

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Minister 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 EN SCIENCES DE LA MER

Spécialité : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Sujet :

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua

Présenté par:

- Berkennou Nouredine
- Sallaye Miloud

Soutenu le 09/07/2012 devant le jury suivant :

M^{me} Bachari-Houma. F	Maître de conférences (ENSSMAL)	Présidente
M^{me} Fissah. A	(LEM)	Promotrice
M^{me} Amara. Z	(LEM)	Co-Promotrice
Mr. Belkessa. R	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
Mr. Ben Aissa. Z	(LEM)	Examineur

Promotion : (2012)

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, FISSAH Assma pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.

Nous tenons à remercier Mme AMARA Zahia qui a nous aidés dans la partie de solution d'aménagement, et sans oublier l'ensemble du personnel du LEM pour le meilleur accueil, et d'avoir facilité la consultation des documents nécessaires pour notre travail.

Mme BACHARI HOUMA Fouzia 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.

Mr BEN AISSA Zohir, on le remercie d'avoir accepté examiner notre 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.

BERKENNOU et SALLAYE

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A ma mère et mon père.

A toute ma famille.

*Et à tous mes amis (es) en particulier Aïssa, Bilal, Amine,
Hichem, Nour El imene, Sarah.....*

MILOU

Je dédie ce travail :

A mes chers parents, qui se sont toujours soucies de mes intérêts.

A tous mes frères et sœurs.

A toute ma famille.

A tous mes amis.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.

Noureddine

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Chapitre I : Généralités

I.1. Situation géographique	2
I.1.1. Baie de Chenoua.....	2
I.1.2. Zone d'étude.....	2
I.2. Géomorphologie.....	3
I.3. Données climatiques et hydrographiques.....	5
I.3.1. Précipitations.....	5
I.3.2. Vents	6
I.3.3. Température	8
I.3.4. Réseaux hydrographiques	8
I.4. Données hydrodynamiques.....	9
I.4.1. Courants	9
I.4.2. Marée.....	10
I.4.3. Houle	10
I.5. Evolution du trait de côte.....	12
I.6. Visite de la zone.....	13
I.7. Facteurs d'érosions.....	15
I.7.1. Facteurs anthropiques.....	15
I.7.2. Facteurs naturels.....	15

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. Reconnaissances générales sur site d'étude (état actuel)	17
II.1.1. Mode d'exécution du levé topographique.....	17
II.1.2. Mode d'exécution du levé bathymétrique.....	17
II.1.3. Système utilisé et coordonnées	17
II.2. Le réfraction de la houle	17
II.2.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle	18
II.2.2. Les étapes de calcul de la réfraction.....	18
II.2.3. Données de base.....	19
II.2.3.1. Données bathymétriques.....	19
II.2.3.2. Données de houles au large (Données de SSMO).....	19
II.2.3.3. Choix du secteur angulaire.....	20

II.3. Etude sédimentologique.....	20
II.3.1. Introduction.....	20
II.3.2.Points de prélèvement.....	21
II.3.3. Analyse granulométrique.....	21
II.3.3.1. Méthodologie.....	21
II.3.3.2. Les fractions grossières.....	23
II.3.3.2.2 Analyses modales.....	24
II.3.3.3.Les fractions fines.....	24
II.3.3.4. Le diagramme de PASSEGA.....	24
II.4. Modélisation du transport sédimentaire.....	24
II.5. Estimation du transit sédimentaire.....	27

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1.Analyse bathymétrique	28
III.1.1. Carte bathymétrique	28
III.1.2.Les profils transversaux :.....	29
III.2. Etude de la réfraction de la houle	31
III.2.1. Les houles de direction Nord-Est	31
III.2.2. Les houles de direction Nord-Ouest.....	32
III.2.3. Les houles de direction Nord.....	33
III.3. Etude sédimentologie.....	33
III.3.1. Analyse de la fraction grossière.....	33
III.3.1.1. Les courbes granulométriques.....	33
III.3.1.2. les indices granulométriques.....	35
III.3.1.3. Analyses modales.....	40
III.3.2. Analyse de fractions fines.....	43
III.4. Diagramme de PASSEGA	43
III.5. Modélisation du transport sédimentaire	44
III.6.Le transit sédimentaire	45

Chapitre IV : les ouvrages de protection

VI.1. Introduction.....	46
VI.2. Variante N°1 : brise-lames immergé et Rechargement de plage	46
VI.2.1. Rechargement de plage	46
VI.2.2. Brise-lames immergés	46
VI.2.2.1 Définition :	46
VI.2.2.2. Prédimensionnement des brise-lames	47
VI.2.2.3. Stabilités des brise-lames immergés.....	50
VI.2.2.4. Avantages et inconvénients des brise-lames	51
VI.3. Variante N°2 : Brise-lames immergés en géotubes.....	52
VI.3.1.Définition	52
VI.3.2. Paramètres d'implantation de l'ouvrage	52
VI.3.3. Vérification de stabilité du géotube.....	53
VI.3.4. Avantages et inconvénients des structures en géotubes	53
VI.4. Variante N°3 : Récifs artificiels	54
VI.4.1. Définition	54
VI.4.2. Paramètres d'implantation de l'ouvrage	54
VI.4.3 Paramètres de la structure de l'ouvrage	54
VI.5. Variante N° 4 : La technique Stabiplage.....	55
VI.5.1. Principe de Stabiplage	55
VI.5.2.Paramètres d'implantation de l'ouvrage.....	56
VI.5.3. Les avantages et les inconvénients de Stabiplage	56
VI.6. Estimation des coûts de construction.....	56
VI.7. Comparaison des variantes.....	57
VI.8. Conclusion	58
Conclusion générale.....	59

Bibliographie

Les listes

Annexes

Introduction Générale

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique à l'égard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (Carter, 1988). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde (Stone et Orford, 2004).

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

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.

La cause essentielle de ce phénomène tient au déficit naturel en sédiments dans le domaine côtier, qui est d'origine anthropique (occupation forte du linéaire côtier, extraction abusive des sables...etc.) et naturel (tempêtes, élévation du niveau de la mer...).

Face à l'importance de ce recul, mais pire encore face à l'augmentation de la vulnérabilité des milieux et populations riverains ainsi que de l'économie, 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.

Le cas du complexe culturel de Chenoua est un exemple type de cette avancée de la mer, le phénomène est bien visible. Le rivage du complexe culturel se trouve dans état érosif intense.

Le but de notre projet de fin d'étude intitulé « Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua », serait alors de présenter les ouvrages de protection après avoir identifié les causes et les conséquences de l'érosion sur ce site, le rôle que 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 deux volets :

- 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).
- Proposition des solutions d'aménagement et de protection avec leurs inventeurs sur l'environnement.

Chapitre I

Généralités

I.1. Situation géographique

I.1.1. Baie de Chenoua

La baie de Chenoua constitue la portion occidentale de la baie de Bousmail, elle s'étend du cap du four à l'Ouest jusqu'à Boumachouk à l'Est (2,3 km), la côte est formée par des falaises abruptes ou on remarque l'existence des grottes entaillées dans les roches tendres, puis se poursuit par une plage de 3 km de longueur traversée par l'Oued Nador qui débouche au centre de cette dernière.

I.1.2. Zone d'étude

La zone d'étude se trouve à 50 Km à vol d'oiseau à l'Ouest d'Alger et à 20 km du port de Cherchell. Il se situe dans la baie de Chenoua, et est compris entre les parallèles 36°36'16" Latitude Nord et 2°24'28" longitude Est. (Voir Figure I.1).

Le site d'étude représente la zone du complexe culturel, il s'étend sur une longueur d'environ 75 ml, il est limité :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud par le chemin de wilaya 109.
- A l'Est par une unité agglomération.
- A l'Ouest par le mont de Chenoua.

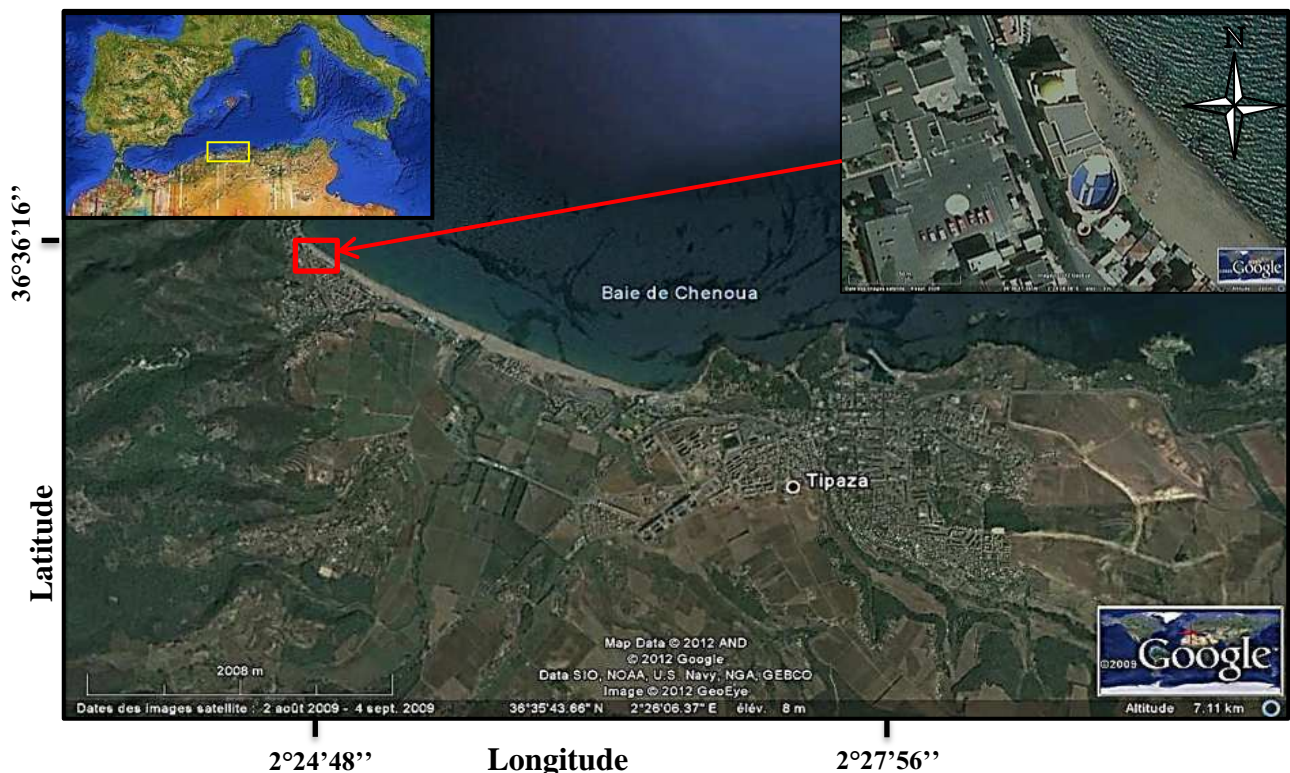


Figure I. 1 : Situation géographique du complexe culturel de Chenoua (Google Earth, 2011).

I.2. Géomorphologie

I.2.1. Aspect géomorphologie local

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

La zone d'étude fait partie de la baie de Chenoua. Cette baie se présente sous une cuvette très évasée, inclinée vers le Nord-Est ; elle s'ouvre sur environ 06 kilomètres.

La côte est rectiligne dans son ensemble mais est interrompue par l'embouchure d'Oued Nador.

Ossature de la baie délimitée par des éperons rocheux est formée de roches anciennes, à l'Ouest la dorsale qui forme la pointe du Chenoua est constituée de calcaire d'âge Jurassique et de poudingues et grès Pléistocènes, à l'Est les collines et les pointes rocheuses de Tipaza sont constituées en Grès d'âge Pléistocène, les collines boisées qui buttent contre les calcaires de Chenoua sont vraisemblablement constituées de Silts et d'Argiles (Voir Figure I.2).

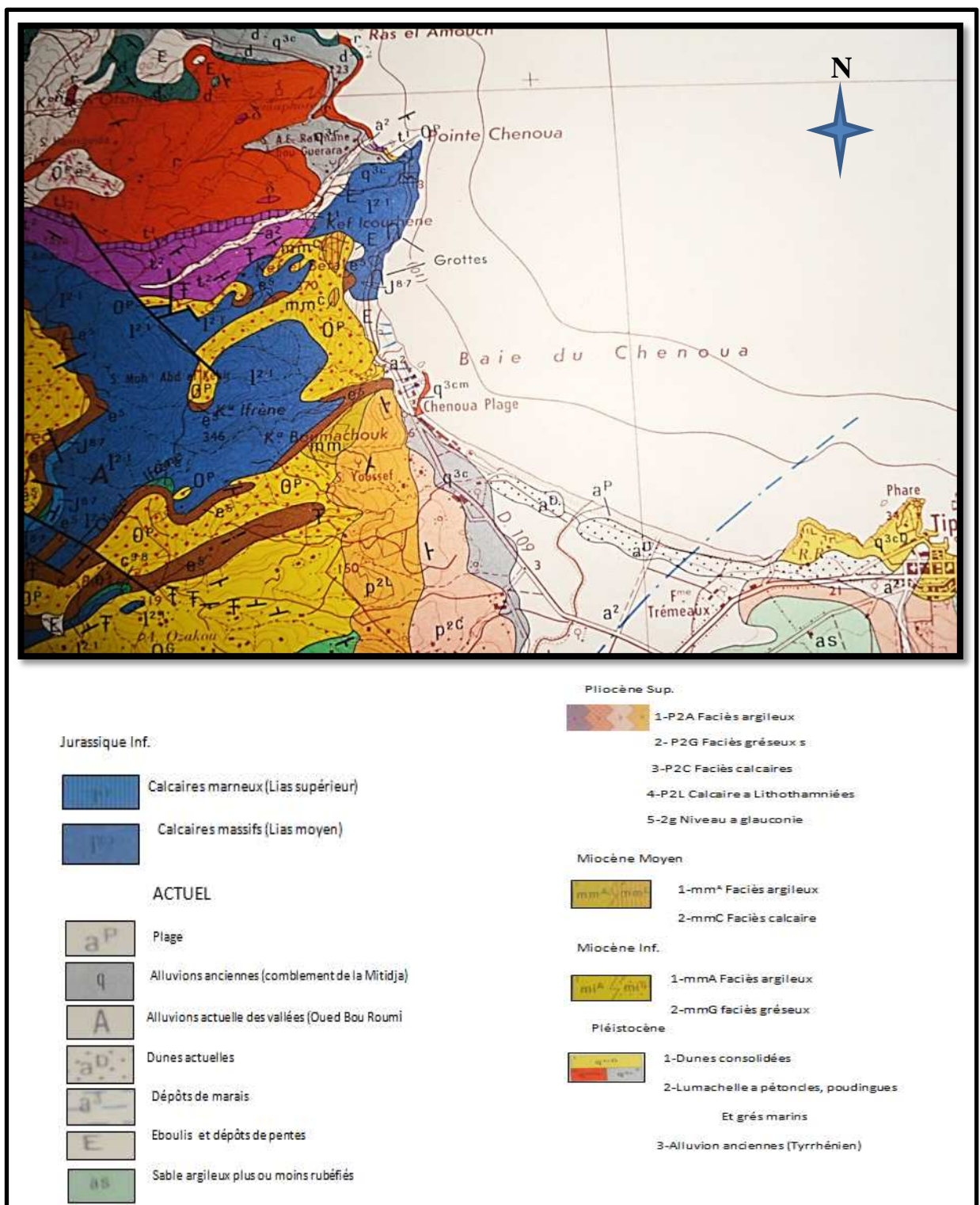


Figure I. 2 : Carte géologique détaillée de la région de Chenoua, tirée et modifiée à partir de la carte géologique de Tipaza, l'échelle 1/50000, (A.N.R.H, 1904).

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. (Moulin et al, 1978).

I.3.1. Précipitations

D'après des données de précipitation, durant la période 1980 à 2009 fournies par l'A.N .R.H et à partir de ces histogrammes, on peut déduire que la zone d'étude est soumise à un climat méditerranéen connu par ces deux saisons bien distinctes :

- Une saison estivale sèche allant de Mai à Septembre (précipitation moyenne est 9,7 mm).
- une saison hivernale humide allant de mois d'Octobre à d'Avril (précipitation moyenne est 54,84 mm).

La moyenne des précipitations annuelles dans la région de Chenoua est d'environ 430,35 mm.

La moyenne mensuelle des précipitations le long de l'année est de 36,03 mm.

On constate aussi une période de transition (Mars-Avril) où les précipitations varient de 40 à 50 mm.

Une nette diminution des précipitations a été enregistrée pour l'année 1999, avec une valeur moyenne de 130 mm.

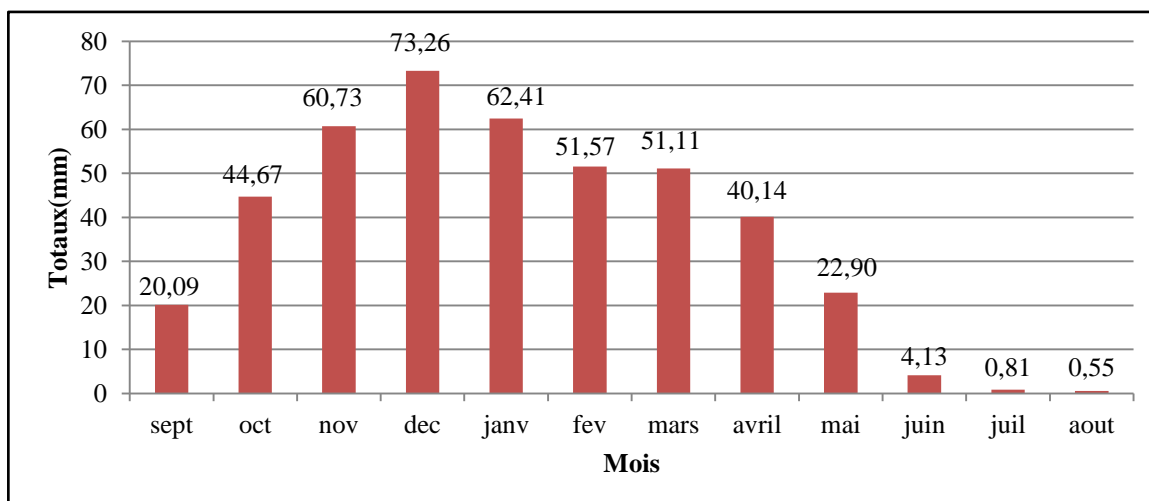


Figure I. 3 : Moyennes mensuelles des précipitations de 1980 à 2009 dans la région de Chenoua (A.N.R .H, 2012).

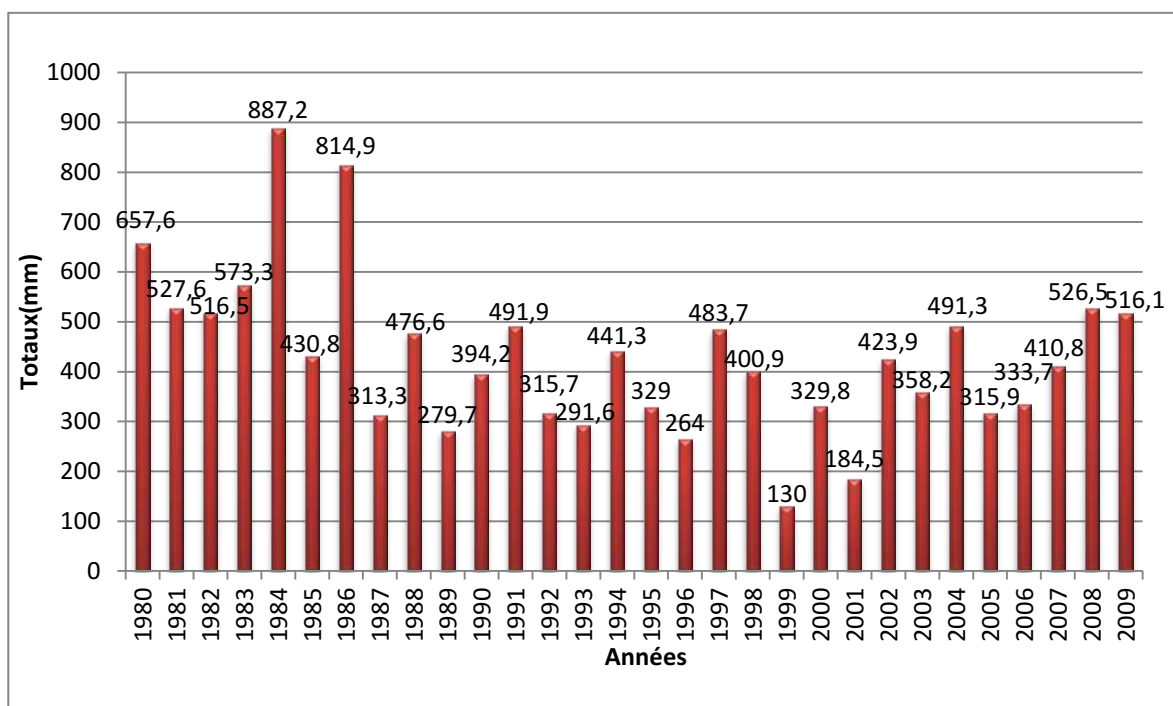


Figure I. 4 : les précipitations annuelles dans la région de Chenoua (de 1980 à 2009) (A.N.R .H, 2012).

I.3.2. Vents

Les vents sont générateurs de houles et de courants superficiels, leur influence aussi bien sur les transports éoliens, jouent un rôle très important dans l'évolution géomorphologique des cotes (Guilcher. A, 1974).

A) Station météorologique de DAR-EL-Baida

Tableau I. 1: Fréquences d'apparitions des vents par intensité et par direction. (Source O.N.M).

Direction	Nord	Nord Est	Est	Nord-Ouest	Ouest
Vitesse m/s					
0,5-1,54	1,10%	1%	1,40%	0,70%	1%
2,04-5,1	4,80%	6,50%	9,10%	6,10%	10,40%
5,61-10,7	2,40%	2,80%	5,60%	6,10%	13,20%
11,22-11,73	0,60%	0,50%	0,50%	2,70%	5,30%
17,34-23,97	0,10%	0%	0,10%	0,80%	1,10%
25	0%	0,10%	0%	0,10%	0%
Total	Secteur Nord à Est			Secteur Ouest à Nord	
	36,60%			47,50%	

De l'analyse de ces données, il ressort que deux secteurs des vents dominants :

- le secteur Ouest à Nord-Ouest : 47,50%.
- le secteur Nord à l'Est : 36,60%.

Les vents qui proviennent du Nord-Ouest, sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violentes.

B) Les données de S.S.M.O :

Les observations faites au large des côtes Algériennes entre 37° et 40° de latitude Nord et 0° et 5° longitude Est, par l'U.S. Naval Weather Service.

Les résultats des observations sont rapportées la forme de roses de vents pour chaque trimestre et pour toute l'année (Voir Figure I.6).

Ces roses montrent que pendant l'Hiver (Oct-Mars) les vents des secteurs Ouest et Nord-Ouest sont dominante et qu'une grande partie de ces vents présentent une vitesse supérieure à 16 nœuds.

Les vents d'Est et Nord-Est dominant au cours de l'été, mais la majorité de ceux-ci ont des vitesses inférieures à 16 nœuds.

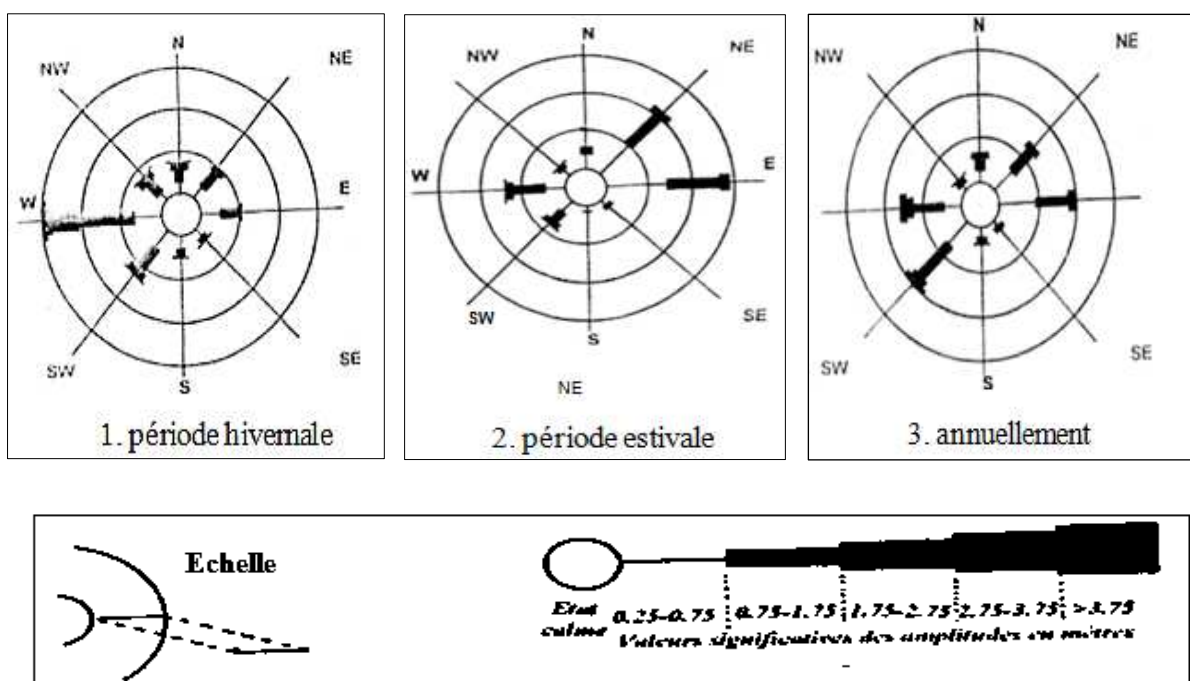


Figure I. 5: Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).

Sur le site de Chenoua, les vents de Nord -Est et Est se distinguent beaucoup plus par leur fréquence que par leur vitesse.

Les vents du secteur Nord-Ouest et Nord-Nord-Ouest sont appréciables par leur force mais pas leur fréquence.

I .3.3. Température

Les températures enregistrées par (l'O.N.M, 2012) présentent des valeurs maximales moyennes atteignant 30°C à 31°C pour la période de juin à septembre, et les valeurs minimales moyennes ne dépassent pas 21°C sont enregistrées durant la période de décembre à février.

Tableau I. 2: Température mensuelle moyenne de la baie de Chenoua pour la période (1995-2004).

	Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juilly	Aout	Sept	Oct	Nove	Dec
T C° moy	Min	6,1	5,3	7	8,6	12,6	16,4	18,9	20,4	17,6	14,2	9,9	7,2
	Max	17,4	17,7	20,1	21,8	24,7	29,1	31,5	32,6	29,6	26,5	20,9	18,7

I.3.4. Réseaux hydrographiques

La baie de Chenoua est caractérisée par la présence de l'Oued Nador situé dans la partie centrale de la baie. Il prend sa source que dans la cluse de Tipaza avant de déboucher dans la baie de Chenoua. Son régime hydro sédimentaire temporaire. Son bassin versant est de l'ordre de 200 à 230 km² de surface (**Braik, 1989**), et drainé par un réseau d'affluents : l'Oued Boutersem, l'Oued Bouardoun, l'Oued Meurad et l'Oued Bourkika. Son début liquide est de 28 millions m³ /an (0 ,89 m³ /s).

