. S	Chargé de cours	ENSSMAL	promotrice
Mr. Boumoula. Z	Ingénieur chef de projet	LEM	Co-promoteur
Mr. BELKESSA. R	Professeur	ENSSMAL	Examineur

Promotion : 2013

Remerciements

Tout d'abord, nous remercions Allah le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toutes nos reconnaissances à ceux qui, à divers titres, ont collaboré à la réalisation de ce travail. Nous les devons à de nombreuses personnes que nous avons le plaisir et l'honneur de citer ci après.

Mme, MAHDID d'avoir accepté de nous encadrer, nous exprimons notre gratitude pour l'attention portée afin d'élaborer ce mémoire, son soutien et pour tous ses efforts.

Mr BOUMOUA Zehr Eddine pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.

Sans oublier l'ensemble du personnel du LEM pour le meilleur accueil, et d'avoir facilité la consultation des documents nécessaires pour notre travail.

Mr HELLEL Mostafa d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Mr BELKESSA Rabah de nous avoir honoré de sa présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin nos vifs remerciements, à toutes les personnes qui nous ont aidé du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

BOULOATA et GASMI.

Dédicaces

« Je dédie ce modeste travail :

à toute ma famille,

ma mère, mon père,

à mes frères et sœurs en particulier : Mourad et Ilyes

à ma grande famille,

*à tous les amis et proches (Brahim, Mokhtar, Nabil, Moh, Chikh
Mohamed, L'arbi, Bardo, Younes, Karim, Radouane, Youcef,
Hichem, Abdo, Lakhdar...) et à tous personne ayant contribué à ce
travail de près ou de loin. »*

SAMIR

Dédicace

Je dédie ce travail

A mes chers parents pour tous ce qu'ils ont faits pour moi

A mon frère et mes deux sœurs

A tous mes chers amis : Younes, Badrou, Karim, Hanya, Youcef, Abdou, Zaki, Anis, Walid, Hakou, Fateh rouge, Zinou, Abd rahmen, Basset, Brahim, Djamel, Djemouï, Karim kahoul, younes, Mehdi, Mouloud, Moussa, Nadhir, Nounou, Rabah, Koufidèr

Et particulièrement ZEROUAL Yacine

A tous mes amis de l'enssamal

A toutes les personnes qui m'ont connu...

Oussama

Les listes

Figure I. 1 : Délimitation de la zone d'étude (Google Earth, 2013).....	3
Figure I.2 : carte géographique de Skikda, l'échelle 1/5000.....	5
Figure I.3 : Température moyenne.....	6
Figure I.4 : Température minimum et maximum.....	6
Figure I.5: Diagramme des précipitations (source O.N.M).....	7
Figure I.6 : Rose des vents sur une période annuelle (source Skikda aéroport).....	9
Figure I.7 : Localisation du bassin versant Saf-Saf (source : Kherfouchi M 1984).....	10
Figure I. 8 : Exposition du site d'études aux fetch.....	14
Figure I. 9 : Histogramme des hauteurs de houle de tempêtes.....	15
Figure I.10 : Evolution du trait de côte entre 1960 et 2011.....	16
Figure II.1 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul de la réfraction.....	25
Figure II.2 : Carte de positionnement des points de prélèvements.....	26
Figure II.3 : Méthodologie suivie pour l'analyse granulométrique.....	27
Figure II.4 : schéma de principe des modules du logiciel Mike 21.....	30
Figure III.1 : la carte bathymétrique de Stora (Boulouata et Gasmi 2013).....	32
Figure III.2 : carte 3D de la zone de Stora.....	32
Figure III.3 : Carte bathymétrique et les profils tracés au niveau de Stora.....	33
Figure III.4 : Profil sous marine n°3.....	34
Figure III.5 : Réfraction de la houle de direction 10°N pour une période 10s.(LEM 2011)....	34
Figure III.6 : Réfraction de la houle de direction 360°N pour une période 10s.(LEM 2011)..	35
Figure III.7 : Réfraction de la houle de direction 50°N pour une période 10s.(LEM 2011)....	36
Figure III.8: Courbe unimodale.....	37
Figure III.9 : Courbes bimodale.....	37
Figure III.10 : Courbe plurimodale.....	38
Figure III.11: Carte de répartition spatiale de la médiane (LEM 2011).....	38
Figure III.12 : Carte de répartition spatiale du décile supérieur (D ₉₀) (LEM 2011).....	40
Figure III.13 : Indice de classement S ₀	40
Figure III.14 : Indice d'asymétrie Sk.....	41

Liste des figures

Figure III.15: Histogramme de fréquence des modes.....	41
Figure III.16 : Répartition spatiale du Mode M1 (160 μm) (LEM 2011).....	42
Figure III.17 : Répartition spatiale du Mode M2 (250 μm) (LEM 2011).....	43
Figure III.18 : Répartition spatiale du mode M3 (630 μm) (LEM 2011)	44
Figure III.19 : Répartition spatiale du mode M4 (1000 μm) (LEM 2011)	45
Figure III.20 : Carte de la repartition spatiale des pélites.....	46
Figure III.21 : Diagramme de Passega.....	46
Figure III.22 : Répartition schématique des courants cotiers tiré des resultats de Mike 21....	48
Figure III.23 : Diagramme de Hjultrom, donnant la vitesse minimale d'un courant en fonction de la granulometrie des sédiments.....	48
Figure IV.1 : Fonctionnement des brise-lames (Annane et al 2007).....	50
Figure IV.2 : profile P(1) du brise-lames (Boulouata , Gasmi 2013).....	55
Figure IV.3 : profile P(2) de la plage (Boulouata , Gasmi 2013).....	57
Figure IV.4 : Coupe type classique d'un tube posé sur un tapis anti-affouillement.....	58
Figure IV.5 : profile P(3) des géotubes (Boulouata et Gasmi 2013).....	62
Figure IV.6 : Profile P(4) du brise-lames associe à l'épi (Boulouata et Gasmi 2013).....	65
Figure IV.7 : La zone concernée par le recule stratégique.....	66

Liste des tableaux

Tableau I.1 : La répartition de la fréquence des vents, en %, par intensité et direction.....	8
Tableau I.2 : Statistiques de la houle au large (Source : S.S.M.O., 1963-1970).....	13
Tableau I.3 : Distances des fetchs et amplitudes correspondantes.....	13
Tableau II.1 : Coordonnées des stations du réseau.....	21
Tableau II.2 : houle annuelle :.....	24
Tableau II.3 : houle de retour.....	24
Tableau III.1 : transit sédimentaire par période et par direction.....	49
Tableau IV. 1: Résultats de prédimensionnement des brise-lames émergés.....	54
Tableau IV. 2: Largeur de la berme.....	61
Tableau VI.3 : Caractéristiques géosynthétique en fonction de leurs paramètres.....	62
Tableau IV.4 : Résultats de prédimensionnement des brise-lames émergés associe à l'épi....	66
Tableau IV. 4 : comparaison des variantes.....	70

Liste des photos

Photo I. 1 : Plage très réduite et non aménagée.....	17
Photo I.2 : dégradation de mur et du talus de protection	17
Photo I.3 : dégradation de mur et du talus de protection	17
Photo I.4 : Trace de sable témoin d'importants franchissements.....	18

Liste des acronymes

A.F.N.O.R :	Association Française de Normalisation.
C.E.R.C:	Coastal Engineering Research Center.
L.C.H.F :	Laboratoire Central Hydraulique de France.
LEM:	Laboratoire d'Etude Maritime.
O.N.M :	Office National de Météorologie.
S.S.M.O:	Summary of Synoptic Météorological Observations.
TGO:	Trimble Geomatic Office.

Liste des abréviations

Ct :	Coefficient de transmission
G.P.S:	Global positioning system.
Hd :	Hauteur déterminante
Hi :	Hauteur incidente.
Hs :	Hauteur significative.
Ht :	Hauteur transmise.
Kt :	Coefficient du dommage.
NGA :	Nivèlement Général Algérienne.
R.T.K:	Real Time Kinematic.
S.W.A.N:	Simulating Waves Nearshore.
S₀ :	Sorting de trask.
Sk:	Skewness de Traskl.
T.V.C :	Tout Venant de Carrière.
TGO:	Trimble Geomattic Office.
γ^s :	La masse volumique des blocs.
γ^w :	La masse volumique de l'eau de mer.

Sommaire

Sommaire :

Chapitre I : Généralité

Introduction générale :	1
I.1. Situation géographique :.....	3
I.1.1. Baie de stora :.....	3
I.1.2. présentation de la zone d'étude :	3
I.2 Géomorphologie :	4
I.2.1 Caractéristiques géomorphologiques de la région d'étude :.....	4
I.2.2 Géologie régionale :.....	4
I.3. Données climatiques et hydrographiques :	4
I.3.1 Climat :.....	4
I.3.2 Pluviométrie :.....	7
I.3.3 Vent :.....	8
I.3.4 Réseaux hydrographiques :.....	9
I.4 Données hydrodynamiques :	11
I.4.1 Les courants :.....	11
I.5 Aspect d'évolution du trait de côte :.....	16
I.6 Visite de la zone :.....	16
I.7 Problématique d'érosion:	18
I.7.1.Facteurs d'érosions :.....	19
I.7.1.1 Facteurs anthropiques :.....	19
I.7.1.2 Facteurs naturels :.....	19

Chapitre II: Matériels et méthode

II.1. Reconnaissances générales de site d'étude :	21
II.1.1. Système utilisé et coordonnées :.....	21
II.1.2. Mode du levé topographique :.....	21
II.1.3. Mode du levé bathymétrique :.....	22
II.2. La réfraction de la houle :	22

II.2.1. Introduction :	22
II.2.2. Principe de calcul de la réfraction :	22
II.2.3. Les étapes de calcul de la réfraction :	23
II.2.4. Données de base :	23
II.2.4.1. Données bathymétriques :	23
II.2.4.2. Données de houles au large :	23
II.2.4.3. Choix du secteur angulaire :	24
II.2.5. Les étapes de calcul de la réfraction :	25
II.3. Etude sédimentologie :	25
II.3.1. Positionnement des points de prélèvements :	25
II.3.2. Technique de traitement au laboratoire :	26
II.3.3. Caractères sédimentologie des dépôts superficiels :	28
II.3.3.1. Etude de la fraction grossière :	28
II.3.3.1.1. Les indices granulométriques :	28
II.3.3.1.2. Etude modales :	29
II.3.3.2. Etude de la fraction fine :	29
II.3.3.3. Diagramme de Passega :	29
II.4. Modélisation du transport sédimentaire :	30
II.4.1. Définition, objectifs et méthodologie :	30
II.5. Estimation du transit sédimentaire :	31
Chapitre III : Resultats et discussion	
III.1. Analyse bathymétrique :	32
III.1.1. La carte bathymétrique :	32
III.1.2. Les profils transversaux :	33
III.2. Etude de la réfraction de la houle :	34
III.2.1. Les houles de direction 10° N :	34
III.2.2 Les houles de direction 360° N :	35
III.2.1. Les houles de direction 50° N :	36
III.3. Etude sédimentologie :	37
III.3.1. Analyse de la fraction grossière :	37
III.3.1.1. Les courbes granulométriques :	37

III.3.1.2. Les indices granulométriques :.....	38
III.3.1.2.1. Répartition spatiale de la médiane (D50) :.....	38
III.3.1.2.2 Répartition spatiale du décile supérieur (D90) :.....	39
III.3.1.2.3 Indice de classement de Trask S0 :.....	40
III.3.1.2.4 Indice d'asymétrie (Skawness) Sk :.....	41
III.3.1.3 Analyses des modales :.....	41
III.3.2. Analyse de fractions fines :.....	45
III.3.3. Diagramme de Passega :.....	46
III.3.4. Conclusion sur l'étude sédimentologie :.....	47
III.3.4.1. Modélisation du transport sédimentaire :.....	47
III.3.4.2 Le transit sédimentaire :.....	49

Chapitre IV : Solution d'aménagement

IV.1. introduction :.....	50
IV.2. Variante N°1 : Brise lames émergés.....	50
IV.2.1. Définition :	50
IV.2.2. Prédimensionnement de l'ouvrage :.....	51
IV.2.2.1 Paramètres d'implantation :.....	51
IV.2.2.2 Paramètres structuraux :.....	52
IV.2.2.3. Stabilités des brise-lames émergés	53
IV.2.2.4 Les avantages et les inconvénients d'une brise lames :.....	55
IV.3. Variante N°2 :.....	58
IV.3.1. partie ouest : Brise-lames immergés en géotubes plus un Rechargement de la plage Paradis :.....	58
IV.3.1.1. Le rechargement de la plage Paradis :.....	60
IV.3.1.2. Brise-lames immergés en géotubes :.....	60
IV.3.1.2.1.: Predimontionnement de l'ouvrage.....	60
IV.3.1.2.1.1. Paramètres d'implantation de l'ouvrage.....	60
IV.3.1.2.1.2 Les paramètres structuraux.....	62
IV.3.1.2.2. Avantages et inconvénients des géotubes :.....	63
IV.3.2. Coté Est : brise lames émergé plus un épi en forme de T :.....	65
IV.3.2.1 L'épi forme de T :.....	65
IV.3.2.1.1. Prédimonsionnement de l'épi :.....	65

IV.3.2.1.2. Avantages et inconvénients des épis :.....	65
IV.3.2.1.3 Predimensionnement de la brise lames :.....	66
IV.3.2.2. brise lames émergé :.....	69
IV. 4. Le choix de la variante.....	70
Conclusion générale.....	71

Introduction Générale

Le littoral, est considéré comme un « territoire du vide » (Corbin, 1988) jusqu'au XIX^e siècle, est progressivement devenu un « territoire d'empoigne » (Paskoff, 1998).

Le littoral, au cours des étapes successives de son appropriation, est devenu un « éco- socio système » (Corlay, 1995) de plus en plus complexe, système à l'intérieur duquel il faut analyser et combiner les relations entre nature et société.

La plupart des côtes basses connaissent actuellement une « crise érosive » (Paskoff, 1998) généralisée, à l'échelle du monde, environ 70 % des littoraux sableux seraient en érosion, 20 % en stabilité et 10 % seulement en cours d'engraissement (Bird, 1987). Il faut ajouter les côtes à falaise qui, par définition, sont toutes en érosion car elles ne peuvent évoluer que par recul.

Le phénomène d'érosion se traduit par un recul du trait de côte, une réduction des plages; c'est ce qui dégrade le littoral et l'écosystème naturel marin sous plusieurs angles.

Face à cet recul, mais aussi face à l'augmentation de la vulnérabilité des milieux, il s'est avéré nécessaire de protéger ces équipements en réalisant des ouvrages de défense du littoral dont le choix dépend de la nature du site et de l'usage que l'on veut faire de ce dernier.

Aujourd'hui, on a constaté que l'urbanisation du littoral s'est faite au détriment de toutes les règles de sécurité, puisque des bâtis y ont été construits en bordure de la mer sans que soient prises en compte les érosions auxquelles elles s'étaient exposées; face à l'importance du recul de ces côtes, mais pire encore face à l'augmentation de la vulnérabilité des populations riveraines et de l'économie, il s'est avéré nécessaire de protéger ces infrastructures en réalisant des ouvrages de défense du littoral dont le choix dépend de la nature du site (hydrodynamisme...) et de l'usage ultérieur de ces ouvrages.

Le cas du rivage de Stora est un exemple de l'attaque de la mer mais aussi l'influence des ouvrages portuaire sur l'équilibre sédimentaire littoral. La perturbation du transit sédimentaire induit à la dégradation des plages adjacentes, dont la nécessité de protéger ce site.

Ce littoral, écologiquement riche et très vulnérable concentre sur un espace restreint une forte activité socio- économique et une démographie dynamique.

Les interactions systémiques y sont donc fortes. Ces interactions sont susceptibles d'être principalement synergiques, complémentaires, concurrentes ou antagoniques

Le but de notre projet de fin d'étude intitulé « Etude de protection du rivage de Stora Skikda », serait alors de proposer des ouvrages de protection après avoir identifié les causes et les conséquences de l'érosion sur le site d'étude, ainsi que le rôle qui peuvent jouer ces ouvrages de protection dans la stabilisation et le ralentissement du recul du trait de côte, ainsi que leur intégration dans l'environnement.

Pour cela on a partagé notre travail en :

- Reconnaissance générale de l'état initial et actuel de la zone d'étude à partir des données collectées des différents organismes, à savoir des données climatiques (températures, précipitations...etc.) et des données de terrain (topographie, bathymétrie...etc.)
- Une étude analytique des données avec présentation des résultats.
- Proposition des solutions d'aménagement et de protection avec leurs inventeurs sur l'environnement.

Chapitre I :

Généralité

I.1. Situation géographique :

I.1.1. Baie de Stora :

Le sinus numidien des géographes romains ou golf de Stora est la partie méridionale d'un grand golf allant du cap Bougaron à l'Ouest, au cap de fer à l'Est.

La baie de Stora est limitée par l'îlot des singes à l'Ouest et la plage Ben M'Hidi à l'Est.

I.1.2. présentation de la zone d'étude :

La zone d'étude se trouve à 345 Km à l'Est d'Alger à vol d'oiseau et à 3 Km à l'Ouest de la ville de Skikda. Elle est comprise entre les parallèles : 36°54'0" N et 6°52'0" E en DMS (degrés, minutes, secondes).

Elle s'étend sur une longueur d'environ 2100 m, elle est limitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud, par la corniche de Stora et montagne de Boulkeroud.
- A l'Est par le port mixte.
- A l'Ouest par le nouveau port de pêche. (voir la figure I.1),

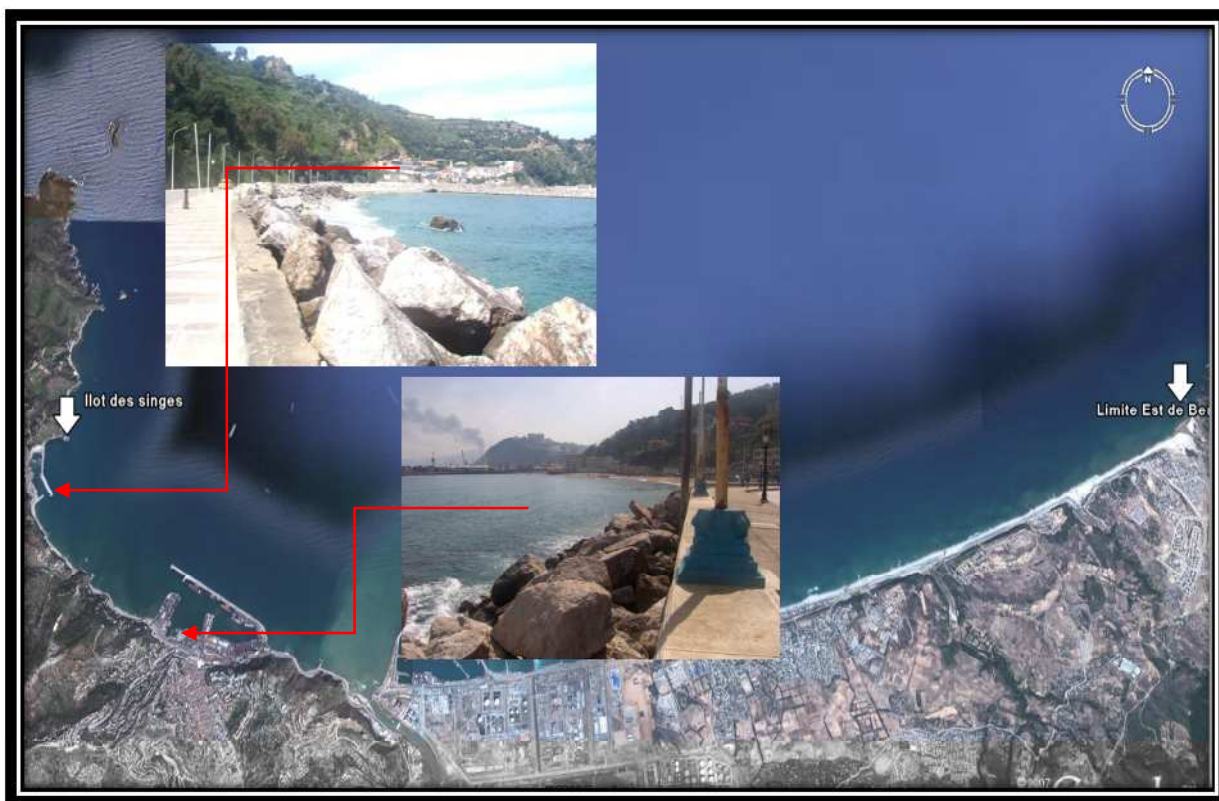


Figure I. 1 : Délimitation da la zone d'étude (Google Earth, 2013).

I.2. Géomorphologie :

I.2.1. Caractéristiques géomorphologiques de la région d'étude :

Le littoral comprend des plages sous forme d'une bande étroite, dont la largeur varie entre 10 et 20 mètres et d'une longueur de 2,1 Km. Il s'étend entre le port mixte et le port de Stora, cette longueur est répartie sur cinq belles plages :

- Château vert,
- La plage Market,
- La plage militaire
- La plage paradis
- La plage du port.

I.2.2. Géologie régionale :

Les terrains au niveau du littoral sont constitués en majorité par des formations d'âge Holocène. Les montagnes, au Sud de la zone d'étude, sont formées de roches métamorphiques (gneiss et schistes cristallins) du socle (Voir Figure I. 2).

I.3. Données climatiques et hydrographiques :

Les données climatiques et météorologiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent exclusivement des vents, car ils sont générateurs de vagues et de courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leur vitesse.

I.3.1. Climat :

La zone de Stora est soumise à un climat méditerranéen humide. Elle reçoit des précipitations annuelles variant de 700 à 1100 mm/an. Ce climat se définit par deux saisons bien différenciées.

Au niveau des températures, deux saisons sont bien différenciées : la période hivernale (novembre à avril) et la période estivale (mai à octobre).

- Période hivernale : la température est comprise entre 11,0 et 16,0 °C, le minimum étant pour le mois de janvier (16°C)
- Période estivale : la température est comprise entre 14,0 et 28,0 °C, le maximum étant pour le mois d'août (28°C).

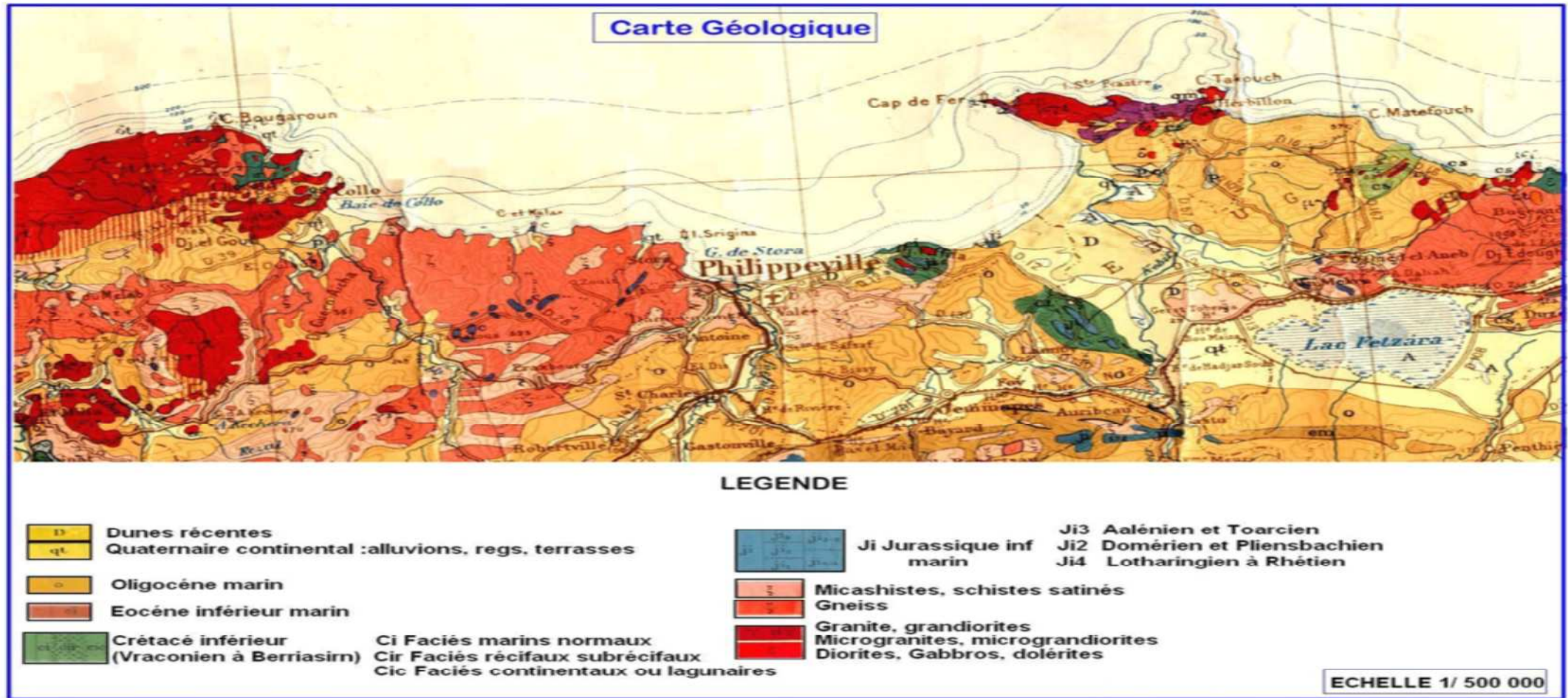


Figure I. 2 : Carte au 1/500.000 de la chaîne alpine Algérie orientale (J.M villa 1978).

Les températures mentionnées ci-après sont exprimées en degrés Celsius et représentent les moyennes mensuelles observées sur un grand nombre d'années.

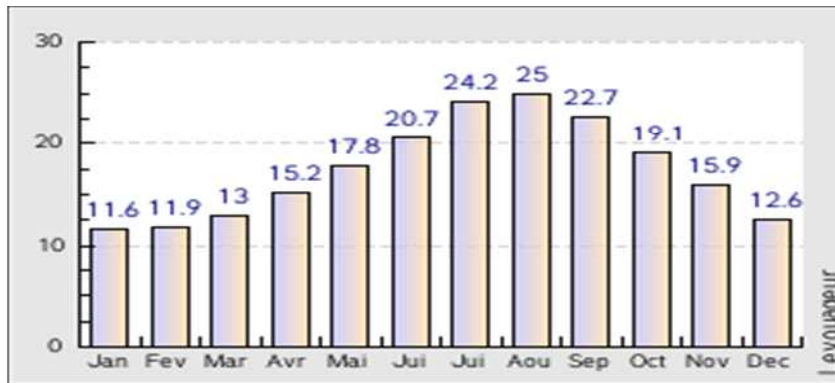


Figure I.3 : Histogramme de Température 2 moyenne (O.N.M in Mission 2 LEM, 2012).



Figure I.4: Courbes des Températures minimum et maximum (O.N.M in Mission 2 LEM, 2012).

I.3.2. Pluviométrie :

Les données pluviométriques de la station météorologique de l'aéroport de Skikda couvrent la période allant de 1970 à 1989.

Le diagramme des précipitations annuelles fait apparaître deux périodes :

- une période hivernale s'étalant d'Octobre à Avril, avec un maximum en Février,
- une période sèche, de Mai à Septembre.

La moyenne annuelle des précipitations établies sur une période de 20 années (1970- 1989) est de 750 mm/an. En 1977, la station météorologique a comptabilisé les plus faibles précipitations, soit 491 mm/an. Les plus importantes précipitations ont été enregistré en 1984, atteignant 1151 mm/an.