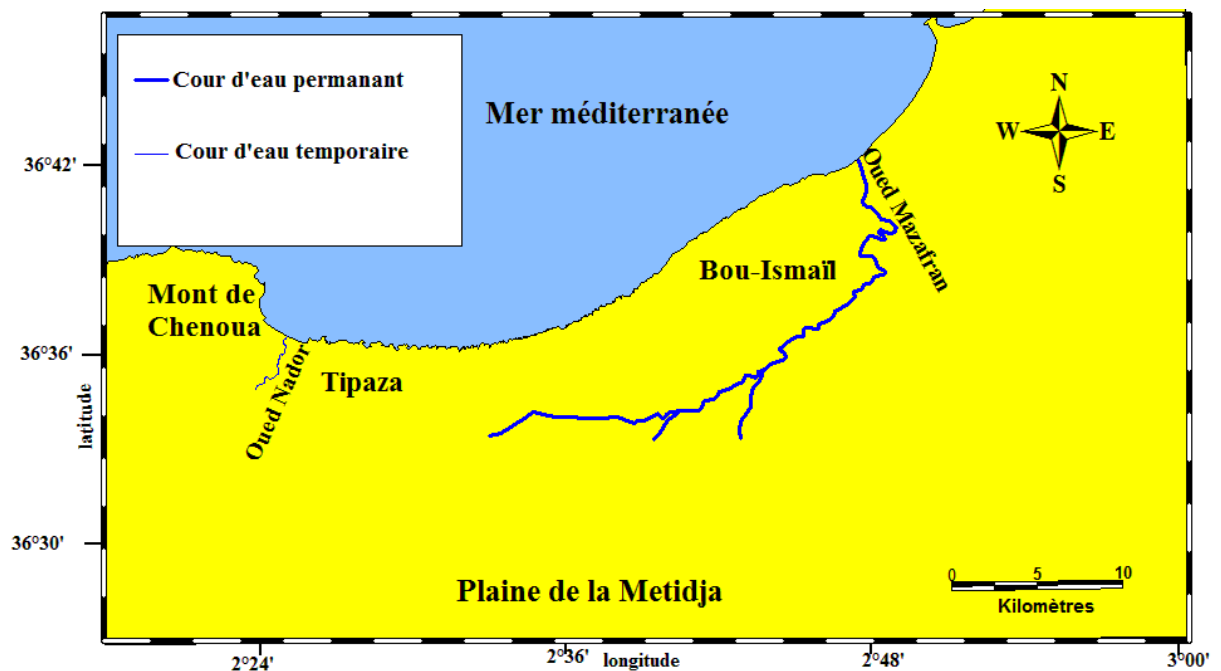


Figure I. 6: Les réseaux hydrographiques de la baie de Bousmail
(Google Earth modifiée, 2012)

I.4. Données hydrodynamiques

I.4.1. Courants

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

a) Courants de dérive littorale

Ces courants existent quand il y a incidence oblique de la houle, ils sont parallèle à la côte et contribuent à mettre les sédiments en mouvement, à les transporter et à les disperser, la vitesse de celui-ci est maximal pour un angle d'incidence de 50° à 60° . Ce courant joue un rôle très important dans l'évolution des rivages, en particulier quand il s'agit de plages, et sa connaissance est essentielle lorsque l'on procède à des aménagements qui empiètent sur l'espace infralittoral (**Paskoff. R, 1973**).

b) Courants de retour

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

c) Courants généraux

Par le détroit de Gibraltar, les eaux de l'océan Atlantique entrent et circulent en surface dans le bassin méditerranéen occidental. Elles se déplacent d'Ouest en l'Est et changent leurs direction vers les cotés algériennes sous l'effet de la force de Coriolis, en prenant le nom d'un « courant algérien ».

Ces courants n'interviennent pas d'une façon importante dans le phénomène d'érosion, mais ils jouent un grand rôle dans le transport en suspension et en flottement des particules fines.

I.4.2. Marée

Dans les côtes algériennes, généralement, l'amplitude de la marée astronomique est peu importante, le marnage est de l'ordre de 25 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle lune, il dépasse rarement les 35 cm avec des périodes d'environ 12h à 14h.

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.

Les données utilisées sont celle de l'U.S Naval weather service command, consignées dans l'Atlas océanographique de l'U.S .S.S.M.O, pour une période de 8 ans allant de 1963 à 1970.

➤ Fréquence d'observation par direction au large

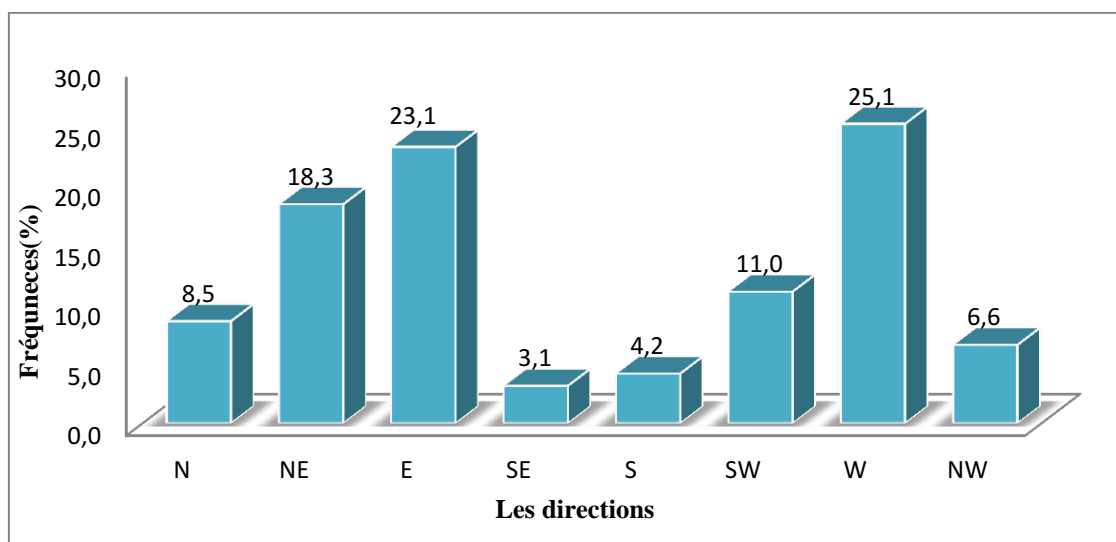


Figure I. 7: Fréquence annuelle d'observation de la houle par direction au large (Source S.S.M.O, 1963-1970).

Les houles les plus dominantes dans notre zone d'étude sont de direction Ouest avec 25,1% de fréquence d'apparition, suivies par celles de l'Est et du Nord Est avec successivement 23,1% et 18,3%.

Tableau I. 3: Relation période amplitude de la houle au large (S.S.M.O, 1963-1970).

Etat de la mer Au large	Période de la houle					
	< 6 s	6 à 7s	8 à 9s	10 à 11 s	11 à 12 s	13s
Calme	5,20%	0,10%	-	-	-	-
0	20,80%	1,90%	0,40%	-	-	-
1	24,60%	13,10%	2,70%	0,50%	0,20%	-
2	2,60%	5,40%	3,10%	0,90%	0,20%	-
3	0,40%	1,10%	1,00%	0,60%	0,20%	-
4	0,10%	0,50%	0,30%	0,30%	0,30%	-
Total	53,70%	22,10%	7,50%	2,30%	0,90%	-

Sur l'ensemble des houles observées, il a été que 75% des houles ont une période courte inférieure ou égale à 07 secondes. L'analyse du tableau montre aussi qu'aux houles de petites amplitudes correspondant de petites périodes avec une plus grande occurrence que les grandes périodes. Seules 3,2% des houles ont une période compris entre 10 et 13 secondes.

➤ **Caractéristique des houles extrêmes au large**

A partir des données statistiques de la houle au large (Annexe 1), on établit une loi de régression donnant en fonction de la hauteur de la houle sa fréquence de dépassement.

Ci-après sont données les courbes de régression statistique de la houle au large pour les différentes directions (Annexe 1).

On définit par ailleurs les probabilités d'apparitions P_n associées aux périodes de retour. Ces probabilités sont définies par la relation suivante :

$$P_n = \frac{1}{3 \cdot 365 \cdot n} \quad \text{avec } n = \text{période de retour} \quad (1)$$

Tableau I. 4: Les probabilités d'apparition Pn associées aux périodes de retour.

période de retour(m)	probabilités associées
Annuelle	0,000913242
Biennale	0,000456621
Quinquennale	0,000182648
Décennale	9,13242E-05
Vingtennale	4,56621E-05
Cinquantennale	1,82648E-05

Les caractéristiques des houles extrêmes, par secteur de provenance et par périodes d'occurrences sont données comme suit :

Tableau I. 5: Valeur significatives des amplitudes en mètres (S.S.M.O, 1963-1970).

Direction								
période de retour(m)	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest
Annuelle	3,44	3,12	2,75	1,64	1,95	3,30	4,48	3,07
Biennale	4,08	3,55	3,08	1,99	2,33	3,82	5,46	3,64
Quinquennale	4,91	4,12	3,53	2,45	2,84	4,52	6,35	4,41
Décennale	5,54	4,55	3,86	2,79	3,22	5,05	7,03	4,98
Vingtennale	6,16	5,79	4,20	3,14	3,6	5,58	7,70	5,58
Cinquantennale	7,01	5,55	4,64	3,60	4,11	6,27	8,60	6,32

I.5. Evolution du trait de côte

« La mobilité du littoral implique un déplacement du trait de côte dans l'espace et, en même temps, un changement de sa forme. » (Regnauld. H, 1999).

L'évolution de trait de côte est un paramètre très important qui permet d'estimer sa dynamique. Pour étude, l'utilisation de photographies aériennes prise dans des années différentes s'est imposée.

L'examen des photos aériennes de la région de Chenoua prise à différentes époques, a permis de voir une réduction de la largeur entre le trait de côte et les dunes arrières.

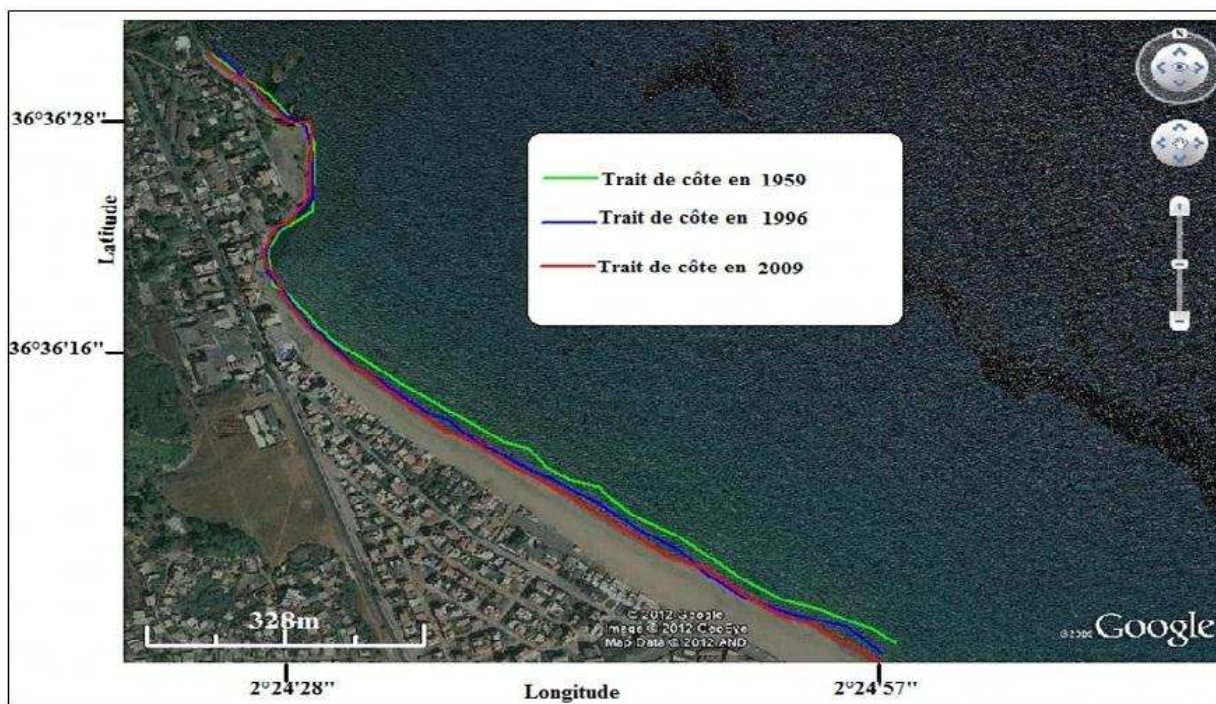


Figure I. 8: l'évolution de trait de côte entre 1959 et 2011.

L'analyse diachronique de cette l'évolution nous a permet d'observer l'évolution d'ensemble du trait de côte, avec des particularités ponctuelles. Ce qui nous a conduits à subdiviser la cote en deux zones :

-Entre les années 1959 et 1996, il a constaté un recul du trait de côte dans la partie Est du complexe culturel avec une vitesse moyenne 0,42 m/an et un léger recul du trait de côte dans la partie Ouest avec une vitesse moyenne 0,12 m/an.

-Entre les années 1996 et 2009, on remarque que le taux de recul est légèrement constant, il est d'ordre 0,52 m/an dans la partie Est et 0,14 m/an dans la partie Ouest.

I.6. Visite de la zone

Une première visite de la plage de Chenoua s'était organisée le 16 Avril 2012. La visite avait pour objectif la reconnaissance du site ; et pour constater que la zone était en amaigrissement prononce. Des solutions d'urgence peuvent éventuellement être préconisées en attendant les solutions de protection qui seront proposées dans les conclusions définitives de cette étude.

La visite s'est déroulée comme suit :

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

A partir des courants visuels de l'État physique de la zone d'étude, il ressort ce qui suit :

- La présence de rejet urbain à l'Ouest de la zone d'étude.
- La plage aérienne et le trait de côte sont très influencés par ce manque de sédiment (recul, dégraissement, rupture).



Photo I. 2 : l'état de l'avancement de la mer.



Photo I. 1: Pollution domestique.



Photo I. 4: Construction d'habitations sur le rivage de Chenoua.



Photo I. 3: Les macros déchets.

I.7. Facteurs d'érosions

I.7.1. Facteurs anthropiques

a) Urbanisation du littoral sous forme de constructions

L'urbanisation anarchique, comme c'est le cas du complexe culturel de Chenoua, a fait que les constructions, trop proche du rivage, 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.

b) Pollution

Les rejets des pollutions d'origine agricole, industrielle et urbaine dans les affluents de l'Oued Nador ou directement en mer engendrent des perturbations dans l'écosystème marin.

Cette pollution dégrade les algues supérieures et les phanérogames marines existantes au niveau de la baie de Chenoua, telle que la posidonie Océanica, capable freiner l'érosion de la côte par sa fonction stabilisatrice des fonds et dissipatrice de la houle.

c) Extraction de sable

Le phénomène d'extraction de sable de plage et en amont dans le lit de l'oued Nador, ce sable est destiné à la construction et son prélèvement est clandestin. Cette situation a influé négativement sur le bilan des apports en particules solides qui jouent un rôle fondamental dans la dynamique sédimentaire entre le compartiment marin et la plage. Le recul du trait de côte est expliqué en partie par ces prélèvements non autorisés et abusifs.

d) Piétinement de la végétation du haut de plage

Le piétinement de la végétation du haut de plage est une autre source d'inquiétude qui est directement liée à la sur fréquentation en période estivale des plages. L'accès aux véhicules sur le haut de plage complique cette situation.

I.7.2. Facteurs naturels

a) Tempêtes

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

b) Élévation contemporaine du niveau marin

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

L'élévation du niveau de la mer provoque un démaigrissement et un recul des plages (principe de **Brunn**). Le profil transversal de la plage migre parallèlement à lui-même vers la terre par érosion de la partie haute. Le matériau enlevé s'accumule sur l'avant plage de telle sorte que l'épaisseur de la tranche d'eau littorale reste constante (Figure I.9).

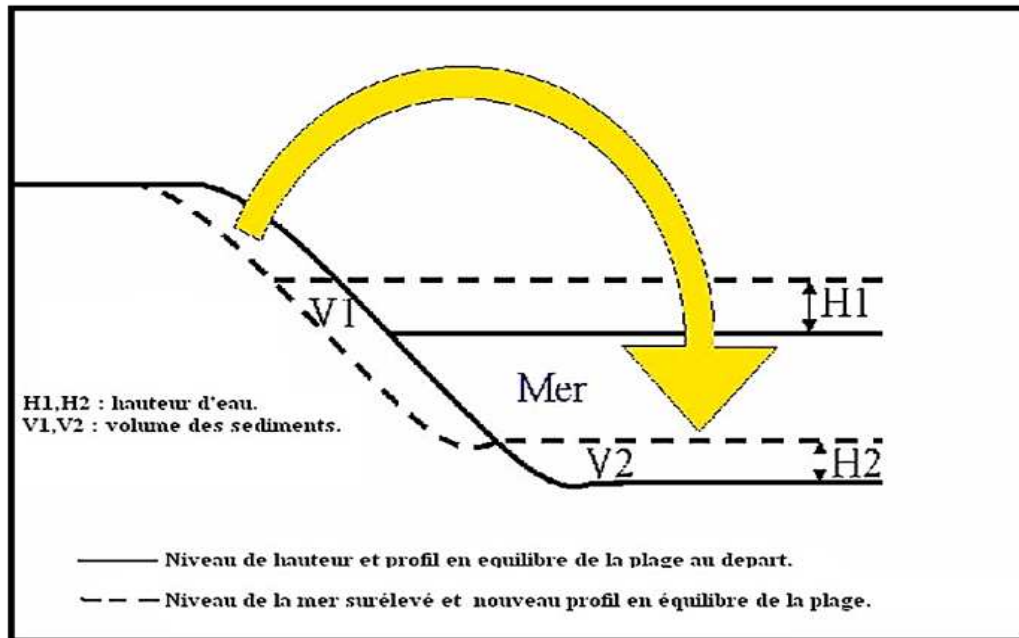


Figure I. 9: Illustration du principe de Brunn.

Chapitre II

Matériel et méthodes

II.1. Reconnaissances générales sur site d'étude (état actuel)

II.1.1. Mode d'exécution du levé topographique

Le levé topographique a été effectué à l'aide du GPS en mode RTK/OTF.

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).

II.1.2. Mode d'exécution 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).

II.1.3. Système utilisé et coordonnées

Système géodésique : WGS84.

Ellipsoïde : WGS84.

Demi grand axe : $a = 6\,378\,137$ m.

Aplatissement : $f = 1/298.257\,223\,563$

Projection : UTM zone 31 Nord (0° _ 6°).

- Latitude Origine : $00^\circ 00' 00.0000$ N.
- Longitude Origine : $03^\circ 00' 00.0000$ E (zone 31).
- Facteur d'échelle à l'origine : 0.9996000000 .
- Constante Nord : 0.0000 m
- Constante Est : $500\,000.0000$ m.

II.2. Le réfraction de la houle

A l'approche des côtes, et à partir d'une certaine profondeur (d'après la théorie linéaire $d = 1/2L_0$, soit la demi-longueur d'onde de la houle au large) la propagation des houles est influencée par la bathymétrie, et les crêtes de houles tendent à devenir parallèles aux isobathes.

Ce phénomène se nomme réfraction des houles. Il induit une concentration de l'énergie sur les saillants (cap, flèches, etc....) et un étalement sur les rentrants (criques, golfes, etc....).

L'étude de la réfraction a pour but la connaissance des caractéristiques de la houle (direction et hauteur) au cours de sa propagation depuis le large jusqu'à l'approche de la côte et plus particulièrement des ouvrages de protection.

II.2.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle

On rend compte de ce phénomène par le calcul des coefficients de réfraction (K_r) en plusieurs points d'un littoral pour les secteurs de houle dominants, et pour une période de houle donnée.

Les valeurs de K_r calculées jusqu'à la côte traduisent :

- L'atténuation de l'énergie lorsque $K_r < 1$ (divergence des vagues).
- La conservation de l'énergie lorsque $K_r = 1$ (propagation rectiligne des vagues).
- la concentration de l'énergie lorsque $K_r > 1$ (convergence des vagues).

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large}} \quad (2)$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN.

SWAN (Simulating Waves Nearshore), développé par l'université de Delft et le bureau d'étude Delft Hydraulics (Pays-bas), est un modèle spectrale qui résout l'équation de conservation de l'énergie de la houle aléatoire (en absence de courant induit) en milieu peu profond, pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction).

Il est donc parfaitement adapté à la problématique du littoral. Le coefficient de réfraction est calculé par SWAN.

III.2.2. Les étapes de calcul de la réfraction

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

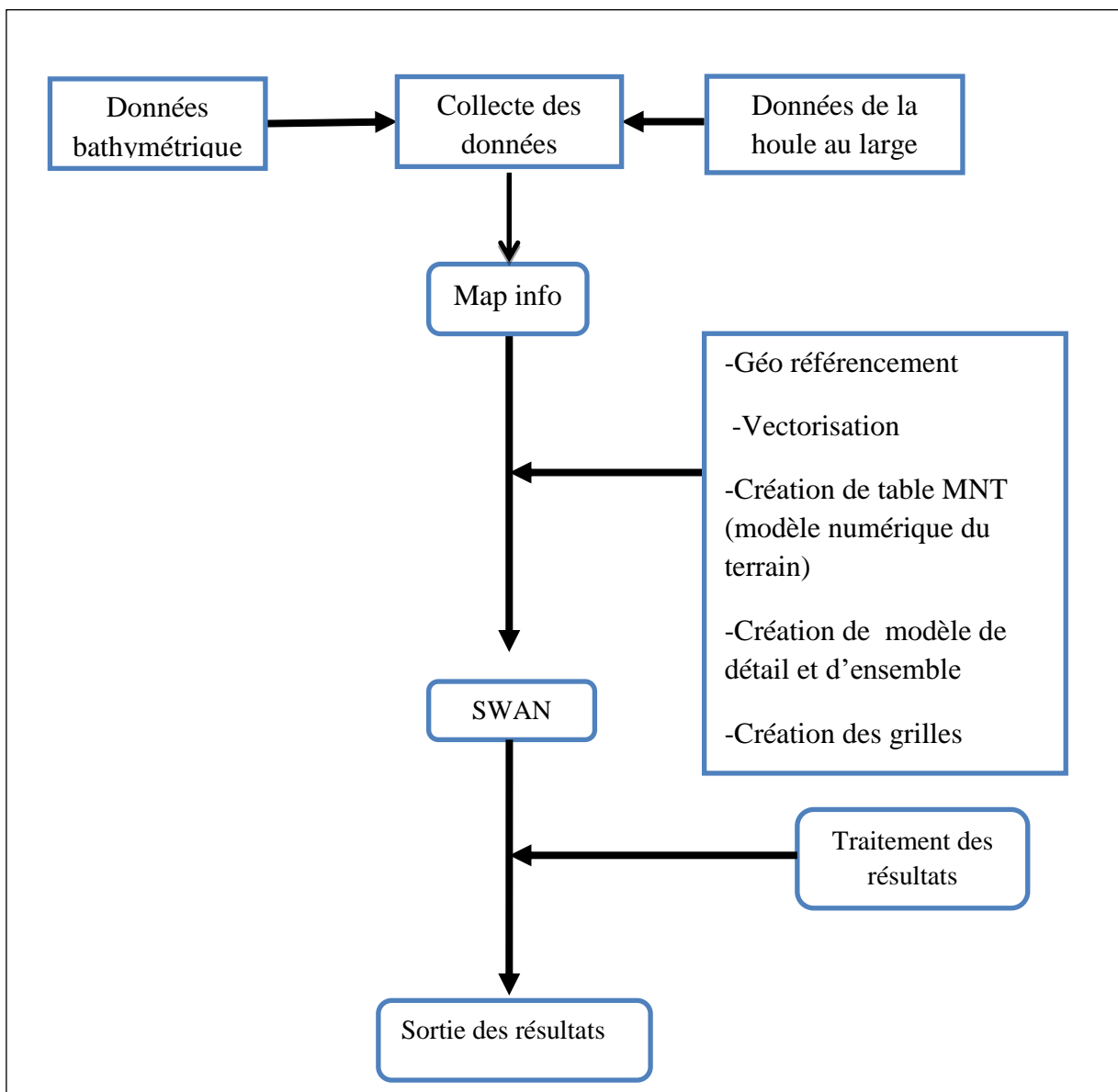


Figure II. 1 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul de la réfraction.

II.2.3. Données de base

II.2.3.1. Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n° 3030 intitulée « *Carte de la côte septentrionale d'Afrique- Partie comprise entre Alger et Cherchell* –échelle : 1/100 720^{ème} », complétée par la campagne de reconnaissances sur sites réalisée en 2010 par le LEM dans le cadre de l'étude de ce projet.

II.2.3.2. Données de houles au large (Données de SSMO)

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 cinquantenale).

Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques des houles extrêmes retenues pour la détermination des conditions de houles au pied des ouvrages de protection à projeter (dimensionnement des ouvrages).

Tableau II. 1: Caractéristiques des houles retenues au large.

Directions	périodes	Hs(m)	L'angle de SWAN	γ SWAN
N360°	6s	1,00m	270°	0,52
	8s	2,67m	270°	0,63
	10s	4,92m	270°	0,68
	12,17s	6,16m	270°	0,68
N45°	6s	1,09m	225°	0,53
	8s	2,56m	225°	0,62
	10s	5,05m	225°	0,69
	11,8s	5,79m	225°	0,67
N315°	6s	1,10m	315°	0,53
	8s	2,64m	315°	0,63
	10s	4,53m	315°	0,67
	11,6s	5,58m	315°	0,79

II.2.3.3. Choix du secteur angulaire

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

Trois (03) directions ont été retenues dans le but du pré-dimensionnement :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale N360°.
- Une direction de houle à incidence oblique N45°.
- Une direction de houle parallèle à la côte N315°.

II.3. Etude sédimentologique

II.3.1. Introduction

L'analyse des données sédimentologies ne consiste pas seulement à définir les caractéristiques des sédiments. Ces seuls éléments conduisent à une image statique des phénomènes dont l'examen permet de dégager les traits généraux des mouvements sédimentaires (à partir en particulier de l'évolution des divers indices granulométriques). La synthèse des données

concernant tant les sédiments que les facteurs hydrodynamiques permet de définir les conditions d'érosion, de transport, de dépôt et de répartition des sédiments sous un terme général, *la dynamique sédimentaire*.

II.3.2. Points de prélèvement

Les prélèvements ont été effectués au niveau des sédiments superficiels, dans le but d'avoir une vision globale sur la granulométrie dans notre zone d'étude.

20 prélèvements ont été fait à l'aide d'une benne preneuse (Van Veen) attachée à un câble et envoyer sur le fond, une fois remontée, le sédiment est récupéré dans des sacs en plastique étiquetés et rapportés au laboratoire (Voir Figure II.2).

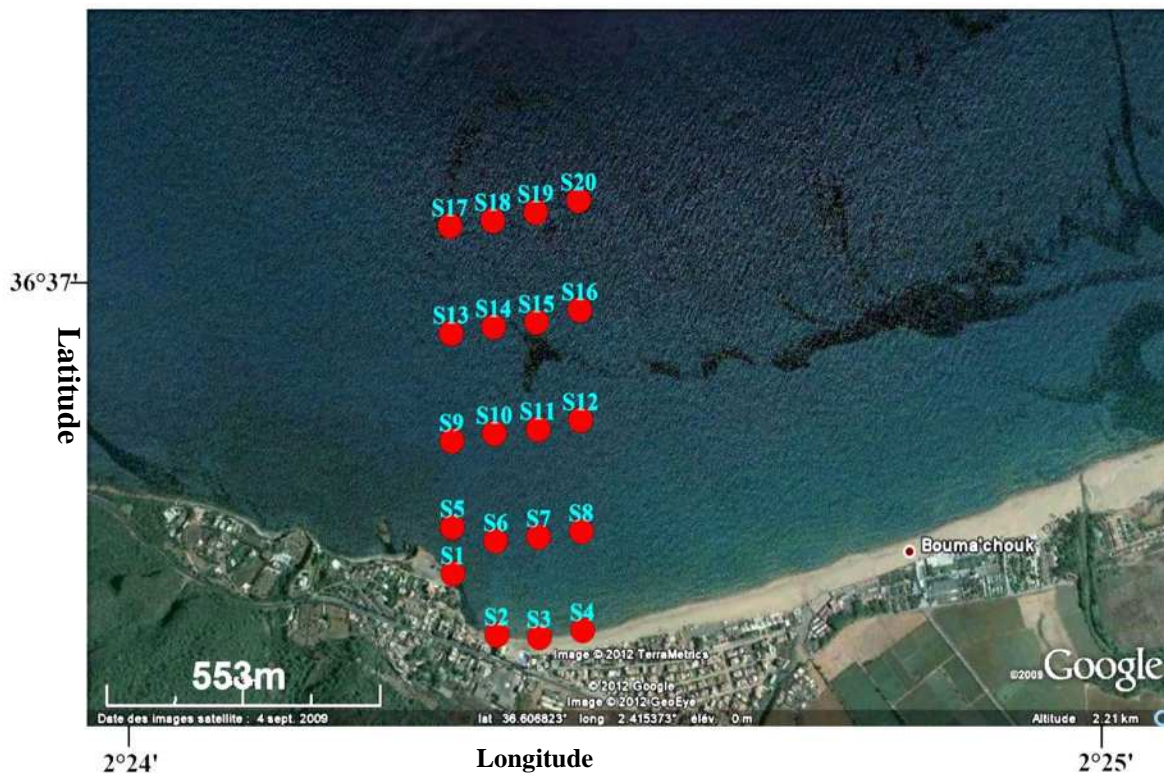


Figure II. 2: Carte de positionnement des points de prélèvement.

II.3.3. Analyse granulométrique

II.3.3.1. Méthodologie

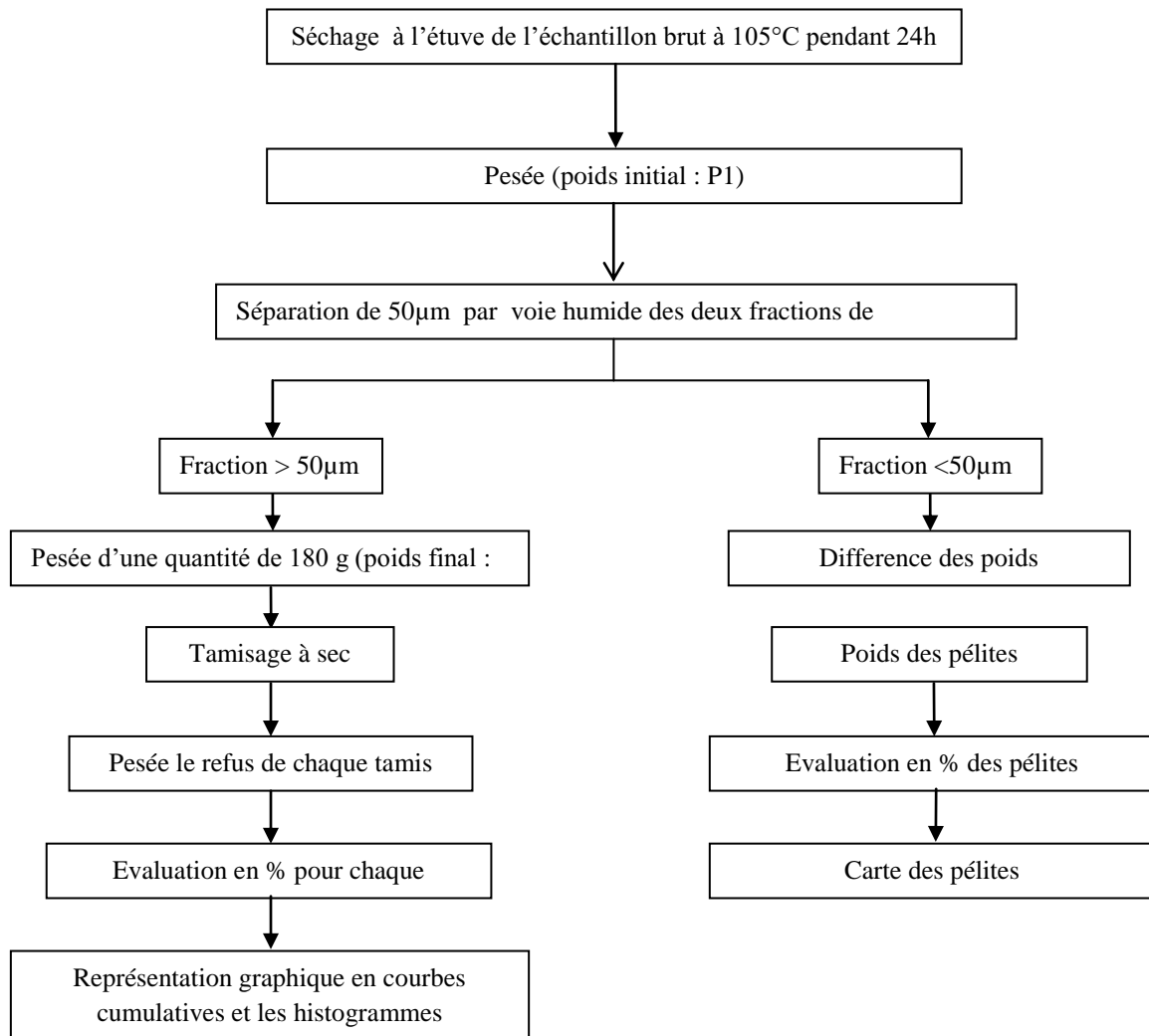
Les tailles des particules sédimentaire sont extrêmement diverses, bien que de forme très diverses, les particules sont soumises à l'analyse granulométrique (Vatan. A ,1967).

Cette analyse consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale qui correspond à chaque dimension selon la méthode classique (Riviere. A ,1977).

- Séchage à l'étuve à 105° pendant 24h ;
- Pesée l'échantillon à 200g ;
- Rinçage à l'eau dans un tamis de 40µm pour éliminer la fraction pélique ;
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve à 105 pendant 24h ;

-Tamisage de l'échantillon sec pendant 10 minutes par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant 10000-8000-6300-5000-4000-3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40.

-Pesée du refus de chaque tamis et le pourcentage pondéral est calculé pour chaque classe granulométrique.



Exploitation des résultats :

- Cartes modales.
- Carte des médianes.
- Représentation des indices et des paramètres granulométriques.

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

II.3.3.2. Les fractions grossières

II.3.3.2.1 les indices granulométrique

➤ **Indice de taille (médiane) Q50**

La taille moyenne des sédiments de diamètre supérieur ou égale à 50 µm. 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 (P90)**

Cette taille est telle que 90 % du sédiment (en poids) lui est inférieure.

➤ **Indice des tailles minimales (P10)**

Cette taille est-elle que 10% du sédiment (en poids) lui est supérieure.

➤ **Indice de classement (Sorting de Trask)**

Cet indice représente la dispersion des tailles de part et d'autre de la médiane. Le paramètre qui a été adopté est celui de Trask noté S_0 , qui est calculé par la formule suivante :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}} \quad (3)$$

Les limites utilisées sont :

- $S_0 < 2$ le sédiment très bien classé
 - $2 < S_0 < 2,6$ le sédiment moyennement classé
 - $S_0 > 2,6$ le sédiment mal a très mal classé
- **Le coefficient d'asymétrie (SK ; Skewness de Trask)**

L'asymétrie reflète d'avantage le milieu de dépôt (**Chamley H., 1987**), plus exactement la prépondérance ou non de fraction péltique ou grossière par rapport à la moyenne de l'échantillon. Il est défini par la relation suivante :

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

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

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

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

II.3.3.2 Analyses modales

Le mode est le diamètre du tamis qui correspond à la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon.

(Riviere. A, 1977) 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.3.3.3. Les fractions fines

La teneur en fraction fine (les pélites), particules de diamètre inférieur à 50 μm , a été déterminée pour l'ensemble des échantillons considérés. Cette teneur en fraction fine est estimée en pourcentage par rapport au poids initial de l'échantillon. A partir de ces pourcentages sont établies les cartes de la répartition spatiale des pélites.

II.3.3.4. Le diagramme de PASSEGA

Passega a proposé et développé une méthode d'interprétation des données granulométriques dont l'originalité est d'utiliser des paramètres simples :

- le centile supérieur (D99).
- la médiane (D50).

Il comporte un ensemble de segments appelés patterns qui représentent différents types 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

L'étude des phénomènes hydrodynamiques et des mouvements sédimentaires par l'application d'un modèle GSTA développé par Gao et Collins, permettra de mieux comprendre le schéma des mouvements sédimentaires le long de la zone étudiée.

Les sédiments qui subissent un transport vont connaître un classement sélectif plus au moins important, ce rôle aura un effet sur la distribution granulométrique des sédiments qui auront été transportés puis déposés (Héquette, Hemdane and Anthony, 2004).

Ce qui a ouvert la possibilité d'utiliser les tendances de différente distribution, pour insérer des modèles de transport des sédiments (par exemple : Pettijohn and Ridge, 1932 ; Mc cave, 1978 ;...).

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

➤ **Procédure analytique**

1- Les échantillons à comparer sont considérés comme étant des voisins.

2- détermination de la distance critique :

La distance critique prise comme l'intervalle de l'échantillonnage spatial, maximal et spécifique.

Ce dernier est intervenant dans le calcul des vecteurs de tendance du transport sédimentaire.

3- Comparaison des trois indices granulométriques entre les voisins :

Cas 1 : $Mz2 > Mz1, Si2 < Si1, Sk2 < Sk1$

Cas 2 : $Mz2 < Mz1, Si2 < Si1, Sk2 > Sk1$

Cas 3 : $Mz2 < Mz1, Si2 > Si1, Sk2 > Sk1$

Cas 4 : $Mz2 > Mz1, Si2 > Si1, Sk2 < Sk1$

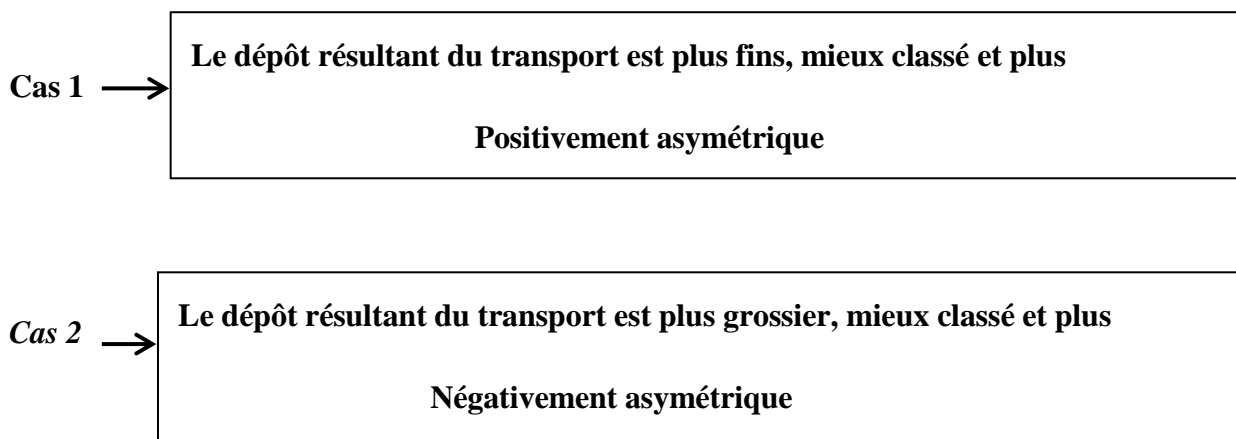
Cas 5 : $Mz2 > Mz1, Si2 < Si1, Sk2 > Sk1$

Cas 6 : $Mz2 < Mz1, Si2 < Si1, Sk2 < Sk1$

Cas 7 : $Mz2 < Mz1, Si2 > Si1, Sk2 < Sk1$

Cas 8 : $Mz2 > Mz1, Si2 > Si1, Sk2 > Sk1$

Les études et observations *in situ* ont démontré parmi les huit (08) cas plausibles ce sont les deux cas qui sont fréquents pour qu'il y ait un transport réel entre deux points (a et b); dans les deux cas le tri s'améliore de l'amont vers l'aval du transport, qu'il s'agisse d'une diminution des tailles des grains ou d'une augmentation.



Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont (d'après **chamley. H, 2000**) :

- la taille moyenne des sédiments :

$$M_z = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3} \quad (5)$$

- L'indice de tri :

$$S_i = \frac{\phi 8 - \phi 16}{4} + \frac{\phi 95 + \phi 5}{6,6} \quad (6)$$

- L'indice d'asymétrie SK :

$$S_k = \frac{\phi 16 + \phi 84 - 2\phi 50}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - 2\phi 50}{2(\phi 95 - \phi 5)} \quad (7)$$

L'unité Phi (ϕ), qui correspond au système d'unité anglo-saxonne, a été choisie pour représenter les paramètres granulométriques par souci d'homogénéité avec la méthode de (Gao & Collins) utilisée. Cette unité est une transformation logarithmique en base 2 des diamètres de particules exprimées en millimètres selon la formule :

$$d\phi = -\log_2(d_{mm}) \quad (8)$$

Avec $d\phi$ la taille des sédiments en unité mm, et d_{mm} la taille des sédiments en mm.

4- Principe et limites du calcul des tendances de transport sédimentaire :

Le calcul des tendances de transport se fait en comparant les valeurs des paramètres granulométriques entre des stations échantillonnées voisines, et lorsque un a des deux cas est identifié entre les deux sites, un vecteur de transport est assigné au point de calcul. Le transport total est obtenu en sommant et en moyennant tous les vecteurs de transport obtenus pour une même station.

La pertinence des vecteurs ainsi obtenus est évaluée par un test statistique, comme suit :

$$R(X, Y) = \sum_1^n r(X, Y)_i \quad (9)$$

$\vec{R}(x, y)$: somme des vecteurs de la tendance.

$r(x, y)$: Vecteur de la tendance.

n : Nombre de vecteurs de la tendance identifiée pour le site.

5-Filtration et importation et exportation des vecteurs voisins :

Enfin, une technique de filtrage semi quantitatif est utilisée pour enlever les vecteurs considérés comme bruit dont la direction est éloignée de la direction générale du transport, également, pour faire participer au transport les sites qui ne répondent pas à l'un des deux cas (Cas 1 , Cas 2) et ce, sur la base d'un voisinage relatif à une distance critique (D_{cr}) inférieure à celle du départ.

$$R_{av}(X, Y) = \frac{1}{K + 1} [R(X, Y) + \sum_1^k R_j] \quad (10)$$

R_j : vecteur après sommation vectorielle.

K : nombre total des sites voisins.

II.5. Estimation du transit sédimentaire

En effet, 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 :

$$q = K_t \frac{gTH^2t}{X_0} f(\alpha) \quad (11)$$

q : le volume de la charge transportée en m^3 pendant le temps d'action t exprimé en secondes.

K_t : un coefficient sans dimension égal à $2,5 \cdot 10^{-6}$.

g : l'accélération de la pesanteur ($9,81 \text{ m.s}^{-2}$).

T : la période de la houle en seconde.

H : la hauteur de la houle au déferlement en mètres.

$X_0 = \frac{H_0}{\gamma_0}$: La cambrure des vagues au large avec

H_0 : la hauteur et

γ_0 : la longueur d'onde de la houle en mètres.

$f(\alpha)$ une fonction de l'obliquité de la houle qui est égale à $\sin(2\alpha)$ pour α inférieur à 50° .

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1. Analyse bathymétrique

III.1.1. Carte bathymétrique

Les cartes bathymétriques constituent un document fondamental et nécessaire pour connaître et interpréter les morphologies sous-marines.

Une carte bathymétrique près de la côte a été établie après interpolation des minutes du levé bathymétrique réalisé par le LEM en 2010. Ce levé couvre les fonds de la côte jusqu'à une profondeur d'environ -20 m (Voir figure III.1).

L'analyse globale de la carte bathymétrique indique que l'estran se prolonge en mer par une avant- plage en pente relativement douce.

Les lignes isobathes plus ou moins régulières, espacées et parallèles à la ligne de la côte. la morphologie sous-marine légèrement chahutée dans la partie Ouest entre les profondeurs 0-10 mètre. Cette partie est caractérisée par une morphologie rocheuse avec des pentes abruptes.

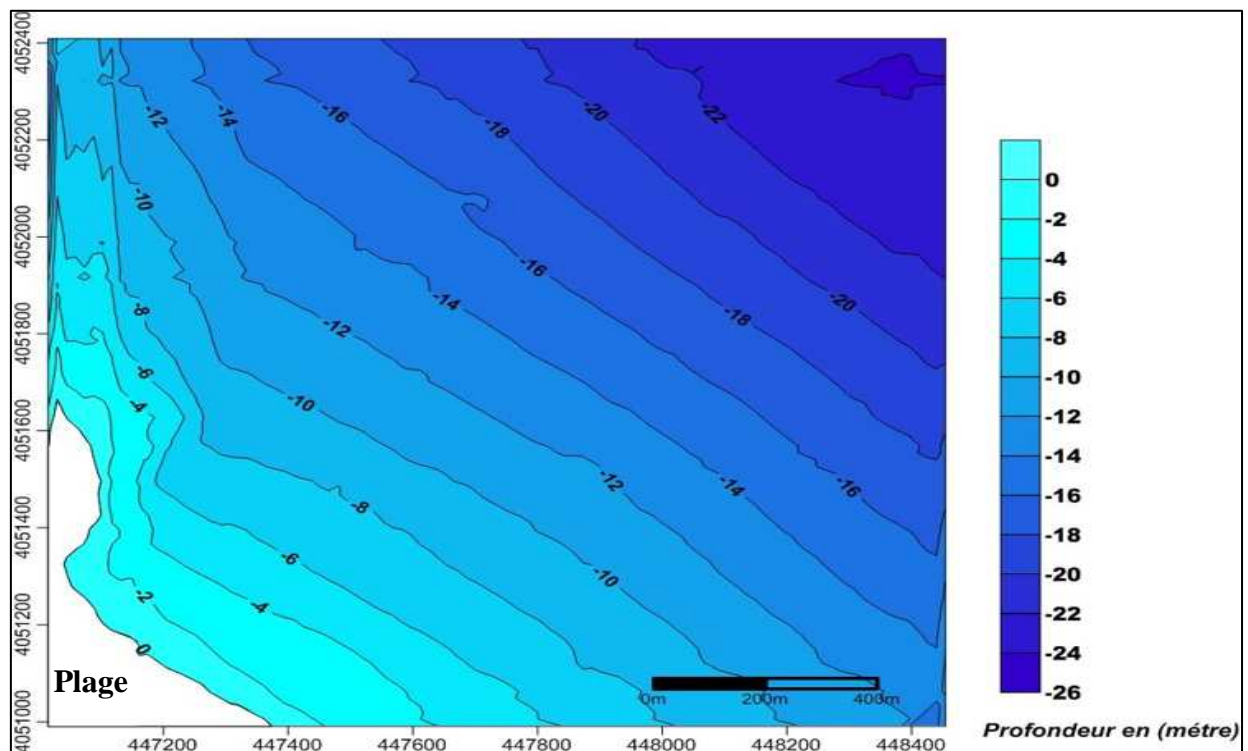


Figure III. 1: Carte bathymétrique de la plage de Chenoua, 2010.

La vue en reliefs (Voir FigureIII.2) met en évidence la présence de barres sous-marines appelées barres d’avant côtes. Ces barres se constituent par le déferlement des houles longues là où la profondeur diminue assez pour provoquer ce déferlement.

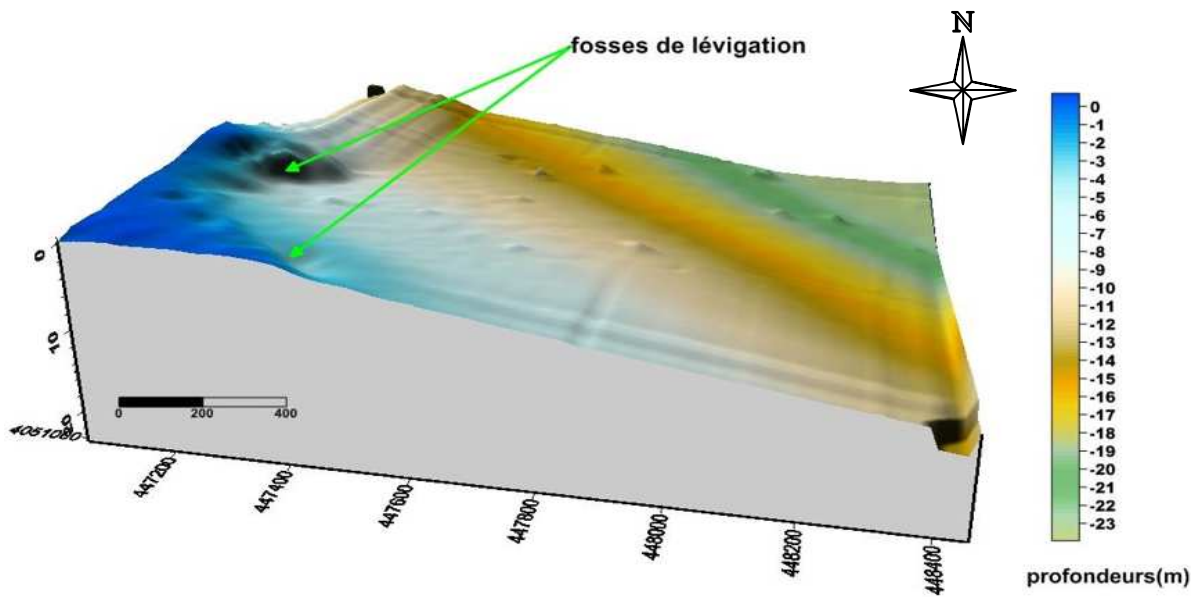


Figure III. 2: Vue en relief de la barre prés-littoral de la plage de Chenoua, 2010.

III.1.2.Les profils transversaux :

L’étude de la carte bathymétrique permet de caractériser 07 profils représentatifs de la plage sous-marine de la côte vers le large (Annexe 2).

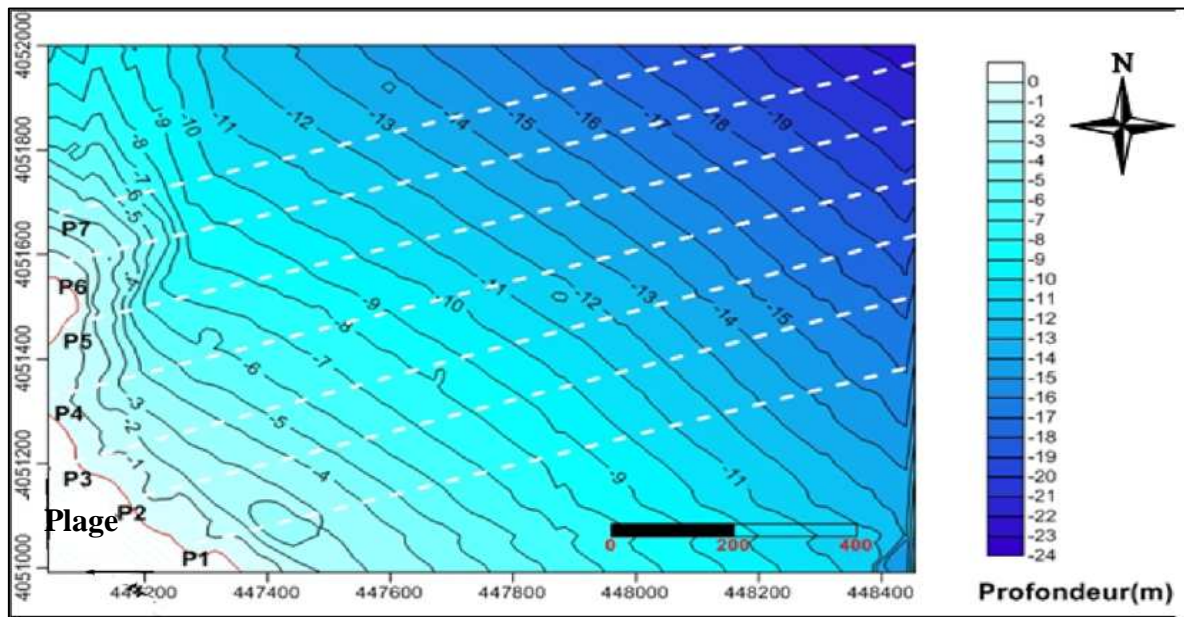


Figure III. 3 : carte bathymétrique interpolée et localisation des profils transversaux

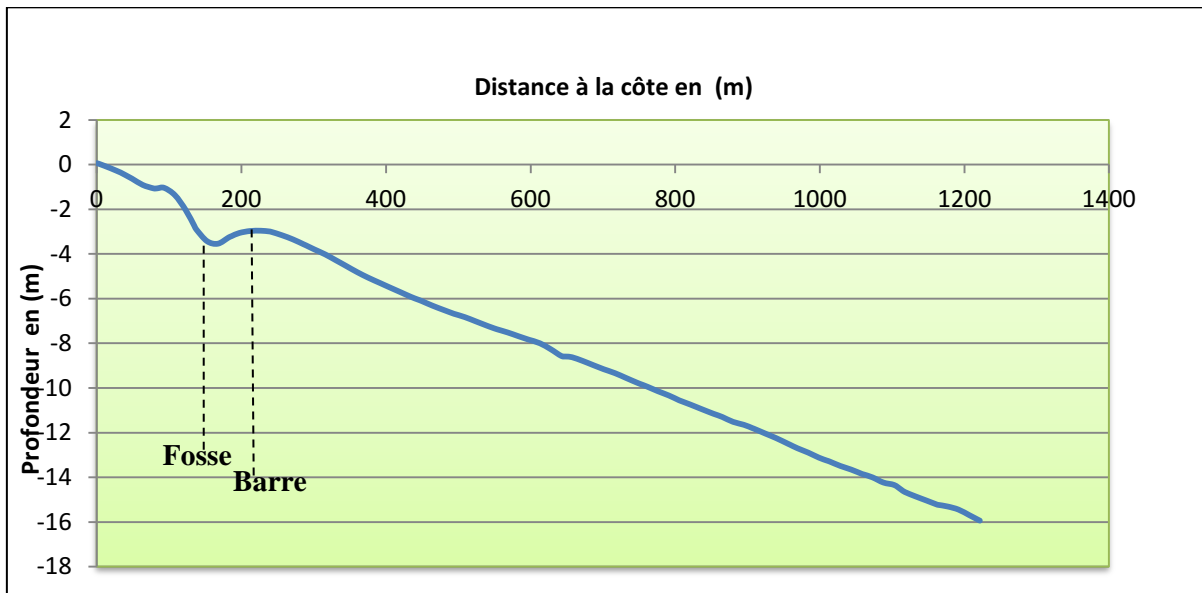


Figure III. 4: Profil sous-marin n° 01.

- **Profil 1**

Ce profil est caractérisé par la présence de trois (03) domaines distinctes, tout d'abord, une dépression nommée fosse de lévigation, ensuite, une barre sableuse festonnée et enfin, une pente vers le large. Les mesures sur le profil fournissent des renseignements sur les points caractéristiques des (03) domaines. Ainsi, le fond de la fosse se trouve à environ 167m du trait de côte, à 3,5 m de profondeur. Le sommet de la barre se situe quant à lui à 226 m de la côte, sous 2,95 m d'eau.

La pente de la plage sous-marine est de 1,28%.

- **Profil 2 et 3**

Ces profils descendent en pente abrupte jusqu'à 1,7 m de profondeur, puis continue à descendre avec une pente plus ou moins important.

La pente de la plage sous-marine est de 1,25%.