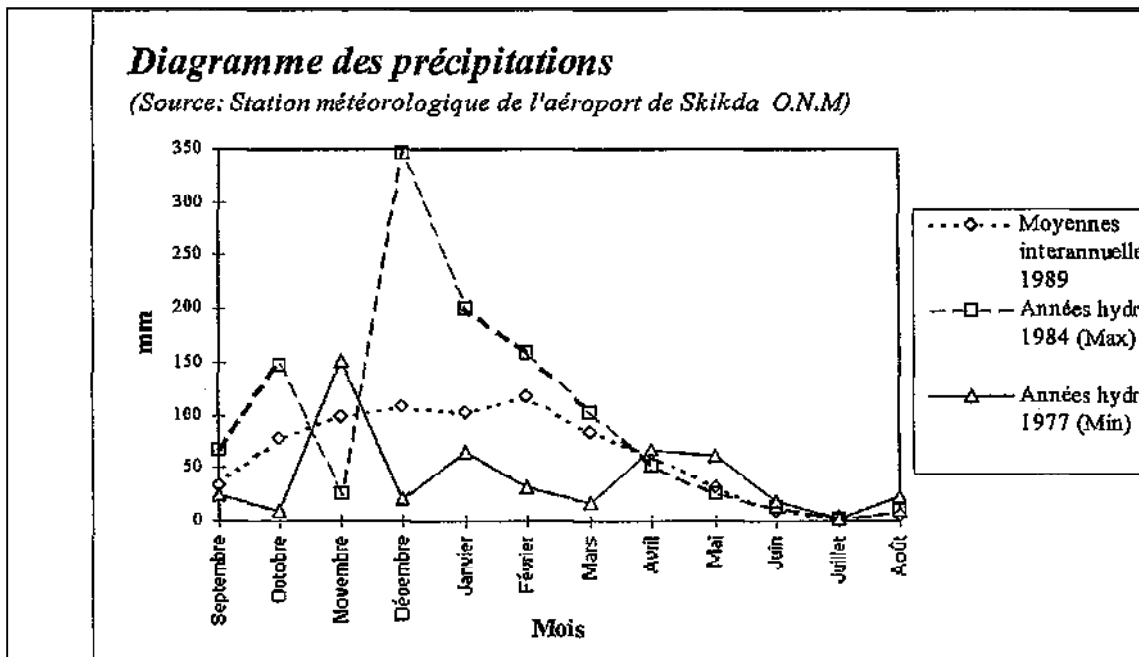


Figure I. 5: Diagramme des précipitations (O.N.M)

I.3.3. Vent :

En se basant sur des relevés de l'Atlas Océanographique de l'U.S. Naval Weather Service Command, La répartition de la fréquence des vents, en pourcentage, par intensité et direction est comme suit :

Tableau I.1 : La répartition de la fréquence des vents, en pourcentage, par intensité et direction

Direction Vitesse m /s	N	NE	NW	E	W
0,5-1,54	1,1	1	0.7	1.4	1
2.04-5.1	4,8	6.5	6,1	9,1	10,4
5.01 -10,7	2.4	2.8	6.1	5.6	13,2
11,22 -11.73	0,6	0,5	2,7	0.5	5,3
734 -23,97	0.1	0	0.8	0.1	1,1
25	0	0,1	0.1	0	0

Comme ce sont les vents au large qui déterminent les houles, les données de la distribution du vent donnent aussi des renseignements relatifs à la nature des houles au large.

On remarque que pour le 1^{er}, 2^{ème} et 4^{ème} trimestre, les vents de l'Ouest sont dominants (plus de 30 % du temps) et que pour une grande partie ces vents ont une vitesse supérieure à 8 m/s.

Le 3^{ème} trimestre (Juillet -Septembre), est dominé par les vents d'Est et de Nord-Est mais la majorité de ces vents ont une vitesse faible.

De l'analyse de ces données, il ressort que deux secteurs de vent dominant :

- Le secteur Ouest à Nord-Ouest : 47,5%
- Le secteur Nord à Est : 36,6%

En ce qui concerne les vents supérieurs à 11 m /s nous avons :

- 6,4 % pour la direction Ouest,
- 3,6 % pour le Nord-Ouest,
- 0,7 % pour le Nord,
- 0,6 % pour le Nord-Est.

Pour les vents littoraux, les observations faites au Cap de Garde et au site des Salines montrent l'extrême importance du relief local.

Ainsi, si les observations au Cap de Garde sont sensiblement identiques à celles du large, celles des Salines en revanche, montrent une prédominance des vents du secteur Nord à Est, susceptibles d'être à l'origine d'une surcote du niveau marin au niveau de Skikda.

Le massif de l'Edough joue, pour les observations au niveau des Salines, le rôle d'un écran contre les vents de Nord-Ouest.

Ce constat est vérifié aussi par les données de la station basée à l'aéroport de Skikda, qui indique sur ce tableau que les vents dominant sur l'année sont remarquables sur les secteurs NNO à NNE.

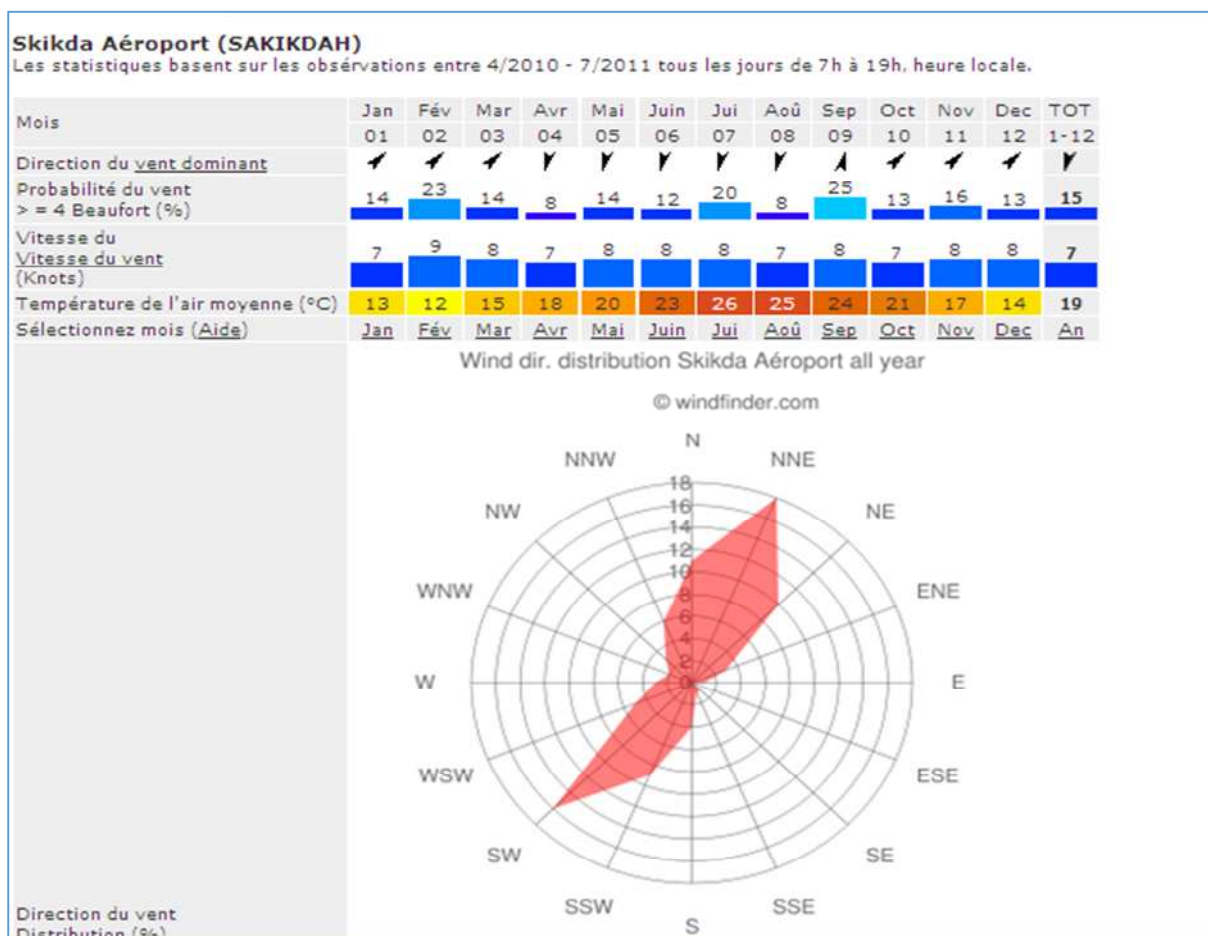


Figure I. 6 : Rose des vents sur une période annuelle (Skikda aéroport in LEM.2011)

I.3.4. Réseaux hydrographiques :

L'essentiel du réseau hydrographique de la wilaya de Skikda est composé de 07 oueds qui plongent dans la mer 04 à l'Est : Oued Righa, Oued El Gat, Oued Ksob et Oued Saf Saf, 03 à l'Ouest : Oued El Kantara, Oued Beni Malek et Oued Chadi.

Oued El Kantara et Oued Saf Saf sont les plus proches de notre site d'étude, le premier situe dans zone d'étude avec un débit négligeable, pour le deuxième son embouchure se situe entre l'ancien port (mixte) et le nouveau port (pétrolier) dont la distance qui les sépare est d'environ 1 Km. Il constitue de ce fait la principale source d'alimentation de la plage en matériaux meubles.

La baie de Stora est caractérisée par la présence d'un immense bassin versant de Saf-Saf d'une surface d'environ 1158 Km² avec une complexité dans sa structure ainsi qu'il présente un grand ensemble morpho-structural composant plusieurs milieux morphologiques.

Il s'étend du piedmont sud tellien (au sud), à la mer méditerranée (au nord), il est respectivement limité à Est et à l'Ouest par les bassins versants du Seybouse et du Kébir Rhumel.

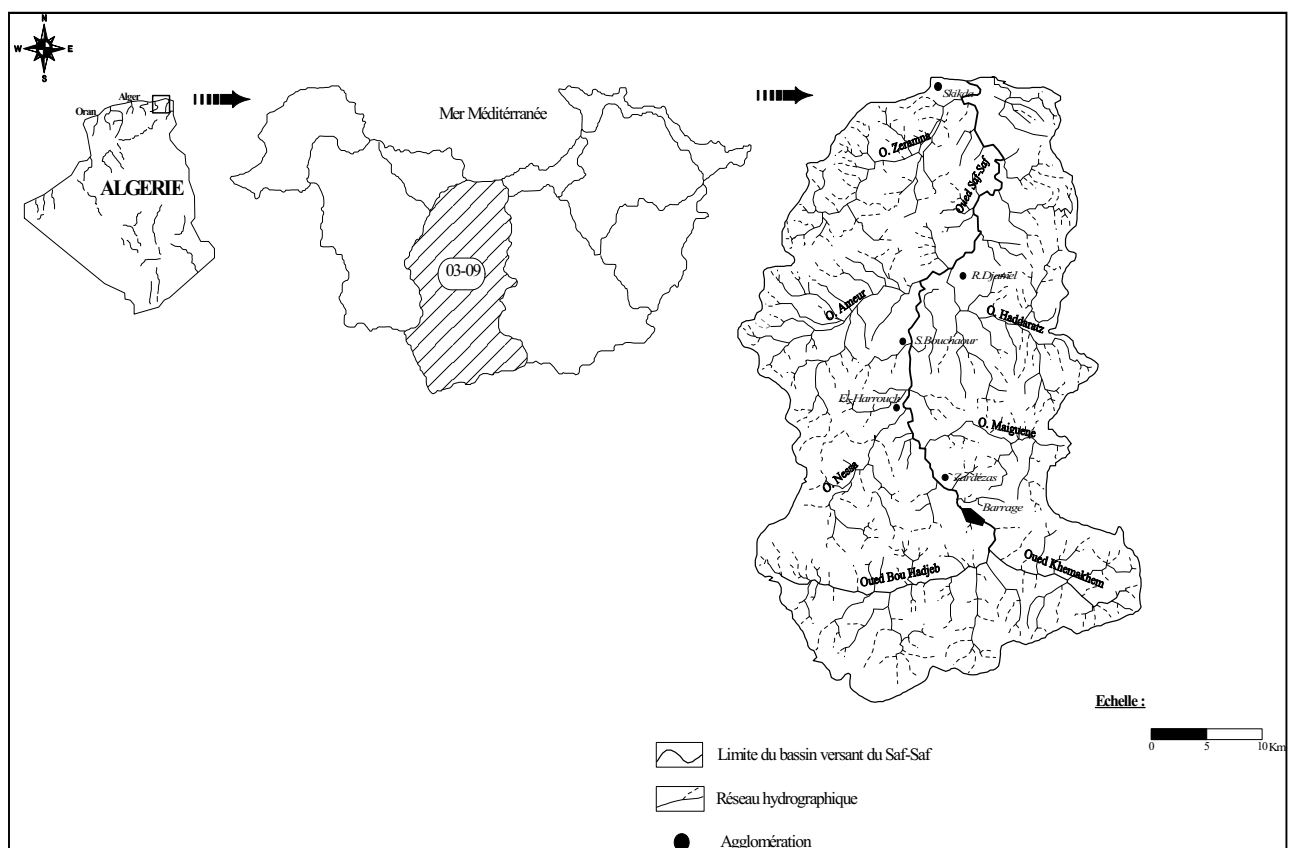


Figure I.7 : Localisation du bassin versant du Saf-Saf (Kherfouchi.M, 1984).

- Les données de débits solides du bassin versant du Saf-Saf :

Le débit solide moyen annuel pendant les périodes de crues sur une durée de 22 ans (1975/76-1996/97) était de 461 T km² dans le bassin versant de Saf-Saf. Bien qu'il ait de faibles précipitations et écoulements de surface, l'érosion était plus élevée. Le débit solide élevé durant les saisons hivernales et printanières du bassin versant de Saf-Saf pourrait être expliqué par un taux faible de recouvrement végétal des versants et des cultures sur des sols marno-limoneux - argileux en pentes dépassant 12%.

I.4. Données hydrodynamiques :

1.4.1. Les courants :

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

a) Les courants généraux :

Les vitesses du courant général des eaux atlantiques venant de Gibraltar vers l'Est restent généralement dans un ordre de grandeur de 0.5 à 1m/s au large des côtes algériennes. Ces vitesses ont tendance à diminuer vers l'Est.

Elles se déplacent d'Ouest en l'Est et changent leurs directions vers les côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis, en prenant le nom « courant Algérien ».

b) Les courants de dérive ou de vents :

Un vent régulier soufflant pendant un certain temps crée à la surface de l'eau un courant de dérive qui peut être responsable du transport de la matière en suspension dans l'eau. Son influence est fonction de la vitesse du vent qui l'engendre.

c) Les courants côtiers :

Les phénomènes hydrodynamiques agissant sur la plage sous-marine et au niveau de la zone de ressac sont nombreux et parfois très complexes.

Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans la zone de déferlement et n'affectent donc que la couverture sédimentaire de la frange littorale (0 à -10m). Ces courants assurent le transport latéral par dérive littorale ainsi que la dispersion des sédiments.

Les données de courants dans la baie sont rares, on ne citera que les mesures antérieures relatives aux travaux du port de Skikda datées du 13 mars au 23 mars 1968 réalisées à l'aide des flotteurs, et qui ont mis en évidence que la nature des courants est celle due aux vents mais restent très faible avec une valeur de 0.26 m/s.

Aussi il avait été noté que les transits littoraux indirectement mettent en évidence des courants de surface et des courants de houle dans la zone de déferlement et sont dirigés vers l'ouest.

I.4.2. Marée :

La marée a une amplitude généralement faible en Méditerranée mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En pleine lune elle peut atteindre 25 à 30 cm en moyenne, et celle de la nouvelle lune varie de 5 à 15 cm. D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc.

I.4.3. Houle :

La houle est définie par (**Guilcher. A, 1974**) comme un système de vagues plus ou moins réguliers, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

La houle peut se mesurer à partir de l'élévation de la surface, avec :

- Des bouées houlographes.
- Perches à houle.
- Radars à houle.
- A partir de la pression sous l'eau (marégraphes haute fréquence).
- ou des vitesses dans l'eau (courantomètres).

De plus la houle crée des modulations des vagues plus courtes. Elle est alors visible sur :

- Des images radar, en particulier avec un radar à synthèse d'ouverture. Ce type de radar est idéal pour caractériser l'évolution de la houle à l'échelle des bassins océaniques, ou en zone côtière (mode image).

Concernant les données de la houle au large de Skikda, on se base sur les :

- Données de l'U.S. Naval Weather Service Command (S.S.M.O)
- Donnée obtenues à partir du fetch.
- Données de l'étude Hindcast dans la baie de Skikda

a) Données de l'US Naval Weather Service Command (S.S.M.O) (1963 à 1970) :

L'observation des houles au large est consignée dans l'Atlas Océanographique de L'U S. Naval Weather Service Command

Les données exploitées représentent un total de 7815 observations effectuées sur la période allant de 1963 à 1970.

Les observations de la houle sont classées par mois et par année et précisent les éléments suivants :

- Hauteur des houles par direction, suivant la force du vent.
- Hauteur des houles, toutes directions confondues, suivant la force du vent.
- Hauteur des houles et la période, toutes directions confondues.

Sur la base des données de la houle traitées en fonction de la direction, de l'amplitude et de la période. Un calcul de la fréquence d'apparition est effectué pour chaque classe d'amplitude.

A partir de ces fréquences observées, on établit une loi de régression logarithmique donnant en fonction de la hauteur de la houle sa fréquence de dépassement.

Les valeurs significatives des amplitudes des houles tirées des courbes de régression, en mètre, sont indiquées dans le tableau I.2 ci-dessus :

Tableau I.2 : Statistiques de la houle au large (Source : S.S.M.O, 1963-1970)

Direction période d'occurrence	Ouest	Nord-ouest	Nord	Nord-Est	Est	Toutes directions
Biannuelle	7.92	7.03	5.46	4.00	3.51	8.41
Quinquennale	9.03	8.10	6.50	4.67	4.01	9.44
Décennale	9.86	8.90	7.27	5.16	4.38	10.21
Vingtennale	10.70	9.71	8.05	5.67	4.75	10.96
Cinquantennale	11.61	10.71	9.06	6.35	5.24	12.01

b) Données à partir du fetch :

Les trains de vagues engendrées par un vent local constituant la mer du vent. Cette dernière est d'autant plus forte que le vent est fort, ou souffle longtemps, ou sur une distance (fetch) importante. Ces vagues se transforment en houle lorsque le vent faiblit ou lorsqu'elles se propagent avec une perte d'énergie en dehors de l'aire génératrice.

La houle peut se propager très loin de la zone de génération (on parle alors de houle résiduelle). Une estimation des amplitudes et des périodes des houles au large de Skikda peut être faite à partir des caractéristiques des vents générateurs dont le régime est connu, et des longueurs de fetch correspondantes ; (voir tableau ci-après) :

Tableau I.3 : Distances des fetchs et amplitudes correspondantes (LEM, 2011)

Direction de vent	NW	NNW	N	NNE	NE	ENE
Fetch (km)	450	770	730	230	650	730
H max (m)	6.66m	7.98m	7.84m	5.15m	7.55m	7.84m
Limites	Iles Majorque	Cotes de France		Sardaigne	Italie	

Ainsi, les houles des secteurs NNW sont certainement plus fortes mais ne parviennent pas directement au site par contre les houles du Nord et Nord Est peuvent parvenir directement au site sans réduction appréciable de leur amplitudes. Ceci s'explique par le fetch important dans ces secteurs et la présence fréquente au Golf du Lion de dépressions atmosphériques se déplaçant vers le Sud Est. Pour les houles de l'Est- Nord-Est, elles parviennent aussi directement au site.

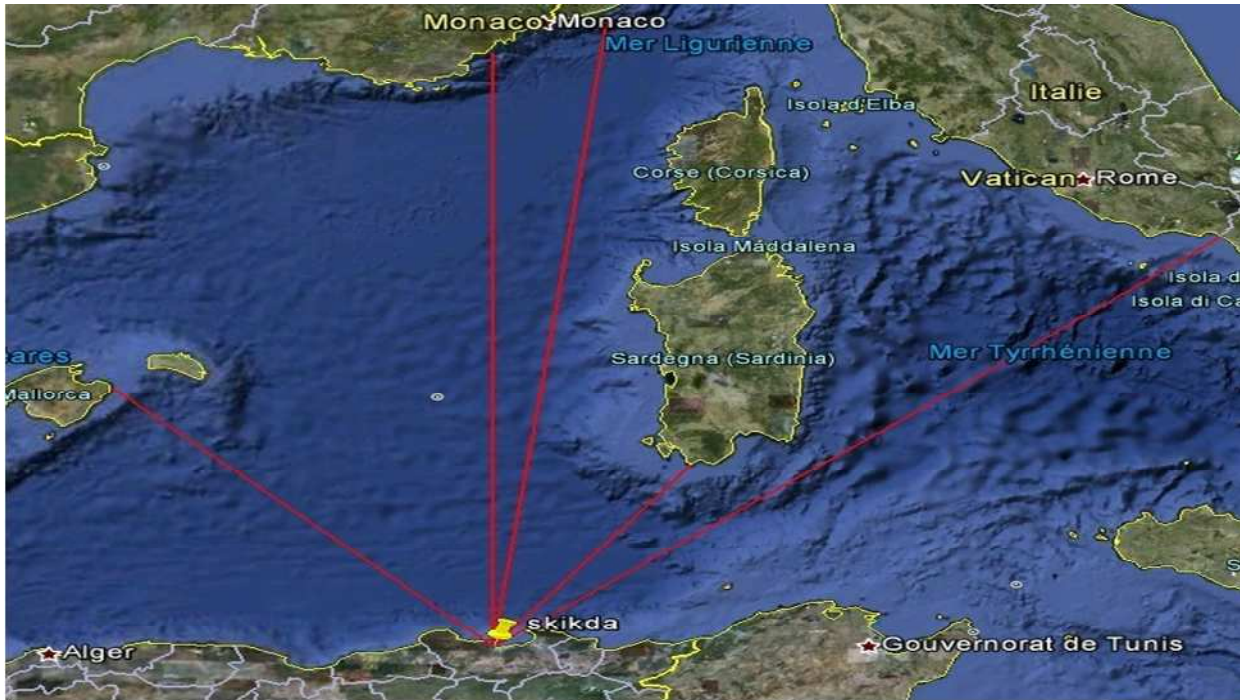


Figure I. 8 : Carte d'exposition du site d'études aux fetch (LEM, 2011).

c) Données de l'étude Hindcast dans la baie de Skikda :

De l'étude de reconstitution des cinq (05) tempêtes les plus mémorables (Hindcast) ayant sévi dans la baie de Skikda de 1067 à 1996, nous avons synthétisé les caractéristiques moyennes des plus fortes vagues au large sur le graphe suivant :

$$H_s = \frac{H_{max}}{1.86} \quad (1)$$

On estime qu'à partir de cette reconstitution, les tempêtes qui peuvent atteindre la région de Skikda sont :

- Les tempêtes exceptionnelle d'une hauteur maximale >17 m peuvent survenir tous les 10ans.
- Les tempêtes sévère $H_{max} > 14,00m$ sont plus espacées (30 à 100ans).

On peut à titre de rappel, cité :

- La tempête de 1934 d'un $H_0=14.69m$ qui a eu un retour en 1978 avec une valeur de 14.5m

- La tempête de 1969 avec un $H_s = 18.6\text{m}$ qui a eu un retour en 1979 avec un H_s de 18.20m

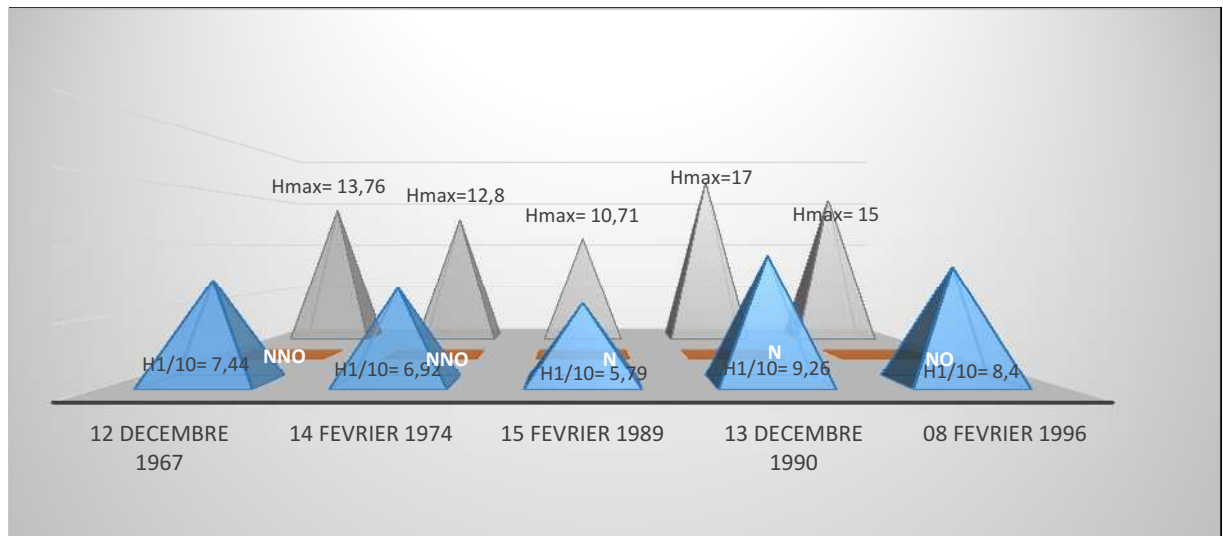


Figure I. 9 : Histogramme des hauteurs des houles des tempêtes (Hindcast in LEM.2011).

- Histogramme des hauteurs de houle de tempêtes et directions associées :

Nous notons que le secteur de provenance des tempêtes des secteurs Nord-Nord- Ouest à Nord, cale bien avec la plus part des données ce qui signifie que le secteur prépondérant de provenance des tempêtes est bien reproduit et est cerné entre le Nord-Ouest et le Nord.

I.5. Aspect d'évolution du trait de côte :

L'étude diachronique du trait de côte du littoral entre le port de Stora et l'ancien port de Skikda depuis 1960 à 2011 donne un recul du trait de côte de la majorité des plages existantes de 15 à 30 m et d'un léger engraissement derrière la jetée secondaire du port de Stora et le port ancien (une largeur de 15 m entre l'année 1980 et 2011, c'est à dire 50 cm/an du au fonctionnement de la nouvelle jetée secondaire du port de Stora comme ouvrage perpendiculaire).



Figure I.10 : Evolution du trait de côte entre 1960 et 2011(LEM, 2011).

I.6. Visite de la zone :

Une visite du rivage maritime a été organisée le 11 /06 /2013. La visite s'est déroulée comme suit :

- Visite du site et inspection visuelle de la zone d'étude.
- Entretien avec les riveraines,
- Prise de photos.

D'après les observations sur le site on observe :

- Des plages qui d'une part sont insuffisantes pour le flux d'estivants locaux et étrangers et d'autre part ne sont pas aménagées pour recevoir tout le flux. On peut les classer parmi les plages de villégiature.



Photo I.1 : Plage très réduite et non aménagée.

- Des ouvrages de protections présents sur le site fragilisés malgré l'entretien apparent qui leur est donné. On note la présence de fissures sur le mur de protection et des dégarnissements. Ces derniers sont probablement dus aux fortes houles qui occasionnent des glissements de carapace et les affouillements.



Photo I.2 et I.3 : Dégradation de mur et de talus de protection.

- Une route côtière très fréquentée mais sur certains de ses tronçons, des franchissements de houles en période hivernale laissant des traces bien visibles (faïençages, des trous dans les trottoirs et dégradation dans la qualité du béton de mur). Des masses d’eaux chargées de sables et de déchets obstruant les canaux de rejets et provoquant des inondations de chaussée.

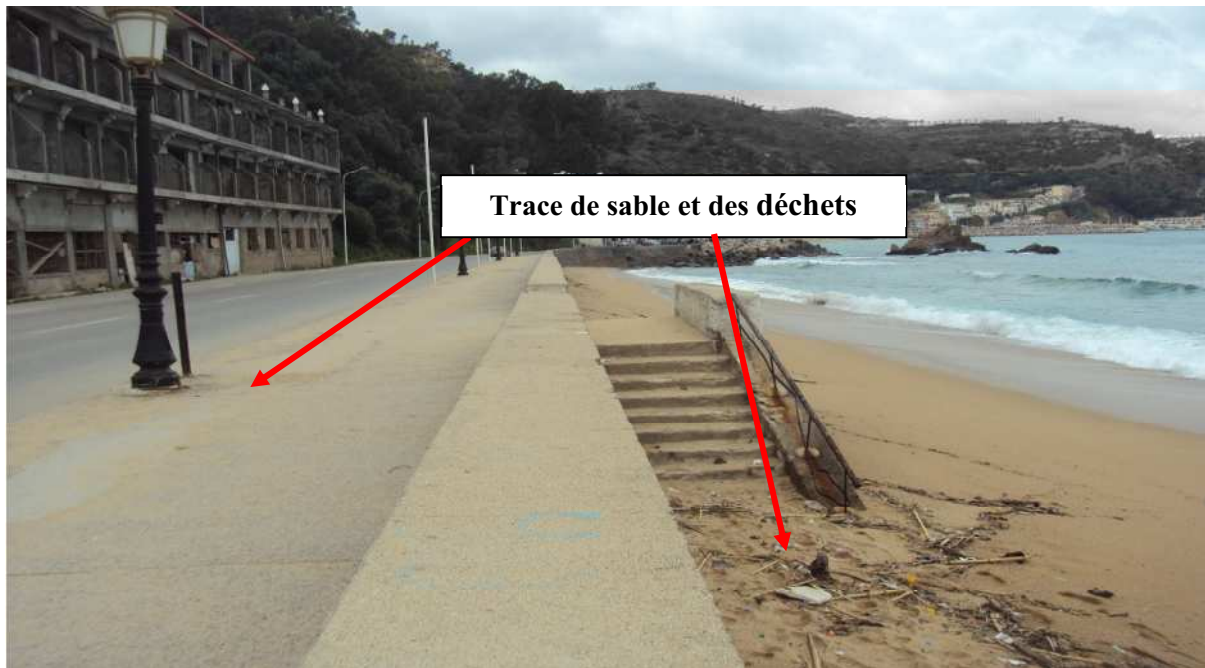


Photo I. 4 : Traces de sable témoins d’importants franchissements.

I.7. Problématique d’érosion :

La formation d'une plage résulte principalement de l'apport de sédiments détritiques transportés par les cours d'eau ou produits par l'érosion marine des côtes rocheuses.

L'équilibre entre le dépôt de sédiments et leur redistribution par les courants côtiers détermine la stabilité d'une plage, tandis que le déséquilibre en faveur de l'un de ces deux facteurs entraîne respectivement l'engraissement ou l'érosion d'un littoral.

Environ 20 % des côtes de la planète sont constituées par des plages dont près de 70 % traversent une phase d'érosion, 20 % sont stables et 10 % manifestent des signes d'engraissement.

Le problème de l'érosion représente ainsi, non seulement une menace pour le développement touristique, mais aussi une forte atteinte à la pérennité des infrastructures, ce qui impose aux collectivités, une gestion intégrée du littoral qui ne saurait faire abstraction de la connaissance approfondie des causes du phénomène érosif.

I.7.1. Facteurs d'érosions :

I.7.1.1 Facteurs anthropiques :

- La réduction des apports solides des cours d'eau :

La réduction des apports solides est directement liée à l'implantation d'importants des ouvrages hydrauliques. Comme :

- La construction du barrage de Zadézas, a réduit le volume de mobilisation à moins de 50 millions de m³/an.
- La mise en place des deux ports de part et d'autre de l'embouchure d'oued Saf-Saf qui a diminué les apports sédimentaires. Ceci est dû à l'interception des sédiments issus du bassin versant du Saf-Saf par ces deux ports. Ceci influe directement sur l'alimentation des plages limitrophes qui reçoivent moins de sédiments en apport.

- L'urbanisation du littoral sous forme de constructions :

Telles que les murs de protection, stations balnéaires, immeubles, promenades en bord de mer et voies de communication. Ces infrastructures provoquent la réflexion de la houle et constituent un obstacle brutal au déferlement des vagues. L'énergie des vagues n'est plus dissipée le long des plages et le phénomène érosif est accentué.

- La construction d'ouvrages portuaires :

Ce type de construction est un barrage au transport des sédiments le long de la côte. Il peut entraîner de graves déficits sédimentaires sur les plages situées en aval de l'ouvrage, par rapport au sens de la dérive littorale (le port de pêche et le port mixte).

I.7.1.2. Facteurs naturels :

- Glissement de terrains :

La façade maritime de Stora, a connu ces dernières années des glissements des terrains, due à la surcharge des constructions. Ces glissements ont provoqués la démolition des constructions et une paralysie dans la revalorisation de cet espace.

- Tempêtes :

Les houles, la marée, le vent, les tempêtes associées à des pleines mers de vive-eau ou à des surcotes météorologiques, attaquent les hauts de plage et peuvent emporter le cordon littoral et submerger l'arrière-plage.

- Les transports sédimentaires par les courants et les houles :

Les courants marins, d'origines diverses, ont une influence notable sur les processus sédimentaire. Les houles, par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte et suivant l'obliquité de leur attaque vis à vis du rivage, provoquent soit des transits perpendiculaires, soit des transits parallèles à la plage. Si une alimentation ne vient pas compenser le transit littoral, celui-ci va, par des quantités importantes de matériaux mis en mouvement, entraîner un déficit sédimentaire et une érosion du littoral.

Chapitre II :

Matériels et méthodes

II.1. Reconnaissances générales de site d'étude :

II.1.1. Système utilisé et coordonnées :

Conformément à l'arrêté du 25 février 2003 publié sur le journal officiel du 30 avril 2003 fixant les systèmes de coordonnées en Algérie, le système de référence géodésique WGS84 approprié au GPS est un système officiel en Algérie.

- **Système géodésique :** WGS84.
- Ellipsoïde : WGS84.
Demi grand axe : $a = 0\ 378\ 137\ \text{m}$.
Aplatissement : $f = 1 / 298.257\ 223\ 563$
- **Projection :** UTM zone 32 Nord.

Latitude Origine ; 00'00'00,0000 N.
Longitude Origine : 09°00'00.0000 E (zone 32).
Facteur d'échelle à l'origine : 0.9996000000.
Constante Nord : 0.0000 m
Constante Est : 500 000.000 m.

- **Réseau d'appui :**

Un réseau d'appui constitué de deux stations (ST 01 et ST 02) a été réalisé sur site. Ces stations, qui ont servi de référence pour les levés, ont été rattachées après observation par GPS en mode statique autonome, à la borne STR1 créée dans le cadre de l'étude de délimitation du domaine public maritime naturel de Stora. Cette borne, rattachée au système WGS 84 de l'IRTF époque 2000, est repérable à l'intersection des quais n°15 et 16 du port de Stora.

Tableau II.1 : Coordonnées des stations du réseau (LEM, 2011).

N°	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z NGA (m)
ST01	311081.672	4085691.036	4.259
ST02	312139.867	4084735.403	6.839

II.1.2. Mode du levé topographique :

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près.

Ce récepteur mobile porté par le topographe au moment du levé, fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic), résolution des ambiguïtés en mode OTF. Il reçoit les données des satellites et de la station de référence simultanément et fournit instantanément la position tridimensionnelle du point à une précision inférieure à cinq centimètres (< 5 cm).

Le transfert et le traitement de données sont réalisés sur logiciel TGO (Trimble Geomatic Office),

La visualisation de ces données permet de déceler les éventuelles anomalies et de détecter les zones non couvertes.

II.1.3. Mode du levé bathymétrique :

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

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK) permet de mesurer un point à quelques centimètres près. Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées).

- Traitement des données :

Les données brutes acquises lors du levé bathymétrique sont traitées à l'aide du logiciel HYPACK.

Le traitement consiste à supprimer les sondes résultantes de fausses mesures.

La souplesse du logiciel permet de générer un modèle numérique du terrain MNT des données traitées grâce auquel sont visualisées les isobathes qui permettent de vérifier les données sur la base de la forme des courbes générées.

II.2. La réfraction de la houle :

II.2.1. Introduction :

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large afin de définir les caractéristiques de la houle à la côte.

Les données de la houle entre le large et la côte, étudiée avec le modèle numérique SWAN (simulating Waves nearshore) développé par l'université de (DELFT) ou autres, est basée sur les données bathymétriques obtenues des cartes nautiques de SHOM ainsi que la bathymétrie réalisée sur terrain.

Pour l'étude de la réfraction de la houle, le domaine de calcul peut être discrétisé par une seule ou plusieurs grilles, dans ce cas précis on parle de modèles de calcul emboîtés.

II.2.2. Principe de calcul de la réfraction :

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

$$K_s = \frac{Hs \text{ local}}{Hs \text{ large}} \quad (2)$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte, sont effectués par le modèle numérique SWAN, pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction)

Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

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

Les paramètres significatifs de la houle ont été représentés avec un spectre bidimensionnel de type JONSWAP ayant un facteur d'affinement du pic et un "spreading" directionnel issus de la cambrure de la houle (formule de Wilson. 1965).

II.2.3. Les étapes de calcul de la réfraction :

II.2.4. Données de base :

II.2.4.1. Données bathymétriques :

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3061 intitulée « côte septentrionale d’Afrique, partie comprise entre le Cap Bougaroni et le Cap Axin Echelle : 1/100360 » ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée par l’équipe du Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) en Mars 2011.

II.2.4.2. Données de houles au large :

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

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période, ainsi que la détermination de la probabilité de retour des houles biennale, décennale, vingtennale et cinquantennales.

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.

Ci-après sont présentés les tableaux portant sur les conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude.

Tableau II.2 : houle annuelle

Période	Direction houle au large		
	N10°	N360°	N50°
6 s	Hs = 1.03 m	Hs = 1.03 m	Hs = 0.99 m
8 s	Hs = 2.52 m	Hs = 2.52 m	Hs = 2.63 m
10s	Hs = 6.40 m	Hs = 6.40 m	Hs = 5.05 m

Tableau II.3 : houle de retour au niveau de Stora.

Période de retour	Direction houle au large		
	N10°	N360°	N50°
Cinquantennale	Hs = 9.08 m	Hs = 9.08 m	Hs = 6.33 m
	Tp = 14.60 s	Tp = 14.60 s	Tp = 12.56 s
Vingtennale	Hs = 8.05 m	Hs = 8.05 m	Hs = 5.67 m
	Tp = 13.65 s	Tp = 13.65 s	Tp = 11.62 s
Décennale	Hs = 7.27 m	Hs = 7.27 m	Hs = 5.18 m
	Tp = 13.08 s	Tp = 13.08 s	Tp = 11.21 s
biennale	Hs = 5.46 m	Hs = 5.48 m	Hs = 4.00 m
	Tp = 11.41 s	Tp = 11.41 s	Tp = 9.81 s

Les résultats issus du calcul de la réfraction de la houle ayant une période de retour 20 ans seront utilisés comme données d'entrée au dimensionnement des ouvrages maritimes.

II.2.4.3. Choix du secteur angulaire :

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

Ainsi trois directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude

- Une direction approximativement perpendiculaire à la zone d'étude afin de mesurer les effets d'une houle frontale (N50°).
- Deux directions de houle à incidence plus ou moins oblique par rapport à la zone d'étude, (N360° et N10°).

II.2.5. Les étapes de calcul de la réfraction :

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

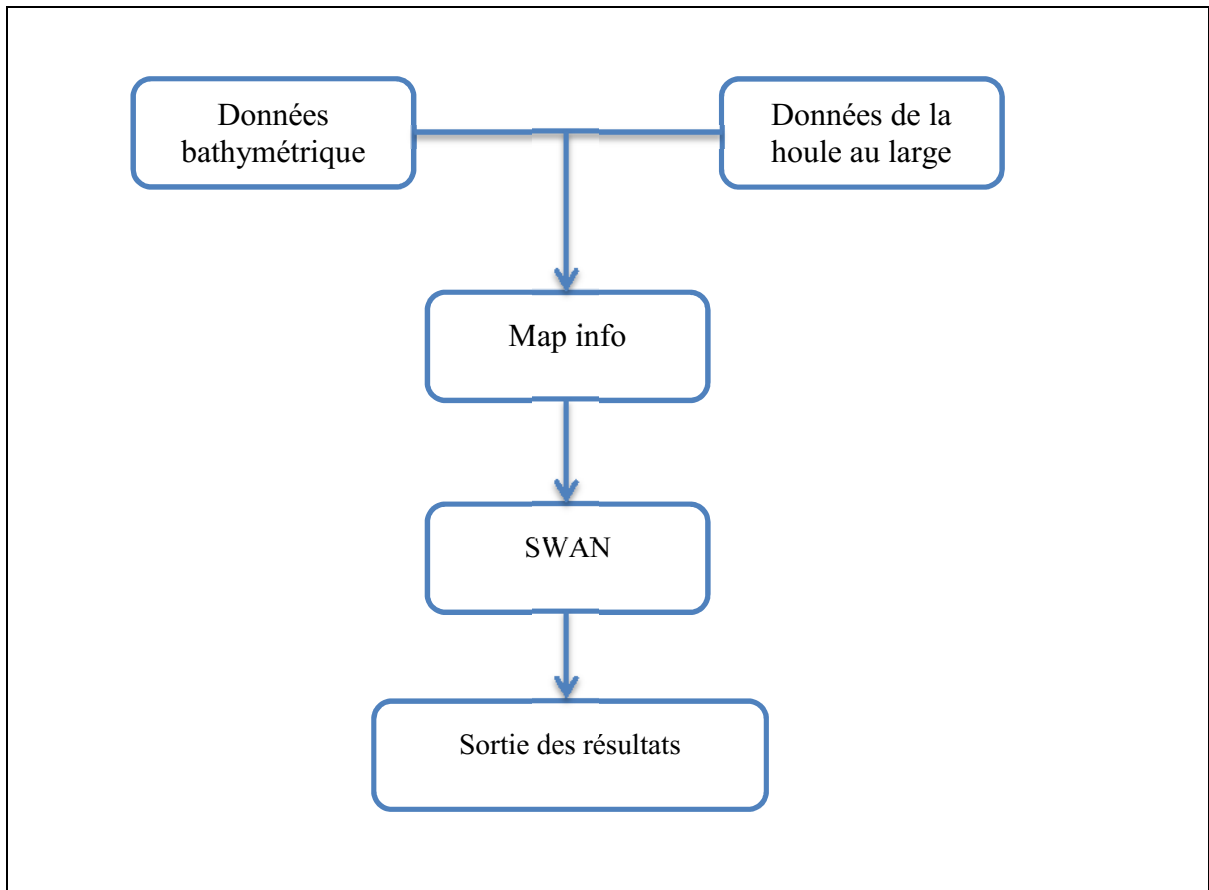


Figure II.1 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul de la réfraction.

II.3. Etude sédimentologie :

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

L'étude sédimentologie a été effectuée sur des échantillons superficiels, prélevés en mer. Ces échantillons sont analysés au laboratoire et les résultats ont donné lieu à des interprétations.

II.3.1. Positionnement des points de prélèvements :

Pour réaliser l'étude sédimentologie. Il a été prélevé au niveau de toute la zone d'étude 120 échantillons de sédiments superficiels. Sur l'ensemble de ses échantillons prélevés, onze (11) se sont révélés de nature rocheuse.

L'étude sédimentologie a donc porté sur 89 échantillons de sédiments couvrant toute la zone sur des profondeurs de -2.50m, -5.00m, -10.00m et -15.00m.

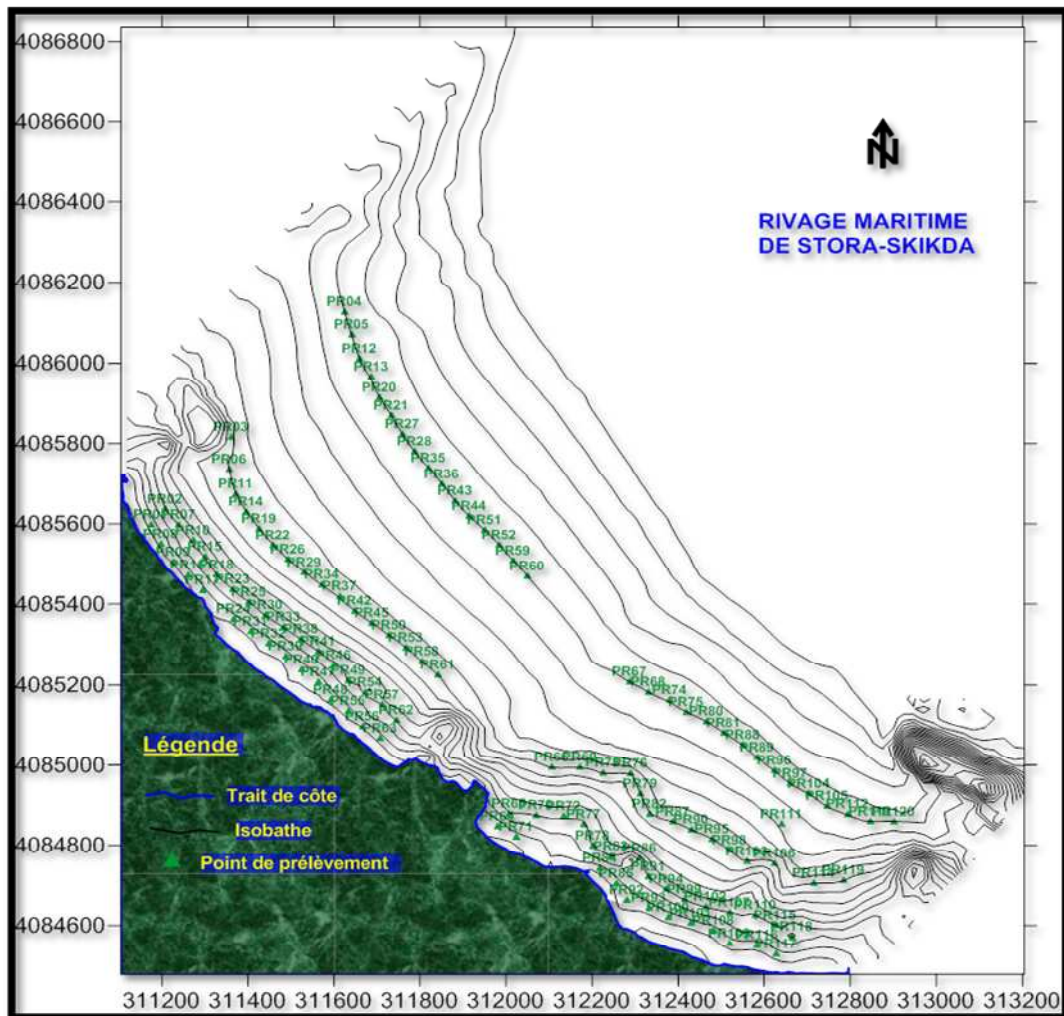


Figure II.2 : Carte de positionnement des points de prélèvements (LEM, 2011)

II.3.2. Technique de traitement au laboratoire :

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

Le but des techniques préparatoires est d'isoler la phase insoluble en éliminant la phase solide. Elle consiste également à séparer la fraction fine de la fraction grossière par voie humide par tamisage à travers une maille de 50 μ m.

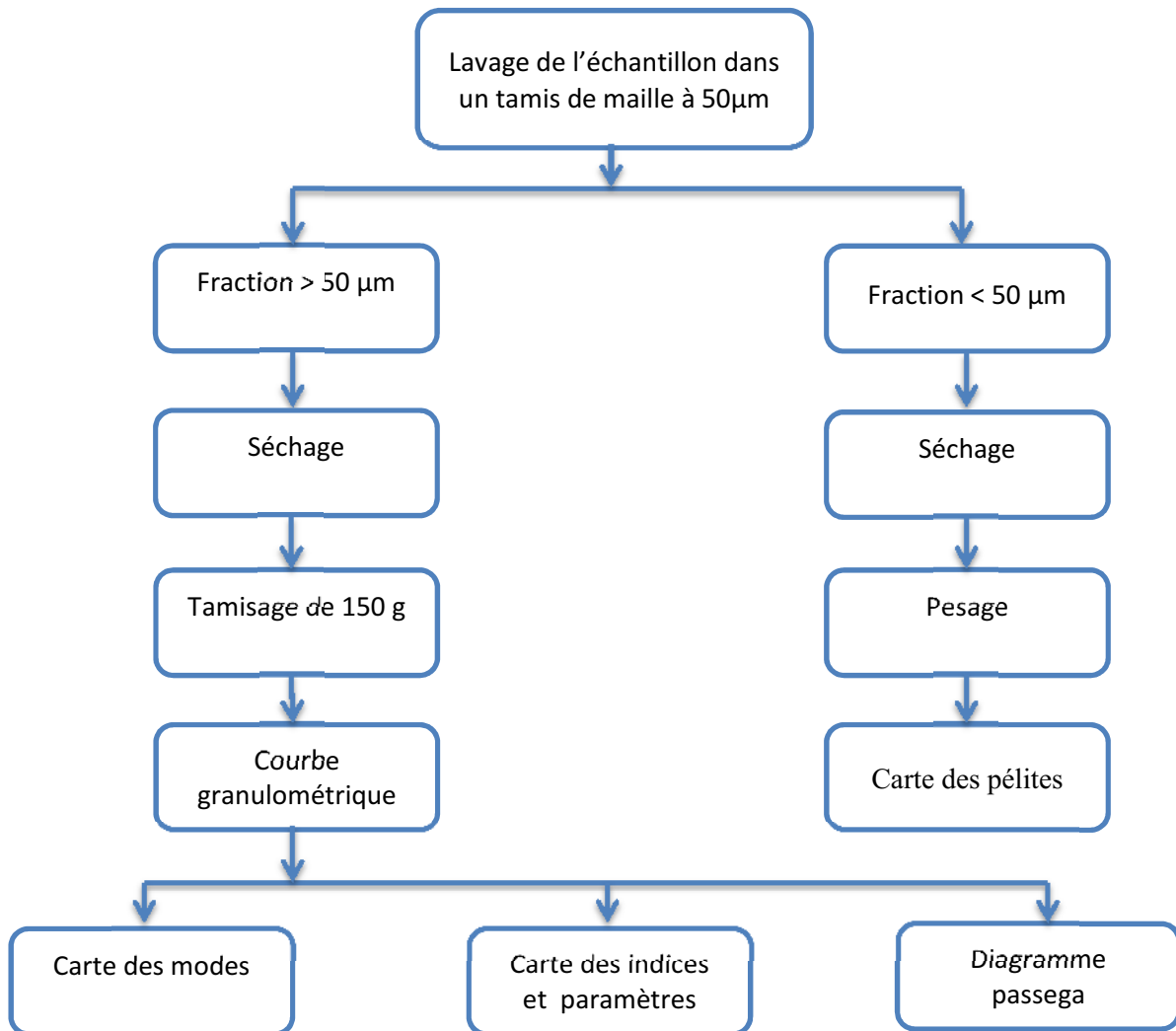


Figure II.3 : Méthodologie suivie pour l'analyse granulométrique.

- **Mode opératoire :**

On pèse puis on lave un échantillon brute au tamis à 50µm. On récupère le refus et on le sèche.

La différence de poids entre l'échantillon brute et le refus permet de connaître le poids de pélites et donc calculer le pourcentage

Les sédiments secs sont à leur tour tamisés sur une série de tamis de maille AFNOR. Les poids recueillis sur chaque tamis convertis en pourcentage pondéraux des sédiments, permettent d'établir les courbes granulométriques cumulatives pour chaque échantillon.

Ces courbes sont tracées sur un graphe semi-logarithmique en portant en ordonnées le pourcentage cumulé des refus et en abscisse le diamètre des grains.

L'examen de ces courbes permet de distinguer la présence des différents stocks de sédiment.

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

II.3.3. Caractères sédimentologie des dépôts superficiels :

Chaque type de dépôt peut être caractérisé par sa teneur en pélites (fraction inférieure à 50 μ m) et en fraction grossière (fraction supérieure à 50 μ m).

II.3.3.1. Etude de la fraction grossière :

II.3.3.1.1. Les indices granulométriques :

- Indice de taille (médiane) Q50

La taille moyenne des sédiments de diamètre supérieur ou égal à 50 μ m. Cet indice correspond au diamètre du grain dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment.

- Les quartiles inférieur et supérieur : Q₂₅ et Q₇₅ :

Ils représentent le diamètre du grain dont les ordonnées sont respectivement à 25 et à 75% du poids du sédiment.

- Indice des tailles maximales (D90) :

Le D90 correspond au diamètre dont l'ordonnée est 90% du poids total du sédiment.

- Indice des tailles minimales (D10) :

Le D10 correspond au diamètre dont l'ordonnée est 10% du poids total du sédiment.

- Indice de classement de Trask So :

Il permet de rendre compte de l'intensité du triage du sédiment .Il mesure les écarts granulométriques entre les poids symétriques (en pourcentage) par rapport à la médiane et exprime donc la dispersion du sédiment entre Q₇₅ et Q₂₅

$$So = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}} \quad (3)$$

Les limites utilisées sont :

- 1 < So < 1.5 le sédiment est très bien classé.
- 1.5 < So < 2.5 le sédiment est bien classé.
- 2.5 < So < 3 le sédiment est normalement classé.
- 3 < So < 4 le sédiment est faiblement classé.
- So > 4 le sédiment est mal classé.

- **Indice d'asymétrie (Skawness) Sk :**

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

$$Sk = \frac{Q_{25} \times Q_{75}}{(Q_{50})^2} \quad (4)$$

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

- Si $Sk = 1$, le tri est régulier dans la médiane. Il existe une symétrie de la courbe par rapport au grain moyen.
- Si $Sk > 1$, la courbe est dissymétrique avec un décalage et un tri maximum du côté de la fraction fine (Inférieur à la médiane). La dispersion est plus large du côté grossier.
- Si $Sk < 1$, le tri est maximum dans la fraction grossière (supérieur à la médiane). La dispersion est large du côté fin.

II.3.3.1.2. Etude modales :

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

- 1- **unimodale** : qui représente une dominance d'un seul stock sédimentaire.
- 2- **bimodale** : qui représente la dominance de deux stocks sédimentaire.
- 3- **plurimodale** : qui représente la dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

II.3.3.2. Etude de la fraction fine :

Cette étude permet de connaître les teneurs en fraction fine (diamètre inférieur $50\mu\text{m}$) dans les sédiments ainsi que sa répartition spatiale dans notre zone d'étude.

II.3.3.3. Diagramme de Passega :

Afin de définir le mode de mise en place du sédiment, R. Passega (1967) a proposé une méthode d'interprétation des données granulométriques qui utilise :

- le centile supérieur (D_{99})
- la médiane (Q_{50}).

Chaque segment du diagramme correspond à un type de transport :

- Le segment SR représente les sédiments transportés en suspension homogène (uniforme).
- Le segment RQ représente les sédiments transportés en suspension gradée.

- Le segment QP représente les sédiments transportés par roulement.
- Le segment PO représente les sédiments transportés essentiellement par saltation et roulement.
- Le segment ON représente les sédiments transportés par saltation.