- **Profil 4 à 7**

Au niveau de cette partie il existe des affleurements rocheux au niveau de la côte entre les isobathes de 0 et -2 m.

Ces profils montrent, à environ 200 m du rivage, une pente de plus 5% jusqu'à l'isobathe -6m. Au-delà de cette profondeur, la bathymétrie devient plus régulière avec une pente moyenne de 1,30%.

III.2. Etude de la réfraction de la houle

III.2.1. Les houles de direction Nord-Est

a) Vue d'ensemble

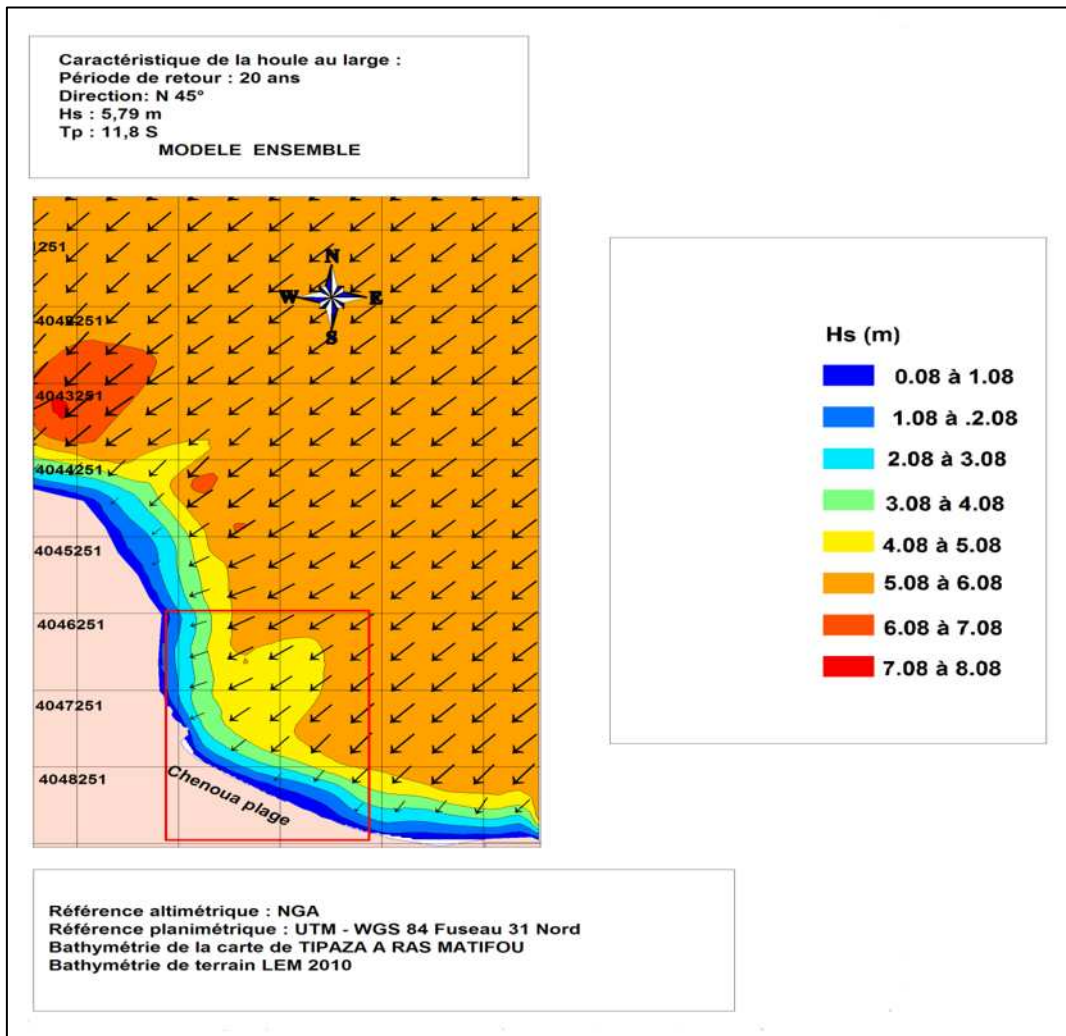


Figure III. 5: Réfraction de la houle de direction N 45° pour une période 11,8s, Vue d'ensemble (Berkennou et Sallaye, 2012).

Vue détail :

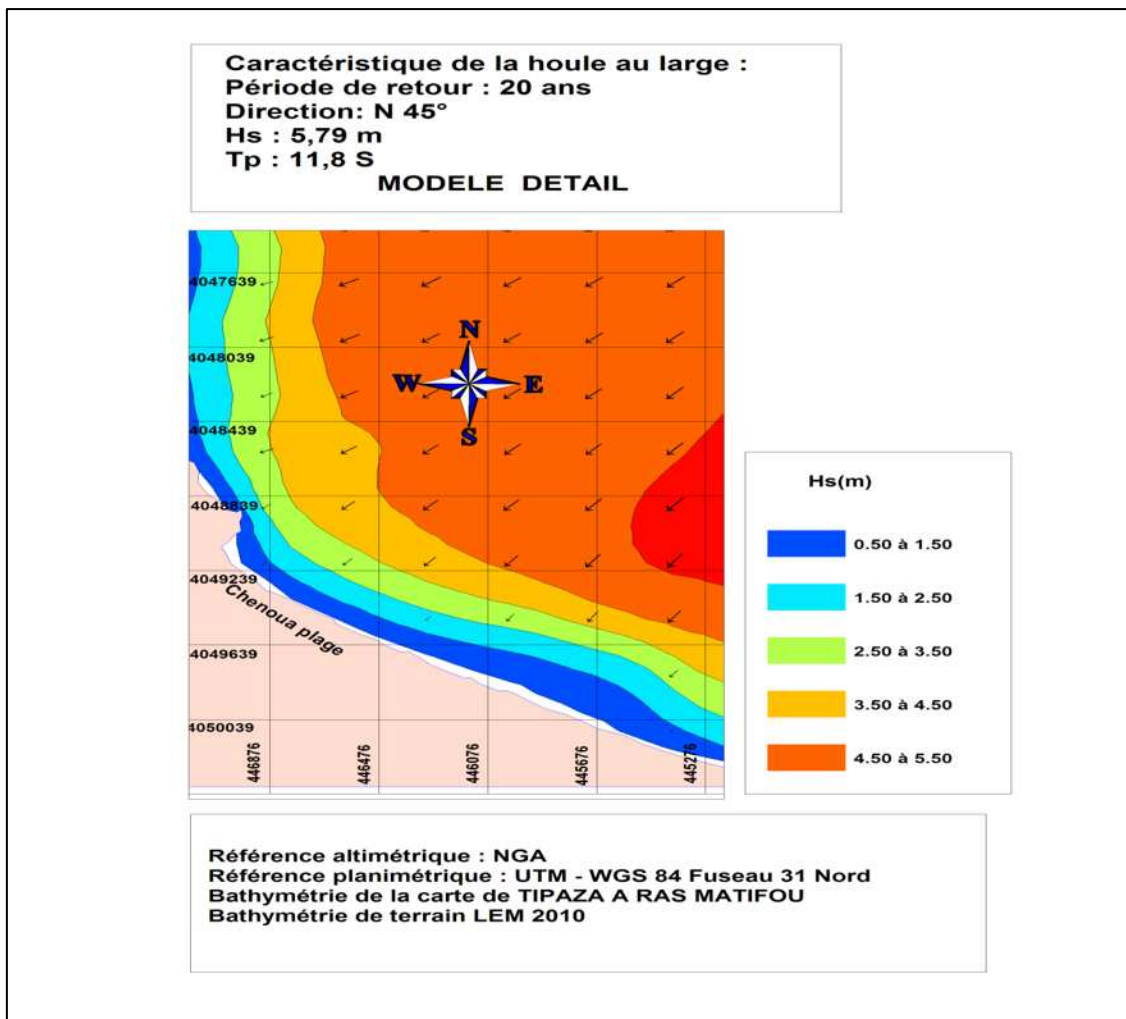


Figure III. 6 : Réfraction de la houle de direction N 45° pour une période 11,8s, Vue détail (Berkennou et Sallaye, 2012).

Commentaire :

Les houles d'une direction Nord-Est ont tendance à arriver toutes en oblique à la côte, sont peut réfractées, elles gardent presque la totalité de leurs énergies de large avec un coefficient de réfraction moyenne de 0,75 à 10m de profondeur, sont les houles qui va être utilisées pour le dimensionnement (Annexe 2).

III.2.2. Les houles de direction Nord-Ouest

L'étude de la réfraction a montré que les houles du secteur Nord-Ouest sont perdus totalement leurs énergie, subissant également l'influence de Cap (Mont de Chenoua), avec un coefficient de réfraction moyenne de 0,48 à 10m de profondeur.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord à Nord-Est, avec un angle moyenne de 27° (Annexe 2).

III.2.3. Les houles de direction Nord

Les houles d'une direction Nord ont tendance à arriver toutes perpendiculaires à la côte, sont moyennement réfractées, perdant une partie de leurs énergie du large, avec un coefficient de réfraction moyenne de 0,35 à 10 m de profondeur.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Est, avec un angle de 33° (Annexe 2).

III.3. Etude sédimentologie

III.3.1. Analyse de la fraction grossière

III.3.1.1. Les courbes granulométriques

- Aspect général des courbes cumulatives

Dans l'ensemble, Les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés (Annexe 3).

- courbes unimodales

Elles sont à nombre 03, elles indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire. Ce type de courbe est caractérisé de l'immobilisation en masse, des sédiments par faiblesse de la capacité du transport.

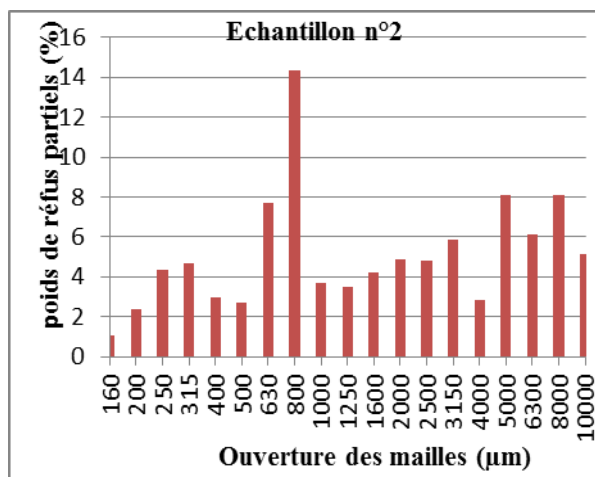


Figure III. 7 : Histogramme unimodale

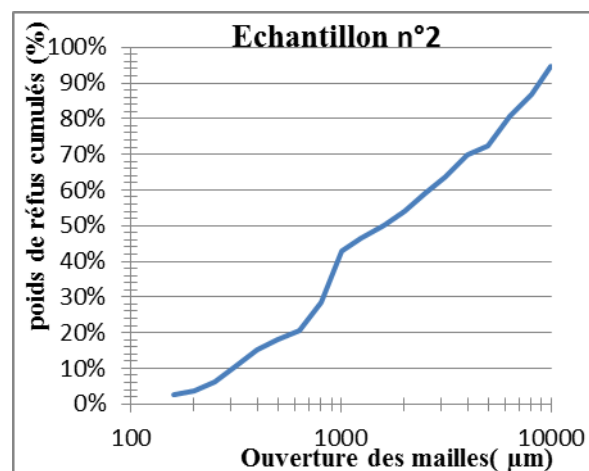


Figure III. 8 : Courbe unimodale.

- courbes bimodales

Ces courbes sont à nombre 10, elle indique la présence de deux stocks sédimentaire dominances.

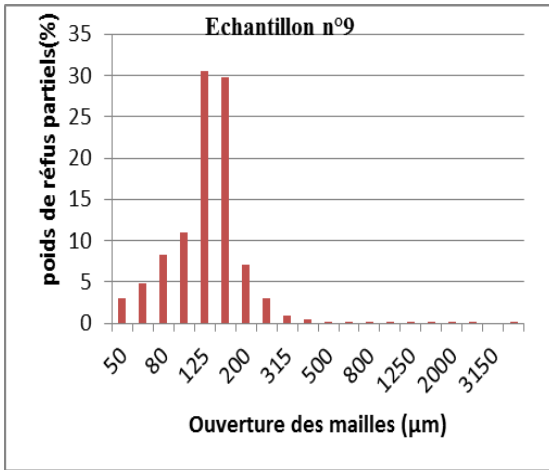


Figure III. 9: Histogramme bimodale.

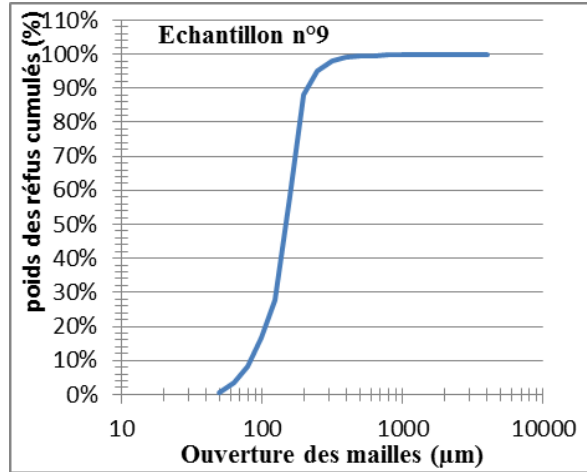


Figure III. 10: Courbe Bimodale.

➤ courbes plurimodales

Elles sont à nombre 06, elles indiquent l'existence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Ce type de courbe témoigne d'une forte agitation dynamique à ces endroits où les matériaux sont en perpétuel mouvement.

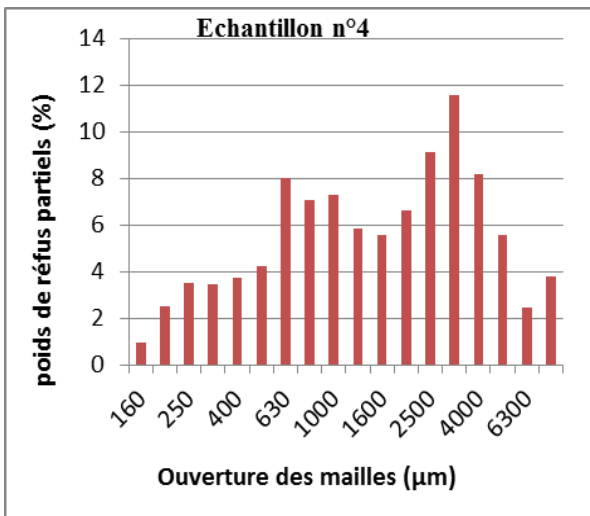


Figure III. 11 : Histogramme plurimodale.

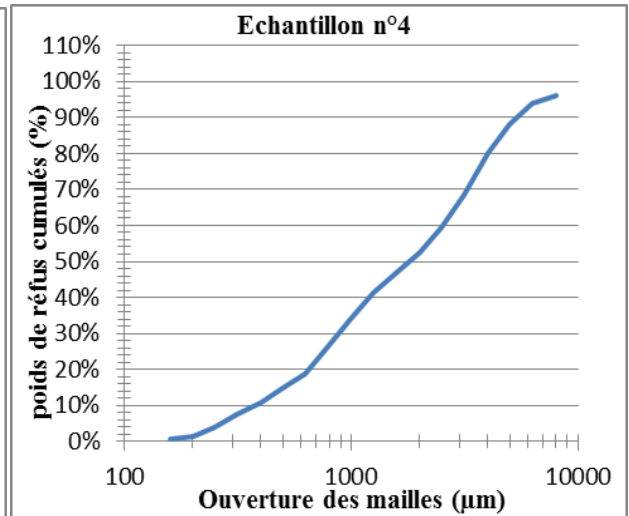


Figure III. 12: Courbe plurimodale.

III.3.1.2. les indices granulométriques

➤ le décile inférieur (D10)

La répartition des déciles inférieures dans notre zone d'étude est spatiale, au niveau de la partie Est et Ouest la diminution graduelle de la taille des sédiments de la côte vers le large (distribution normale), et entre ces deux parties il y a un avancement des fractions fines vers la côte à cause de présence de dynamique sédimentaire faible.

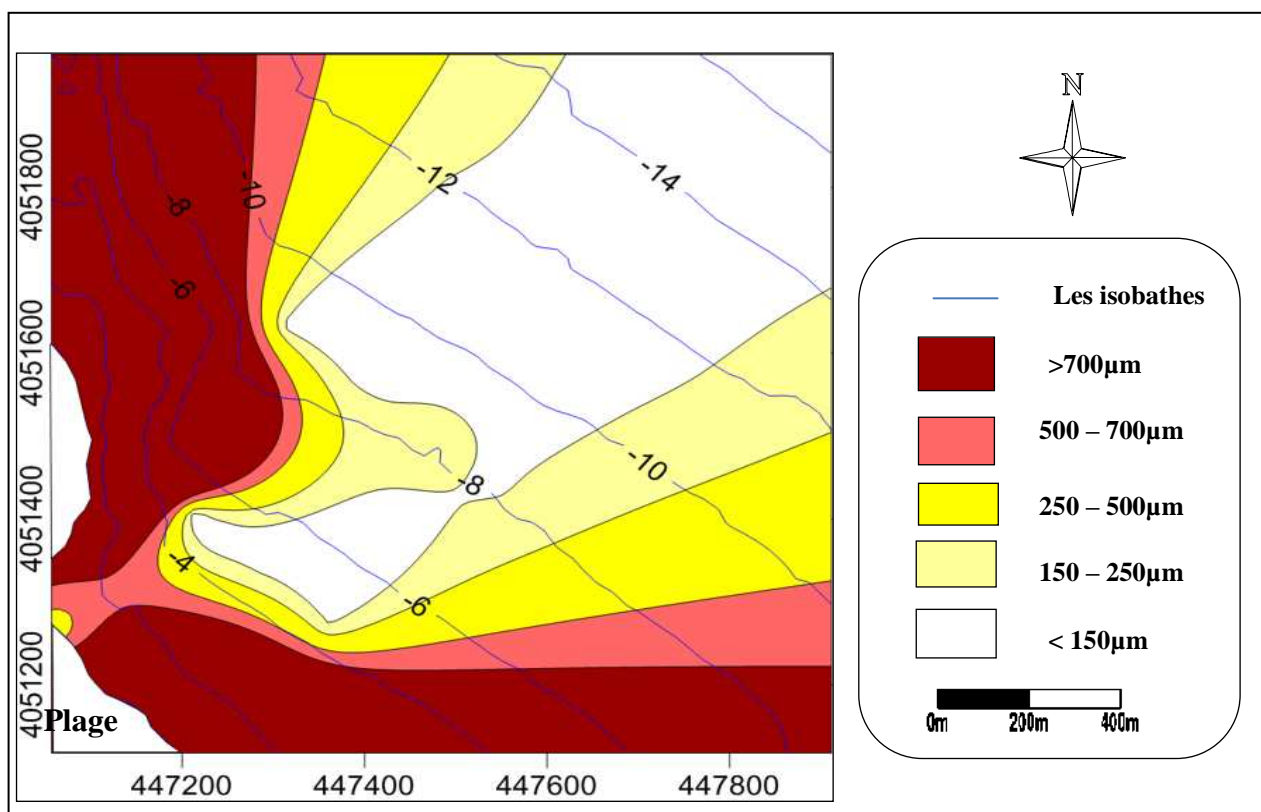


Figure III. 13 : La Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la plage de Chenoua.

➤ le quartile inférieur (Q25)

La carte de la répartition du quartile inférieure montre la présence de sable grossier (733 à 2315µm) qui sont plaqués de la côte, puis elle décrit une diminution graduelle de la taille des sédiments de la côte vers large avec des diamètres inférieurs à l'égal 100 µm.

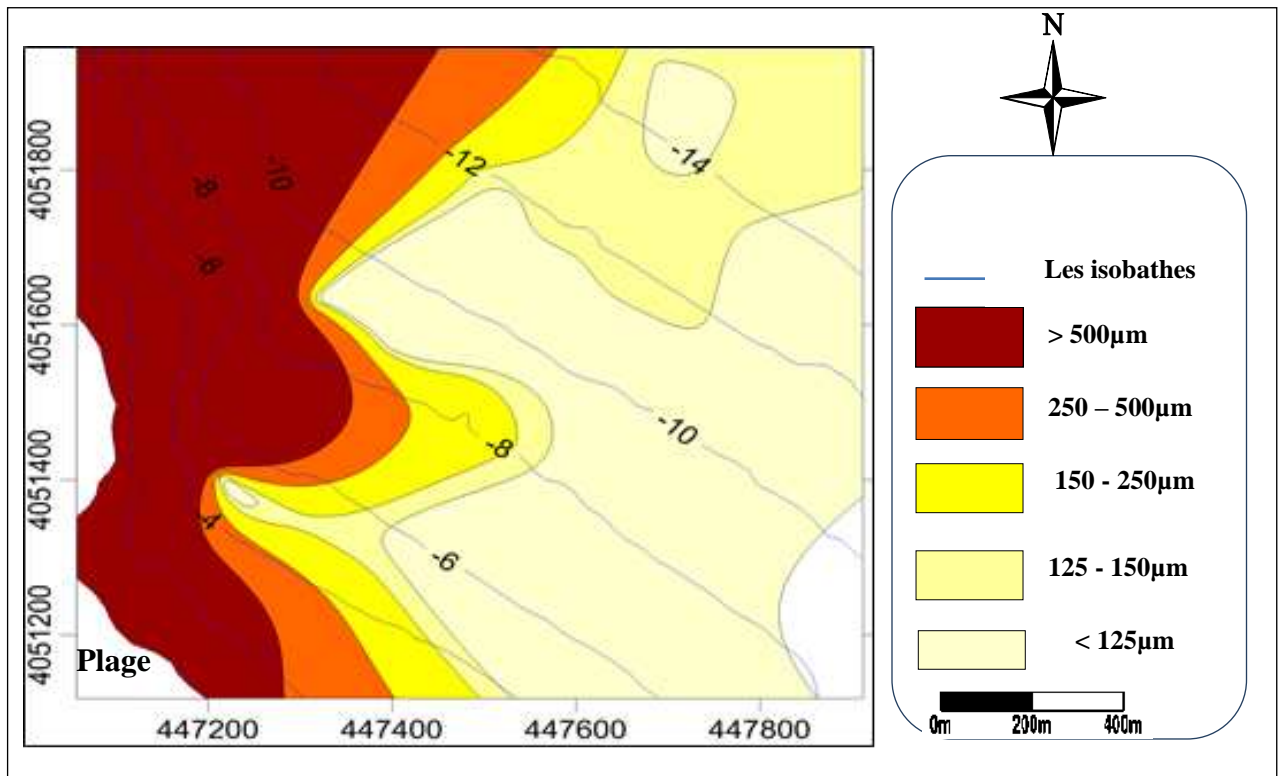


Figure III. 14: La Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la plage de Chenoua.

➤ **la médiane (Q50)**

La répartition des sédiments en place correspond à une répartition classique des sédiments en mer (la diminution graduelle de la taille des sédiments de la côte vers le large) principalement causé par la position géographique et géologique du site d'étude.

La grande partie des sédiments présente essentiellement des sables fin (140 à 250µm).

Au niveau de la partie Ouest, la diminution graduelle de la taille des sédiments de la côte vers le large est moins accentuée par rapport à la partie Est du site puisqu'elle laisse apparaître des valeurs de la médiane de 500 à 2947µm.

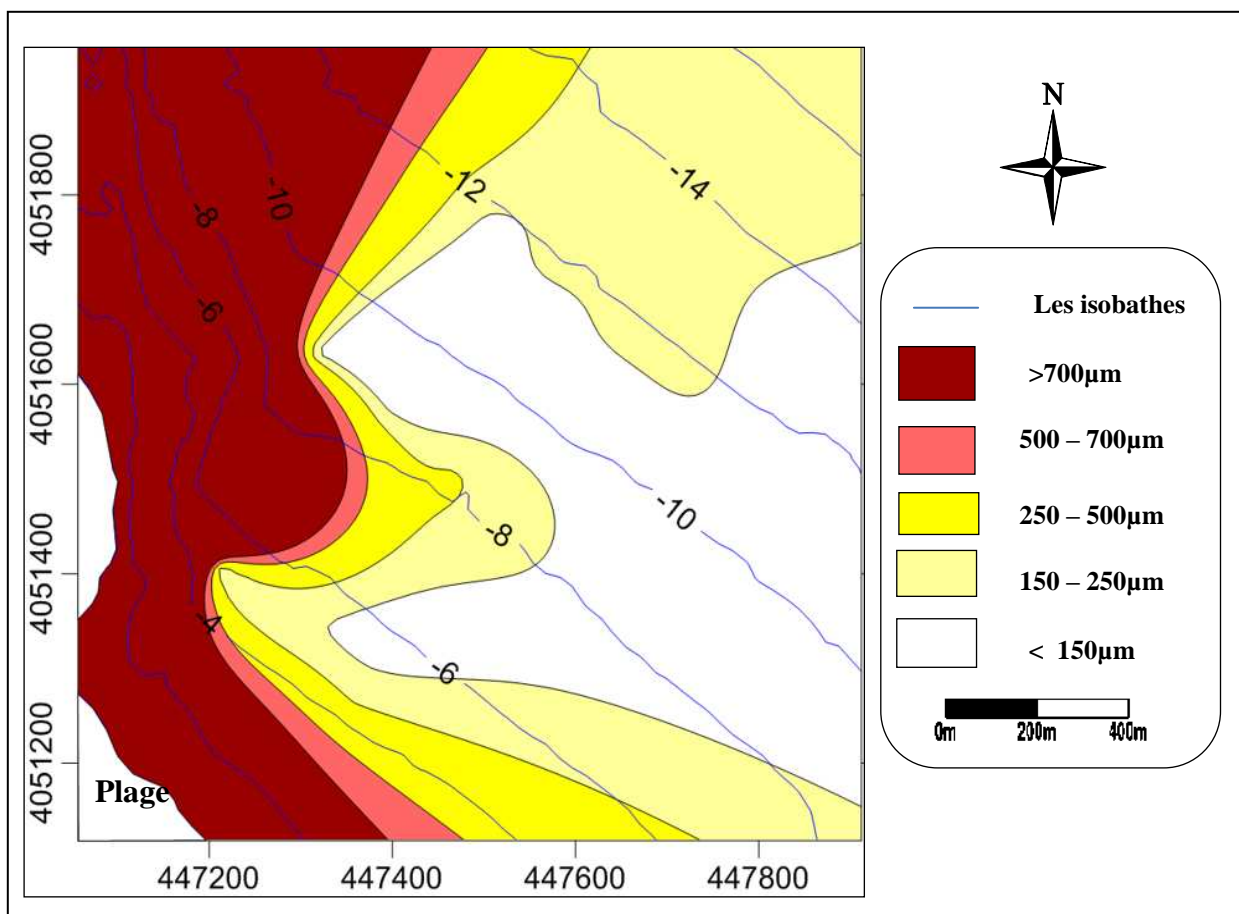


Figure III. 15: La répartition des médianes (Q50) dans la plage de Chenoua.

➤ **le quartile supérieur (Q75)**

La répartition des quartiles est spatiale sur toute la zone d'étude, les diamètres les plus importants varient entre (700 et 8400 μm) se localisent principalement sur la totalité de la côte, puis elles diminuent de manière graduelle de la côte vers le large, avec des tailles des sédiments inférieurs à 125 μm .