II.4. Modélisation du transport sédimentaire :

III.4.1. Définition, objectifs et méthodologie :

L'étude sur modèle numérique est réalisée avec les modèles bidimensionnels Parabolic Mid Slop waves (PMS) et Hydrodynamic (HD) du calcul MIKE 21.

Le logiciel MIKE 21 comprend différents modules de houle, ceux utilisés dans notre étude sont:

- Le modèle Mike SW : Traite la réfraction de la houle et le shoaling, la dissipation par le frottement et le déferlement, et l'interaction houle courant
- Le modèle MIKE PMS (Mid Slop waves) : Il est utilisé pour l'étude de propagation de la houle en zone côtière en présence d'ouvrages (digues, épis, brise lames.. etc.)
- Le modèle MIKE 3 HD : Il est destiné à la simulation tridimensionnelle des écoulements (courants).
- Le modèle MIKE 21 ST : Evalue le transport de sédiments non cohésifs sous l'action d'un courant seul ou sous l'action combinée de la houle et du courant. Il utilise les résultats des modèles PMS et HD.

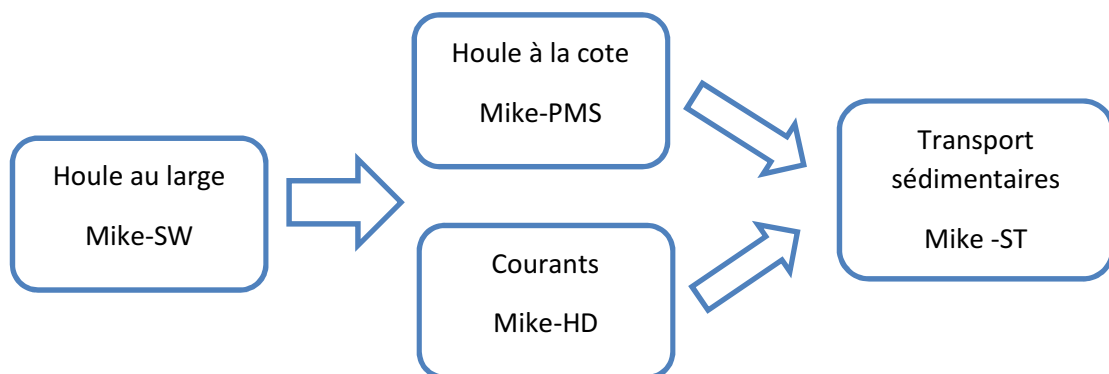


Figure II.4 : schéma de principe des modules du logiciel Mike 21.

Les objectifs de l'étude sont, dans un premier temps, de modéliser l'environnement à l'état initial (courant, houle, marée, transport sédimentaire...) en prenant en compte les statistiques de houles, le courant, la marée, la bathymétrie, nature du fond marin.....etc.

La modélisation de l'état projeté du rivage se fait en introduisant chacune des variantes de protection à part. Cette modélisation permet l'évaluation des modifications hydrodynamique et hydro sédimentaire sur le site d'étude par rapport à l'état initial et en fonction des objectifs recherchés.

II.5. Estimation du transit sédimentaire :

La dérive littorale est responsable d'un transit sédimentaire parallèlement au rivage. Il est très important pour une côte donnée, si l'on veut comprendre son évolution et si l'on a l'intention de l'aménager, de connaître à la fois le volume des sédiments ainsi véhiculés et, lorsque la dérive littorale subit des inversions de sens, la direction résultante du transport à l'échelle de l'année. L'évaluation du transit sédimentaire est difficile (**Paskoff, R, 1993**).

On a utilisé la formule du Laboratoire central d'hydraulique de France (L.C.H.F) suivante :

$$Q = \frac{K}{c} \times g \times H_s^2 \times Tt \times f(\alpha) \quad (5)$$

Q : le volume de la charge transportée en m³ pendant le temps d'action t exprimé en secondes.

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

g : l'accélération de la pesanteur (en m.s⁻²).

c : cambrure de la houle (0.03)

T : la période de la houle en seconde.

t : durée d'action de la houle en seconde

H_s : la hauteur significative de la houle en mètres.

f(α) : fonction de l'obliquité α de la crête de la houle avec la cote

L'utilisation de cette formule conduit à définir :

- Bilan énergétique annuel de transport caractérisé par : $H_s^2 \times T \times t$
- La fonction $f(\alpha)$ liée à l'obliquité de la houle $f(\alpha) = \sin\left[\frac{7}{4}(\alpha)\right]$

Chapitre III :

Résultats et discussion

III.1. Analyse bathymétrique :

III.1.1. La carte bathymétrique :

Dans le cadre de notre étude, nous avons dressé une carte bathymétrique concernant la bande côtière longeant la côte de Stora Skikda.

La carte suivante (Figure III.1) a été réalisée à l'aide d'un logiciel spécifique (surfer).

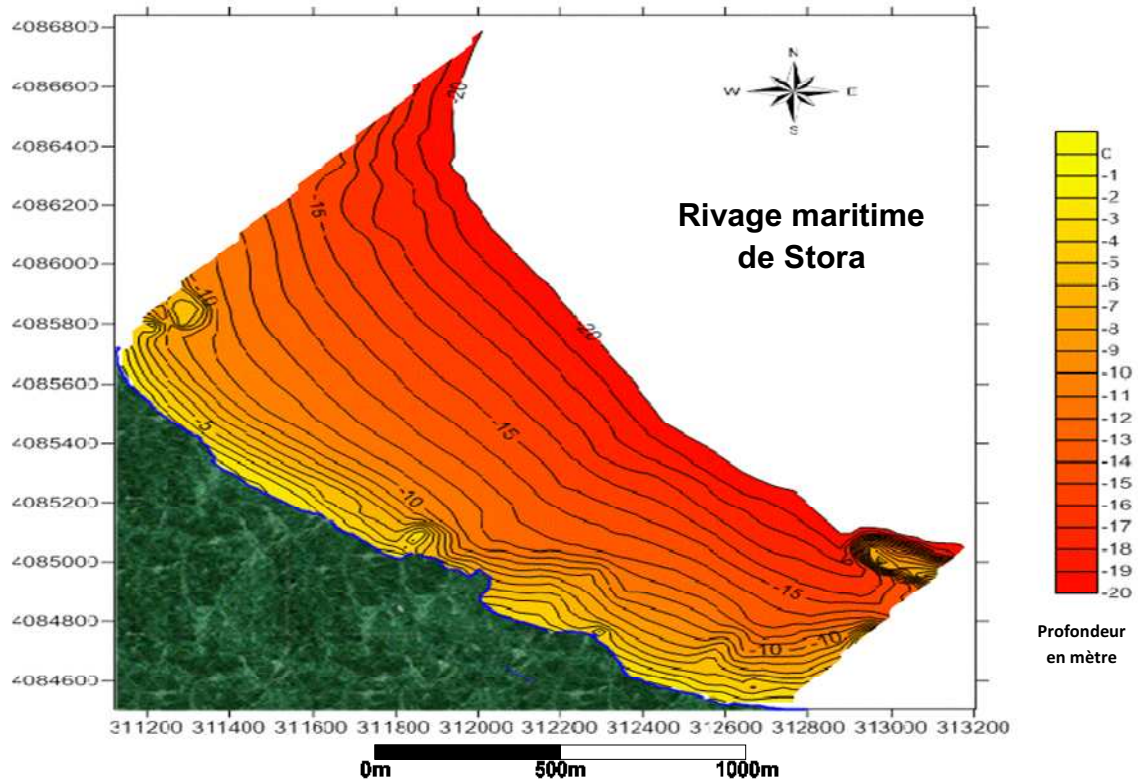


Figure III.1 : la carte bathymétrique de Stora (Boulouata et Gasmi, 2013).

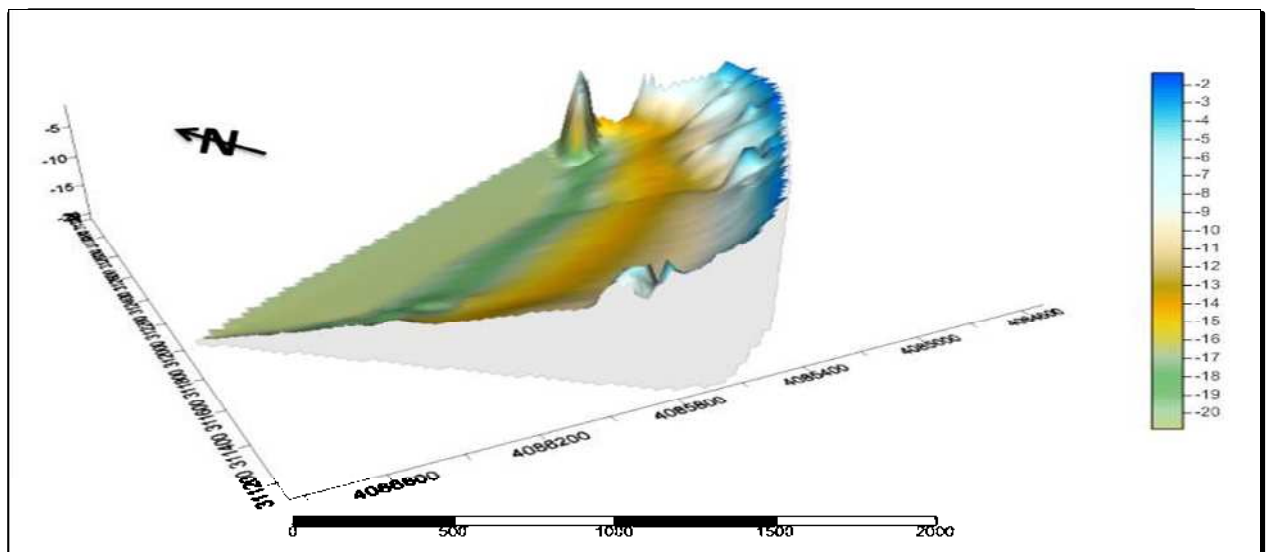


Figure III.2 : Carte 3D de la zone de Stora (Boulouata et Gasmi, 2013).

L'analyse de la carte bathymétrique révèle un fond marin formé par des isobathes parallèles au trait de côte et assez serrés jusqu'à l'isobathe -10 m, à l'exception de la partie médiane de la zone, où on remarque une bathymétrie irrégulière et chahutée, dû à l'existence d'un haut fond entre les isobathes -5 m et -10 m et dont sa profondeur varie de -2 à -3 m.

Au-delà des -10 m de profondeur, les isobathes ont tendance à s'élargir au fur et à mesure qu'on s'éloigne vers le large.

III.1.2. Les profils transversaux :

Au total 05 profils bathymétriques ont été tracés de l'Est à l'Ouest couvrant ainsi la totalité de la zone.

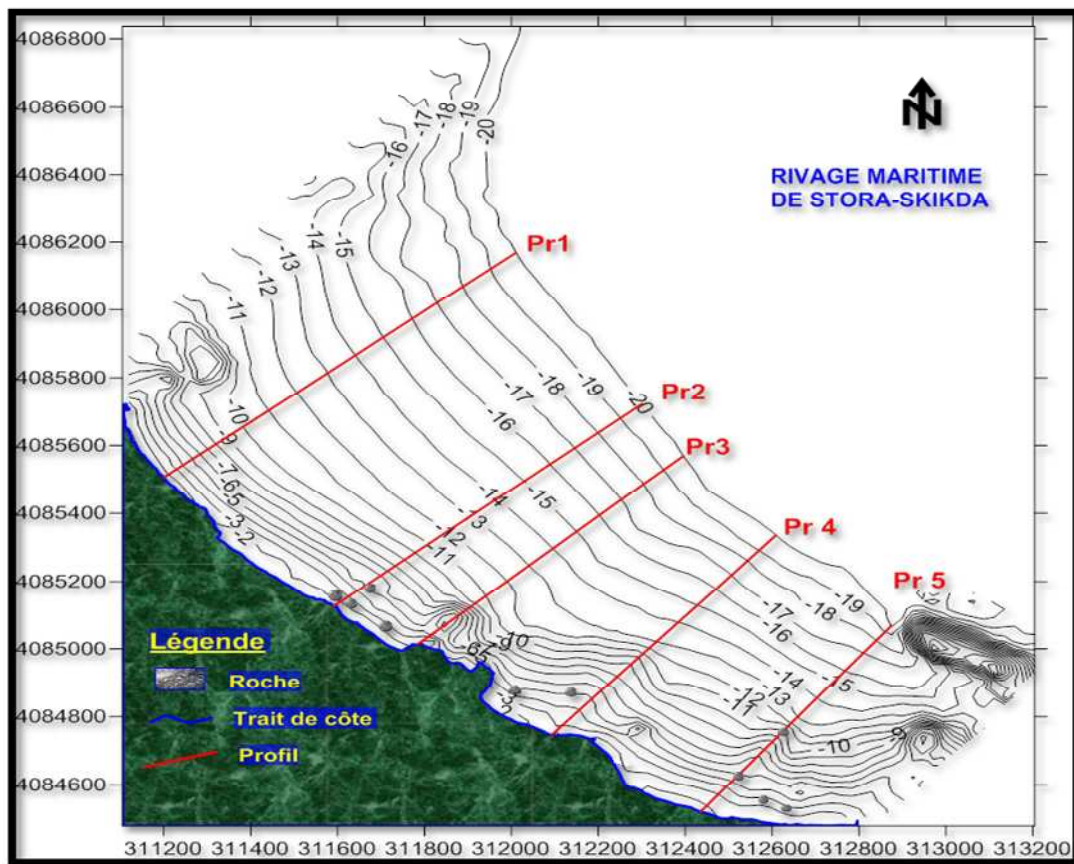


Figure III.3 : Carte bathymétrique et les profils tracés au niveau de Stora. (LEM, 2011)

Ces profils nous renseignent également sur la pente des fonds qui a tendance à s'adoucir à partir de l'isobathe -10 m.

- De la côte à -10 m de profondeur, on ressort une pente de 6% des deux profils 1 et 2, au niveau de la partie Ouest du site.

- Le profil 3 qui représente la partie médiane de la zone, traduit la présence d'un haut fond entre les isobathes -5 et -10 m.

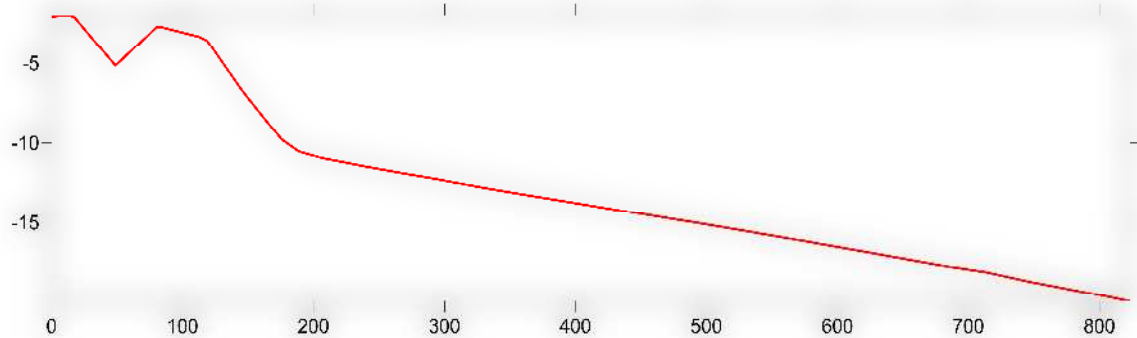


Figure III.4 : profil sous-marin n° 03

- Les deux derniers profils (4 et 5) au niveau de la partie Est de la zone, présentent une pente moyenne de 4%, donc une bathymétrie moins serrée que celle au niveau de la partie Ouest mais qui reste importante.

III.2. Etude de la réfraction de la houle :

III.2.1. Les houles de direction 10° N:

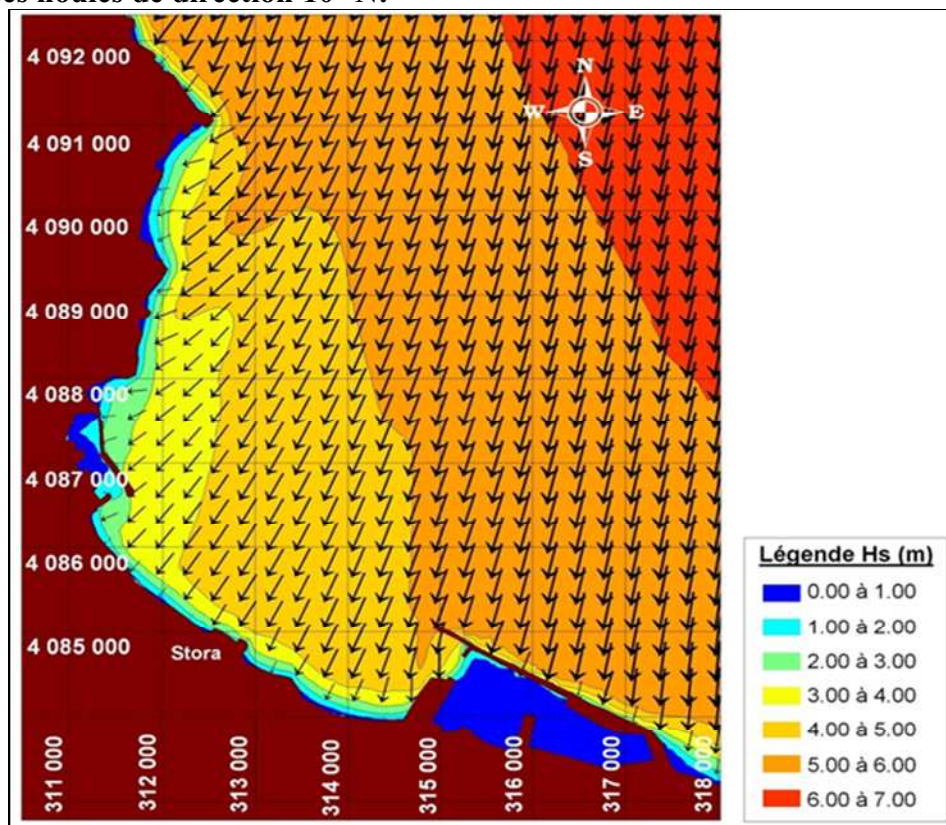


Figure III.5 : Réfraction de la houle de direction 10°N et une période 10s, baie de Stora (LEM, 2011).

- Commentaire :

Pour la houle de direction 10°N et une période de 10s on remarque qu'elle perd de l'énergie et elle garde près de 65% de leur énergie au large, avec un coefficient de réfraction égale à 0.70 à 10m de profondeur. La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord à Nord-Est.

III.2.2 Les houles de direction 360°N :

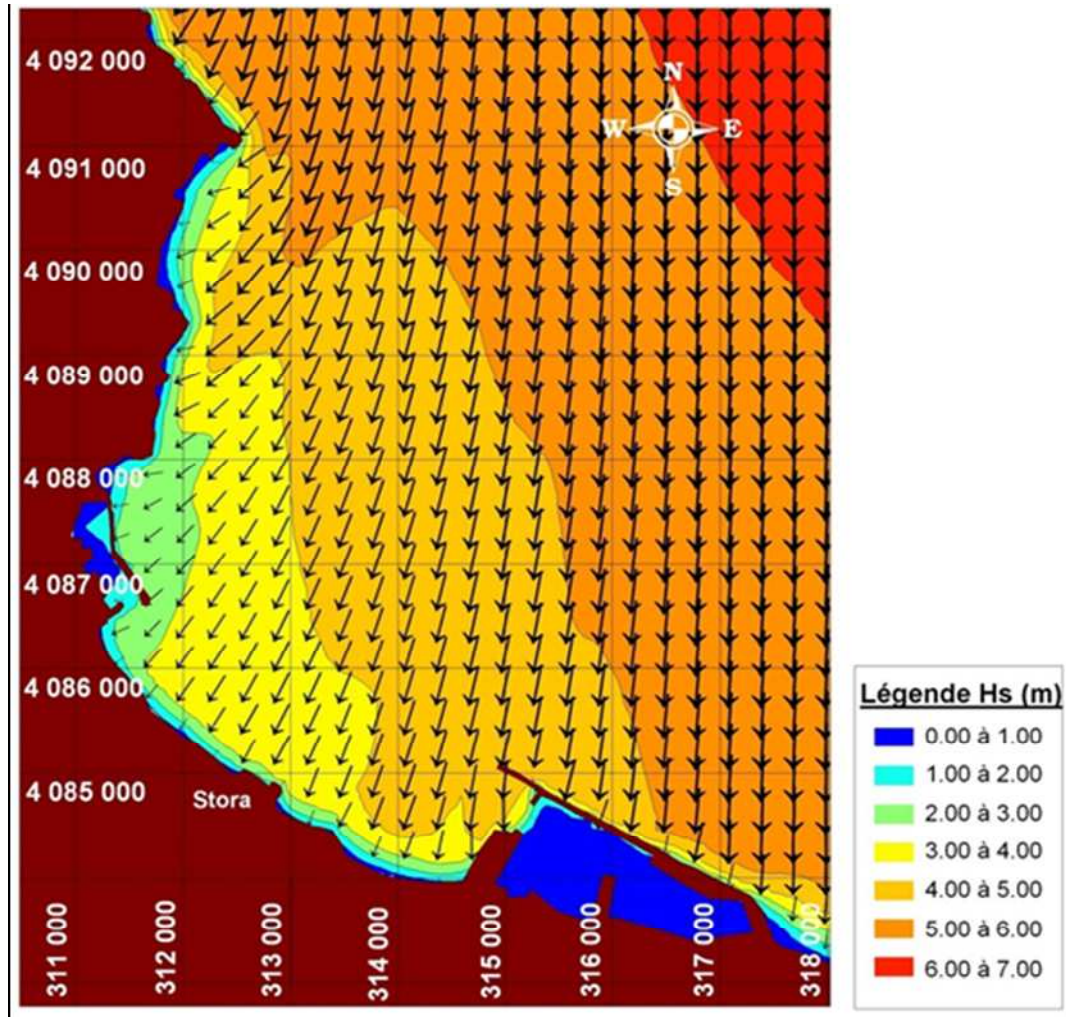


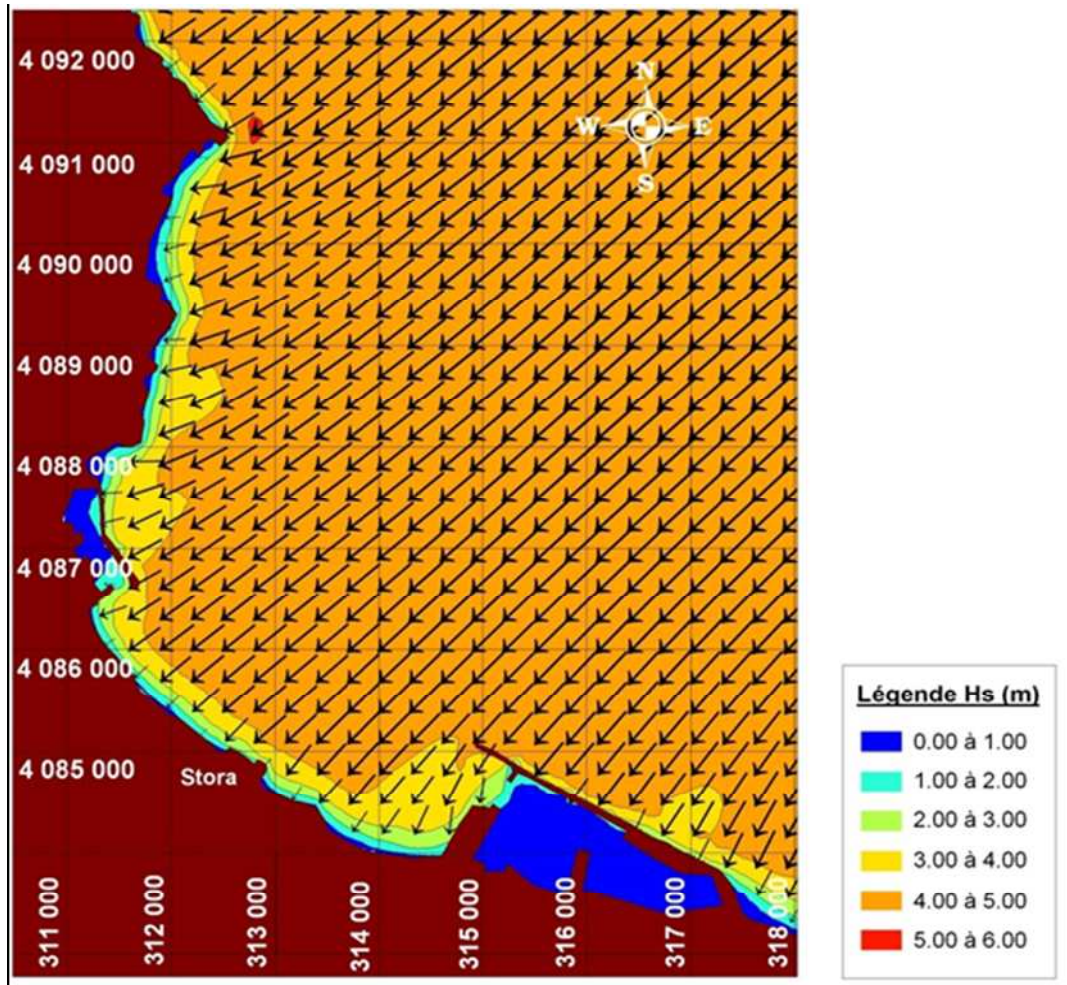
Figure III.6 : Réfraction de la houle de direction 360°N pour une période 10s, baie de Stora (LEM, 2011).

- Commentaire :

On constate que pour la direction, 360°N et une période de 10s, que le coefficient de réfraction égale à 0.65 à la profondeur -10 m ce qui prouve que les houles gardent près de 70% de leur énergie du large.

La dissipation de l'énergie se présente par l'inclinaison des orthogonales en direction Nord à Nord-Est.

III.2.1. Les houles de direction 50° N :



- Commentaire :

Pour les houles appartenant au secteur 50°Nord se sont les plus énergétiques, avec un coefficient de réfraction plus important que celui des deux directions précédentes égale à 0.80 pour 10m de profondeur, on constate que presque 80% de l'énergie des houles du large est gardé au voisinage de la cote.

III.3. Etude sédimentologie :

III.3.1. Analyse de la fraction grossière :

III.3.1.1. Les courbes granulométriques :

Les courbes cumulatives représentant les sédiments du site d'étude se répartissent en deux groupes :

a) La courbe unimodale :

Indique la présence d'un seul stock sédimentaire; ce type de courbe, largement répandue dans le site d'étude, est dû à l'immobilisation en masse des sédiments par diminution de la capacité de transport.

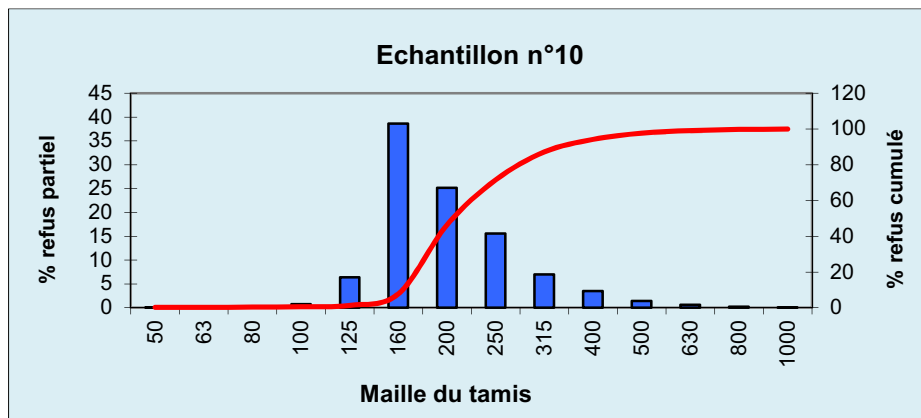


Figure III.8: Courbe unimodale.

b) La courbe bimodale :

Cette courbe marque l'existence de deux populations dynamiques au sein du même échantillon de sédiment

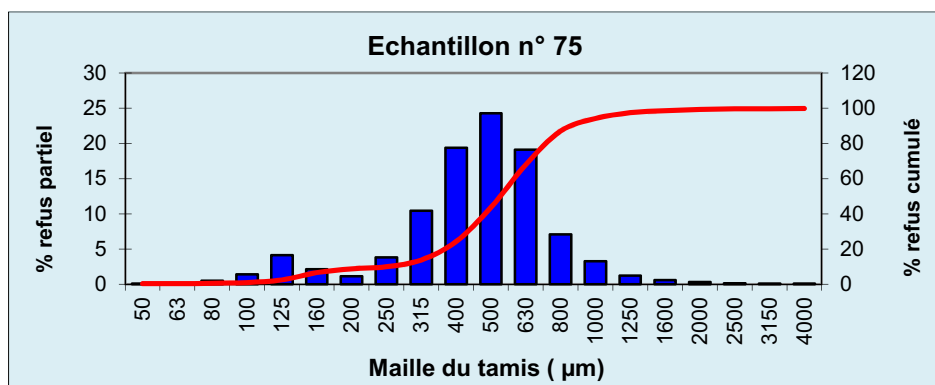


Figure III.9 : Courbes bimodale.

a) La courbe plurimodale :

Cette courbe marque l'existence plusieurs populations dynamiques au sein du même échantillon de sédiment, caractérisée par des diamètres de grain différents allant du très fin au grossiers

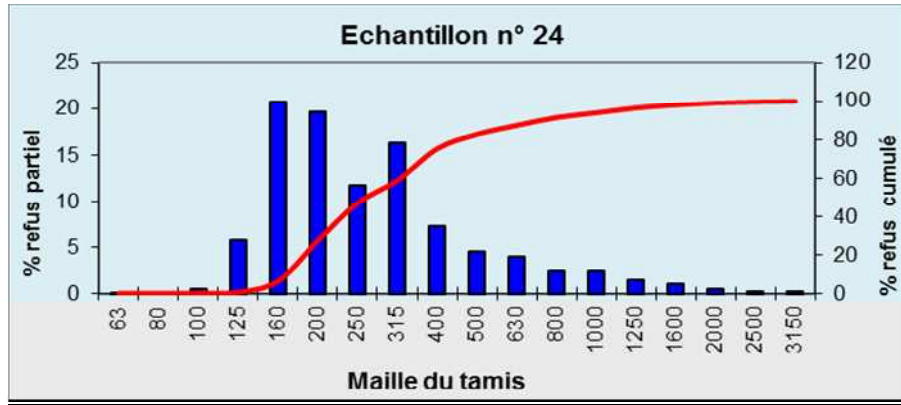


Figure III.10 : Courbe plurimodale.

III.3.1.2. Les indices granulométriques :

III.3.1.2.1. Répartition spatiale de la médiane (D50) :

La carte ci-dessous (Figure III.11) est établie à partir des médianes tirées des courbes cumulatives. Elle montre la répartition spatiale des sédiments dans la zone d'étude.

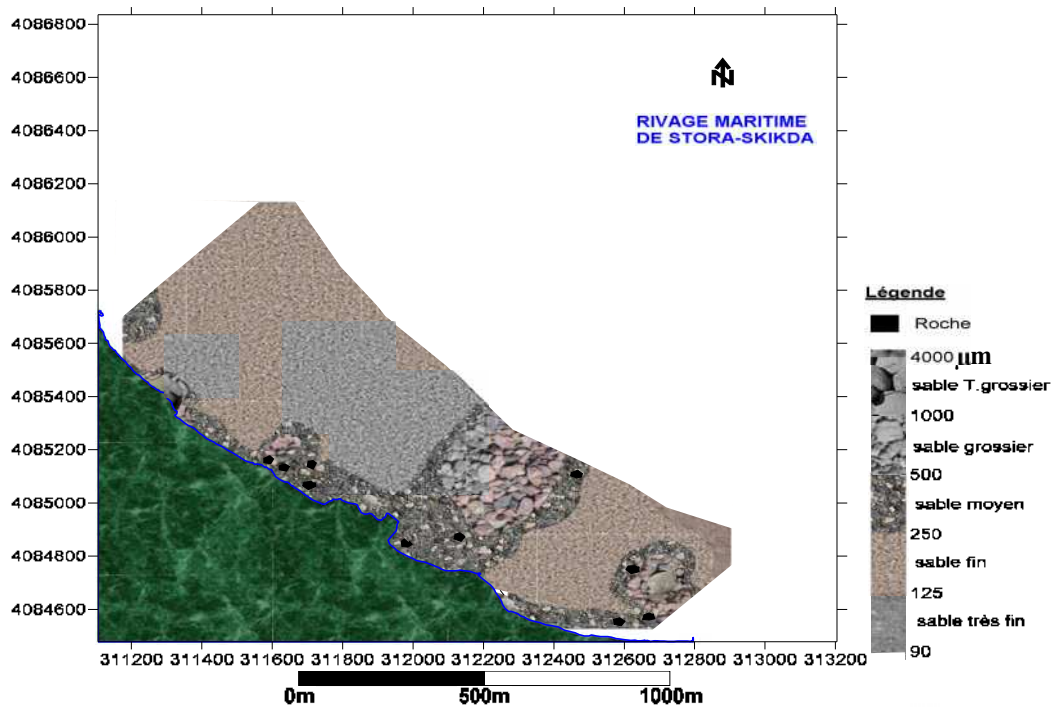


Figure III.11: Carte de la répartition spatiale de la médiane (LEM, 2011).

En dehors des fonds rocheux représentés en couleur noir, on retrouve les sédiments qui occupent l'ensemble de la zone d'étude et qui sont constitués de sable fin à sable très grossier.

Sur les 109 échantillons, nous avons obtenus 80 échantillons de sable fin, dont le diamètre moyen est de 180 μm , 13 échantillons de sable moyen avec un diamètre moyen de 370 μm , 8 échantillons de sable grossier d'un diamètre moyen de 670 μm , 3 échantillons de sable très grossier avec un diamètre moyen de 2070 μm et enfin 3 échantillons de sable très fin dont le diamètre moyen est de 100 μm .

Vu la diversité de ce panache en sédiments, nous avons partagé le site en deux parties bien distinctes :

Partie Ouest : qui est caractérisée par une décroissance du diamètre sédimentaire de la côte vers le large, on retrouve du sable moyen à la côte jusqu'à l'isobathe -5, entrecoupé parfois de sable grossier à très grossier, ce qui témoigne de la force hydrodynamique dans cette zone. Au-delà des -5 m de profondeur, on retrouve du sable moyen jusqu'à -15 m de profondeur avec l'existence d'un banc de sable très fin.

Partie Est : cette partie est caractérisée par une répartition différente à celle de la partie Ouest, puisque on remarque au niveau des deux extrémités de cette dernière, une croissance du diamètre sédimentaire allant du sable moyen au sable grossier. Le reste présente une répartition logique, donc du moyen au très fin, de la côte au large.

III.3.1.2.2 Répartition spatiale du décile supérieur (D90) :

La répartition de ce paramètre montre une analogie frappante avec celle de la médiane (D_{50}), en effet, on constate une répartition décroissante du diamètre sédimentaire allant du grossier au moyen au niveau de la partie Ouest du site à l'inverse de la partie Est, ou en constate une croissance du diamètre sédimentaire (Figure III.12).

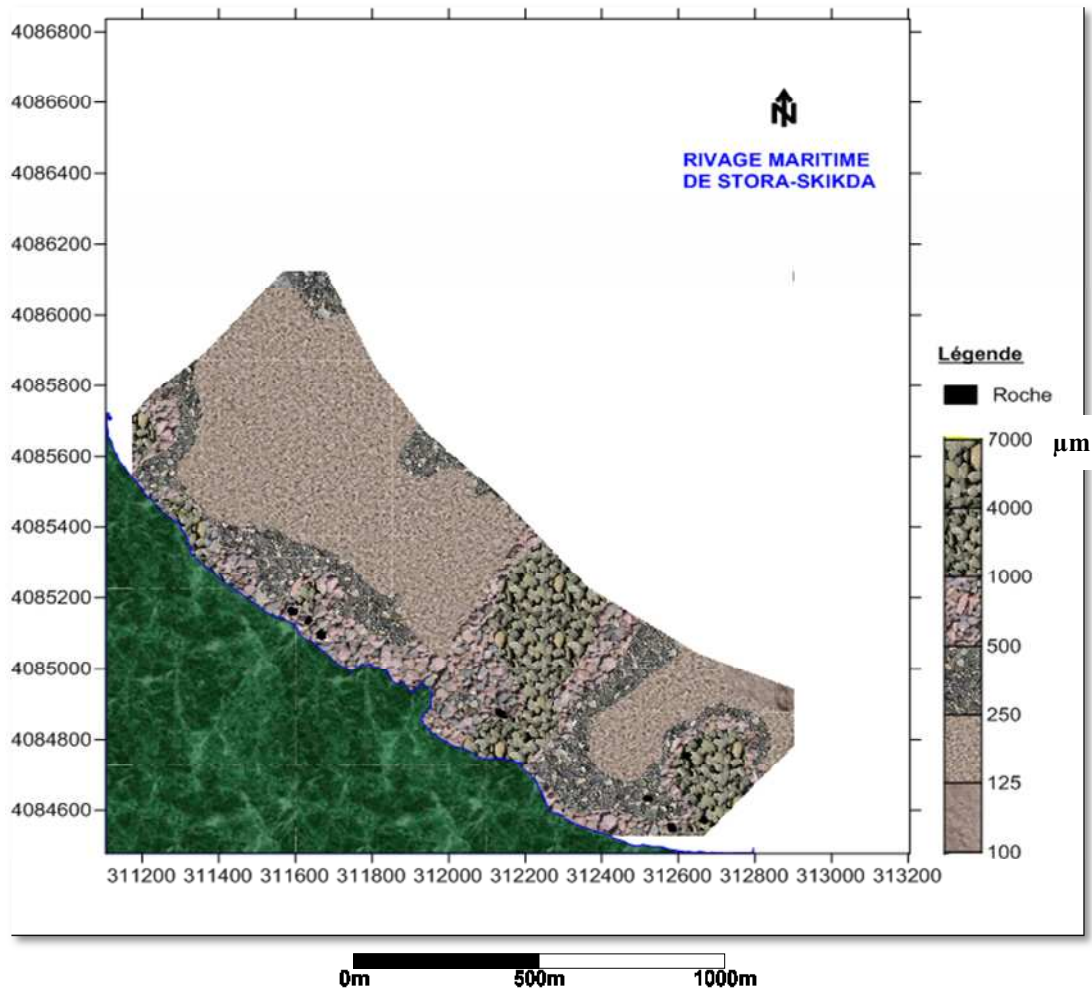


Figure III.12 : Carte de la répartition spatiale du décile supérieur (D_{90}) (LEM, 2011).

III.3.1.2.3 Indice de classement de Trask S_0 :

Le calcul de cet indice indique que la majorité des valeurs sont comprises entre 1 et 1.5, donc les sédiments sont très bien classés selon la classification de Folk (1966). Cela indique un stock sédimentaire ancien et non régénéré.

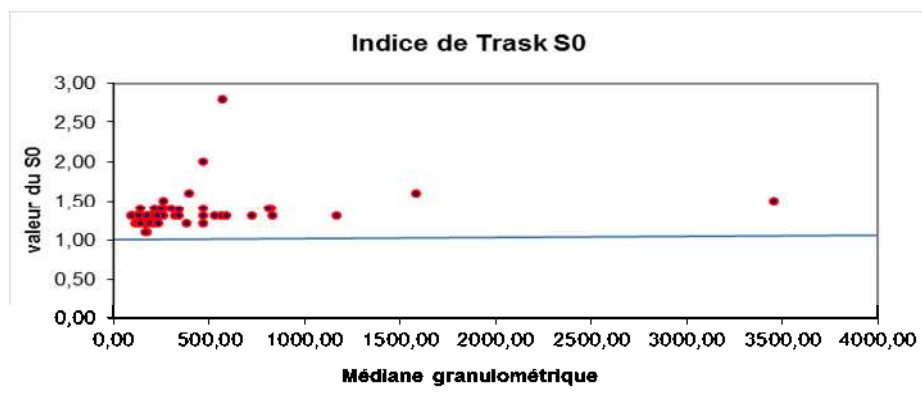


Figure III.13 : Indice de classement S_0

III.3.1.2.4 Indice d'asymétrie (Skawness) Sk :

Les valeurs de cet indice sont pour la plus part proche de la médiane (Figure III.14). Les sédiments présentent un même classement aussi bien du côté fin que du côté grossier, donc une répartition symétrique qui correspond à un bon classement (Folk 1966).

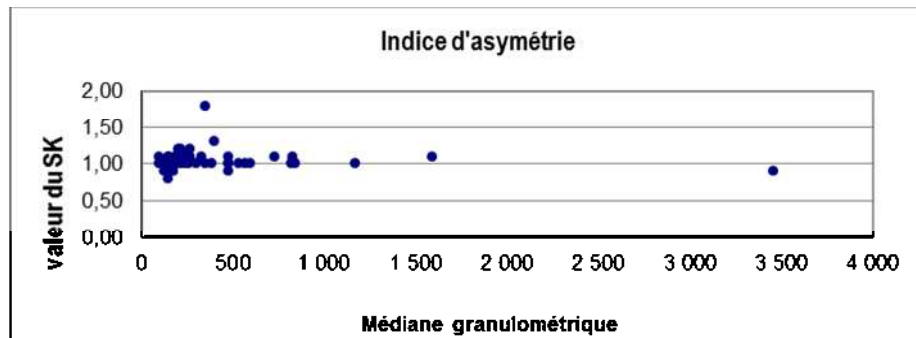


Figure III.14 : Indice d'asymétrie Sk.

III.3.1.3 Analyses des modales :

L'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles des modes (Figure III.15) permet de distinguer quatre modes dont un représente le mode principale :

- **Mode M1** : Le mode M1 occupe la majorité des prélèvements, il est compris entre 63 μm et 200 μm avec un maximum à 160 μm .
- **Mode M2** : Le mode M2 est compris entre 200 μm et 315 μm avec un maximum à 250 μm .
- **Mode M3** : Le mode M3, est le moins fréquent que les autres modes, il est compris entre 400 μm et 800 μm , avec un maximum à 630 μm .
- **Mode M4** : comme le mode M3, le mode M4 est aussi moins fréquent que les deux premiers modes, il est compris entre 800 et 6300 avec maximum à 1000.

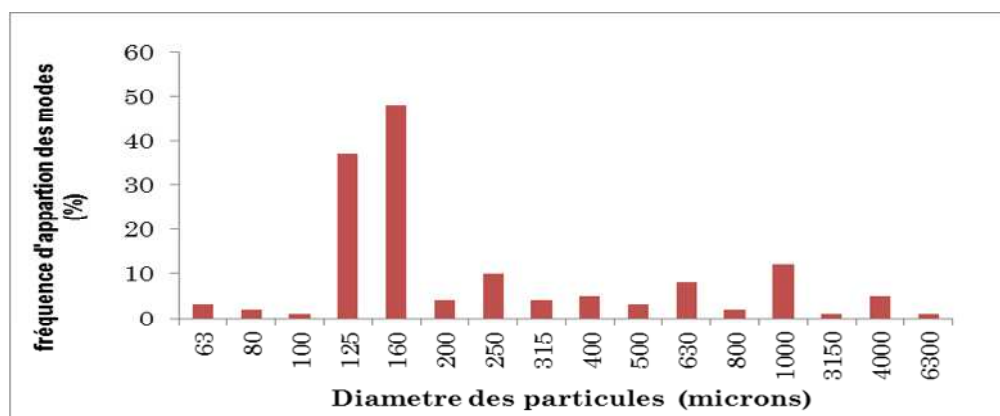


Figure III.15: Histogramme de fréquence des modes.

Répartition spatiale du mode 1 :

Cette classe est constituée de 51 % d'éléments dont le diamètre est compris entre 63 et 200 μm avec un mode dominant à 160 μm . On retrouve également 63 échantillons dont le taux de cette fraction fine varie entre 70 et 90% (figure III.16).

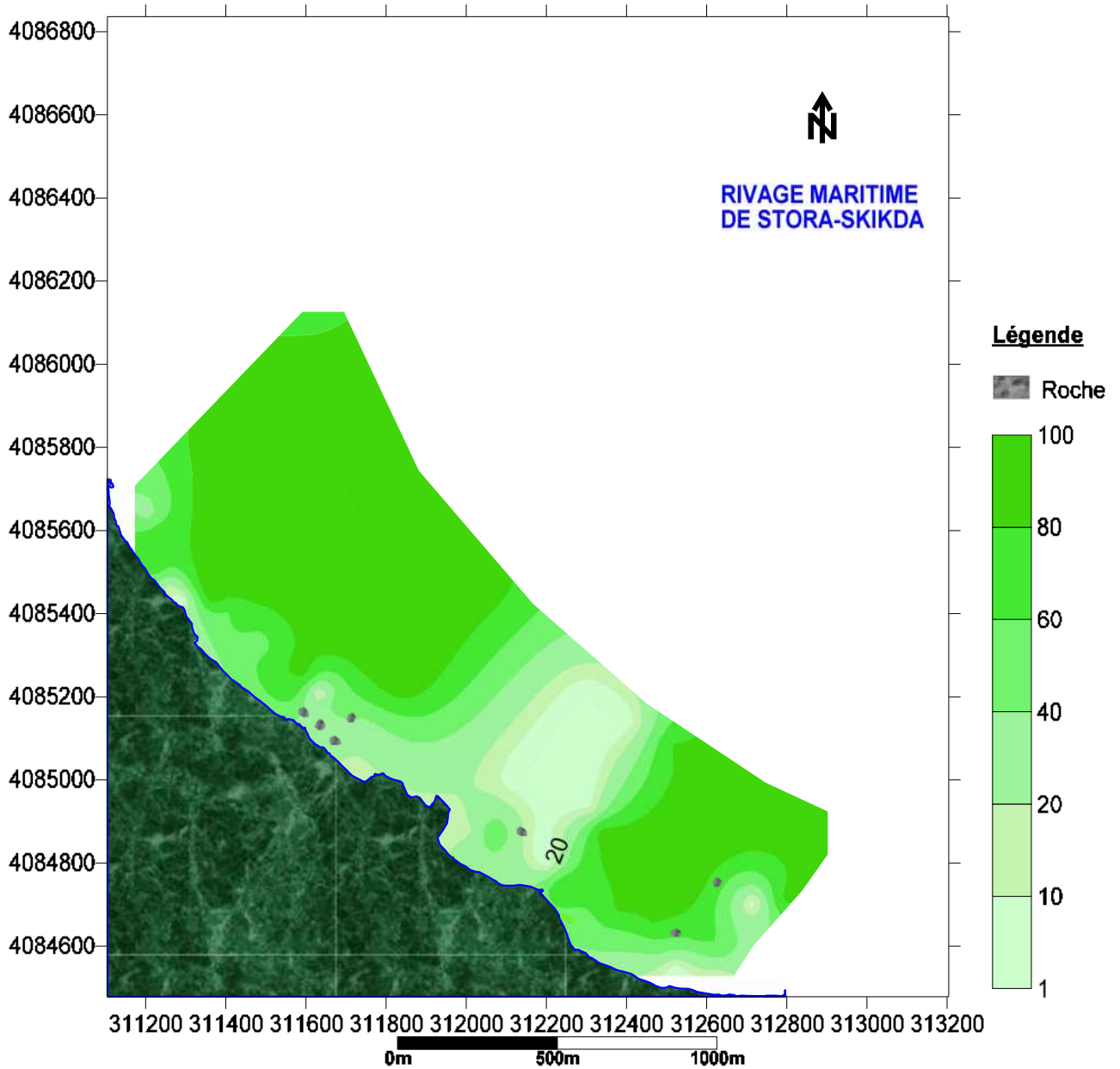


Figure III.16 : carte de la répartition spatiale du Mode M1 (160 μm) (LEM, 2011).

Répartition spatiale du mode 2 :

La carte ci-dessous montre une répartition d'échantillons dont le diamètre est compris entre 200 et 350 μm avec un mode dominant à 250 μm , c'est le deuxième mode le plus fréquent après celui du mode 1 avec un pourcentage de 37% de l'ensemble des échantillons. On note

également que 40 échantillons présentent un taux qui varie entre 20 et 50% de cette fraction (La figure III.17).



Figure III.17 : carte de la répartition spatiale du Mode M2 (250 μm) (LEM, 2011).

Répartition spatiale du mode 3 :

La carte ci-dessus montre la répartition du mode 3 dont le diamètre est de 630 μm , et qui est compris entre 400 μm et 800 μm , néanmoins ce mode est le moins fréquent que tous les autres modes et représente la fraction moyenne à grossière avec un taux de 8% seulement de l'ensemble des échantillons (figure III.18).

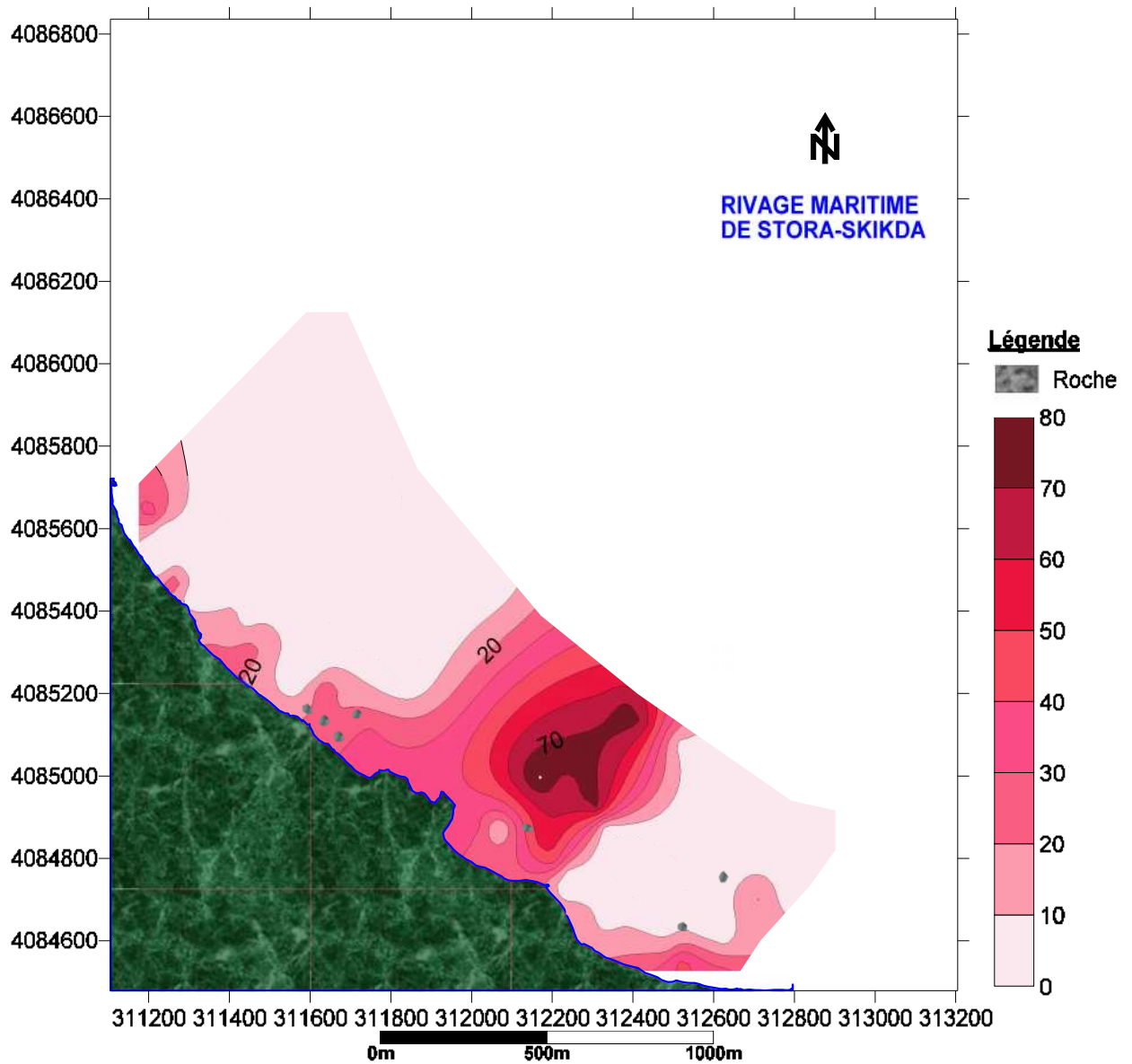


Figure III.18 : carte de la répartition spatiale du Mode M3 (630 µm) (LEM, 2011).

Répartition spatiale du mode 4 :

Cette classe représente la fraction grossière dont le diamètre varie entre 800 µm et 6300 µm avec un mode dominant à 1000 µm, il est aussi moins fréquent que le précédent puisque il représente que 12% de l'ensemble des échantillons. (Figure III.19).

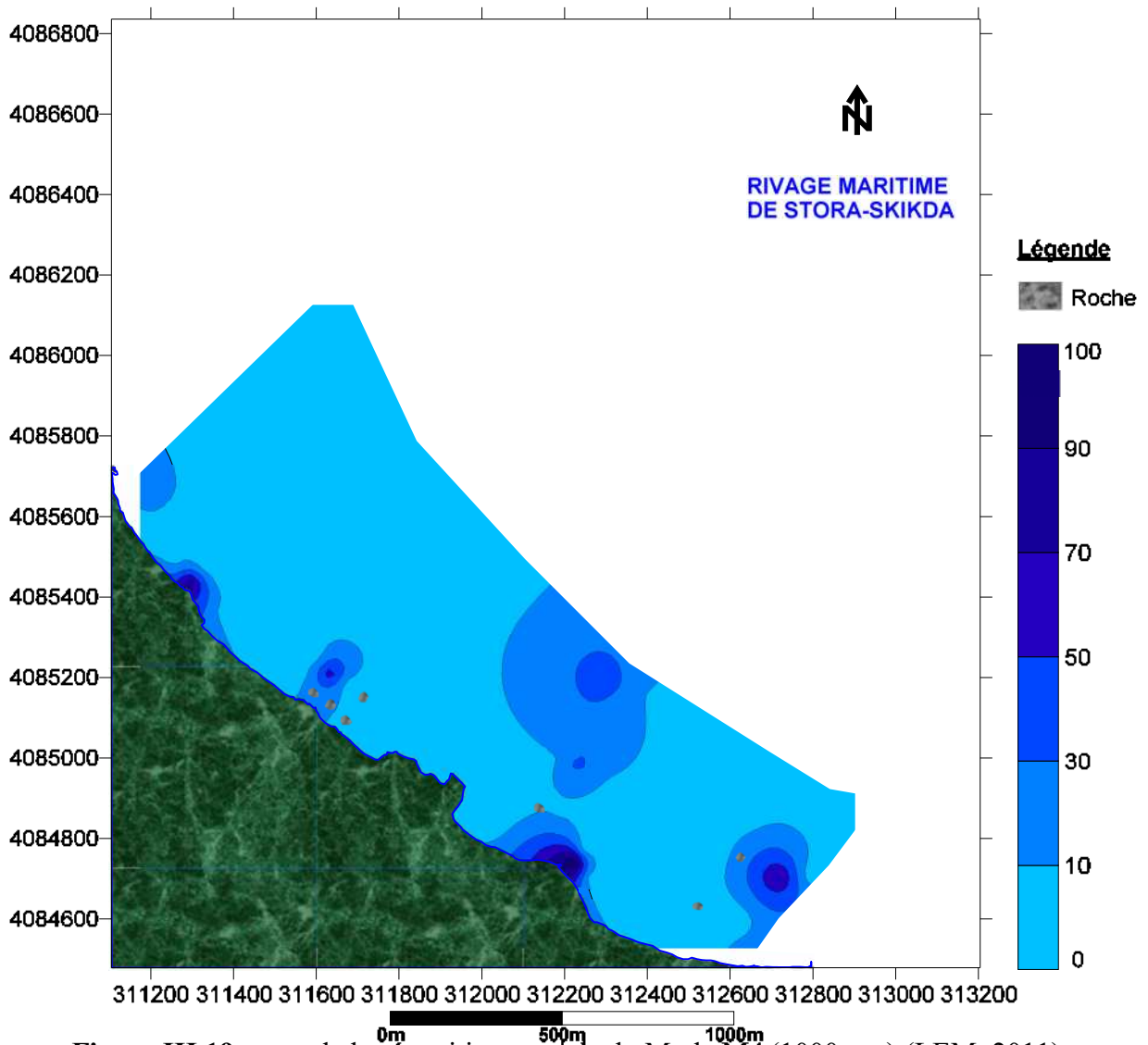


Figure III.19: carte de la répartition spatiale du Mode M4 (1000 µm) (LEM, 2011).