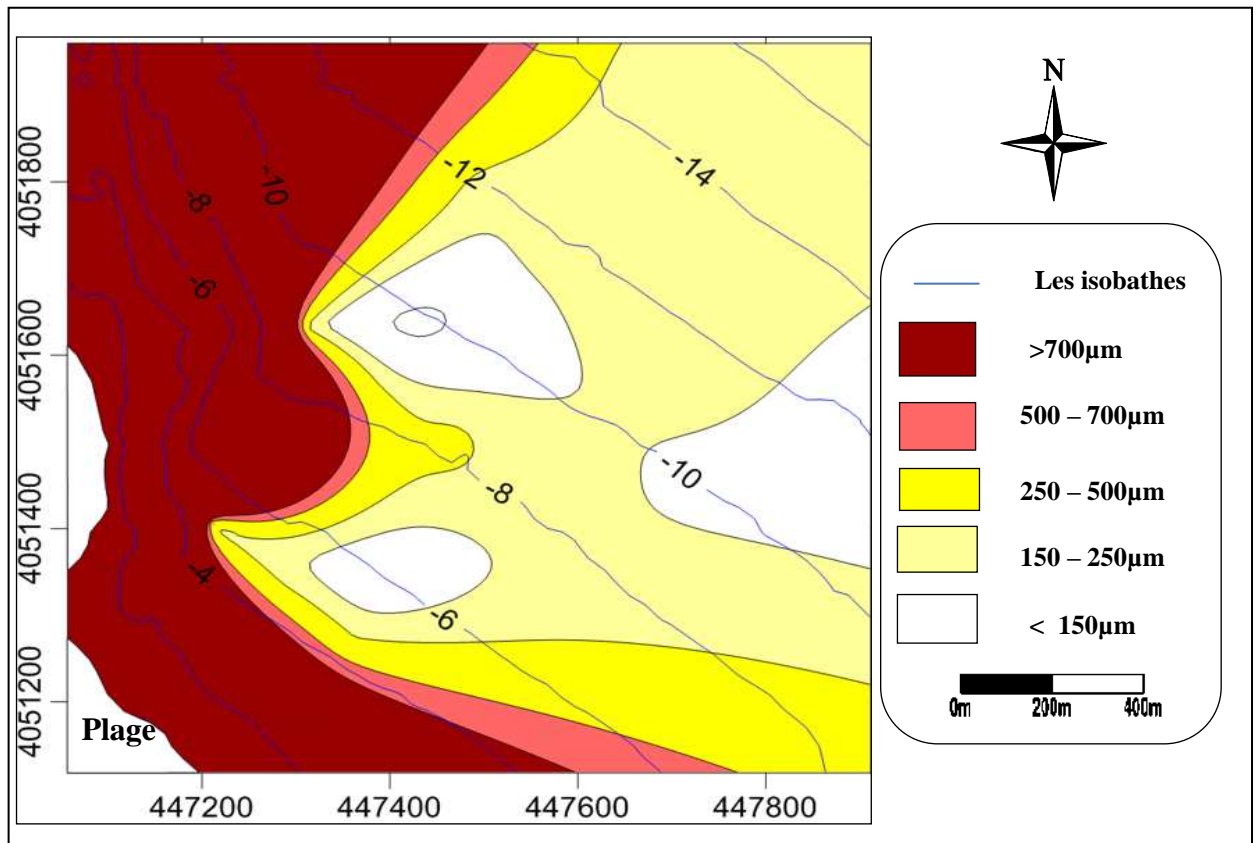


Figure III.16 : La répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la plage de Chenoua.

➤ **Le décile supérieur(D90)**

La répartition des déciles supérieurs est spatiale, plus au moins régulière, elle décrit une diminution graduelle de la taille des grains de la côte vers le large (grossier – moyen- fin), avec une apparition dans la zone de diamètres fins de quelque tâche des grains moyens, qui déduire par la présence un dynamique sédimentaire plus important.

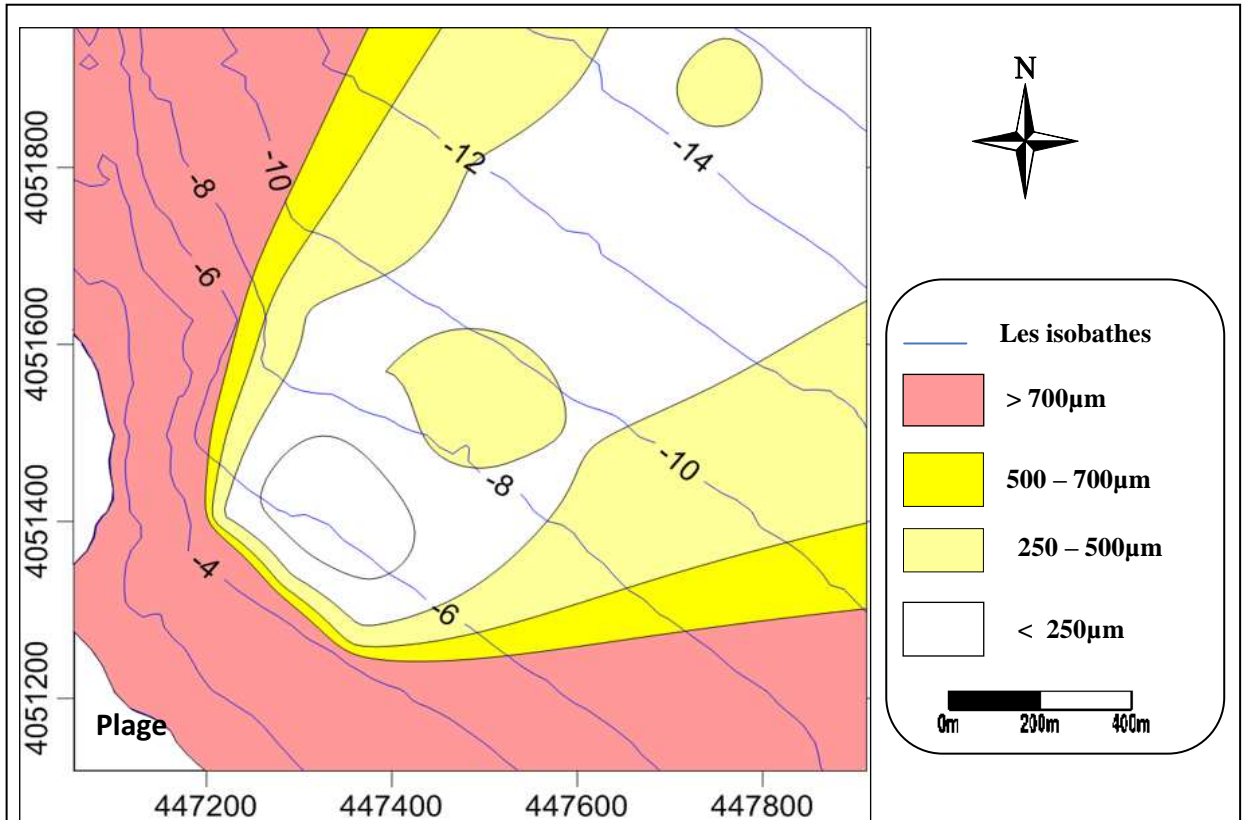


Figure III. 16: La répartition des déciles supérieurs (D90) dans la plage de Chenoua.

➤ **Indice de classement (Sorting de Trask) : S_o**

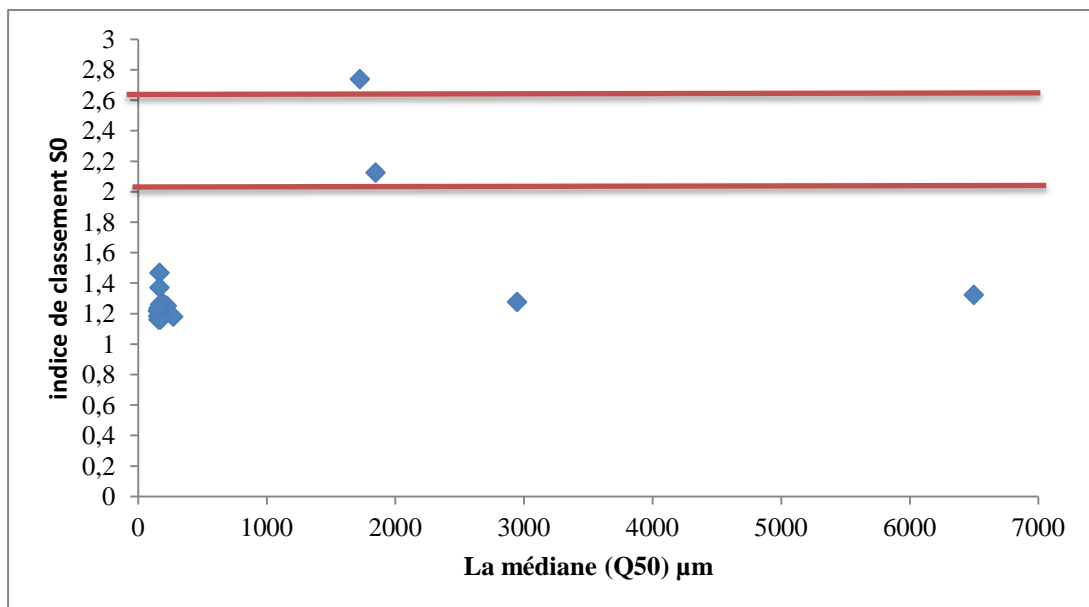


Figure III. 17 : Variation de l'indice de classement et la médiane.

La majorité des sédiments présente $S_o < 2$, le sédiment est très bien classé à l'exception de l'échantillon n°4 dont le $2 < S_o < 2,6$ correspondant à un sédiment moyennement classé, et l'échantillon n° 2 dont le $S_o > 2,6$ correspondant à un sédiment mal classé.

➤ **Le coefficient d'asymétrie (SK) :**

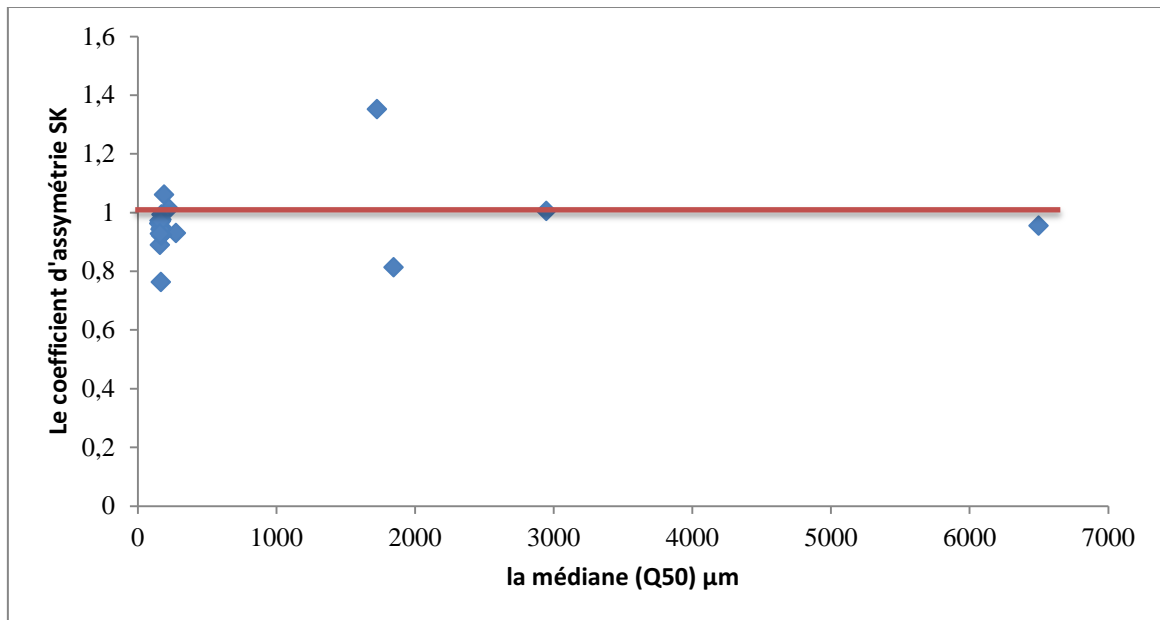


Figure III. 18 : Variation du coefficient d'asymétrie et la médiane.

La majorité des échantillons prélevés présentent un coefficient d'asymétrie (Sk) plus proche de 1, les sédiments présentent donc une répartition symétrique correspondant au bon classement.

III.3.1.3. Analyses modales

L'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles des modes permet de différencier deux modes majeurs pour le site d'étude. Le premier est de diamètre 125 μm et le deuxième de diamètre 160 μm .

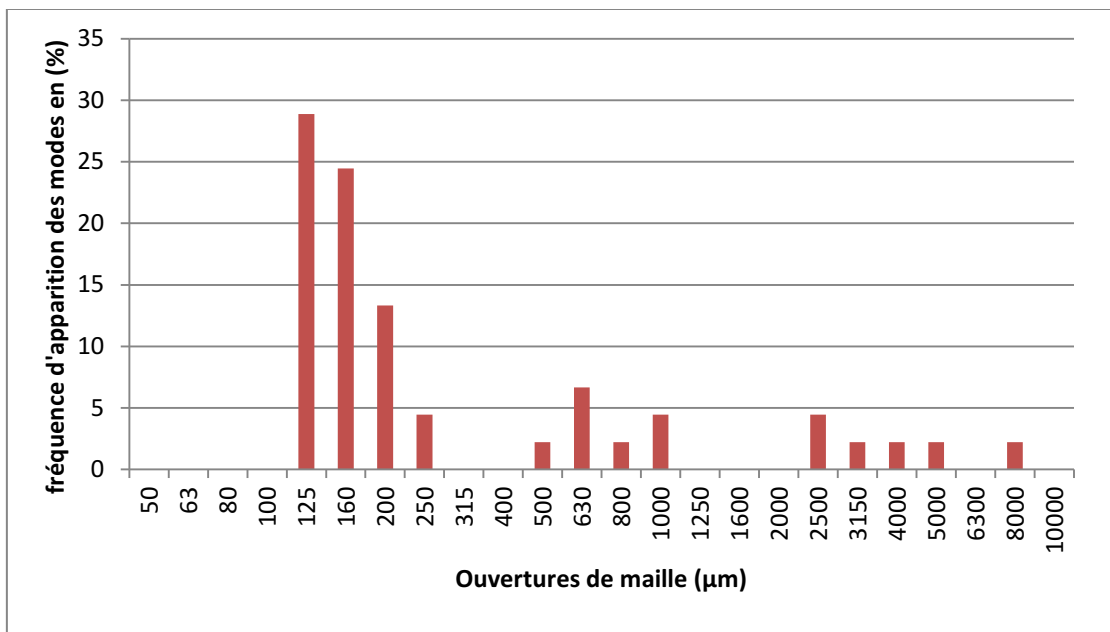


Figure III. 19 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des sédiments superficiels.

➤ Mode 125µm

Ce mode est bien représenté, par une diminution graduelle de pourcentage de la côte vers le large. Il y a une dominance en pourcentage moyen varie entre (20-30%) sur la totalité de la zone d'étude. Avec une apparition au large de deux poches en pourcentage plus élevé (>30%).

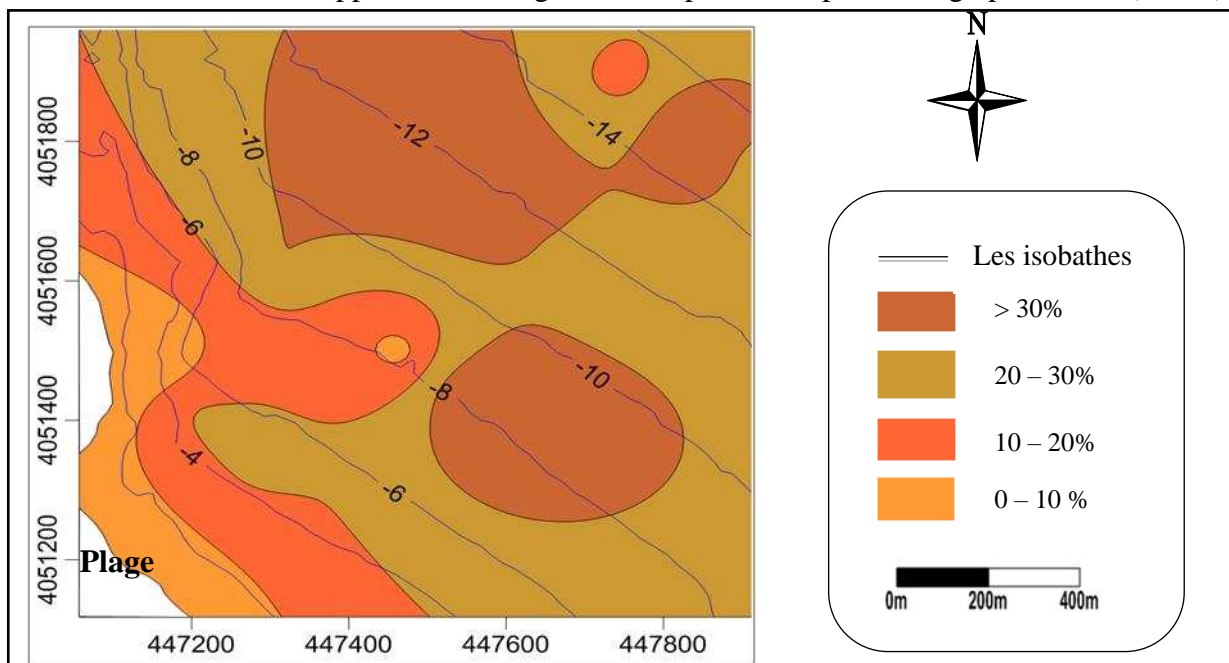


Figure III. 20: La répartition du mode 125µm dans la plage de Chenoua.

➤ **Mode 160 μm :**

Le mode 160 μm représente le stock des sédiments fins, les pourcentages les plus faibles de ce mode (<10%) sont localisés le long de la côte puis ils vont en augmentant en allant vers le large. les plus grandes pourcentages (>20%) sont concentrés au large à partir de -8m de profondeur.

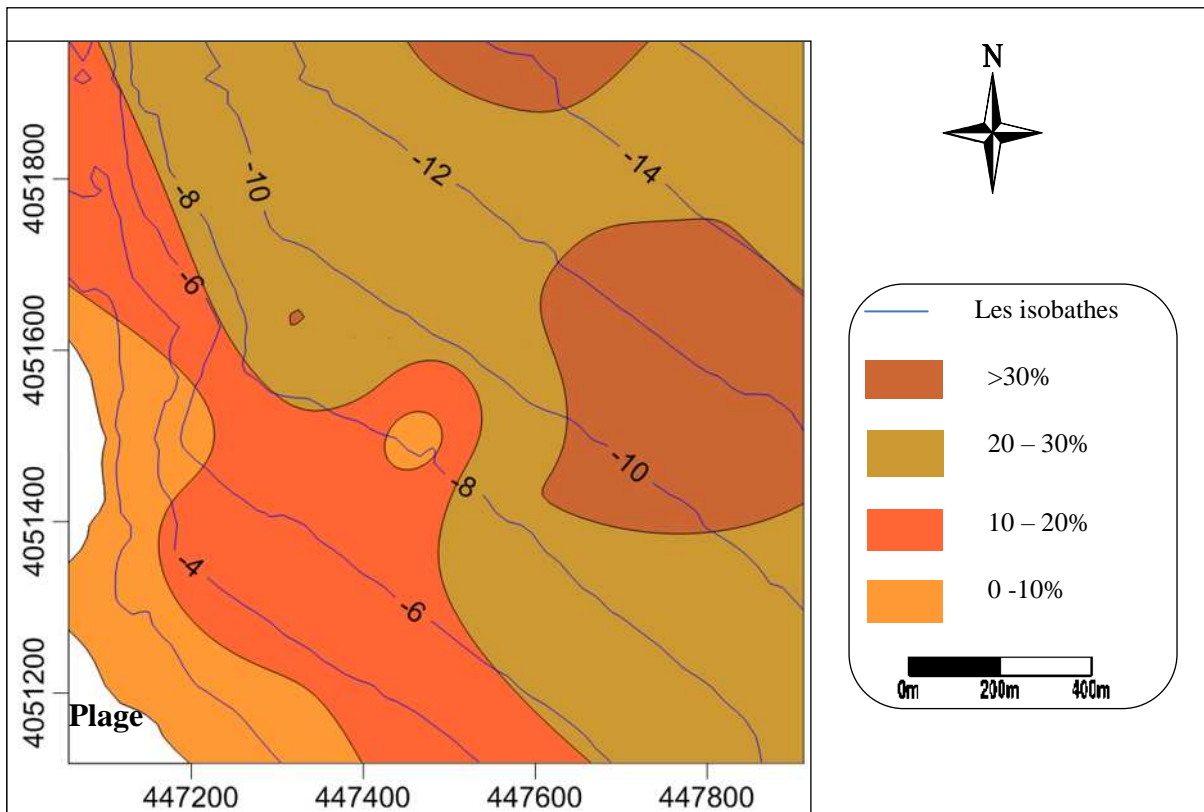


Figure III. 21:La répartition du mode 160 μm dans la plage de Chenoua.

III.3.2. Analyse de fractions fines

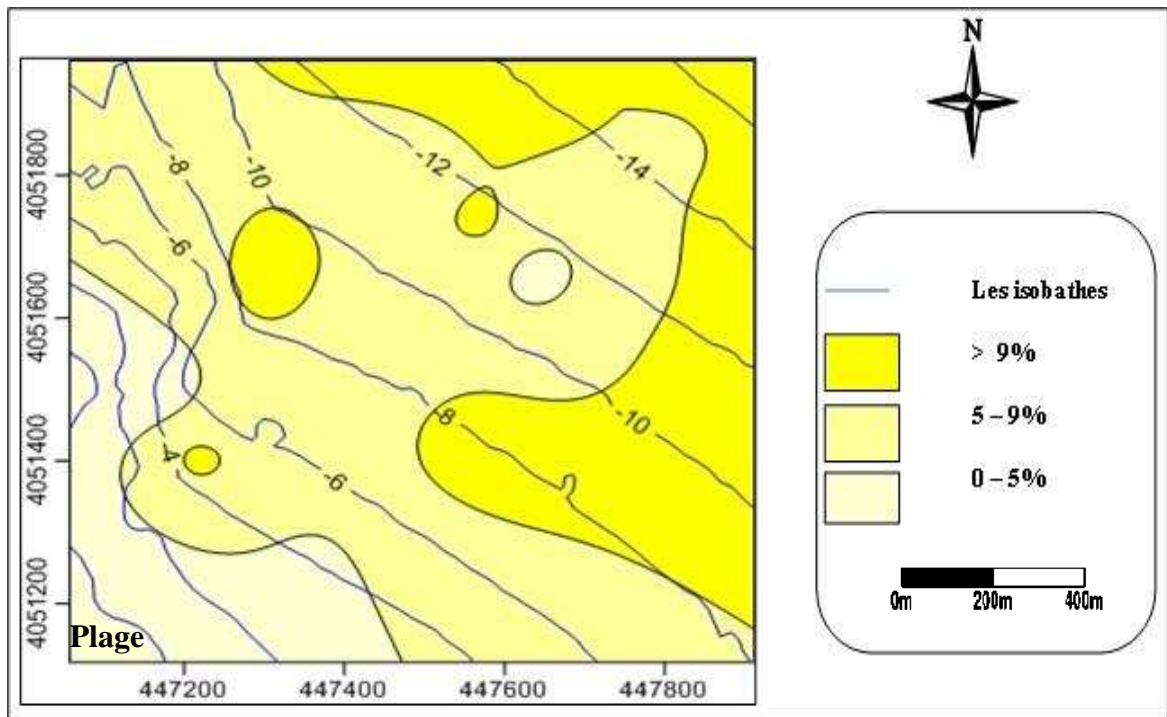


Figure III. 22: la Répartition des fractions fines dans la plage de Chenoua.

La répartition de la fraction fine montre de faibles teneurs, variant entre 0 et 15% sur l'ensemble du site, ceci révèle la présence d'une énergie important mettant en perpétuel remaniement les sédiments.

III.4. Diagramme de PASSEGA

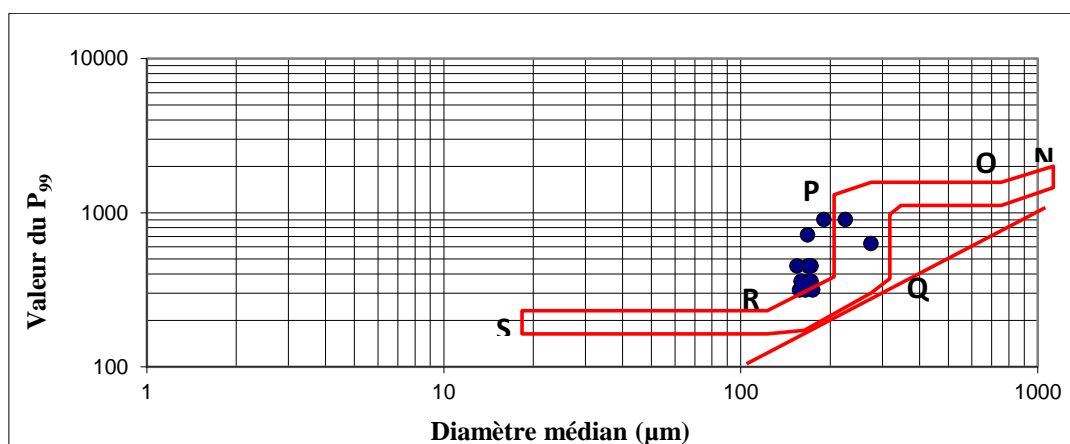


Figure III. 23 : Le diagramme de PASSEGA.

Le diagramme de PASSEGA montre que la plupart des points se trouvent dans le segment RQ, qui représente les sédiments transportés en suspension gradée.

Conclusion sur l'étude sédimentologie

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

L'étude de la fraction sableuse a conduit à définir sa répartition et ses différents caractéristiques logiques avec une diminution du (D10, Q25, D50, Q75 et du D90) de la côte vers le large.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins (125 et 160 μ m).

Les teneurs en pélites sont comprises entre 0 et 13 % de la côte vers le large, ceci s'explique par l'hydrodynamisme de haute énergie.

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

III.5. Modélisation du transport sédimentaire

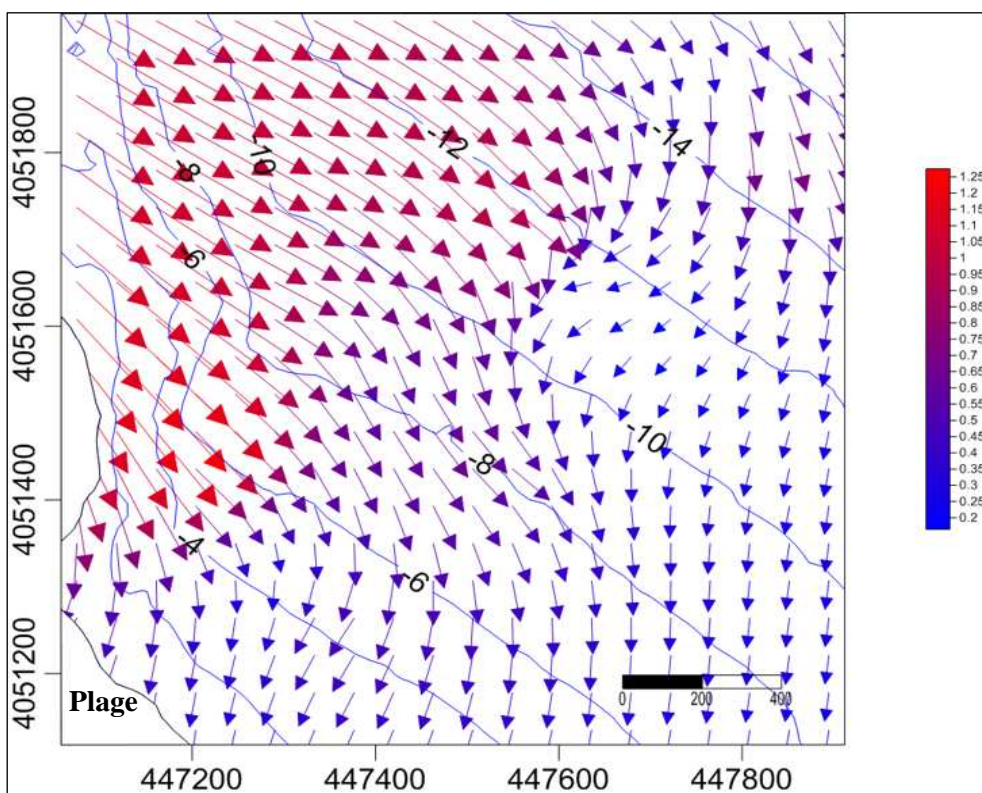


Figure III. 24: Modélisation du transport sédimentaire par le model « GSTA ».