III.3.2. Analyse de fractions fines :

Cette étude permet de connaître les teneurs en fraction fine (diamètre inférieur à 50 microns) dans les sédiments ainsi que sa répartition spatiale dans la zone d'étude.

La carte suivante (figure III.20) est réalisée à partir du pourcentage en lutites caractéristiques pour chaque échantillon. On remarque que l'ensemble de la zone, est constitué de moins de 10 % de fraction fine et que ce pourcentage tend à augmenter dans les grandes profondeurs comme l'indique la dégradation de la couleur orange à l'extrémité Est du site.

On remarque également qu'au niveau de la partie Ouest du site, l'existence d'une petite zone caractérisée par une répartition différente et opposée à celle de l'ensemble puisque le pourcentage tend à augmenter dans le sens contraire jusqu'à atteindre le maximum à - 5 m de profondeur.

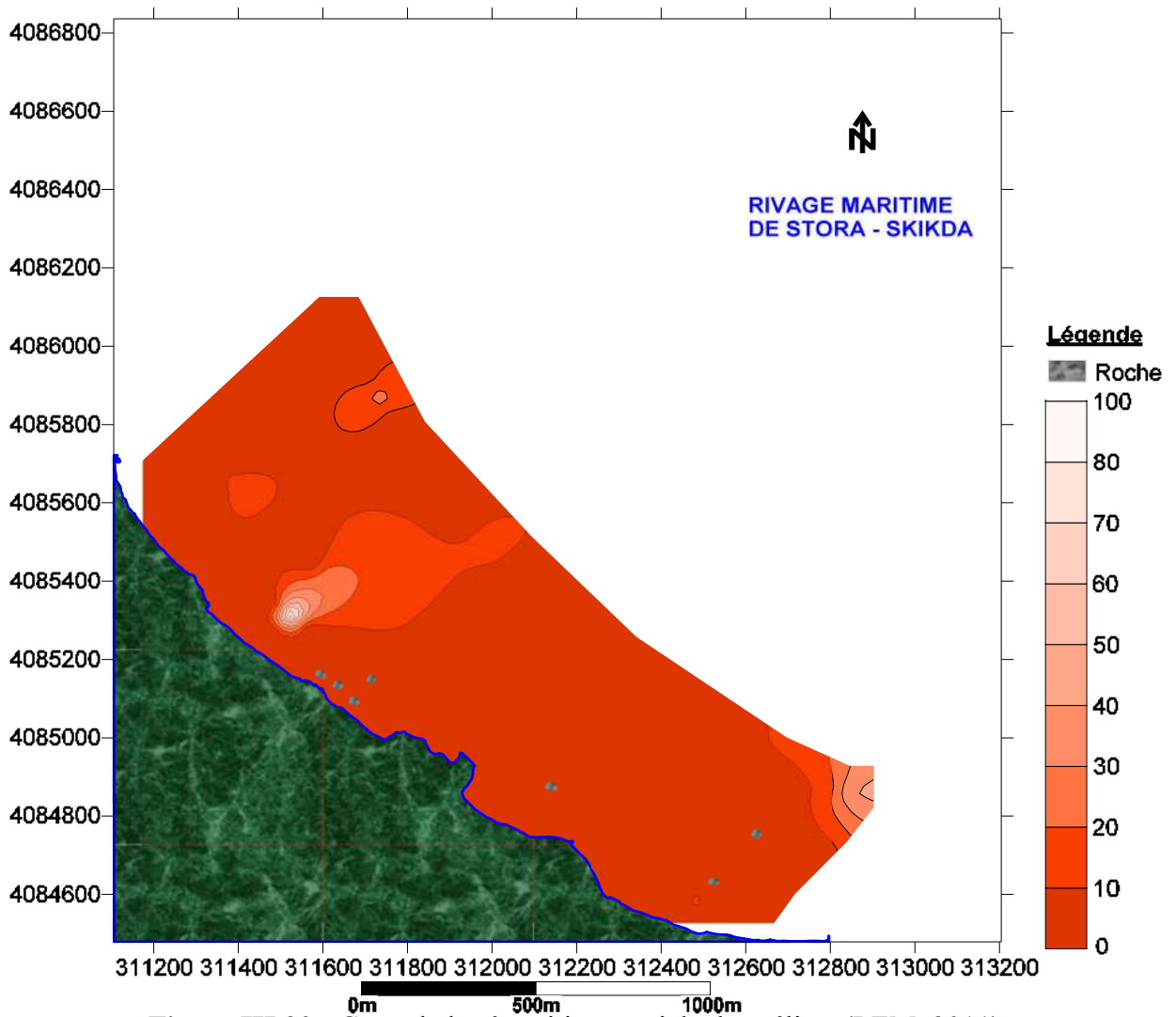


Figure III.20 : Carte de la répartition spatiale des pélites (LEM, 2011).

III.3.3. Diagramme de Passega :

Cette représentation, sur le diagramme de Passega, de la position des points représentatifs des sédiments prélevés dans la baie de Stora, montre que les valeurs du premier centile varient entre 400 et 2000 et les valeurs de la médiane varient de 180 μm à 290 μm .

La majorité des sédiments occupent le segment PQ/OP indiquant un transport par saltation et roulement témoin d'une énergie plus au moins forte (figure III.21).

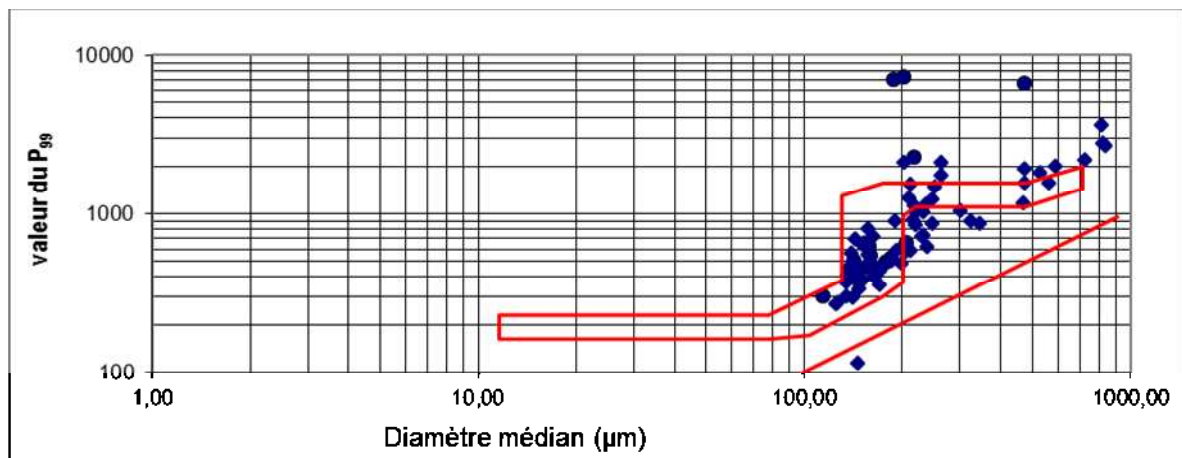


Figure III.21 : Diagramme de Passega.

III.3.4. Conclusion sur l'étude sédimentologie :

La répartition spatiale des sédiments révèle une distribution semblable au schéma de la répartition des sédiments en mer avec une décroissance du diamètre des particules de la côte vers le large, avec une croissance du diamètre sédimentaire allant du sable moyen au sable grossier dans les deux extrémités de la partie est de la zone.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins dans le diamètre moyenne égale à 180µm.

Selon la classification de Folk (1966). Les sédiments sont très bien classés Les valeurs de Sk proche de la médiane (Sk=1) avec S0 comprise entre 1et 1.5 cela indique un stock sédimentaire ancien et non régénéré.

Les matériaux sédimentaires présentent un transport par saltation et roulement témoin d'une énergie plus au moins forte.

III.3.4.1. Modélisation du transport sédimentaire :

Pour le littoral de la plage Skikda-Stora, qui présente une pente moyenne de 4.5%, une houle se présentant au déferlement avec une incidence de 10° engendre un courant de 2.168 m/s pour Hb = 4.8 m.

Des échanges importants peuvent se faire entre la côte et le large par des courants orientés vers le large, appelés courants de retour ou « rip currents » ; ces courants traversent la zone de déferlement. Les écoulements sont concentrés dans des zones étroites, sensiblement perpendiculaires à la côte et séparés de façon régulière.

La concordance entre le schéma de distribution spatiale des sédiments et le schéma de la courantologie évoque le lien entre la granulométrie des particules sédimentaires et leur influence majeure sur leur transport (et sur leur vitesse de sédimentation). (Figure III.22)

Ces relations sont synthétisées par le diagramme de Hjulström (Figure III.23), qui montre la vitesse minimale d'un courant nécessaire pour mobiliser, transporter et déposer des grains de sable de granulométrie variable.



Figure III.22 : Répartition schématique des courants côtiers tirés des résultats de Mike21. (LEM, 2011).

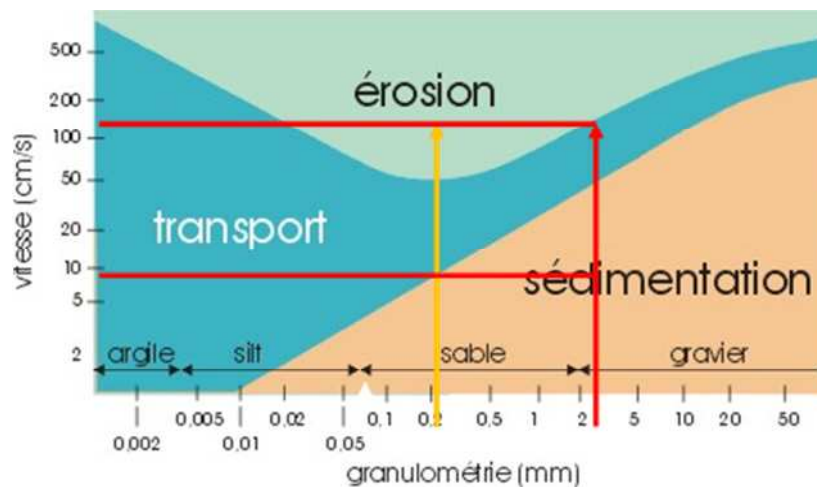


Figure III.23 : diagramme de Hjulström, donnant la vitesse minimale d'un courant en fonction la granulométrie des sédiments.

Si on suit la logique du diagramme de Hjulström ceci nous amène à dire que la granulométrie du site d'étude est de type sable moyen :

- Les sédiments de 0.125 mm à 1.5 mm sont gérés par des courants côtiers compris entre 0 cm/s et 2 m/s.

- Les sédiments supérieurs à 1.5 mm sont gérés par des courants > 2.00 m/s.

Ainsi donc, les conditions hydrodynamiques agitées proches de la côte favorisent le vannage des particules fines, ce qui donne des granulométries tronquées, étalées vers les grossiers. A l'inverse, le piégeage des particules fines dans les sédiments est illustré par un étalement des granulométries vers les fines (<10%) par les courants de moindre intensité.

III.3.4.2 Le transit sédimentaire :

La direction N50° ne sera pas prise en considération étant donné qu'elle forme un angle de 90° avec la côte (houle frontale qui génèrent les courants de retour vers le large), donc elle ne peut engendrer qu'un transport dans le profil.

Donc les deux directions restantes à savoir la N°10 et la N°360.

Tableau III.1 : transit sédimentaire par période et par direction

Direction	10°N	360°N	Total par période Q (m ³ /an)
Période (s)	Q (m ³ /an)	Q (m ³ /an)	
6	502,24	359,59	861,83
8	976,49	451,58	1428,07
10	1012,97	872,53	1885,5
T/direct	2491,70	1683,70	4175,4
Total général =			4175,4 m³/an

Le volume résultant des sédiments pouvant être déplacés de l'Ouest vers l'Est serait

$$4175,40 \text{ m}^3/\text{an}.$$

Cette quantité est considérée comme résiduelle pour le linéaire de cote considérée du fait du manque d'alimentation en sédiment.

Chapitre IV :

Solution d'aménagement

IV.1. introduction :

Au vu du diagnostic du site d'étude et à la suite des résultats obtenus sur l'état de la zone d'étude du chapitre ci-précédent et pour mettre à l'abri la zone d'étude, nous proposons deux variantes d'aménagements. La première variante de type brise-lames émergés et la deuxième présenter par des géotubes immergés plus un rechargement de la plage paradis dans la partie Ouest, et un brise-lames plus un épi forme de T dans la partie Est du site, adaptées aux différents secteurs d'incidence de la houle et à leur particularité.

IV.2. Variante N°1 : brise-lames émergés :

IV.2.1. Définition :

Ce sont des ouvrages en mer parallèles en général au littoral. Elles atténuent plus ou moins fortement l'agitation de la houle devant la plage et bloquent tout ou partie des sables transportés du littoral et engraisent la partie à l'arrière du brise-lames en créant un tombolo ou un salient. Elles ont pour objet de :

- Pour les sédiments :

- Limiter la dissipation transversale des matériaux, lorsque des transports importants de sédiments s'effectuent dans le profil.
- Diminuer l'énergie de la houle permettant aux sédiments en transit de s'accumuler à leur abri.

- Pour les houles :

Les brise-lames exercent deux types d'action sur les houles en s'approchant du rivage :

- Diminuer l'énergie des houles atteignant le plan d'eau et la zone côtière situés à son abri, en réfléchissant ou absorbant au moins partiellement l'énergie des houles qui le frappent directement.
- Ils provoquent la diffraction des houles à ses extrémités.

Ces actions provoquent le développement d'une avancée à partir de ligne de rivage.

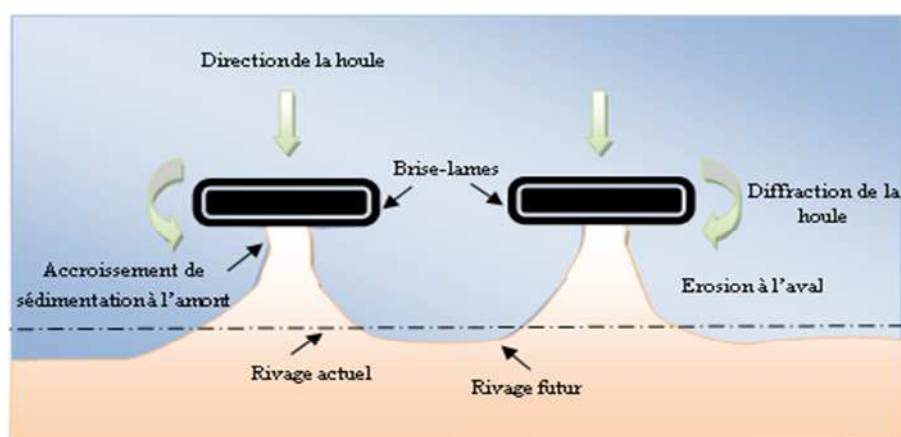


Figure IV.1 : Fonctionnement des brise-lames (Annane et al 2007 in Berkennou N, Sallaye M ; 2012).

IV.2.2. Prédimensionnement de l'ouvrage :

Il n'existe pas actuellement des règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brises lame (profondeur d'implantation, longueur et espacement, hauteur). Celles-ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde) de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds.

Différentes études effectuées par le LCHF (Laboratoire Central Hydraulique de France) (Migniot, 1982, 1989), le CERC (Shore protection Manual, 1984) ont permis de proposer des valeurs seuils concernant leur implantation dans le profil, leur longueur et espacement, leur hauteur et leur largeur en crête.

- Hauteur de la houle déterminante :

Pour un ouvrage de défense des côtes, ainsi que pour tout ouvrage en eau peu profonde. La hauteur de la houle déterminante (H_d) est bien souvent celle qui correspond à la hauteur de la plus grande lame déferlante avant d'atteindre l'ouvrage.

Cette hauteur est fonction notamment de la hauteur d'eau au pied de l'ouvrage, de la pente de la plage et de la période de la houle.

La détermination de la hauteur de la plus grande vague déferlante que l'ouvrage pourra rencontrer s'obtient à partir de résultats de modèle mathématique de la réfraction de houle (Swan) à une profondeur de 4 m représentant la profondeur moyenne d'implantation.

La houle du projet est tirée à partir du tableau des résultats (annexe) des points d'extraction relatifs à la houle vingtennale de direction 10°N

$$H_s = 3.34\text{m}$$

IV.2.2.1. Paramètres d'implantation :

a- Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte (l_c) :

Pour qu'un brise-lames fonctionne bien, la distance à la côte doit être prise égale en moyenne à la moitié de la longueur d'onde de la houle au large, sachant que L au large $1.56T^2$ $L_0 = 150.13\text{m}$.

En prend : $l_c = 80\text{m}$

Cette distance correspond à une profondeur moyenne $D_p = 4\text{m}$

- Détermination de la longueur d'onde L au pied de l'ouvrage :

Ouvrage implanté à une profondeur moyenne $h = -4\text{m}$.

Pour $T = 9.81\text{s}$. On a $L_0 = 1.56T^2 = 150.13\text{m}$, ce qui donne grâce à l'abaque de CERC (voir annexe).

On retient une longueur d'onde au droit de l'ouvrage $L = 45\text{m}$.

b- Longueur des brise-lames (l):

Cas 1- Il n'y a formation d'un tombolo derrière un brise-lames que si sa longueur relative par rapport à sa distance à la côte est suffisamment grande : $L/D > 2$.

Cas 2- Dans le cas où $L/D < 2$, il y a développement d'une accrétion derrière le brise-lames : formation d'un salient, La possibilité de la formation d'un tombolo n'est pas écartée.

Cas 3- La sédimentation derrière l'ouvrage est pratiquement inexistante lorsque $L/D < 1/3$. Pour notre étude nous adopterons et nous travaillerons selon le cas 2 à savoir formation de salients avec possibilité de formation de tombolos.

La longueur du brise-lames est liée à deux autres longueurs qui sont la distance à la plage et la longueur d'onde de la houle. Selon les auteurs, différentes formules sont proposées pour choisir la longueur globale à donner à un brise-lames.

Selon les recommandations du LCHF une relation simplifiée. $l > 1.2l_c + 0.3L$

l : longueur du brise-lames

l_c : distance du brise-lames à la côte

L : longueur d'onde de la houle au point considéré

Si la distance à la cote égale 80 m et la longueur d'onde = 45 m on aura : $l > 110.3m$

On prend : **$l = 120m$**

c- Espacement entre les brise-lames (E):

Le niveau d'énergie à l'abri du brise-lames est contrôlé par la largeur des espaces entre les segments de brise-lames et la diffraction des lames dans ces espaces.

La recommandation classiques du LCHF, Pour qu'il n'y ait pas d'érosion du trait de côte situé entre deux brise-lames successifs : $E < 0.83l_c + 0.50L$

Pour $l_c = 80m$ et $L = 45m$, le calcul donne un espace inférieur à 95m

On prend : **$E = 80m$**

IV.2.2.2 Paramètres structuraux :**a- La hauteur de brise-lames :**

Afin de prévenir contre la formation des tombolos les brise-lames sont étudiés pour qu'une partie de l'énergie de la houle puisse être transmise par franchissement au-dessus de fut

Nous adopterons dans ce projet des brise-lames submersibles arasés à 1m

$RC = 1m$

b- Largeur en crête (e) :

Des expériences réalisées en laboratoire ont montré que si la cote arase d'un brise-lames doit être abaissée, cette diminution rendant l'ouvrage plus vulnérable et moins efficace lors des tempêtes, peut être en partie compensée par une augmentation de la largeur en crête, Cette condition s'exprime par la relation :

$$15-5 RC < e < 25-5 RC$$

On prend : $e = 15m$

IV.2.2.3. Stabilités des brise-lames immergés :**a- La carapace :**

La carapace représente l'élément clé de la stabilité de la structure. Elle se compose soit d'enrochements naturels soit de blocs artificiels en béton. C'est la partie de l'ouvrage qui reçoit directement l'attaque de la houle et que l'on caractérise par le poids unitaire W des blocs naturels ou artificiels qui la composent.

- Poids des blocs de carapace :

Il existe de nombreuses formules empiriques pour déterminer le poids unitaire des enrochements de la carapace des ouvrages à talus, mais on ne retiendra ici que la formule d'**Hudson** qui est la plus utilisée et dont le domaine d'application est le mieux connu.

$$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_s H_b^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cot \alpha} \quad (6)$$

W : Poids de blocs en béton ou d'enrochement en tonne (t)

K_d : coefficient du dommage (pour un dommage entre 0-5% et pour une forme des blocs rugueuse et angulaire et pour un emplacement aléatoire K_d=3.5)

γ_w : la masse volumique de l'eau de mer (1,028t/m³)

γ_s : La masse volumique des blocs utilisés (enrochement 2,65t/m³)

H_b : Hauteur de la houle de dimensionnement (ici, H_b=3.34m)

- Le diamètre nominal (D_n) :

$$D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_B}} \quad (7)$$

- L'épaisseur de la carapace (E):

$$E = n * K_t * D_{n50}$$

K_t : coefficient de couche (1,1 pour le biton et 1,15 pour l'enrochement)

n : nombre de couche.

- **La butée de pied :**

Il s'agit d'une partie importante de l'ouvrage qui assure un double rôle, d'une part un blocage en pied des blocs de carapace pour éviter leur glissement, d'autre part une protection contre les affouillements de pied.

- **Poids de butée de pied :**

$$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}} \quad (8)$$

b- Le Filtre :

Assure la transition entre le noyau et la carapace, d'une part il empêche l'entraînement par l'eau des matériaux fins du noyau, d'autre part la qualité du frottement entre la carapace et sa sous couche améliore la stabilité de cette carapace.

c- Le Noyau :

Le noyau doit assurer une transition satisfaisante entre le soubassement en matériaux fins, et les matériaux plus grossiers du filtre, on utilise des matériaux de bon marché provenant des carrières proches, matériaux tout-venant (TVC), généralement entre [1-250Kg].

$$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}} \quad (9)$$

Tableau IV. 1: Résultats de prédimensionnement des brise-lames émergés.

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w \cdot H d^3}{K d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot \cotg \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_s}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 \cdot 3,34^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,026} - 1 \right)^3 \cdot 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{4,74}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 1,21$	<p>W= 4,74t</p> <p>Dn₅₀= 1,21m</p> <p>E=2,78m</p>	[3-6t]
Butée de pied	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma_r}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} \cdot 4,74$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,474}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,56$	<p>W= 474Kg</p> <p>Dn_B=0,56m</p> <p>E=1,3m</p>	[250-750kg]
Le noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{200} \cdot 4,74$	<p>W_{noyau} = 23,7Kg</p>	[1-250kg]
La largeur en crête	15-5 RC < e < 25-5 RC	10 < e < 20	e = 15 m	
La longueur des bermes	L ≥ 3	L ≥ 3	L = 3	

IV.2.2.4 Les avantages et les inconvénients d'un brise-lames :**Avantages :**

- Fixation de fond par l'arrêt de perte des matériaux dans le profil ;
- Atténuation de l'énergie de la houle et réduction locale du transport sédimentaire ;
- Protection des côtes sableuses par accumulation de sédiments ;
- Constituent de nouveaux biotopes rocheux qui sont rapidement colonisés par des espèces végétales et animales.

Inconvénients :

- Protection uniquement locale ;
- Impact possible pour la navigation de plaisance et les engins de plage ;
- Coûts élevés de mise en œuvre, des constructions en eau relativement profonde ;
- En cas d'implantation de plusieurs brises lame, le rivage situé au droit de l'ouverture entre deux brises lames successives recule fortement de fait que le rivage tend à s'orienter parallèlement aux houles.