Les houles des secteurs Nord-Ouest sont dominantes, abordent la côte avec une incidence oblique, créent des courants de retour qui érodent la côte.

III.6. Le transit sédimentaire

On a calculé le transit sédimentaire à partir de la formule n°11.

Tableau III. 1: Résultat de calcul du transit sédimentaire ($Q=m^3/an$).

Directions	Périodes			Total par direction
	6s	8s	10s	
N 360°	-3070,311	0	0	-3070,311
N 315°	42813,547	0	0	42813,547
N 45°	4208,859	3765,902	0	7974,761
	Total			47717,997

Le transit littoral a été à **47717,997 m³/an**, allant de l’Ouest vers l’Est, c’est ce qui explique l’érosion observée dans la plage de Chenoua. En effet, cette dérive est due à la prédominance des vents de secteur Nord-Ouest, elle induit par conséquent des courants de retour assez puissants qui arrachent les sédiments de la plage et les déposent au large.

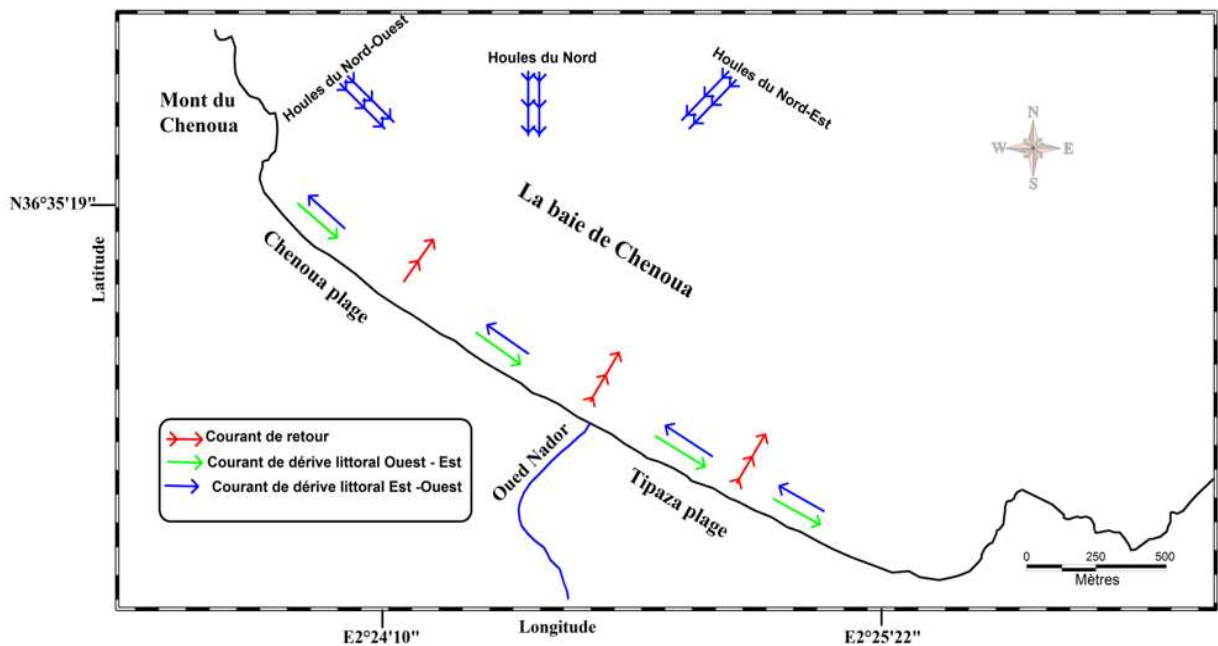


Figure III. 25 : Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie de Chenoua. (Berkennou et Sallaye, 2012).

Chapitre IV

Les ouvrages de protection

VI.1. Introduction

Au terme des études précédentes et pour mettre à l'abri le complexe culturel du danger de l'attaque de la mer. Nous avons proposé trois variantes de type brise-lames immergés et une variante Stabiplate, car ils sont bien adaptés au site d'étude et permettent d'atténuer la houle et donc de limiter les problèmes d'érosion rencontrés actuellement sur la plage de Chenoua.

VI.2. Variante N°1 : brise-lames immergé et Rechargement de plage

VI.2.1. Rechargement de plage (Voir plan N°1)

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, plus étendue. Ceci dans le but :

-De veiller à la sécurité des aménagements de bordure de mer et de rendre à la plage son rôle de défense contre la mer ;

-D'augmenter la superficie de la plage en retrouvant la ligne de côte et de limiter l'énergie de la houle en haut de plage ;

-D'augmenter en conséquence la fréquentation touristique de la plage.

- Ce type d'ouvrage consiste en la mise en place :

-D'un rechargement en sédiment de carrière du grain moyen $>2600 \mu\text{m}$;

-Longueur de la plage : $L=148 \text{ m}$;

-Largeur de la berme : $l=30\text{m}$;

-Epaisseur de la berme : $e=1 \text{ m}$;

- Un volume de rechargement d'environ 13024 m^3 .

VI.2.2. Brise-lames immergés (Voir plan N°1)

VI.2.2.1 Définition :

Il s'agit d'ouvrages dont l'axe principal est orienté parallèlement, ou est peu incliné, par rapport à la côte. Ils ont pour but de provoquer une dissipation de l'énergie de la houle avant son déferlement sur la plage et de s'opposer à l'entraînement vers le large des matériaux.

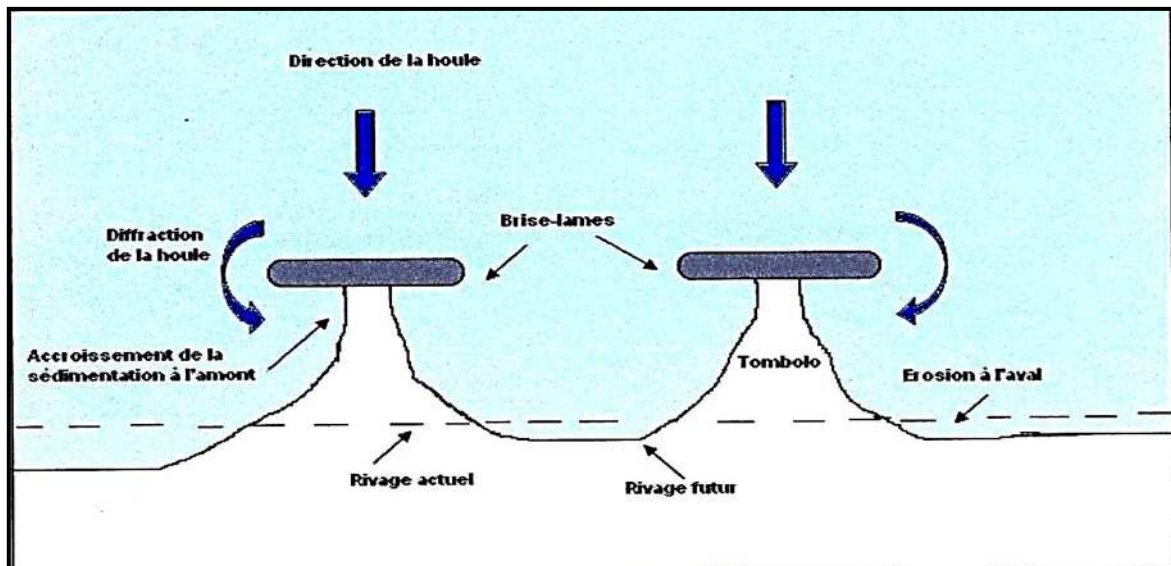


Figure IV. 1: Schématisation de l'action des Brise-lames (Caminades, 1995 modifiée).

VI.2.2.2. Prédimensionnement des brise-lames

Il n'existe pas, actuellement de critères bien définis quant aux caractéristiques optimales des brise-lames, mais un certain nombre de règles de dimensionnement basées sur la théorie (aspect diffraction de la houle notamment), sur des recherches expérimentales en modèle réduit (aspect transmission de la houle par-dessus un brise-lames immergé, étude des possibilités de formation de tombolo, analyse des profils de plage à l'abri du tombolo...).

- **Longueur de l'ouvrage par rapport à la cote**

Des études faites au LCHF montrent que pour qu'un brise lame puisse provoquer la formation d'un tombolo se raccordant à l'ouvrage, il faut que les limites d'expansion de la houle, issues de chacune des extrémités de l'ouvrage, se croisent sur le trait de côte, ce qui conduit dans le cas d'une houle normale à la côte, à la relation :

$$l > 1,2(l_c + 0,3L) \quad (12)$$

Avec :

l : longueur du brise-lames ;

l_c : distance du brise-lames à la côte ;

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

- **Calcul**

- la période (T) des Houles au large de direction Nord-Est est de 11,8s.

-La distance du brise-lame à la côte, $l_c = 120\text{m}$ (cette distance correspond à une profondeur égale à 3m).

-Longueur d'onde de la houle au large ($L_0 = gT^2/2\pi = 227,5\text{m}$).

-La longueur d'onde de la houle au pied d'ouvrage :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 Dp}{T^2 g}\right)} \quad (13)$$

$$L = 63,93 \text{ m} \longrightarrow I > 150 \text{ m}$$

Pour éviter le problème de pollution on prendra une longueur de brise-lames inférieure à celle donnée par la théorie : **$l = 120\text{m}$** .

- **Hauteur de la houle de dimensionnement**

Le dimensionnement des ouvrages en mer se fait en recherchant le paramètre représentant les conditions extrêmes de la houle risquant d'arriver sur l'ouvrage. Ce paramètre est appelé "houle de dimensionnement" ou "de projet".

A partir des résultats obtenus de l'étude de propagation de la houle à la côte par période et par direction (Annexe), la hauteur significative H_s est 2,5m à une profondeur de 3m.

- **La hauteur de l'ouvrage**

La hauteur à donner à un brise-lames dépend de l'objectif poursuivi, dans la mesure où son efficacité dépend en grande partie de sa cote d'arasé, qui conditionne la hauteur des houles qui le franchissent sans déferler.

Pour un brise-lames submersible, on peut estimer que l'amortissement de la houle qu'il provoque est égal à 50% si l'ouvrage est arasé à une cote voisine du niveau de l'eau au repos.

Dans notre zone d'étude, Nous avons choisis la hauteur de la surface libre de l'ouvrage ($F = -0,5\text{m}$) à une profondeur (ds) de 3m, alors la hauteur $h = 2,5\text{m}$.

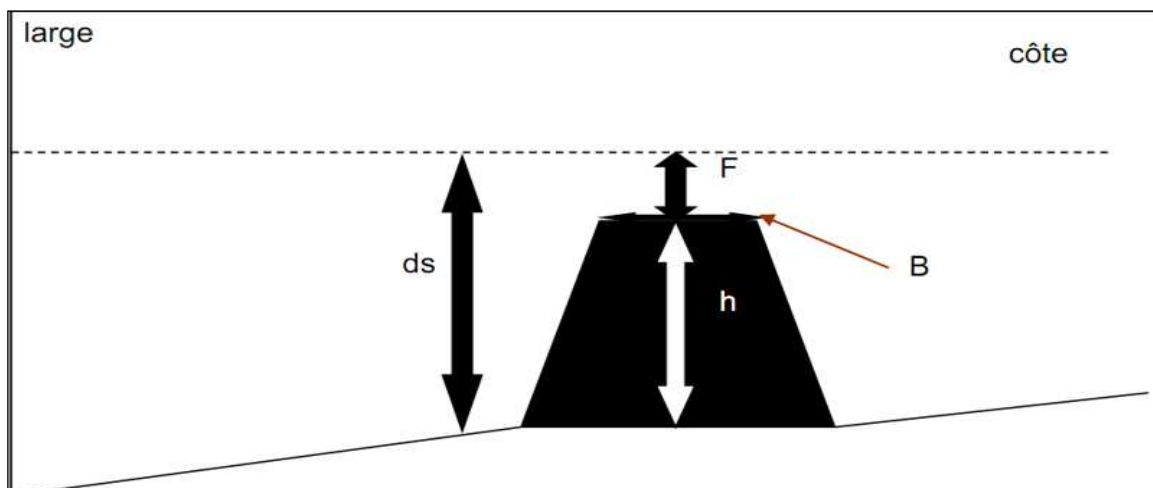


Figure IV. 2: Schématisation d'un profil de brise-lames immergés.

- **La largeur de la berme**

La largeur de la berme peut être calculée par les formules classiques d'Angremond, Van der Meer et de Jong (1996), en supposant pour le dimensionnement, que la structure forme un simple trapèze. La formule développée est donnée par la relation suivante :

$$Kt = -0,4 \frac{F}{Hs} + Cp * \left(\frac{B}{Hs}\right)^{-0,31} * [1 - Exp(-0,5\varepsilon_B)] \quad (14)$$

Où :

Kt : est le coefficient de transmission ;

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

Hs : est la hauteur significative incidente au pied de l'ouvrage (2,5m) ;

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, et C_p dans le cas d'un ouvrage imperméable).

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

$$\varepsilon_b = \frac{\tan(\alpha)}{\sqrt{\lambda_0}} \quad (15)$$

Et avec **α_R** la pente du talus, et **λ₀** la longueur d'onde de la houle au large $=gT^2/2\pi$ (16)

On précise que l'équation (14) est valable tant que : $\frac{B}{Hs} < 10$ et $0,075 < Kt < 0,8$

- **Calcul**

Les résultats sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau IV. 1: Largeur de la berme.

Hs(m)	F(m)	α _R	λ ₀ (m)	ξ _B	Kt	C _p	B(m)
2,5	0,5	0,66	217,5	7,46	0,45	0,64	12

(ξ_B > 3,3 alors le type de déferlement est gonflant).

VI.2.2.3. Stabilités des brise-lames immergés

Les formules les plus usuelles pour le dimensionnement des blocs utilisées dans les ouvrages de protection contre la houle sont celles de Hudson et de Van Der Meer ;

Si on arrive à calculer le poids de bloc de la carapace de l'ouvrage par ces formules, on peut déduire d'autres paramètres de la structure comme l'épaisseur, poids de sous-couche...

L'ouvrage est dimensionné par la formule de Hudson, qui est la plus utilisée.

VI.2.2.3.1. Partie courante

- **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.

- **le poids de la carapace**

$$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_s * H_s^3}{Kd \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha} \quad (17)$$

W : Poids des enrochements en tonne (t) ;

γ_s : La masse volumique des enrochements (t/m^3) ;

H_s : Hauteur de la houle de dimensionnement (m) ;

K_d : coefficient de stabilité (pour les enrochements rugueux anguleux et la houle déferlante) ;

γ_w : la masse volumique de l'eau de mer ($1,028 t/m^3$).

- **Epaisseur de la carapace**

$$E = n * K_t * \left(\frac{W}{\gamma_s} \right)^{1/3} \quad (18)$$

K_t : coefficient de couche (1,15 pour l'enrochement anguleux)

n : nombre de couche (n=2)

- **Noyau**

C'est le cœur de la digue, qui est en général constitué de tout venant de carrière (économiquement intéressant), généralement entre (0- 500 Kg).

VI.2.2.3.2. Partie musoir

Les essais ont toujours montré que le musoir d'une digue subissait des dommages plus fréquents et plus importants à hauteur de houle égale. Pour la carapace des musoirs, on utilise les mêmes types de blocs naturels ou artificiels, mais de dimensions appropriées ou mieux encore de densité plus élevée.

On résume les résultats de dimensionnements dans le tableau suivant :

Tableau IV. 2: Résultats de prédimensionnement de brise-lames immergés.

Brise-lames immergé	Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	Résultats	Catégorie
	Carapace (Côté extérieur) Hs=2,5m	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 1,4^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (0,35 / 2,65)$	W= 2t E=2,09m	[2-3t]
	Carapace (Côté intérieur) Hs=1,12m	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 1,4^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (0,35 / 2,65)$	W=0,2t E=0,94	[0,5-1t]
	Musoir	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 1,4^3}{2,9 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (0,35 / 2,65)$	W=2,42t E=2,23m	[3-4t]
	Le noyau	Généralement entre 0-500Kg			

VI.2.2.4. Avantages et inconvénients des brise-lames

- **Avantages**

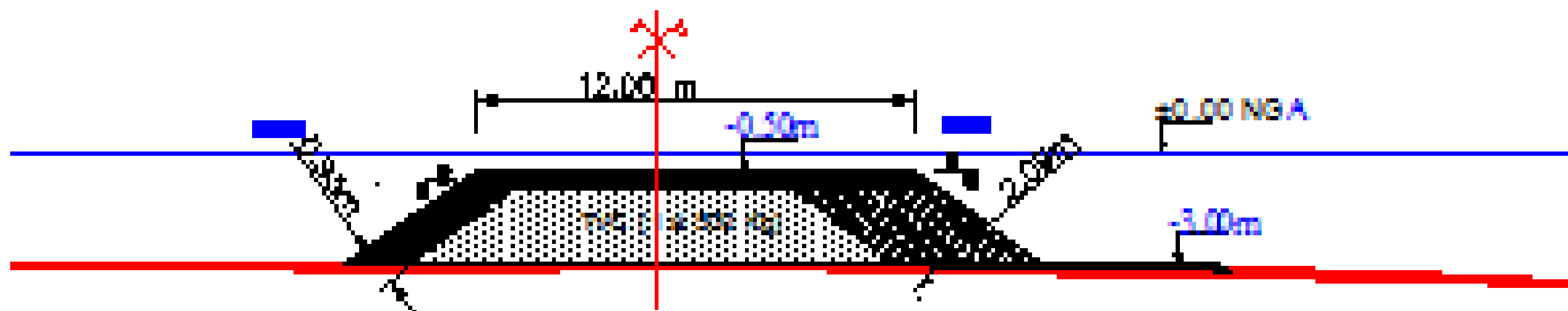
- Atténuation de l'énergie de la houle et réduction locale du transport sédimentaire ;
- Protection des côtes sableuses par accumulation de sédiments ;
- Constituent de nouveaux biotopes rocheux qui sont rapidement colonisés par des espèces végétales et animales.

- **Inconvénients**

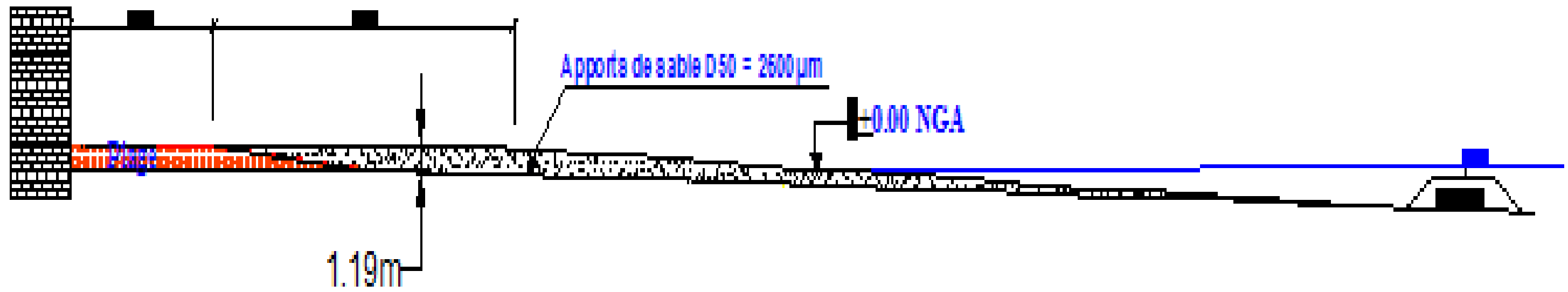
- En cas de transport littoral significatif, augmentation de l'érosion en aval dérive ;
- Protection uniquement locale ;
- Impact possible pour la navigation de plaisance et les engins de plage ;
- Coûts importants de mise en œuvre, dès construction en eau relativement profonde.

PROFIL EN TRAVERS P1 DE LA PARTIE COURANTE

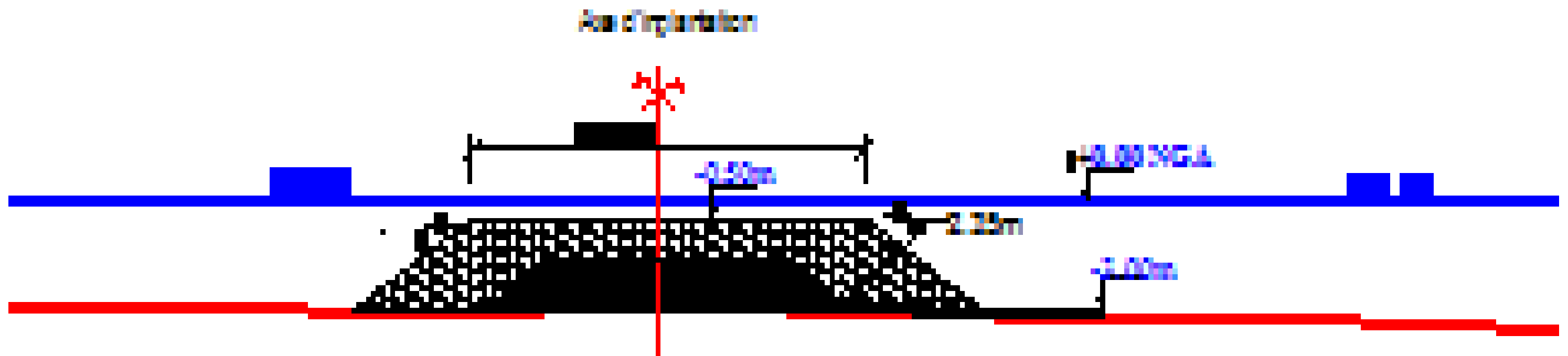
ECH: 1/200



Profil en travers (P2) du rechargement en nature sur la côte de Chenoua plage (Echelle 1/300)



Profil en travers (P3) de la partie Musoire de la variante 1 (Echelle $\frac{1}{200}$)



VI.3. Variante N°2 : Brise-lames immergés en géotubes (voir plan N° 2)

VI.3.1. Définition

Le géotube est 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.

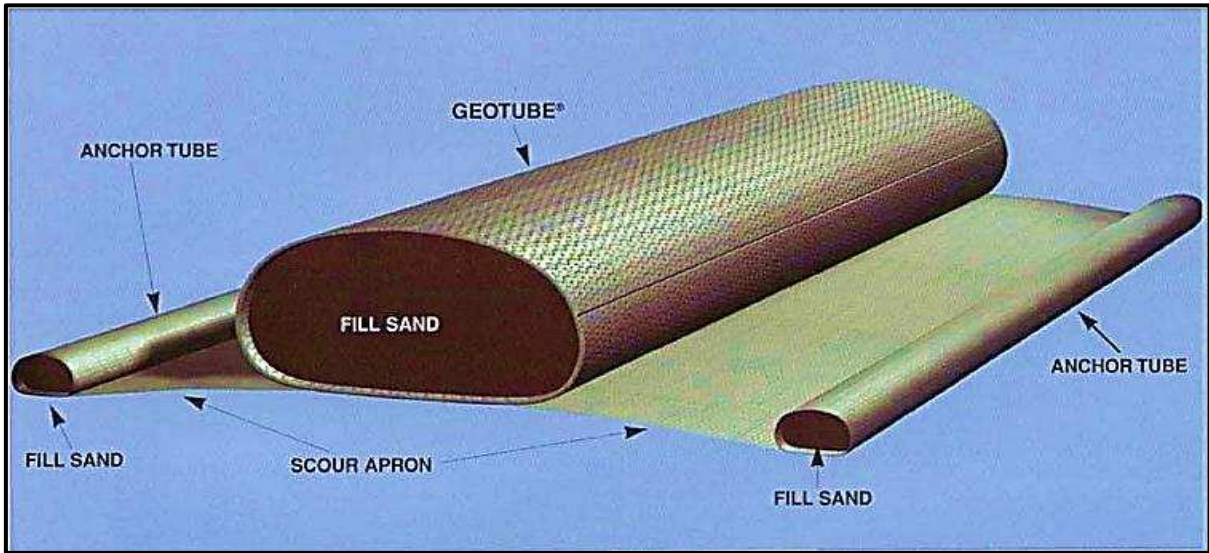


Figure IV. 3: Coupe type classique d'un tube posé sur un tapis anti-affouillement.

VI.3.2. Paramètres d'implantation de l'ouvrage

Les géotubes vont être implantés à - 3 m de profondeur ; en utilisant le tableau ci-dessous, on obtient les paramètres d'implantation 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

Ces paramètres sont :

H = 2,4 m, W = 5,1 m, D = 4 m, géosynthétique recommandé = PP 200 S

En utilisant ces caractéristiques et les données de houle au pied de l'ouvrage, on obtient géotubes ayant les caractéristiques suivantes :

- Une distance à la côte d'environ 120m ;
- Une longueur de 120 ml (chaque structure de 40 m de longueur);
- Une profondeur moyenne d'implantation de -3m de profondeur, qui correspond à une hauteur significative de la houle est 2,5m ;
- Une cote d'arase de -0,5m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur en crête de 20m;
- Une pente de 3/2 à l'extrémité.

VI.3.3. Vérification de stabilité du géotube

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

$$\frac{H_s}{\Delta \cdot b} < 1 \quad (19)$$

H_s : La hauteur significative des vagues incidentes,

b : la largeur du géotube

$$\text{Et } \Delta = (1 - n) \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \quad (20)$$

n : Porosité de sable.