P1

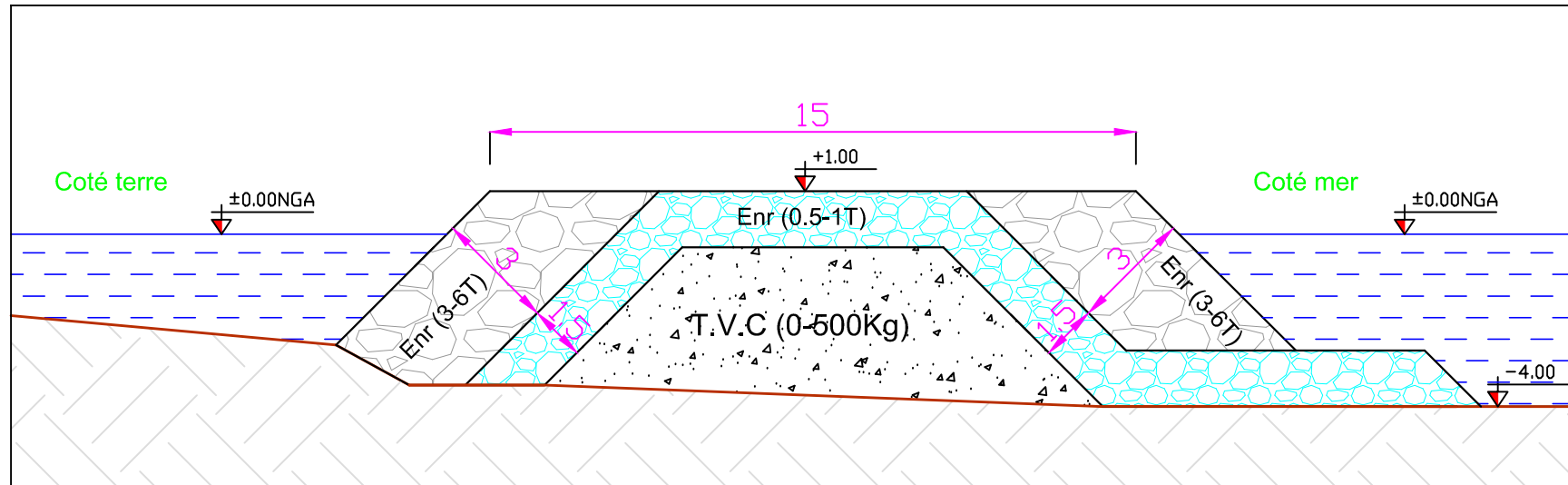
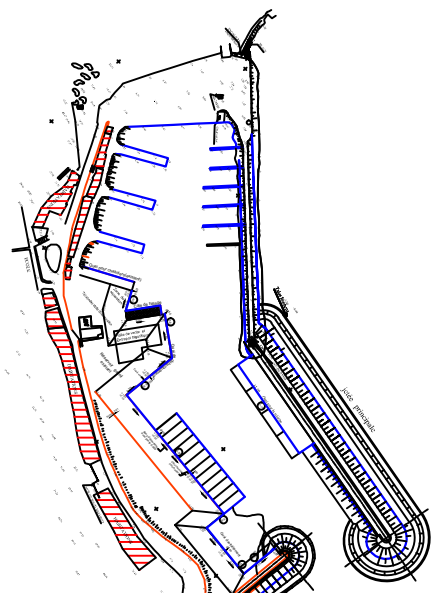
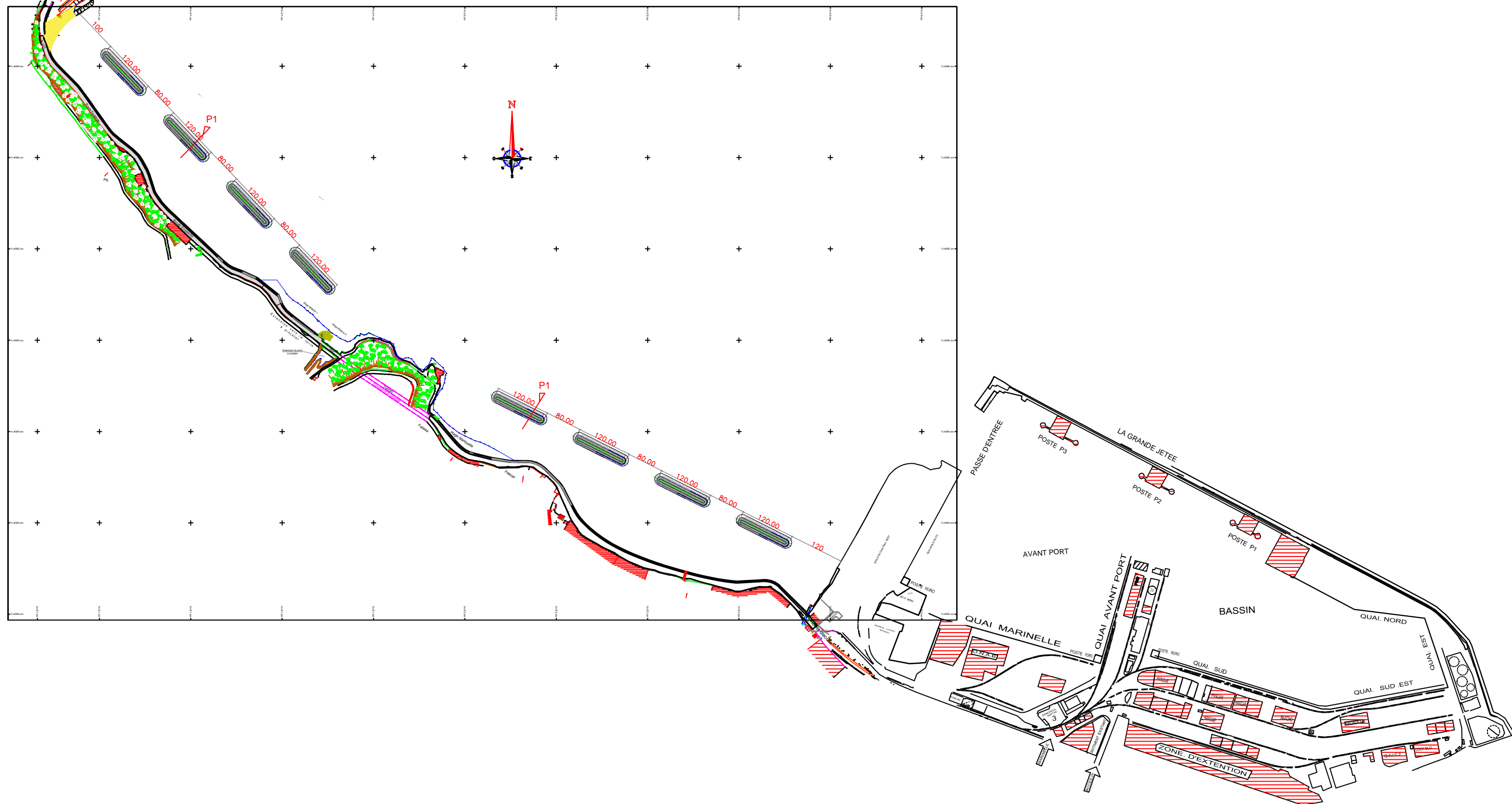


Figure IV 2: Profil P(1) du brise lames
(Gasmi, Boulouata 2013)



Plan de masse variante I



IV.3. Variante N°2 :

IV.3.1. Partie ouest : Brise-lames immergés en géotubes plus un Rechargement de la plage Paradis :

IV.3.1.1. Le rechargement de plage Paradis :

Le rechargement constitue une solution de protection douce du littoral. Son intérêt est de recharger la zone érodée pour élargir le haut estran afin de créer une plage « sèche » c'est-à-dire non recouverte par les plaines mers. Le rechargement a pour objet:

- Soit de reconstituer une plage, en compensant le déséquilibre du littoral résultant d'une érosion naturelle ou d'une intervention humaine (ouvrages portuaires...).
- Soit de créer une plage artificielle, destinée à la protection de l'arrière-pays ou à une utilisation balnéaire.

Ce type d'ouvrage consiste la mise en place :

- Un rechargement en sédiment de carrière du grain [0.5 - 2] mm
- Longueur de la plage : $L = 320\text{m}$
- Largeur de la berme : $l = 35\text{ m}$
- Epaisseur de la berme : $e = 1.5\text{ m}$
- Surface : $s = 8740\text{ m}^2$
- Un volume de rechargement d'environ 13100 m^3 .

La fuite des matériaux d'apport dans le profil est empêchée par une butée de pied en enrochements calculés comme pour la défense longitudinale.

Les caractéristiques dimensionnelles générales de cette butée sont :

- La cote d'arase supérieure : -1.50,
- largeur de la berme: 8.00 m,
- largeur de la base : 14.00 m,
- pente des talus : 3/2.

P2

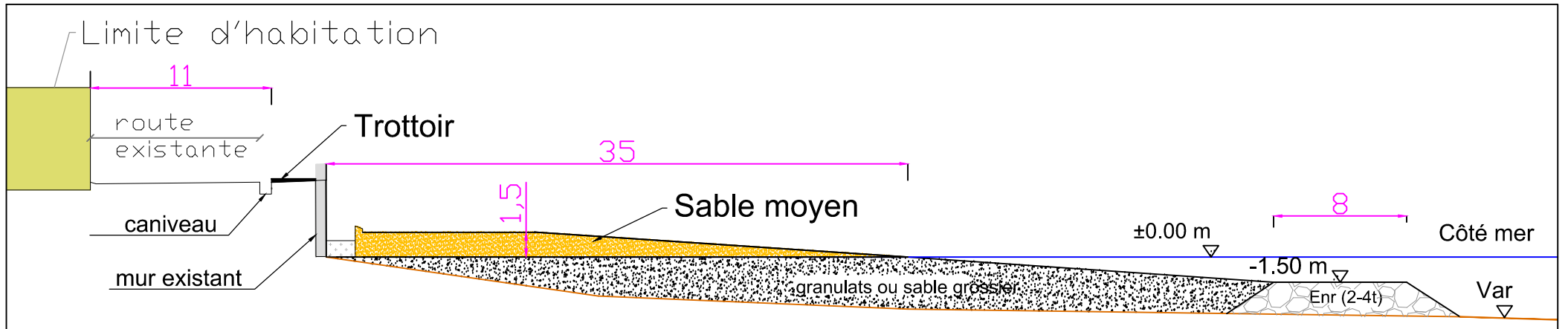


Figure IV 3: Profil P(2) de la plage (Gasmi, Boulouata 2013)

IV.3.1.2. Brise-lames immergés en géotubes :

Le géotube est un composé d'une matière géotextile tissée en forme d'un long cylindre malléable qu'on remplit avec du sable hydraulique. Il est fabriqué à partir d'un géotextile très solide et perméable à l'eau grâce à ses orifices plus au moins ouverts pour retenir les éléments fins (sable) et laisser passer l'eau.

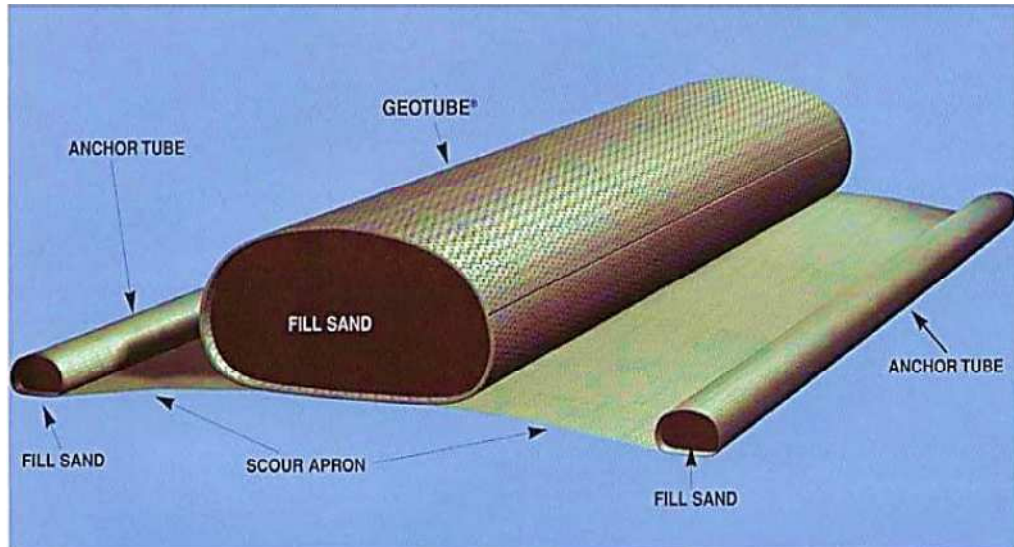


Figure IV.4: Coupe type classique d'un tube posé sur un tapis anti-affouillement.

IV.3.1.2.1. Prédimensionnement de l'ouvrage :

IV.3.1.2.1.1. Paramètres d'implantation de l'ouvrage :

a- Profondeur d'implantation (d):

Le brise-lames doit être situé approximativement au début de la zone de déferlement. (CIRIA et CUR, 1991) la houle déferle lorsque le rapport entre la hauteur de la houle H et la profondeur d $H/d = 0.78$. Dans notre cas la profondeur de déferlement débute à partir de 3,5m.

$$H_s = 2,52 \quad \text{et} \quad d = 3,5\text{m} \quad \frac{H_s}{d} = 0.72$$

On prend la profondeur d'implantation à

$$\boxed{d = 3 \text{ m}}$$

b- La distance à la cote (lc) :

Pour que un brise-lames fonctionne bien, la distance à la cote doit être prise égale en moyenne à la moitié de la longueur d'onde de la houle au large (LCHF).

$$\text{Sachent que : } T = 10\text{s} \quad L_o = 1.56T^2 \quad L_o = 156$$

La distance à la cote égale en moyenne $\boxed{lc = 70\text{m}}$

c- Espacement (E):

La recommandation classiques du LCHF, Pour qu'il n'y ait pas d'érosion du trait de côte situé entre deux brise-lames successifs : $E < 0.83l_c + 0.50L$

Pour $l_c = 70\text{m}$ et $L=45\text{ m}$, $E < 80,6\text{m}$

On prend : **E = 60m**

d- La longueur l :

Selon les recommandations du LCHF une relation simplifiée. $l > 1.2l_c + 0.3L$

l = 120m

e- La largeur de la berme B:

Le dimensionnement de la largeur de la berme et dépend du pourcentage de la dissipation d'énergie souhaitable, Autrement dit la transmission des vagues.

Pour cela on adopter la formule des ouvrages lisses à crête abaissée proposée par (Briganti et al, 2004) qui ont calibré la relation élaborée par d'Angremond et al, 1990).

$$C_t = -0.4 \frac{R_c}{H_s} + C_p \left(\frac{B}{H_s} \right)^{-0.31} (1 - \exp(-0.5\varepsilon_p)) \quad (10)$$

C_t : est le coefficient de transmission ;

F : est la hauteur d'eau entre la surface et le sommet de la structure ($F = -0,5\text{m}$) ;

H_s : est la hauteur significative incidente au pied de l'ouvrage ($2,5\text{m}$) ;

B : est la largeur de la berme.

C_p : est le coefficient de perméabilité ($C_p=0,64$ dans le cas d'un ouvrage perméable,).

ε_p : est le nombre d'Iribarren au déferlement tel que :

On précise que l'équation est valable tant que $\frac{B}{H_s} < 10$

$$\varepsilon_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{L_0}}} \quad (11)$$

α : la pente du talus

L_0 : la longueur d'onde de la houle au large.

($\xi_p > 3,3$ alors le type de déferlement est gonflant).

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2: Largeur de la berme.

Hs(m)	RC(m)	α	Lo(m)	ξ _p	C _t	C _p	B(m)
2.52	-1	1/2	150.13	3,86	0.4	0.64	12

VI.3.1.2.1.2 Les paramètres structuraux :

Les géotubes vont être implantés à - 4 m de profondeur, en utilisant le tableau ci-dessous, on obtient les paramètres structuraux de l'ouvrage proposé.

Tableau IV.3 : Caractéristiques géosynthétique en fonction de leurs paramètres.
(Source LEM, 2012).

Diamètre	Circonférence	Hauteur	Volume	Largeur max	Largeur base	Géosynthétique recommandé
D	C	H	F	W	W _b	
M	m	m	m ³ /ml	m	m	
1,60	5,0	1,0	1,7	2,0	1,7	PP 120 S
2,50	7,9	1,1	4,1	3,2	2,7	PP 120 S
3,25	10,2	2,0	6,9	4,2	3,5	PP 200 S
4,00	12,6	2,4	10,4	5,1	4,3	PP 200 S
5,00	15,7	3,0	16,3	6,4	5,4	PP 200 S

Les paramètres structuraux sont :

- Le diamètre $D = 3,25$ m
- La Hauteur $H = 2$ m
- Largeur maximale $w = 4,2$ m.

Le géotube est posé sur un tapis d'affouillement ce tapis assure la protection de la base du tube. Ce tapis peut être posé sous le tube et prolongé des deux côtés ou d'un côté uniquement, selon le type d'ouvrage, la largeur du tapis dépendant de la taille du tube utilisé. Dans notre cas on adopte un tapis de **24m** largeur et de **132m** de longueur.

- Vérification de stabilité du géotube :

Pilarczyk (2000) a présenté l'équation suivante de stabilité des géotubes :

$$\frac{H_s}{D} < 1 \quad (12)$$

H_s : La hauteur significative des vagues incidentes,
 D : la largeur du géotube.

$$= (1 - n) \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (13)$$

n : Porosité de sable ($n=0.15$).

γ_s : La masse volumique de sable utilisé pour remplir le géotube.

γ_w : La masse volumique de l'eau.

$$\frac{H_s}{D} = 0.49$$

La condition est vérifiée.

VI.3.1.2.2. Avantages et inconvénients des géotubes :**- Avantages :**

- Construction beaucoup plus rapide que les solutions traditionnelles
- Moyens matériels beaucoup moins importants pour la mise en œuvre matériaux de carrière
- Solution facilement réversible à moindre coût par rapport à une solution traditionnelle
- Solution environnementale du fait de la mise en œuvre des matériaux du site.
- Le fait d'être immergé permet également d'offrir une solution non agressive visuellement,

- Inconvénients :

- Stabilité faible sur les fonds en pente dans les cas de fortes houles ;
- Risque important de déchirement de l'enveloppe.
- Affouillement possible en pied si des vides existent dans la structure, dus à un remplissage trop lent;
- Il faut assurer une surveillance très régulière impérative pour ajuster éventuellement le fonctionnement et pallier les défauts.

P3

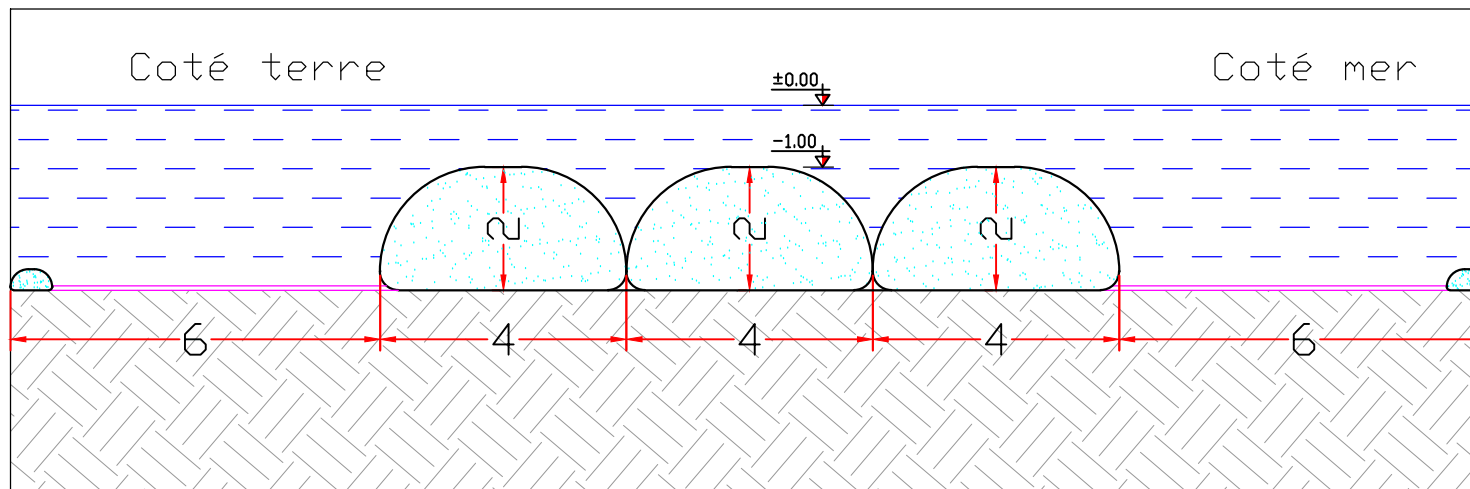


Figure IV 5 : Profil P(3) Des geotubes
(Gasmi, Boulouata 2013)

IV.3.2. Coté Est : brise-lames émergé plus un épi en forme de T :

IV.3.2.1 L'épi forme de T :

Les épis sont des ouvrages de défense transversaux au trait de cote, ils constituent des obstacles, pour la dérive littorale qui se trouve freinée, le plus souvent perpendiculaires à la cote, parfois obliques quand l'incidence des houles dominantes est forte (Paskoff 1993).

Les ouvrages de protections, dénommés épis ont pour objet d'arrêter au moins partiellement le débit solide et sont généralement mis en œuvre lorsque les mouvements sédimentaires prédominant sont parallèle à la cote. (Olivier 2007 in Athmani H ; 2010).

Les épis ne peuvent être utilisés que pour arrêter le transport littoral, ils n'interrompent pas le transport dans le profil et n'attirent pas, sur une zone, de sable qui autrement n'y serait pas passé.

Dans notre cas on va installer un ouvrage mixte (épi en forme de T) accessible aux piétons, d'une part pour arrêter les sédiments de transport sédimentaire et d'autre part pour atténuer l'intensité de la houle frontale de la direction 10°N sur la plage.

IV.3.2.1.1. Prédimensionnement de l'épi :

- La longueur :

La longueur d'un épi devrait logiquement être telle que l'ouvrage barre la zone où des transports importants de matériaux se produisent, c'est-à-dire jusqu'à la ligne de déferlement de la houle à basse mer (Chapon 1984).

Pour une hauteur de houle de dimensionnement $H_b=2.52\text{m}$ qui correspond à une distance à la côte égale à 80m, on applique la formule de Galvin

$$X_p = (4-9.25m)*H_b \quad (14)$$

X_p : la distance de plongée (la distance entre le début de déferlement et l'ouvrage implanté)

m : pente de la plage

Avec une pente de 4% on prend

$$X_p = 10\text{m}$$

Donc la longueur de l'épi correspond à 10+80m

On prend :

$$l = 90\text{m}$$

IV.3.2.1.2. Avantages et inconvénients des épis :

- Avantages :

- Stabiliser une plage soumise à des forte tempêtes, ou à des périodes saisonnière d'avancés ou de recule, en réduisant le taux de pertes des sédiments.
- Réduire le dédit de transport littoral dans certain secteur en réorientant le tracé du rivage presque perpendiculairement à la direction des houles.
- Eviter l'engraissement dans une zone aval en arrêtant le transport littoral.

- **Inconvénients :**

- Si les épis bloquent le débit solide et par conséquent favorisent un engraissement contre l'épi en amont, la plage en aval est sous-alimentée et s'érode.
- Comme pour les brises lames, les épis étant émergents s'insèrent relativement mal dans le paysage.

Ils peuvent entrainer la création de courants de circulation dangereux pour la baignade dans les alvéoles qu'ils forment entre eux.

IV.3.2.1.3 Predimensionnement du brise-lames associe à l'épi :

Le brise-lames associe à l'épi a les paramètres suivants :

- La longueur = 135m
- Largeur de la berme = 15m
- Cote d'arase = + 2m

- **Stabilité du brise-lames :**

Tableau IV.4 : Résultats de prédimensionnement des brise-lames émergés associe à l'épi.

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w \cdot H d^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cdot \cot \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_s}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 \cdot 3,76^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,026} - 1\right)^3 \cdot 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{6,83}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 1,37$	W= 6,83t Dn ₅₀ = 1,37m E=3,15m	6t
Butée de pied	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma_r}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} \cdot 6,83$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,683}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,64$	W= 683Kg Dn _B =0,64m E=1,47m	[250-750kg]
Le noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{200} \cdot 6,83$	W _{noyau} = 34,15Kg	[1-250kg]
La largeur en crête	15-5 RC < e < 25-5 RC	10 < e < 20	e = 15 m	

P4

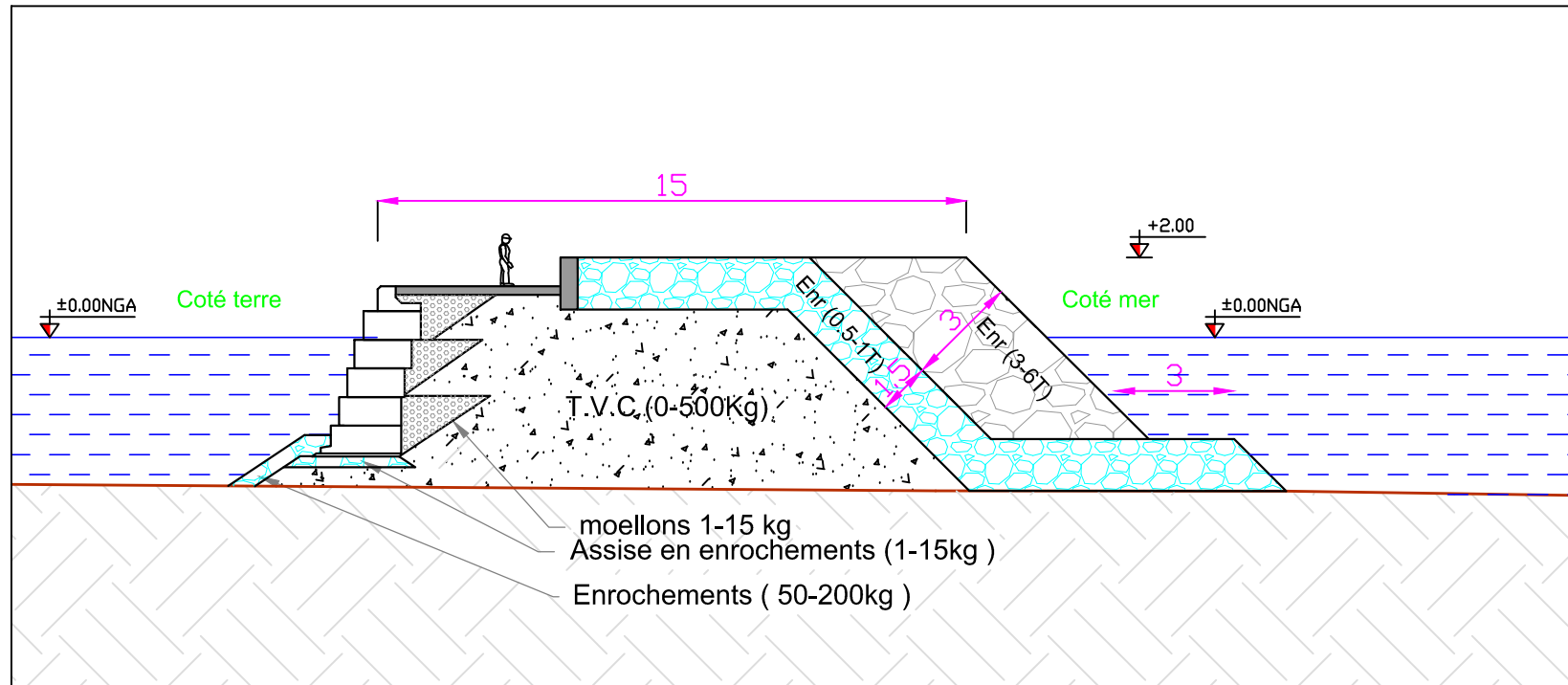


Figure IV 6: Profil P(4) du brise lame associé à l'épi.(Gasmi, Boulouata 2013)

IV.3.2.2. brise-lames émergé :

Ce brise-lames va être implanté face à la plage Market, cette première à la caractéristique suivante :

- La distance à la cote = 80m
- La longueur = 120m
- Largeur de la berme = 15m.
- **Stabilité de l'ouvrage :**

Ce brise-lames a les mêmes paramètres structuraux que la variante N° 1.

- **Le recul stratégique :**

Le recul stratégique du littoral est une solution passive qui reste relativement intéressante économiquement à long terme tout en permettant de redonner un caractère plus naturel au site et donc un attrait touristique. De plus, c'est une solution qui, en général, est une réponse durable face au problème érosif.

Cependant, cette solution n'est pas toujours viable et réalisable suivant les sites d'étude. Sur le site de Stora, cette solution est envisageable uniquement devant de la zone du tunnel qui ne présente aucun risque (pas d'infrastructure apparente ni d'habitation proche). Par contre, la totalité des plages le long de la corniche de Stora et sur le reste des zones, notamment devant la route et l'arrière-pays, il est risqué de laisser la plage reculer naturellement sous peine de la faire disparaître et d'enlever ainsi à la commune sa zone touristique et économiquement attractive.

Ce principe sera donc considéré, mais de façon locale seulement et de fait, combiné avec les autres types d'aménagement proposés.



FigureIV.7 : La zone concernée par le recule stratégique.

IV.4. Le choix de la variante :

Afin de choisir lequel des variantes sera prise en considération, plusieurs paramètres et considérations seront prise en compte, parmi ces paramètres on site :

- L'efficacité de la protection du rivage contre l'érosion et la submersion.
- Le respect de critère esthétique et impact visuel du site.
- le coût de la réalisation
- difficulté de la réalisation des travaux (par voie maritime ou terrestre).

- Comparaison des variantes :

La comparaison multi critères des variantes est basée sur un système de notation A, B et C qui est attribué respectivement au critère favorable, peu favorable et défavorable.

Cette méthode permet de choisir la variante la plus avantageuse.

Tableau IV. 5: La comparaison des variantes.