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

γ_w : La masse volumique de l'eau.

$$\text{A.N: } \Delta = (1 - 0,15) \frac{1,65 - 1,028}{1,028} \quad \Delta = 0,51$$

$$\frac{2,5}{0,51 * 5,1} < 1$$

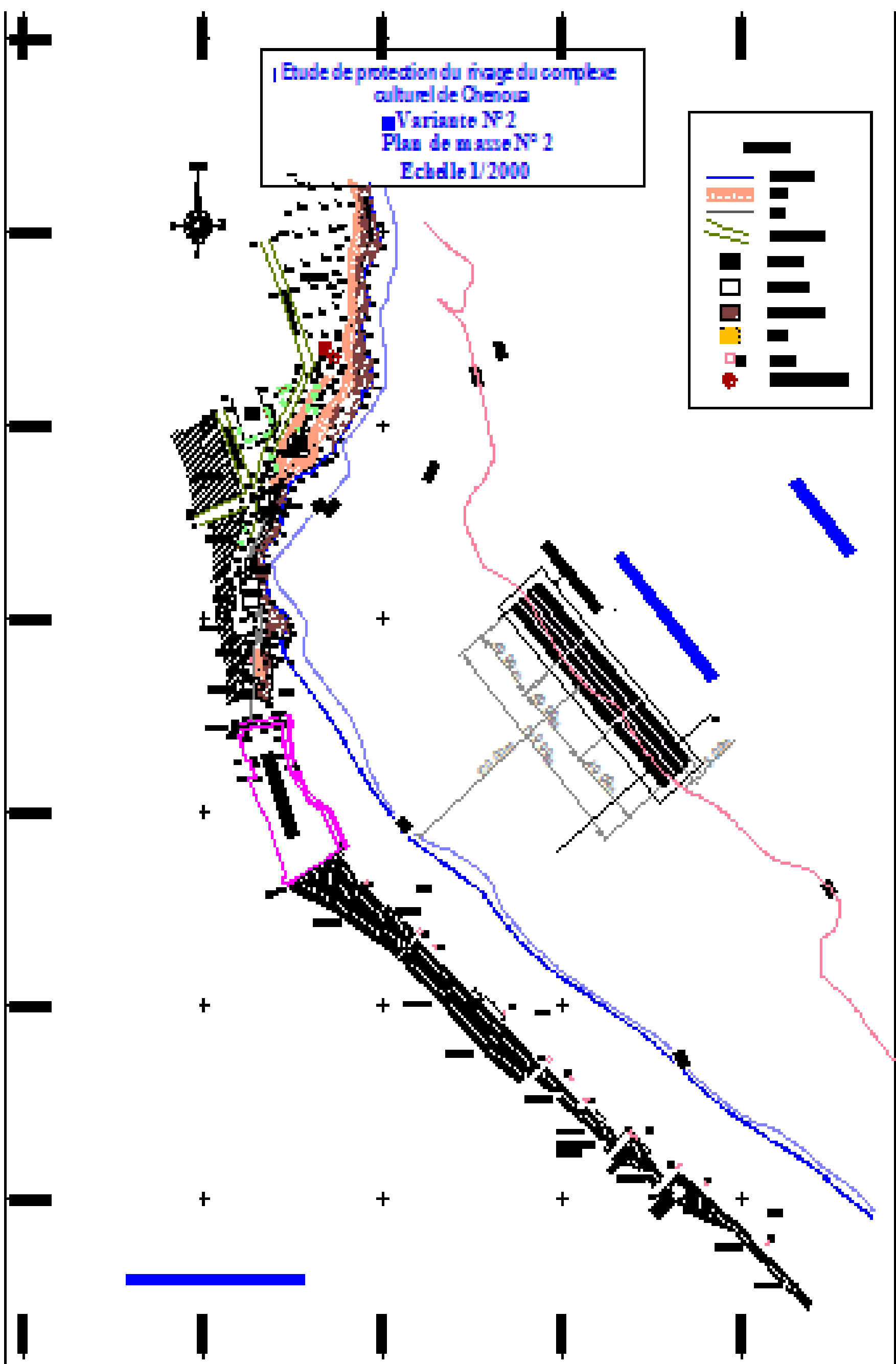
La condition est vérifiée.

VI.3.4. Avantages et inconvénients des structures en géotubes

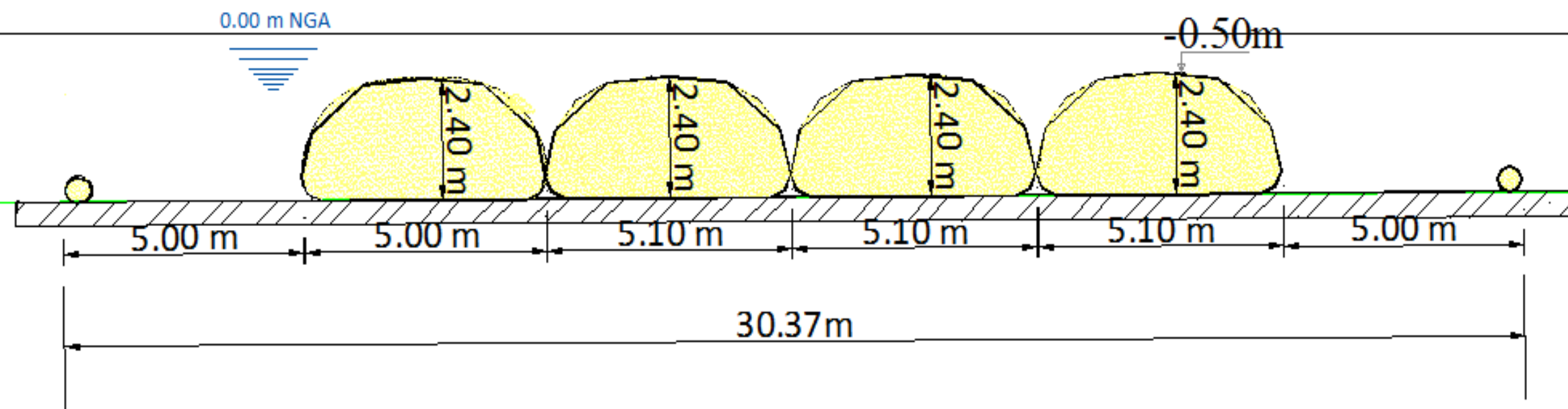
- **Avantages**

-L'avantage de cette solution est que la pose peut se faire très rapidement et entièrement par voie maritime, sans créer de gênes à terre, et sans moyens techniques trop lourds comme pourrait le nécessiter la pose d'enrochements. Le fait d'être immergé permet également d'offrir une solution non agressive visuellement, cette dernière pouvant en outre être facilement réversible.

Etude de protection du rivage du complexe
culturel de Chenoua
Variante N° 2
Plan de masse N° 2
Echelle 1/2000



Etude de protection du complexe culturel de Chenoua
Profil en traverse (P3) de la variante N°2 Brise-lame
en géotubes
BERKENNOU ET SALLAYE, 2012
Echelle : 1/100



- **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.

VI.4. Variante N°3 : Récifs artificiels (voir plan N°3)

VI.4.1. Définition

Les récifs artificiels sont des structures disposées et accrochées sur le fond. Les récifs sont constitués de sacs en géotextiles remplis de sable, de matériaux de carrière comme des blocs de pierre ou des blocs en béton, etc. Ils favorisent la réduction de l'énergie des vagues par la réflexion et la dissipation par déferlement.

VI.4.2. Paramètres d'implantation de l'ouvrage

Cette variante de protection a pour but de dissiper une partie de la houle provenant du secteur Nord-Est.

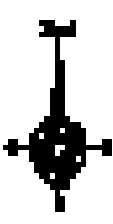
Ce récifs artificiels est de forme trapézoïdale de type enrochement naturel et est caractérisé par :

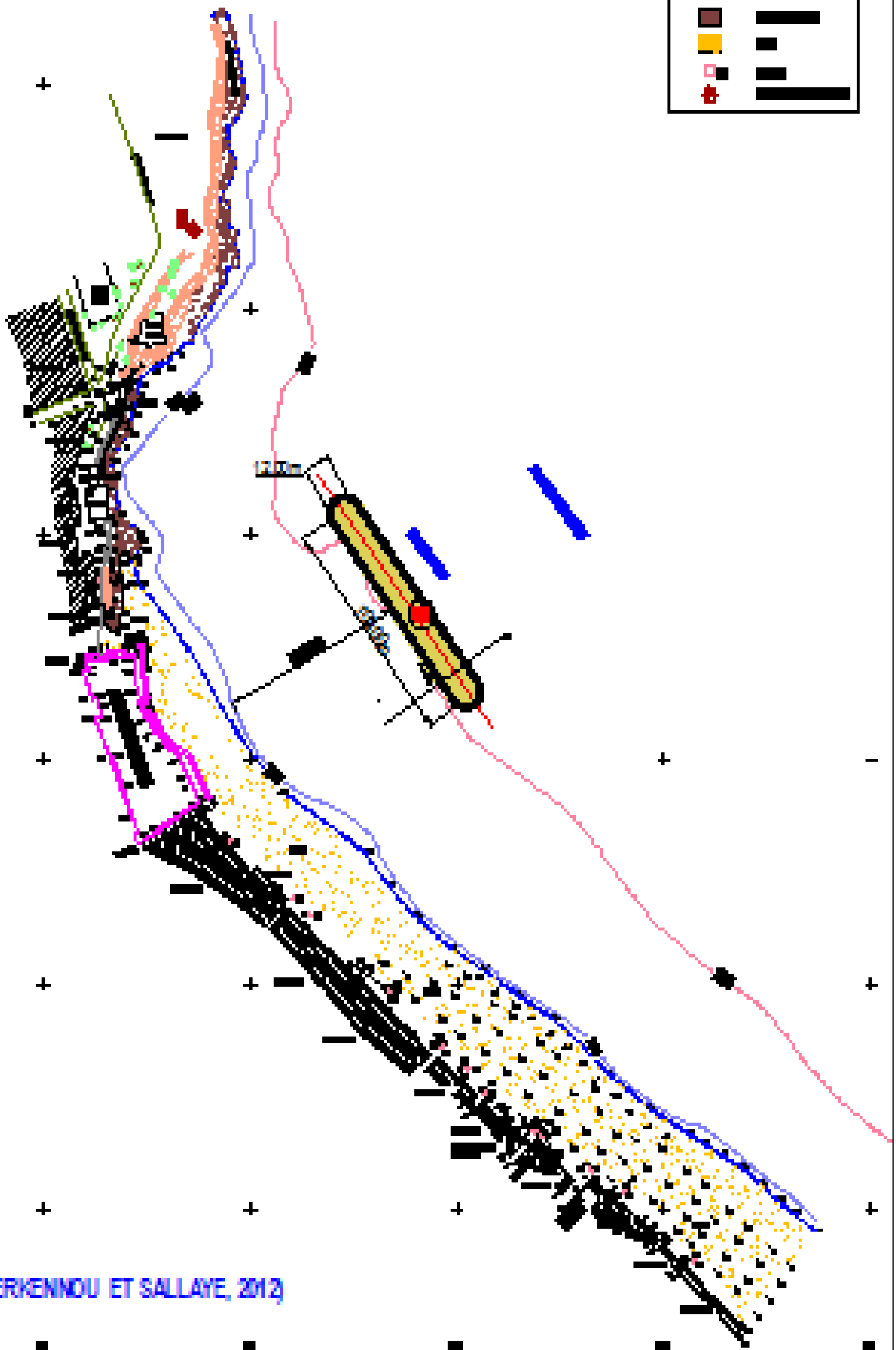
- Une distance à la côte d'environ 80m ;
- Une longueur de 100 ml ;
- Une profondeur moyenne d'implantation de -2m de profondeur, qui correspond à une hauteur significative de la houle est 1,7m.

VI.4.3 Paramètres de la structure de l'ouvrage

- Une cote d'arase de -0,5m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur en crête de 12m ;
- Une pente de 3/2 à l'extrémité ;
- Une seule catégorie d'enrochement (0,5- 1t) posée directement sur le fond.

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua
Variante N°3
Plan de masse N°3
Echelle 1/2000

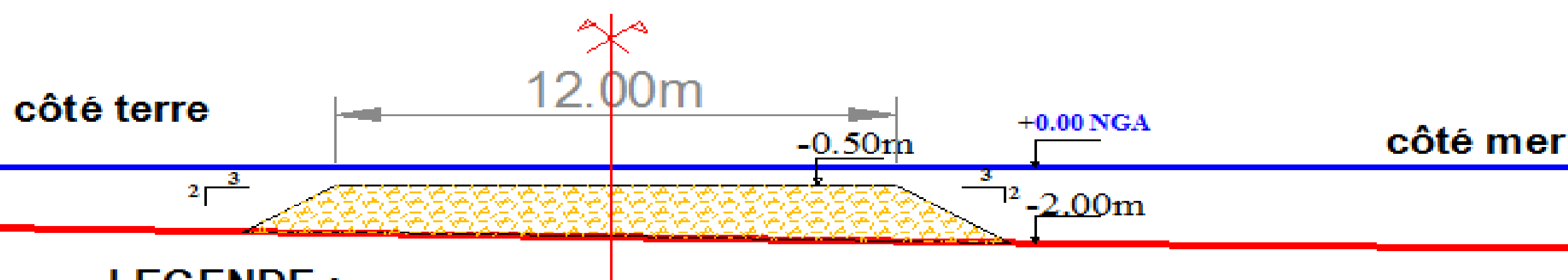




Réalisé par (BERKENNOU ET SALLAYE, 2012)

Protection du complexe culturel de Chenoua
Profil en travers (A1) de la variante N° 3 (Echelle 1/100)
BERKENNOU ET SALLAYE, 2012.

Axe d'implantation



LEGENDE :



Enrochement naturel (0.5-1)t

— Ligne d'eau
— Niveau du sol

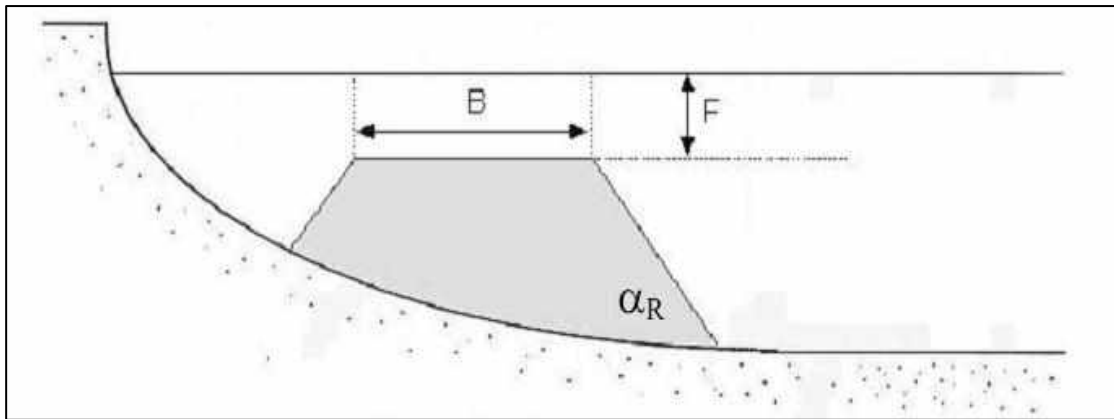


Figure IV. 4: Schéma d'illustration des paramètres utilisés pour le dimensionnement de récifs artificiels.

VI.5. Variante N° 4 : La technique Stabiplage (voir plan N°4)

La technologie Stabiplage utilisée pour lutter contre l'érosion marine est développée depuis 1997 par *la Société Espace Pur*. Cette technique s'appuie sur l'utilisation de structures conçues « sur mesure » et implantées suivant les caractéristiques physiques du site.

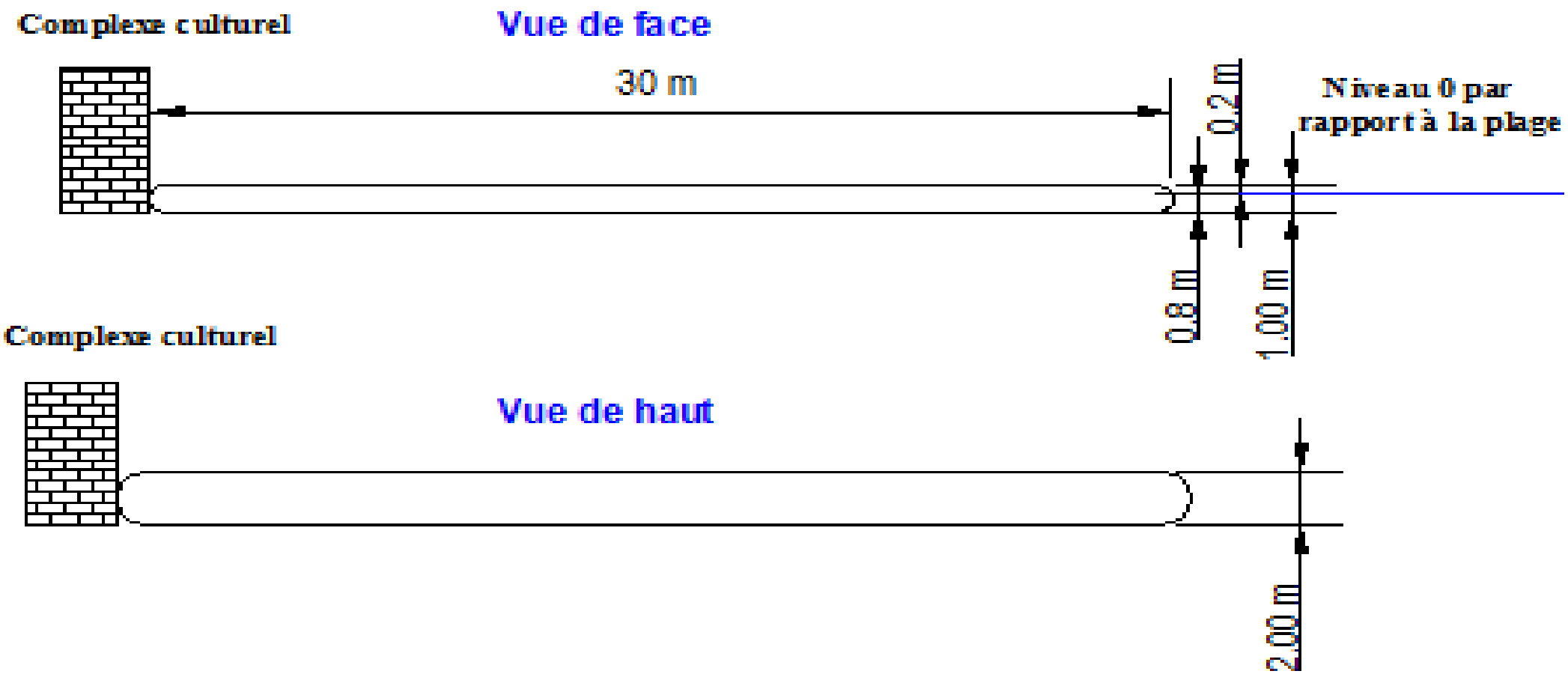
VI.5.1. Principe de Stabiplage

Le principe fondamental de la technologie repose donc sur le captage, l'accumulation et le maintien en place des sédiments, tout en favorisant l'intégration paysagère des ouvrages. Le Stabiplage est une structure multicouche conçue à partir de matériaux géocomposites (minimum 2 couches : un filtre perméable recouvert d'une carapace résistant à l'abrasion, aux UV, aux alcalins, micro-organismes, etc.). Il forme une enveloppe fermée mais perméable, qui une fois injectée de sédiments, constitue un corps monolithique de section elliptique diminuant ainsi les phénomènes réfléchissants.

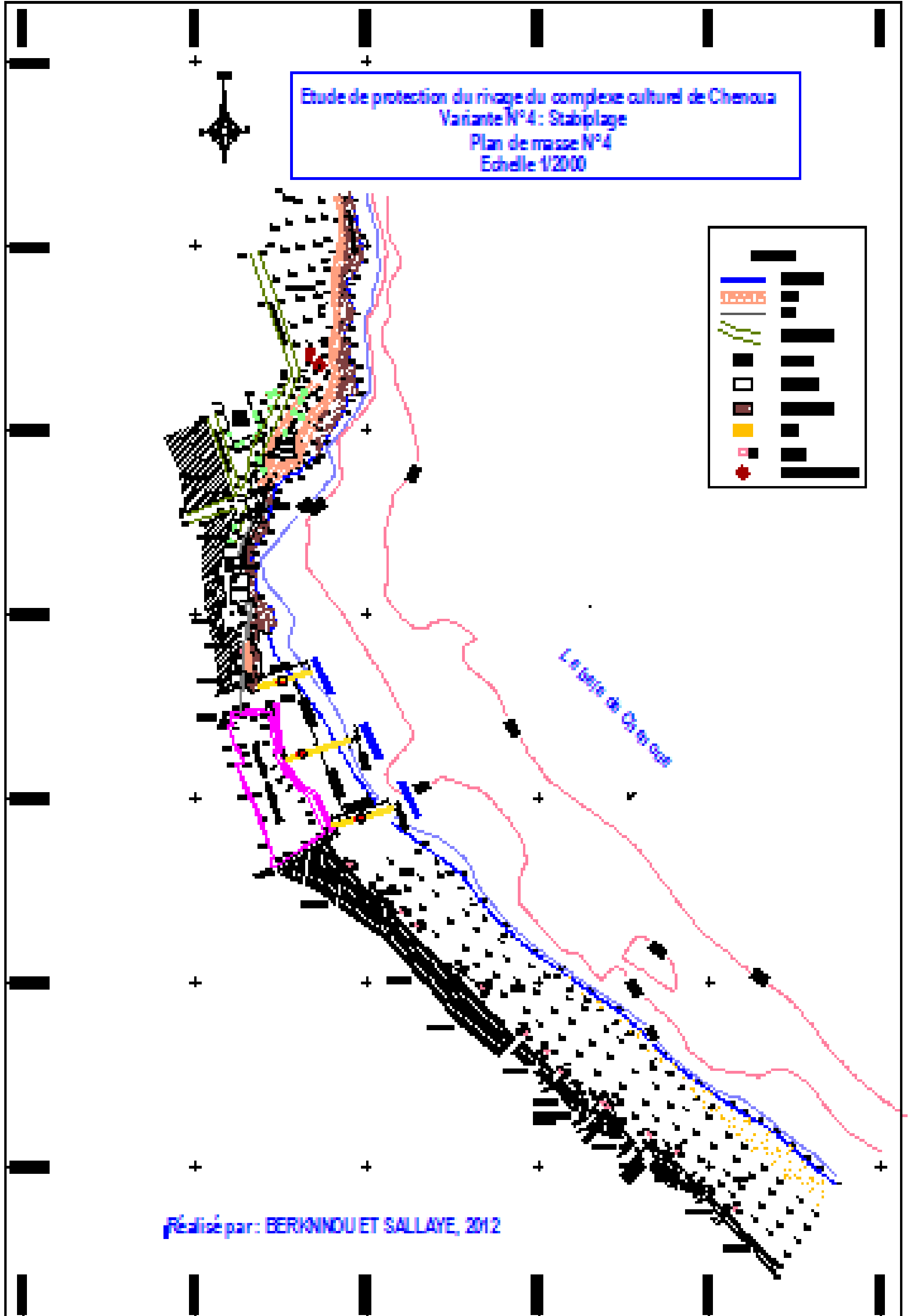


Figure IV. 5 : Vue aérienne des 5 Stabiplage transverses mis en place sur la plage des Sables Blancs (France).

Etude de protection du complexe culturel de Chenoua
Vue en détail de la variante N°4
BERKENNOU ET SALLAYE, 2012
Echelle : 1/200



NB : Les 3 géotubes sont les même caractéristique, mais leurs longueurs sont différentes



VI.5.2. Paramètres d'implantation de l'ouvrage

Elle consiste à reconstituer le profil de la plage au niveau du tronçon érodé par le recours au rechargement après mise en place de trois géotubes de longueur variant entre 30m et 37m implantés perpendiculairement sur la plage avec un espacement de 40m.

Ils seront ancrés à 0.8 m au-dessous du niveau de la plage.

Un rechargement en sable sera effectué pour permettre de reconstituer et renforcer le profil de la plage actuelle. Avec une épaisseur de la berme ($e = 0,7\text{m}$) et un volume de rechargement d'environ $2171,4 \text{ m}^3$.

La longueur des géotubes est adaptée à la largeur de la plage existante. L'espacement entre les géotubes est déterminé de manière à favoriser le maintien des matériaux de rechargement.

Les caractéristiques de cette variante sont les suivants :

- Une hauteur : 1m ;
- Une profondeur d'ancrage : 0,8 m ;
- Une largeur maximal : 2m ;
- Un filtre perméable en géotextile NT et d'une carapace polyester perméable résistante aux UV et à l'abrasion.

VI.5.3. Les avantages et les inconvénients de Stabiplage

- **Avantage**

La technique Stabiplage, en tant que procédé de lutte contre l'érosion marine, apparaît comme un très bon moyen alternatif aux méthodes lourdes (épis, enrochements, perrés maçonnés, etc.). Elle offre de bons résultats en matière de captage des sédiments, d'engraissement des plages, et de fixation du trait de côte.

- **Inconvénients**

Comme toutes les techniques d'ingénierie, elle perd de son efficacité en période de forte énergie.

VI.6. Estimation des coûts de construction

L'estimation des coûts de réalisation des variantes a été déterminée sur la base des prix unitaires pratiqués par les entreprises de travaux maritimes.

Les coûts de construction sont donnés comme suit (voir détail de devis quantitatif et estimatif en annexe 4).

-Variante 1 : **134809674 DA.**

-Variante 2 : **337083426 DA.**

-Variante 3 : **81328150 DA.**

-Variante 4 : **99474733 DA.**

VI.7. 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. 4: la comparaison des variantes.

Variante Critère	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 3
Réalisation (délai, difficultés, etc...)	C	C	B	B
Coût de réalisation	B	C	A	B
Entretien	A	A	B	B
Impact	B	B	B	A
Esthétique	A	A	B	A
Total	2A+2B+C	2A+B+2C	A+3B	2A+3B

➤ La réalisation

Le délai de réalisation de la variante 3 est plus court que lares variantes.

➤ Le coût de réalisation

Le coût de construction de la variante 2 est :

- 2,5 fois supérieures à celui de la variante 1.
- 4,14 fois supérieures à celui de la variante 3.
- 3,38 fois supérieures à celui de la variante 4.

➤ L'entretien

L'entretien de Stabiilage est moins fréquent relativement aux autres variantes.

➤ Impact

D'après les décret exécutif n° 07-145 du 2 Joumada El Oula 1428 correspondant au 19 Mai 2007 déterminant le champ d'application, le contenu et les modalités d'approbation des études

et des notices d'impact sur l'environnement, l'élément 19 de l'annexe I (liste des projets soumis à étude d'impact) : « projets de travaux et ouvrages de défense contre la mer d'une longueur de plus de cinq cents (500) m » l'aménagement de ce site n'induit aucun impact sur l'environnement de par son linéaire de côte à protéger inférieur à 500 ml.

➤ **L'esthétique**

Les variantes 1 et 4 s'intègrent mieux au site que les variantes 2 et 3.

VI.8. Conclusion

De cette analyse il ressort que, la variante N°4 qui comptabilise 2A et 3B est la variante la plus avantageuse.

Conclusion Générale

Le complexe culturel de Chenoua est implanté dans une zone géographique stratégique importante. Leur rivage a connu une érosion intense.

L'érosion est d'abord un phénomène naturel qui liée à 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'analyse des photographies aériennes de différentes dates (1959, 1996, 2011) a montré que le problème d'érosion se trouve avant construction de ce complexe, mais il s'était accéléré après l'installation de cet complexe par un recul du trait de côte varie entre 0,42 m/an et 0,52m/an.

L'origine de l'érosion dans notre zone d'étude est d'origine d'une part naturelle tel que les tempêtes, les variations du niveau de la mer à terme plus ou long, et d'autre part anthropiques essentiellement l'urbanisation trop proche de rivage et l'extraction du sable.

L'étude bathymétrique notamment la géomorphologie sous-marine indique que l'estran se prolonge en mer par une avant- plage en pente relativement douce et l'existence d'une fosse de lévigation suivie par une barre de déferlement disposée parallèlement à la côte, susceptible d'influencer l'évolution hydrodynamique et de ce fait l'effet érosif des vagues.

La modélisation numérique de la réfraction démontre que la houle de secteur Nord-Est est plus menaçante sur la zone, elle va être prise dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

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

Les teneurs en pélites sont comprises entre 0 et 13 % de la côte vers le large, ceci s'explique par l'hydrodynamisme de haute énergie.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins (125 μ m et 160 μ m).

Selon la classification de Folk, 1966, les sédiments sont bien classés, le tri est régulier par rapport à la médiane ($Sk = 1$) et les matériaux sédimentaires transportés en suspension gradée selon le diagramme de Passega.

Le transit littoral a été de 47718 m³/an., allant de l'Ouest vers l'Est, c'est ce explique l'érosion observé dans la plage de Chenoua. En effet, cette dérive est due à prédominance des vents de secteur Nord-Ouest, elle induit par conséquent des courants de retour assez puissant qui arrachant les sédiments de la plage et les déposent au large.

La modélisation du transport sédimentaire par le modèle GSTA « Grain Size Trand Analysis » dans la zone a donné des résultats satisfaisants, qui semblent concorder avec les résultats obtenus au cours de notre étude notamment dans l'estimation du transit littoral.