Variantes Critères	Variante N°1	Variante N° 2
Réalisation (délai, difficultés,)	C	C
Entretien	B	C
Impact	B	B
Esthétique	C	A
Total	$2B+2C$	$A+B+2C$

Conclusion :

D'après cette comparaison, on a choisi la variante N°2 qui est la plus avantageuse.

Conclusion Générale

Conclusion

L'érosion est un phénomène naturel liée au déséquilibre entre le dépôt de sédiments et leur redistribution par les courants côtiers. Ce phénomène toutefois accéléré par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage.

L'origine de l'érosion dans la zone de Stora est d'une part naturelle tel que les tempêtes, les variations du niveau de la mer, et d'autre part anthropiques essentiellement l'implantation des ouvrages portuaires (port mixte, port de pêche).

L'évolution du trait de côte du littoral de Stora depuis 1960 à 2011 marquer par un recul du trait de côte de 15 à 30 m et d'un léger engraissement derrière la jetée secondaire du port de Stora et le port ancien (une largeur de 15 m entre l'année 1980 et 2011 (50 cm/an).

L'analyse bathymétrie révèle un fond marin formé par des isobathes assez serrés parallèles à la côte jusqu'à l'isobathe -10 m, à l'exception de la partie médiane de la zone, où on remarque une bathymétrie irrégulière et chahutée, dû à l'existence d'un haut fond entre les isobathes -5 m et -10 m. Au-delà des -10 m de profondeur, les isobathes ont tendance à s'élargir.

La modélisation numérique de la réfraction démontre que la houle de secteur 10°N, 50°N et 360°N sont les plus menaçantes sur la zone, elles vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

La répartition spatiale des sédiments révèle une distribution semblable au schéma classique de la répartition des sédiments, avec une exception dans les deux extrémités de la partie Est de la zone où le sédimentaire allant du sable moyen au sable grossier.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins dans le diamètre moyenne égale à 180µm.

Le transit littoral a été de 4175,40 m³/an, allant de Est vers l'Ouest, cette quantité est considérée comme résiduelle pour le linéaire de la cote du fait du manque d'alimentation en sédiment. C'est ce explique l'érosion observé dans la zone de Stora.

De ce fait, le choix et les caractéristiques du type des ouvrages de protection, qui sont proposés pour la protection du rivage de Stora résultent d'une:

- A l'amélioration des conditions sévères que subissent le front de mer, les courants et la perturbation hydrodynamique (dégradation des protections actuelles).
- A protéger la route existante.
- Aux besoins des utilisateurs actuels et à ceux des touristes qui fréquentent la corniche durant l'été.
- A consolider le caractère public de ces espaces pour mieux les intégrer dans un ensemble récré touristique et respectueux de l'environnement.

Bibliographie

ANAL ; 2006 - De la défense contre la mer à la gestion durable du système côtier. *Journée d'étude ANEL, torreilles, p12-15.*

Assassi C, Athmani H ; 2010 - Etude de protection de la zone de club des pins. *mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger, p29-31.*

Berkennou N, Sallaye M ; 2012 - Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger, p25-27.*

Boulevard Gambetta.

Caminade D ; Ouvrages de protection des côtes, *Université du Havre.*

Caminade. D, 1995. Ouvrages de protection contre la houle. Technique de l'ingénieur, traité

CERC; (Coastal Engineering Research Center) . *Shore Protection Manual* (1984).

CETMF ; 1998 - Conception et dimensionnement des digues à talus. *Centre d'étude technique maritime et fluvial, Boulevard Gambetta.*

CETMF ; 1998 - Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de défense du littoral contre l'action de la mer. *Centre d'étude technique maritime et fluvial,*

Corlay J.-P ; 1995, Géographie sociale, géographie du littoral. *Norois, Poitiers, n°165, p. 247.*

de construction <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction/3/geniecivil-ti254/ouvrages-de-protection-contre-la-houle-c4631/>, 28p.

Hamden Y ; cours génie cotie, *5eme année aménagement ENSSMAL ,2013.*

Khelfaoui F, Zouini D ; Gestion intégrée et qualité des eaux dans le bassin versant du Saf-Saf (wilaya de Skikda, nord-est algérien). *Faculté des Sciences de la Terre, Département de Géologie, Université Badji Mokhtar, BP n°12, Annaba 23000. Algérie. p50-53.*

Kherfouchi M ; 1984- « le bassin du Saf-Saf (Algérie orientale) : Irrigation et Aménagement des ressources en Eau », *Thèse de Doctorat de 3^{eme} cycle, Nancy II.*

Klioui H, Delmi N ; 2012 – Protection du littoral urbain d'Azeffoune par des atténuateurs en géosynthétique. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger, p50-53.*

L.A.M ; 2012 – avant-projet sommaire rapport (*mission 02, wilaya de Skikda*).

L.E.M ; 2011- collecte et analyse de données de bases (*mission 01, wilaya de Skikda*).

LCHF ; (Laboratoire Central d'Hydraulique de France). – *Plages et littoraux artificiels* (1972).

Mr hadef R ; 2008 - Quel projet urbain pour un retour de la ville à la mer ? Cas d'étude : Skikda. *Mémoire de magister, université mentouri, Constantine, p49-53.*

Olivier S ; Efficacité et impacte des ouvrages en enrochements sur la plage microtidales, le cas de Languedoc et du delta de Rhône. *Thèse de doctorat, université Aix Marseille p28-32 Paris, Masson, 1997.*

Paskoff R ; côtes en danger, Ed Masson, Paris , p250

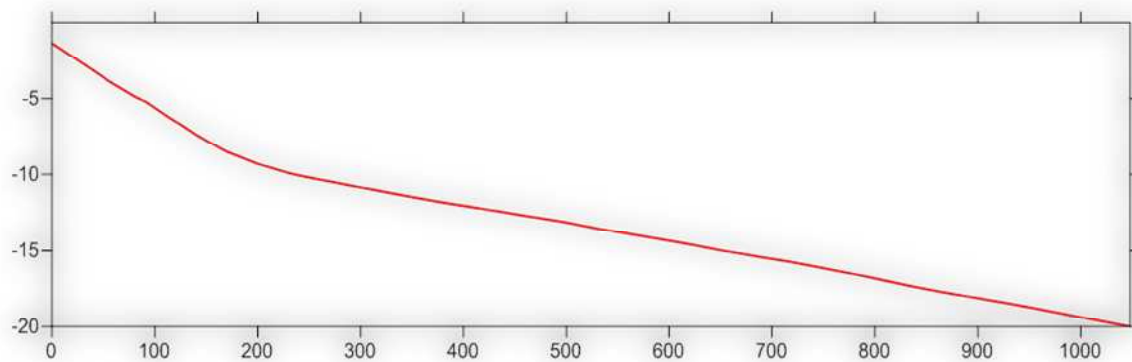
Paskoff R ; 1993 – les littoraux : impacts des aménagements sur leur évolution.

Paskoff R ; 2001- l'élévation de niveau de la mer et l'espace côtier.

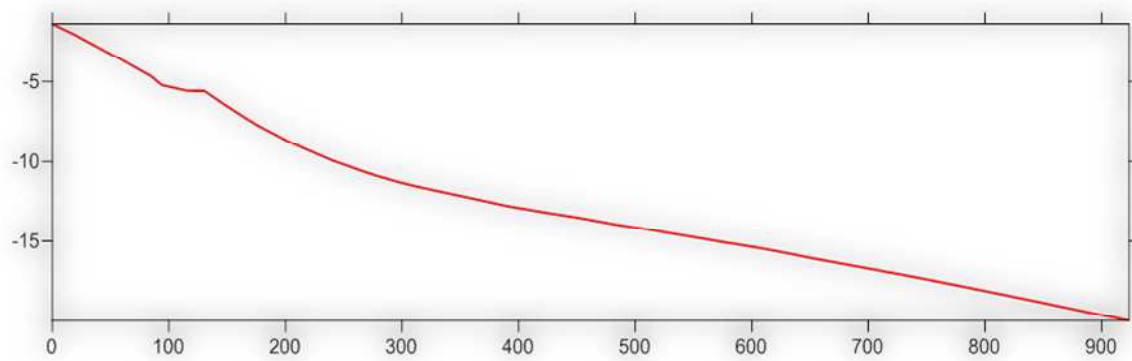
Romoge ; 2002- La défense des plages contre l'érosion. *Monaco, p6-7.*

Annexe

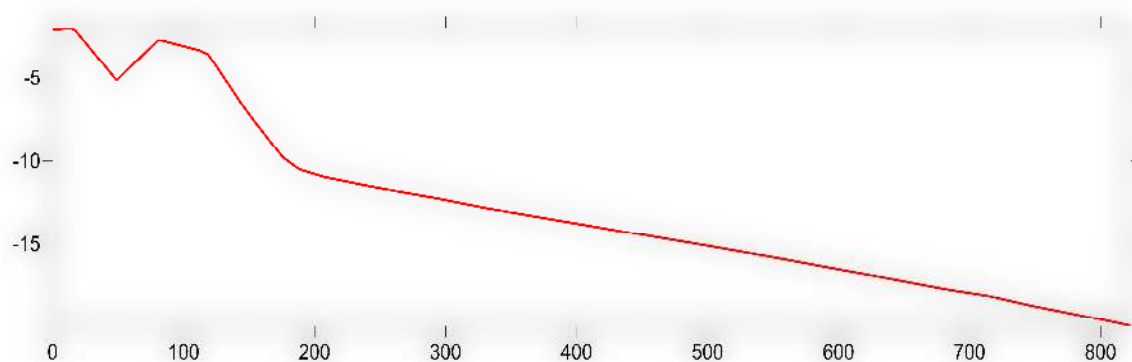
Profil n° : 1



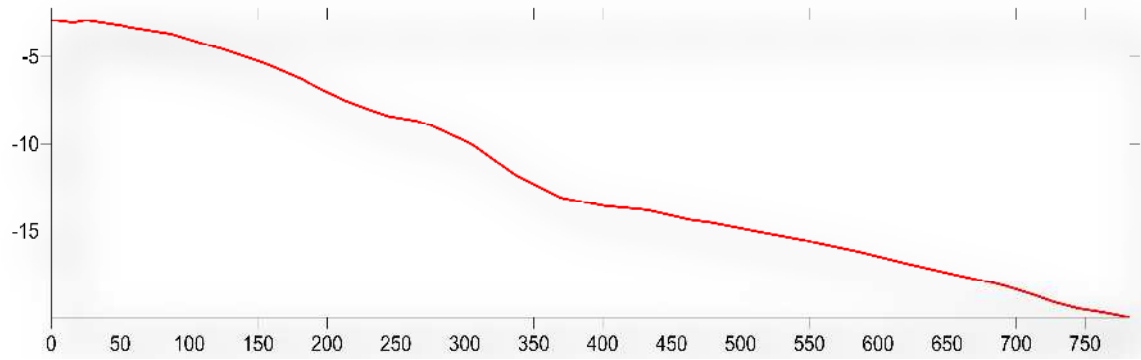
Profil n° : 2



Profil n° : 3



Profil n° : 4



Profil n° : 5

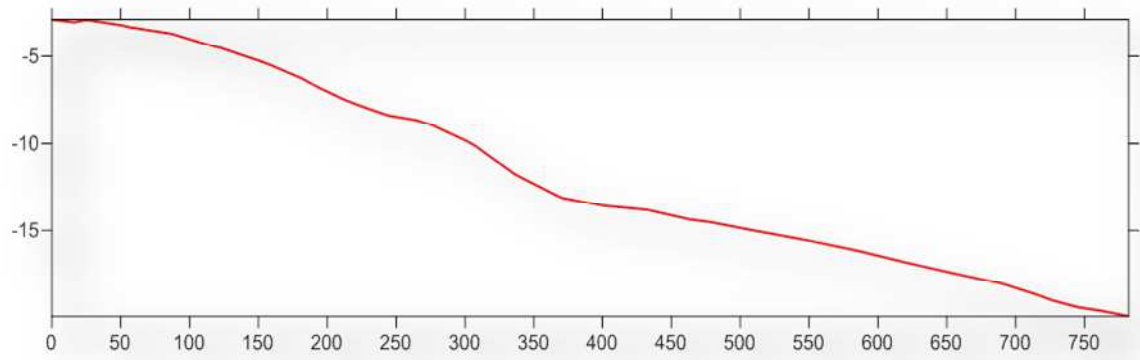


Tableau : Les positions des points de prélèvements des sédiments.

N° depoints	X	Y	Profondeur	N° de point	X	Y	Profondeur
PR01	311175.263	4085596.804	2.5m	PR36	311851.136	4085698.003	15m
PR02	311208.161	4085635.497	5m	PR37	311613.611	4085418.662	10m
PR03	311361.228	4085815.526	10m	PR38	311523.974	4085313.245	5m
PR04	311624.891	4086125.634	15m	PR39	311487.883	4085270.800	2.5m
PR05	311641.645	4086069.537	15m	PR40	311524.868	4085237.118	2.5m
PR06	311356.933	4085735.050	10m	PR41	311564.009	4085283.002	5m
PR07	311239.065	4085596.572	5m	PR42	311648.461	4085382.002	10m
PR08	311197.913	4085548.227	2.5m	PR43	311882.075	4085655.860	15m
PR09	311227.286	4085503.857	2.5m	PR44	311914.561	4085618.377	15m
PR10	311273.312	4085557.772	5m	PR45	311688.774	4085352.934	10m
PR11	311372.147	4085673.546	10m	PR46	311600.139	4085248.728	5m
PR12	311659.642	4086010.313	15m	PR47	311563.699	4085205.890	2.5m
PR13	311687.182	4085965.786	15m	PR48	311592.773	4085161.940	2.5m
PR14	311396.028	4085628.476	10m	PR49	311633.749	4085210.191	5m
PR15	311300.987	4085517.222	5m	PR50	311729.188	4085322.576	10m
PR16	311261.120	4085470.554	2.5m	PR51	311950.656	4085583.367	15m
PR17	311295.344	4085433.475	2.5m	PR52	311984.595	4085546.067	15m
PR18	311328.014	4085471.648	5m	PR53	311767.951	4085291.739	10m
PR19	311426.268	4085586.451	10m	PR54	311673.154	4085180.453	5m
PR20	311706.271	4085913.613	15m	PR55	311633.270	4085133.632	2.5m
PR21	311734.245	4085868.866	15m	PR56	311667.011	4085095.583	2.5m
PR22	311458.656	4085545.647	10m	PR57	311712.869	4085149.461	5m
PR23	311365.374	4085436.243	5m	PR58	311805.236	4085257.982	10m
PR24	311367.143	4085362.246	2.5m	PR59	311016.815	4085506.564	15m
PR25	311402.566	4085404.066	5m	PR60	311049.784	4085468.382	15m
PR26	311493.350	4085510.478	10m	PR61	311842.267	4085224.283	10m
PR27	311759.813	4085822.809	15m	PR62	311746.307	4085111.407	5m
PR28	311788.344	4085779.737	15m	PR63	311707.862	4085066.185	2.5m
PR29	311531.099	4085477.674	10m	PR64	311980.647	4084846.342	2.5m
PR30	311441.043	4085371.927	5m	PR65	312007.553	4084877.956	5m
PR31	311407.018	4085331.975	2.5m	PR66	312106.492	4084994.204	10m
PR32	311448.741	4085302.362	2.5m	PR67	312287.621	4085207.011	15m
PR33	311483.134	4085342.705	5m	PR68	312331.120	4085181.208	15m
PR34	311572.134	4085447.103	10m	PR69	312171.645	4084993.830	10m
PR35	311820.149	4085738.026	15m	PR70	312070.046	4084874.457	5m

N° de points	X	Y	Profondeur	N° de points	X	Y	Profondeur
PR71	312024.032	4084820.391	2.5m	PR96	312624.474	4084985.968	15m
PR72	312134.155	4084872.242	5m	PR97	312661.501	4084953.348	15m
PR73	312225.583	4084979.667	10m	PR98	312519.944	4084787.024	10m
PR74	312380.327	4085161.484	15m	PR99	312414.966	4084663.679	15m
PR75	312418.820	4085130.879	15m	PR100	312377.294	4084619.417	2.5m
PR76	312289.253	4084978.643	10m	PR101	312429.511	4084605.118	2.5m
PR77	312181.154	4084851.630	5m	PR102	312464.095	4084645.753	5m
PR78	312201.911	4084798.119	5m	PR103	312560.597	4084759.139	10m
PR79	312312.244	4084927.756	10m	PR104	312704.199	4084927.865	15m
PR80	312465.958	4085108.363	15m	PR105	312746.652	4084897.166	15m
PR81	312506.238	4085079.922	15m	PR106	312624.629	4084753.794	10m
PR82	312333.934	4084877.473	10m	PR107	312520.230	4084631.130	5m
PR83	312244.142	4084771.971	5m	PR108	312482.289	4084586.550	2.5m
PR84	312218.281	4084741.586	2.5m	PR109	312519.976	4084554.085	2.5m
PR85	312256.655	4084703.779	2.5m	PR110	312580.190	4084624.834	5m
PR86	312310.419	4084766.949	5m	PR111	312640.828	4084852.081	10m
PR87	312387.767	4084857.830	10m	PR112	312794.740	4084876.922	15m
PR88	312551.088	4085049.725	15m	PR113	312846.757	4084858.946	15m
PR89	312584.272	4085018.665	15m	PR114	312715.646	4084704.895	10m
PR90	312430.673	4085838.193	10m	PR115	312626.134	4084599.723	5m
PR91	312330.770	4084720.811	5m	PR116	312584.067	4084550.296	2.5m
PR92	312281.094	4084662.443	2.5m	PR117	312628.162	4084528.073	2.5m
PR93	312332.363	4084642.750	2.5m	PR118	312664.783	4084571.101	5m
PR94	312372.386	4084689.775	5m	PR119	312784.583	4084711.861	10m
PR95	312478.906	4084814.931	10m	PR120	312901.771	4084857.780	15m

Tableau : Houle Biennale de direction 50°N.

Caractéristiques de la houle au large Dir: °N50 Tp= 9,81s H= 4,00 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	314342	4084219	1,14	10,19	0,28	30	-0,9
2	312460	4084543	1,32	10,19	0,33	30	-0,9
3	312044	4084787	1,47	10,19	0,37	32	-0,9
4	311595	4085131	1,44	10,19	0,36	46	-0,9
5	311167	4085579	1,41	10,19	0,35	58	-0,9
6	311429	4086829	1,65	10,19	0,41	84	-0,9
7	311644	4087924	1,31	10,19	0,33	98	-1,1
8	311719	4088129	2,31	10,19	0,58	51	-2,0
9	311378	4086516	2,07	10,19	0,52	84	-2,0
10	311246	4085480	1,78	10,19	0,45	55	-1,6
11	311487	4085247	1,81	10,19	0,45	47	-1,8
12	311872	4084976	1,97	10,19	0,49	48	-1,9
13	312259	4084689	1,85	10,19	0,46	40	-1,8
14	312739	4084523	1,81	10,19	0,45	11	-2,1
15	313100	4084809	1,65	10,19	0,41	341	-3,1
16	313777	4084625	2,44	10,19	0,61	31	-2,1
17	313955	4084533	2,51	10,19	0,63	28	-2,9
18	312632	4084544	2,02	10,19	0,51	24	-2,8
19	312321	4084666	2,26	10,19	0,57	38	-2,7
20	312013	4084845	2,18	10,19	0,55	36	-2,6
21	311595	4085187	2,30	10,19	0,58	47	-2,8
22	311303	4085441	2,26	10,19	0,56	52	-2,5
23	311159	4085710	1,96	10,19	0,49	75	-2,4
24	311498	4087404	2,19	10,19	0,55	71	-2,5
25	311391	4088544	2,48	10,19	0,62	62	-2,4
26	311634	4088284	3,12	10,19	0,78	49	-4,5
27	311573	4087627	2,84	10,19	0,71	76	-4,5
28	311227	4086268	2,52	10,19	0,63	82	-4,1
29	311260	4085575	2,83	10,19	0,71	55	-4,4
30	311494	4085336	3,00	10,19	0,75	49	-4,8
31	312001	4084903	2,78	10,19	0,70	40	-4,5
32	312434	4084658	2,74	10,19	0,69	36	-4,9
33	312755	4084590	2,39	10,19	0,60	15	-5,0
34	313665	4084689	2,86	10,19	0,71	27	-4,7
35	313356	4084891	3,40	10,19	0,85	39	-9,3
36	312549	4084791	2,97	10,19	0,74	40	-10,0
37	311954	4085075	3,30	10,19	0,82	48	-9,5
38	311440	4085572	3,33	10,19	0,83	53	-9,8
39	311590	4086946	3,27	10,19	0,82	73	-9,4
40	311535	4088470	3,41	10,19	0,85	56	-9,2

41	311947	4087405	3,36	10,19	0,84	59	-14,7
42	311664	4086001	3,34	10,19	0,84	55	-14,9
43	312154	4085335	3,34	10,19	0,84	49	-14,9
44	312990	4084889	2,80	10,19	0,70	30	-15,1
45	312958	4085087	3,28	10,19	0,82	41	-14,6
46	313864	4084738	3,18	10,19	0,79	36	-14,4
47	313253	4085042	3,36	10,19	0,84	42	-19,2
48	312348	4085645	3,40	10,19	0,85	49	-19,9
49	311945	4086533	3,43	10,19	0,86	55	-19,9
50	312118	4087795	3,72	10,19	0,93	58	-20,1

Tableau : Houle biennale de direction 10°N.

Caractéristiques de la houle au large Dir: °N10 Tp= 11,41s H= 5,46m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	314342	4084219	1,22	11,40	0,22	16	-0,9
2	312460	4084543	1,48	11,40	0,27	22	-0,9
3	312044	4084787	1,55	11,40	0,28	24	-0,9
4	311595	4085131	1,65	11,40	0,30	38	-0,9
5	311167	4085579	1,44	11,40	0,26	53	-0,9
6	311429	4086829	1,93	11,40	0,35	79	-0,9
7	311644	4087924	1,35	11,40	0,25	97	-1,1
8	311719	4088129	2,63	11,40	0,48	37	-2,0
9	311378	4086516	1,99	11,40	0,36	78	-2,0
10	311246	4085480	1,94	11,40	0,36	48	-1,6
11	311487	4085247	2,00	11,40	0,37	38	-1,8
12	311872	4084976	2,14	11,40	0,39	39	-1,9
13	312259	4084689	2,04	11,40	0,37	31	-1,8
14	312739	4084523	2,11	11,40	0,39	6	-2,1
15	313100	4084809	2,58	11,40	0,47	338	-3,1
16	313777	4084625	3,17	11,40	0,58	18	-2,1
17	313955	4084533	3,44	11,40	0,63	14	-2,9
18	312632	4084544	2,38	11,40	0,44	17	-2,8
19	312321	4084666	2,52	11,40	0,46	28	-2,7
20	312013	4084845	2,33	11,40	0,43	26	-2,6
21	311595	4085187	2,52	11,40	0,46	37	-2,8
22	311303	4085441	2,41	11,40	0,44	44	-2,5
23	311159	4085710	1,90	11,40	0,35	72	-2,4
24	311498	4087404	2,38	11,40	0,44	65	-2,5
25	311391	4088544	3,06	11,40	0,56	51	-2,4
26	311634	4088284	3,84	11,40	0,70	34	-4,5
27	311573	4087627	2,86	11,40	0,52	70	-4,5
28	311227	4086268	2,30	11,40	0,42	79	-4,1

29	311260	4085575	2,71	11,40	0,50	48	-4,4
30	311494	4085336	3,19	11,40	0,58	38	-4,8
31	312001	4084903	2,97	11,40	0,54	28	-4,5
32	312434	4084658	3,34	11,40	0,61	25	-4,9
33	312755	4084590	3,09	11,40	0,57	8	-5,0
34	313665	4084689	3,98	11,40	0,73	11	-4,7
35	313356	4084891	4,34	11,40	0,79	19	-9,3
36	312549	4084791	4,06	11,40	0,74	25	-10,0
37	311954	4085075	3,56	11,40	0,65	33	-9,5
38	311440	4085572	3,23	11,40	0,59	41	-9,8
39	311590	4086946	3,68	11,40	0,67	61	-9,4
40	311535	4088470	4,69	11,40	0,86	38	-9,2
41	311947	4087405	4,37	11,40	0,80	39	-14,7
42	311664	4086001	3,23	11,40	0,59	39	-14,9
43	312154	4085335	3,55	11,40	0,65	30	-14,9
44	312990	4084889	3,94	11,40	0,72	11	-15,1
45	312958	4085087	4,31	11,40	0,79	19	-14,6
46	313864	4084738	4,66	11,40	0,85	13	-14,4
47	313253	4085042	4,22	11,40	0,77	17	-19,2
48	312348	4085645	3,69	11,40	0,68	27	-19,9
49	311945	4086533	3,55	11,40	0,65	36	-19,9
50	312118	4087795	4,76	11,40	0,87	30	-20,1

Tableau : Houle vingtennale de direction 10°N.

Caractéristiques de la houle au large Dir: °N10 Tp= 13,65s H= 8,05m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	314342	4084219	1,29	13,95	0,16	18	-0,9
2	312460	4084543	1,66	13,95	0,21	23	-0,9
3	312044	4084787	1,66	13,95	0,21	25	-0,9
4	311595	4085131	1,79	13,95	0,22	39	-0,9
5	311167	4085579	1,78	13,95	0,22	54	-0,9
6	311429	4086829	2,05	13,95	0,26	81	-0,9
7	311644	4087924	1,59	13,95	0,20	102	-1,1
8	311719	4088129	3,14	13,95	0,39	39	-2,0
9	311378	4086516	2,69	13,95	0,33	81	-2,0
10	311246	4085480	2,35	13,95	0,29	49	-1,6
11	311487	4085247	2,28	13,95	0,28	39	-1,8
12	311872	4084976	2,50	13,95	0,31	41	-1,9
13	312259	4084689	2,35	13,95	0,29	31	-1,8
14	312739	4084523	2,41	13,95	0,30	7	-2,1
15	313100	4084809	3,16	13,95	0,39	338	-3,1
16	313777	4084625	3,65	13,95	0,45	19	-2,1

17	313955	4084533	4,09	13,95	0,51	14	-2,9
18	312632	4084544	2,74	13,95	0,34	18	-2,8
19	312321	4084666	2,85	13,95	0,35	30	-2,7
20	312013	4084845	2,69	13,95	0,33	28	-2,6
21	311595	4085187	2,87	13,95	0,36	38	-2,8
22	311303	4085441	2,89	13,95	0,36	45	-2,5
23	311159	4085710	2,43	13,95	0,30	73	-2,4
24	311498	4087404	2,68	13,95	0,33	66	-2,5
25	311391	4088544	3,92	13,95	0,49	55	-2,4
26	311634	4088284	4,78	13,95	0,59	37	-4,5
27	311573	4087627	3,52	13,95	0,44	71	-4,5
28	311227	4086268	3,34	13,95	0,41	80	-4,1
29	311260	4085575	3,55	13,95	0,44	49	-4,4
30	311494	4085336	3,87	13,95	0,48	40	-4,8
31	312001	4084903	3,56	13,95	0,44	30	-4,5
32	312434	4084658	3,86	13,95	0,48	27	-4,9
33	312755	4084590	3,76	13,95	0,47	9	-5,0
34	313665	4084689	5,20	13,95	0,65	11	-4,7
35	313356	4084891	6,11	13,95	0,76	20	-9,3
36	312549	4084791	5,51	13,95	0,68	27	-10,0
37	311954	4085075	4,79	13,95	0,60	35	-9,5
38	311440	4085572	4,67	13,95	0,58	43	-9,8
39	311590	4086946	4,81	13,95	0,60	66	-9,4
40	311535	4088470	6,13	13,95	0,76	43	-9,2