De ce fait, le choix et les caractéristiques du types des ouvrages de protection, qui vont proposés à l'abri de protection le Complexe culturel de Chenoua résultent d'une triple analyse :

1-Justifier l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens dommageables.

2-Connaitre l'évolution du milieu littoral, souvent influencé par des actions anthropiques.

3-Apprécier les contraintes économiques qui pondèrent la mise en place des dispositifs de protection par rapport au fonctionnement du milieu physique, surtout du point de vue environnemental.

Mais comme tout ouvrage côtier, l'ensemble de ces propositions présentent des avantages et des inconvénients qu'il faudrait évaluer plus précisément pour affiner les choix. Parmi les critères de choix qui devraient être pris en considération, de manière forte, il y a la protection durable de la nature et le coût des ouvrages.

Après analyse de toutes les propositions exposées dans notre mémoire, il faut souligner qu'une bonne gestion et un contrôle soutenu de tous les facteurs et les phénomènes agissent sur l'environnement de ce site, permettrait d'avoir une action préventive efficace en termes de protection de l'environnement et du littoral.

Bibliographie

- Al Sid Chikh. S, 2011.** Etude de protection de la plage de Palm Beach-Azur contre l'érosion recours à la modélisation numérique et physique. *Thèse Magister, ENSSMAL p10, 161.*
- Amari. S et Guessab. R, 2005.** Travaux de protection du complexe touristique de Zéralda contre l'érosion côtière. *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL, p17, 29.*
- Boudouma. Z, 2012.** Cours Génie côtiers, 5^{ème}année Aménagement du littoral, *ENSSMAL.*
- Braik, 1989.** Etude de la dynamique sédimentaire devant Bou Ismail: sédimentologie, morphologie, problème d'érosion du littoral, aménagement. *Thèse de Magistère, Institut Sciences de la terre. USTHB., Alger, p 38,143.*
- Caminade. D, 1995.** Ouvrages de protection contre la houle. Technique de l'ingénieur, traité de construction <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction/th3/genie-civil-ti254/ouvrages-de-protection-contre-la-houle-c4631/>, 28p.
- Carter. R, 1988.** Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines. *Ed Cambridge: Academic Press, 616p.*
- Chamley. H, 2000.** Bases de sédimentologie. 2^{ème} Ed *DUNOD, Paris, 178 p.*
- Chapon. J, 1978.** Travaux maritimes. Tome I. Le milieu marin - le navire, La navigation -les côtes, les ouvrages extérieurs des ports maritimes. Cours de l'école nationale des ponts & Chaussées. *Ed Eyrolles, Paris, 309p.*
- Cincin-Saint. B et Knecht. R.W, 1998.** Intégréd coastal and ocean management concept.
- Djemaa. F, 1997.** Etude morphosédimentaire et perspectives d'aménagement de la plage Ouest de Mazafran (Colonel Abbas). *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL, p 45.*
- Dossier technique.** La houle comment s'en protéger. *Ed département du maritime. Chapitre 3, p5.*
- Gao. S, Collins. M. B. 1994** - Analysis of grain-size trends for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research, p10, 70-78.*
- Gourmelon. F et Robin .M ; 2005.** SIG et littoral. *Ed Lavoisier, Paris, 328 p.*
- Guilcher. A, 1974.** Précis de l'hydrologie marine et continentale. *Ed Masson, Paris. 334p.*
- Hamdane. Y, 2010.** Cours Génie côtiers, 5^{ème}année Aménagement du littoral, *ENSSMAL.*
- Jarry. N, 2009.** Etudes expérimentales et numériques de la propagation des vagues au-dessus de bathymétries complexes en milieu côtier. *Thèse de doctorat, L'UNIVERSITÉ DU SUD TOULON-VAR, p 256-257.*
- Koffler. A et Zengerink. E, 2009.** Un atténuateur de houles en tube géosynthétique pour limiter l'érosion de la plage de la capte à hyères. *Rencontres Géosynthétiques, Paris, 301p.*
- Leclerc. A, 2010.** Ouvrages de protection du littoral: effets sur la morphologie des plages et sur les communautés benthiques intertidales, région de saint-siméon et de bon aventure, baie des chaleurs (Québec, canada). *Thèse magistère, UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI, p1-7.*

Bibliographie

- LEM, 1991.** Etude de protection de rivage de la Wilaya de Tipaza (Chenoua plage). *Alger, APS.*
- LEM, 2003.** Etude de l'état de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral algérien. *2^{ème} tranche, Wilaya de Tipaza, Mission 2.*
- Millot. C, 1989.** La circulation générale en Méditerranée occidentale. Aperçus de nos connaissances et projet d'études. *Annales de géographie.n° 549, XCII, p498-515.*
- Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2010.** La gestion du trait de côte. *Ed Quae, 290p.*
- Miossec. A, 1998.** Les littoraux entre nature et aménagement. Ed SEDES, Paris, 191p.
- Paskoff. R, 1993.** Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. *2^{ème} Ed Masson, Paris ,256p.*
- Régnauld. H, 1999.** Les littoraux. *Ed ARMAND COLIN, 95p.*
- Riviere. A, 1977.** Méthodes granulométrique : Techniques et applications. Ed Masson, Paris, 170p.
- SSMO, 1970.** Summary of Synoptic Meteorological Observations. *U.S Naval Weather Service Command. Mediterranean marine, Volume 2, October 1970, 632p.*
- Stone. W. et Orford. J, 2004.** Stonns and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics. *Ed Marine Geology, 210p.*
- Vatan. A, 1978.** Manuel de sédimentologie. *Ed Technip, France, 397p.*

Les listes

Liste des acronymes

A.F.N.O.R :	Association Française de Normalisation.
A.N.R.H :	Agence National des Ressources Hydrauliques.
B :	Berne.
C.E.R.C :	Coastal Engineering Research Center.
D_{CR} :	Distance critique.
GIZC :	Gestion Intégrée de la Zone Côtière.
G.P.S :	Global positioning system.
G.S.T.A :	Green Size Trend Analysis.
Hi :	Hauteur incidente.
Hs :	Hauteur significative.
Ht :	Hauteur transmise.
Kd :	Coefficient du dommage.
Kt	Coefficient de transmission.
L.C.H.F :	Laboratoire Central Hydraulique de France.
LEM:	Laboratoire d'Etude Maritime.
NGA :	Nivèlement Général Algérienne.
O.N.M :	Office National de Météorologie.
R.T.K :	Real Time Kinematic.
S₀:	Sorting de trask.
S_k:	Skewness de Traskl.
S.S.M.O:	Summary of Synoptic Météorological Observations.
S.W.A.N :	Simulating Waves Nearshore.
T.G.O :	Trimble Géomatic Office
T.V.C :	Tout Venant de Carrière.
γ_s:	La masse volumique des blocs.
γ_w:	La masse volumique de l'eau de mer.

Liste des figures

Figure I. 1 : Situation géographique du complexe culturel de Chenoua (Google Earth, 2011)..	2
Figure I. 2 : Carte géologique détaillée de la région de Chenoua, tirée et modifiée à partir de la carte géologique de Tipaza, l'échelle 1/50000, (A.N.R.H, 1904).	4
Figure I. 3 : Moyennes mensuelles des précipitations de 1980 à 2009 dans la région de Chenoua (A.N.R.H, 2012).	5
Figure I. 4 : les précipitations annuelles dans la région de Chenoua (de 1980 à 2009)	6
Figure I. 5: Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).	7
Figure I. 6: Les réseaux hydrographiques de la baie de Bousmail	9
Figure I. 7: Fréquence annuelle d'observation de la houle par direction au large	10
Figure I. 8: l'évolution de trait de côte entre 1959 et 2011.	13
Figure I. 9: Illustration du principe de Brunn.	16
Figure II. 1 : Organigramme du déroulement des étapes de calcul de la réfraction.	19
Figure II. 2: Carte de positionnement des points de prélèvement.	21
Figure II. 3 : Méthodologie suivie pour l'analyse granulométrique	22
Figure III. 1: Carte bathymétrique de la plage de Chenoua, 2010.	28
Figure III. 2: Vue en relief de la barre prés-littoral de la plage de Chenoua, 2010.	29
Figure III. 3 : carte bathymétrique interpolée et localisation des profils transversaux	29
Figure III. 4: Profil sous-marin n° 01.	30
Figure III. 5: Réfraction de la houle de direction N 45° pour une période 11,8s, Vue d'ensemble (Berkennou et Sallaye, 2012).	31
Figure III. 6 : Réfraction de la houle de direction N 45° pour une période 11,8s, Vue détail	32
Figure III. 7 : Histogramme unimodale	33
Figure III. 8 : Courbe unimodale.	33
Figure III. 9: Histogramme bimodale.	34
Figure III. 10: Courbe Bimodale.	34
Figure III. 11 : Histogramme plurimodale.	34
Figure III. 12: Courbe plurimodale.	34
Figure III. 13 : La Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la plage de Chenoua.	35
Figure III. 14: La Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la plage de Chenoua.	36
Figure III. 15: La répartition des médianes (Q50) dans la plage de Chenoua.	37
Figure III. 16: La répartition des déciles supérieurs (D90) dans la plage de Chenoua.	39
Figure III. 17 : Variation de l'indice de classement et la médiane.	39
Figure III. 18 : Variation du coefficient d'asymétrie et la médiane.	40
Figure III. 19 : Histogramme d'apparition des modes les plus représentatifs des sédiments superficiels.	41
Figure III. 20: La répartition du mode 125µm dans la plage de Chenoua.	41
Figure III. 21: La répartition du mode 160µm dans la plage de Chenoua.	42
Figure III. 22: la Répartition des fractions fines dans la plage de Chenoua.	43
Figure III. 23 : Le diagramme de PASSEGA.	43
Figure III. 24: Modélisation du transport sédimentaire par le model « GSTA ».	44
Figure III. 25: Schéma probable de la dynamique sédimentaire dans la baie de Chenoua.	45
Figure IV. 1: Schématisation de l'action des Brise-lames (Caminades, 1995 modifiée).	47
Figure IV. 2: Schématisation d'un profil de brise-lames immergés.	48
Figure IV. 3: Coupe type classique d'un tube posé sur un tapis anti-affouillement.	52

Liste des figures

Figure IV. 4: Schéma d'illustration des paramètres utilisés pour le dimensionnement de récifs artificiels	55
Figure IV. 5 : Vue aérienne des 5 Stabiplate transverse mis en place sur la plage des Sables Blancs (France).....	55

Liste des photos

Photo I. 1: Pollution domestique.	14
Photo I. 2 : l'état de l'avancement de la mer.	14
Photo I. 4: Les macros déchés.	14
Photo I. 3: Construction d'habitations sur le rivage de Chenoua.	14

Tableau I. 1: Fréquences d'apparitions des vents par intensité et par direction.....	6
Tableau I. 2: Température mensuelle moyenne de la baie de Chenoua pour la période	8
Tableau I. 3: Relation période amplitude de la houle au large (S.S.M.O, 1963-1970).	11
Tableau I. 4: Les probabilités d'apparition Pn associées aux périodes de retour.....	12
Tableau I. 5: Valeur significatives des amplitudes en mètres (S.S.M.O, 1963-1970).	12
Tableau II. 1: Caractéristiques des houles retenues au large.....	20
Tableau III. 1: Résultat de calcul du transit sédimentaire ($Q=m^3/an$).	46
Tableau IV. 1: Largeur de la berme.....	49
Tableau IV. 2: Résultats de prédimensionnement de brise-lames immergés.....	51
Tableau IV. 3: Caractéristiques géosynthétique en fonction de leurs paramètres. (Source LEM, 2012).....	52
Tableau IV. 4: la comparaison des variantes.....	57

Annexes

Annexe 1

Les données climatiques

Station : PONT CW 7 HADJOUT

X : 475.85 m Y : 358.85 m Z : 59 m

Précipitations : précipitations mensuelles et annuelles exprimées en millimètre (mm).

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
1980	4,4	19,4	45,8	268,1	27,9	126,2	78,9	60,9	24,8	0	0	1,2	657,6
1981	5,3	54	16,1	70,2	132,7	95,2	34,9	27,5	90,5	0	0	1,2	527,6
1982	47,9	76,1	228	76,3	0	54,9	32,5	0	0	0	1,2	0	516,5
1983	0	3,6	30,8	96,9	159,6	114,7	53,6	33,7	60,6	19,8	0	0	573,3
1984	16,9	266,2	50,5	139,2	105,1	40,6	153,7	18,1	96,9	0	0	0	887,2
1985	7,9	30,8	91,7	38,8	38,2	50,6	123,5	15,9	1,2	26,4	5,8	0	430,8
1986	53,4	150,6	106	226,7	87,7	149,4	19,3	0	1,6	6,7	13,5	0	814,9
1987	51,8	5	77	57,6	29,2	18,8	39,5	0	0	34,4	0	0	313,3
1988	74,6	46,4	42,4	113,5	23,5	10,7	73,4	71,6	12,6	7,9	0	0	476,6
1989	17	6,2	24,9	22,6	68,9	0	67,3	27,7	45,1	0	0	0	279,7
1990	7,6	31,5	47,7	82,6	77,2	48,1	63,3	9,3	20,5	6,4	0	0	394,2
1991	5,8	125,6	10,8	3,8	154,1	19,9	64	51,5	47,6	7,9	0,9	0	491,9
1992	0	0	31,5	95,9	15,1	91,1	13,9	61,9	6,3	0	0	0	315,7
1993	0	0	54,9	31	107,2	24,6	0	73,9	0	0	0	0	291,6
1994	69,3	27,7	44,5	42,2	98,4	55,5	82,8	16,8	0	4,1	0	0	441,3
1995	0	69	0,9	0	1,1	0	58,6	197	0	0	2,3	0	329
1996	11,6	79,8	10,7	22,3	26,4	18,7	1,3	83,7	9,5	0	0	0	264
1997	26,2	51,2	76,3	41,6	6,5	32,2	62,7	90,3	96,7	0	0	0	483,7
1998	6,2	20,8	88,4	50,2	0	135,9	92,2	7,2	0	0	0	0	400,9
1999	0	0	73,9	0	12,5	0	10,7	11,5	21,4	0	0	0	130
2000	2,3	41,9	59,8	24,5	105,4	23,1	0	62,1	10,7	0	0	0	329,8
2001	12,5	10,2	45,9	36,6	21,3	15,7	12,5	10,4	19,4	0	0	0	184,5
2002	3,2	12,7	46,1	22,8	159,3	121,8	6,2	46,5	5,3	0	0	0	423,9
2003	19,6	21,1		50,5	73,8	24,8	28,1	73,7	66,6	0	0	0	358,2
2004	9,4	12,3	77,4	101,2	87,8	101,9	90,9	10,4	0	0		0	491,3
2005	0	34,1	57,6	97,6	89,9	36,7	0	0	0	0	0	0	315,9
2006	0	0	0	153,3	3,1	42,4	73,3	59,5	2,1	0	0	0	333,7
2007	41,8	77,8	148	71,4	17,6	11,5	42,5	0	0	0	0	0	410,8
2008	29,8	62	96,2	79,7	79,8	10,7	73,7	62,9	31,7	0	0	0	526,5

Annexe 1

Station : ALGER DAR-EL-BEIDA

Altitude : 25 m - **Latitude :** 36°41 N - **Longitude :** 03°13 E

Températures : Températures maximales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dec	Annuel
1995	16.2	19.3	18.7	20.9	26.0	27.2	31.3	31.9	28.2	26.9	23.2	19.7	24.2
1996	19.1	15.6	18.9	20.4	23.3	26.7	30.8	31.1	27.2	23.1	21.2	19.2	23.1
1997	18.2	18.8	19.7	22.1	25.0	29.1	28.9	31.5	29.8	26.9	21.0	18.4	24.2
1998	17.9	18.8	19.7	21.5	23.0	27.9	31.5	32.0	30.5	24.7	20.4	17.1	23.8
1999	16.9	15.4	19.4	22.5	26.6	29.0	32.1	33.3	30.3	28.0	18.8	16.9	24.2
2000	16.2	19.1	20.3	23.0	25.8	28.4	32.2	33.9	29.4	24.9	21.7	19.9	24.6
2001	18.8	17.8	24.1	22.8	24.7	32.1	32.3	33.2	29.7	28.9	19.4	16.5	25.1
2002	17.8	18.6	21.3	22.1	26.6	29.7	30.6	30.8	29.7	26.8	21.6	19.4	24.6
2003	15.5	15.7	20.1	21.6	24.6	32.2	34.0	34.8	29.9	25.7	21.6	17.0	24.5
2004	17.4	18.4	18.4	21.3	21.9	28.9	31.1	33.7	31.7	29.3	19.8	17.5	24.1

Températures : Températures minimales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Janv	Fevr	Mars	Avri	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Octo	Nove	Dece	Annuel
1995	5.6	6.4	6.4	6.3	12.7	16.8	18.8	19.9	16.2	14.0	10.9	9.6	12.0
1996	9.5	7.0	7.8	9.9	11.4	15.3	18.2	20.2	15.9	11.2	9.5	8.0	12.0
1997	8.5	5.2	4.0	8.9	14.4	16.8	18.8	20.0	18.8	15.5	11.5	8.1	12.6
1998	6.2	6.0	5.8	9.2	12.7	15.4	18.1	19.4	18.8	11.2	9.6	5.3	11.5
1999	6.4	4.8	8.3	7.9	14.2	17.6	18.8	22.4	18.9	16.9	9.2	7.3	12.8
2000	2.1	4.1	6.8	9.9	14.9	16.2	19.6	19.3	17.4	12.9	10.1	7.4	11.7
2001	5.7	4.2	9.2	7.3	11.5	15.5	18.4	20.2	17.6	16.1	9.2	3.7	11.6
2002	4.7	3.5	6.9	8.4	10.9	16.1	18.6	19.5	16.5	13.2	10.5	8.5	11.5
2003	6.3	5.1	7.2	9.6	12.3	18.5	21.6	22.2	18.4	15.7	10.9	6.9	12.9
2004	5.7	6.6	7.9	8.4	11.0	15.5	18.4	20.9	17.9	15.3	7.7	7.6	11.9

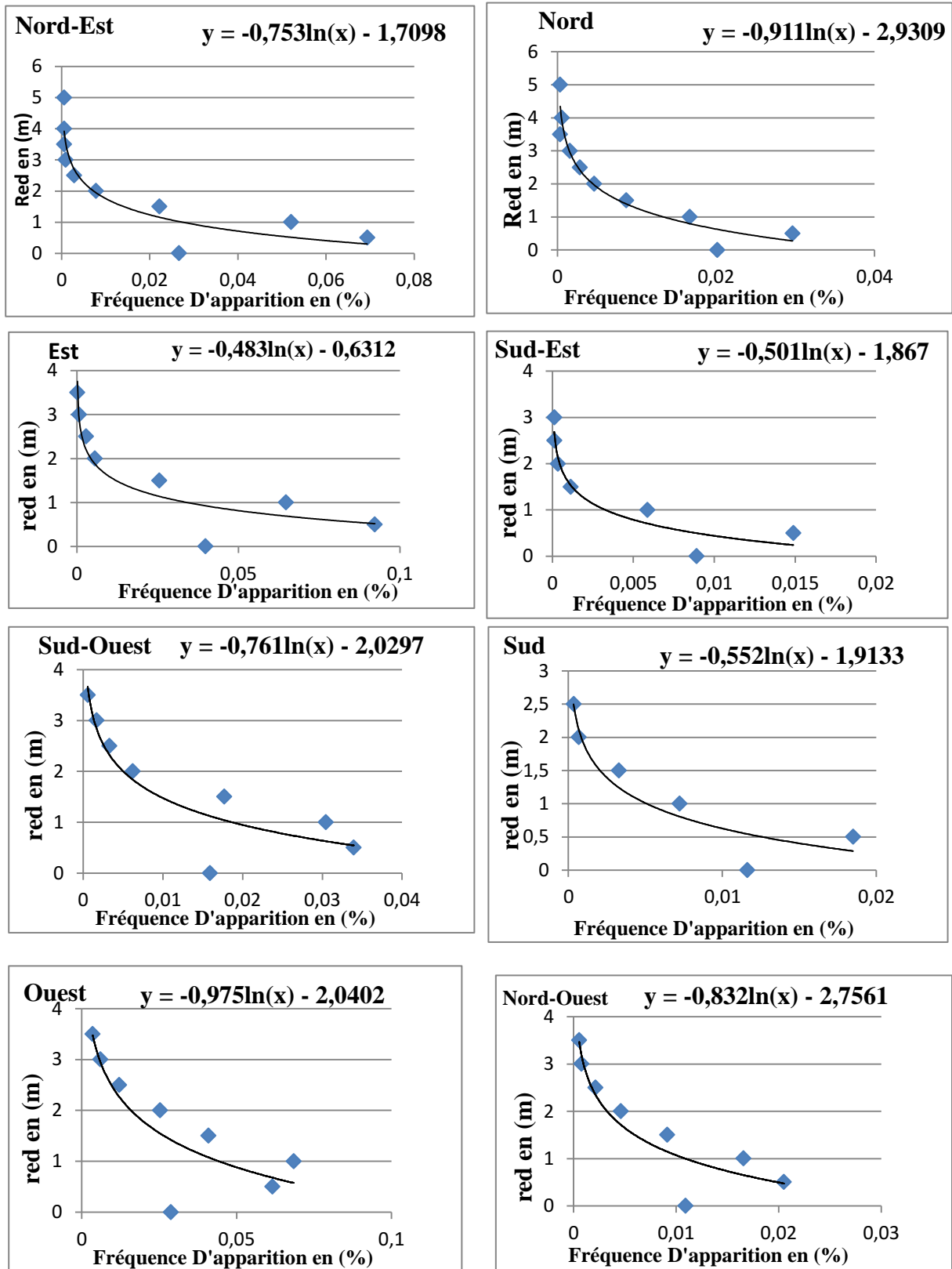
Annexe 1

Statistique de la houle au large

Nombre de cas par direction

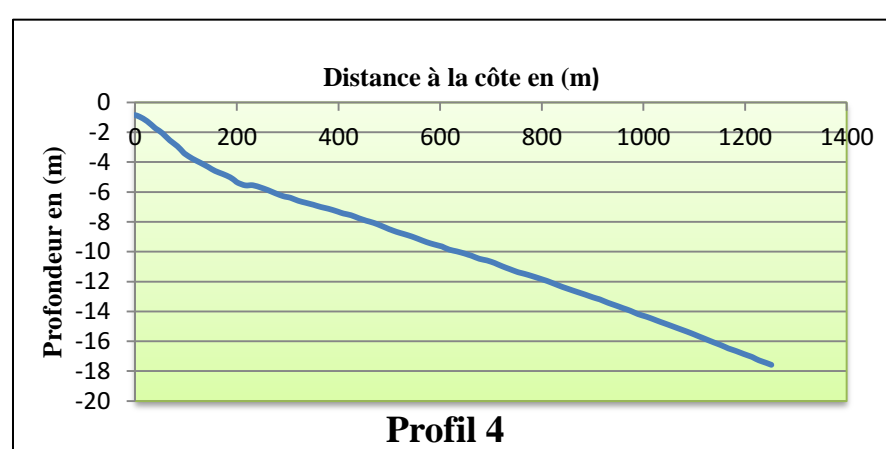
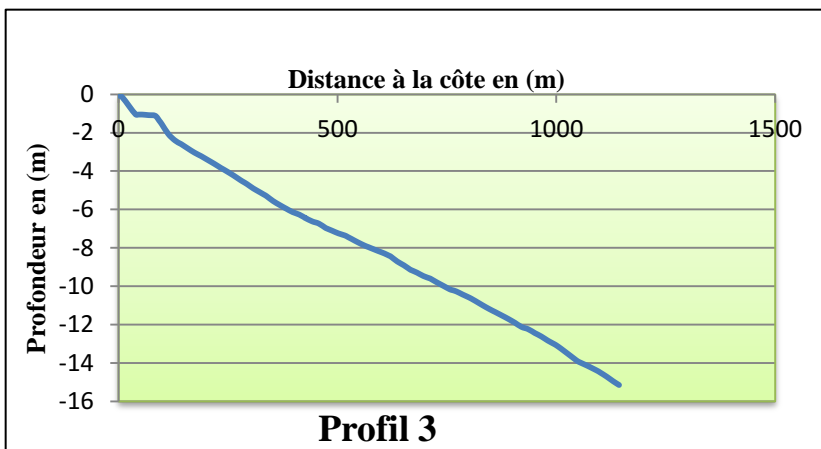
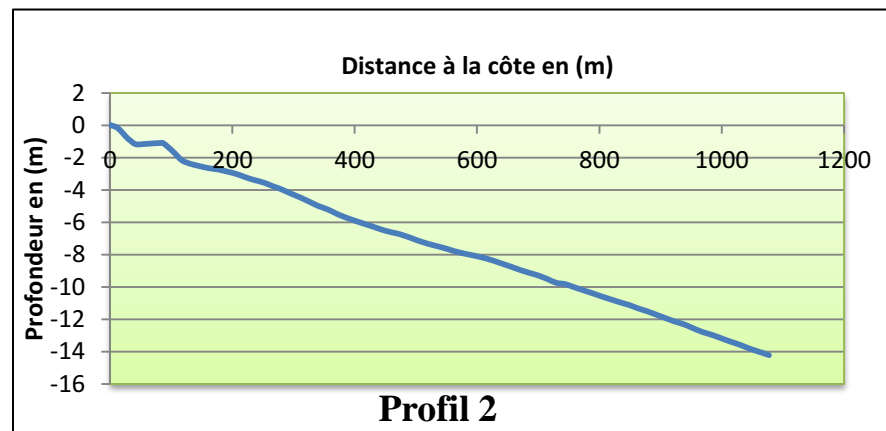
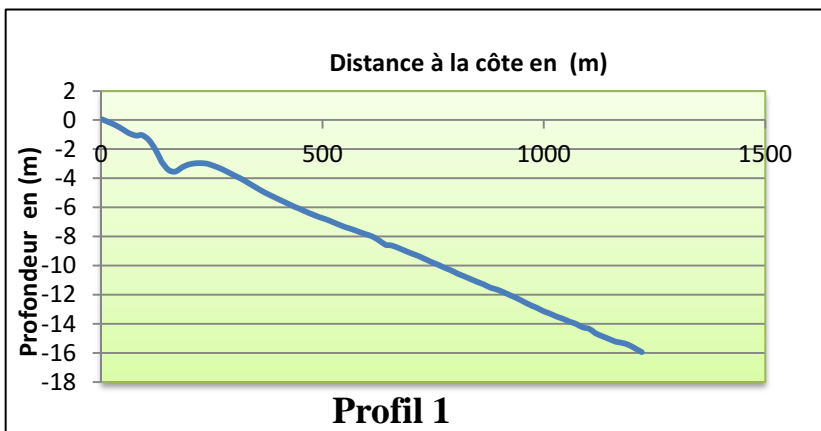
Période(s)	Amplitude au large		Direction de la houle									Nombre de cas total
	Foot	Mètre	Red (m)	Nord	Nord-Est	Est	Sud-Est	Sud	Sud-Ouest	Ouest	Nord-Ouest	
6	< 1	< 0,305	0	179	236	353	79	103	141	255	97	1443
	1-2	< 0,457	0,5	263	615	818	132	164	301	546	182	3021
	3-4	< 1,067	1	148	462	574	52	64	270	607	147	2324
	5-6	< 1,676	1,5	77	197	226	10	29	157	363	81	1140
	7	< 2,134	2	41	69	49	3	6	55	224	41	488
8	8-9	< 2,591	2,5	25	25	25	1	3	29	107	19	234
	10-11	< 3,2	3	14	8	6	1	0	15	53	7	104
	12	< 3,658	3,5	3	5	1	0	0	5	31	5	50
	13-16	< 4,42	4	5	5	0	0	0	3	24	3	40
10	17-19	< 5,486	5	3	5	0	0	0	2	5	0	15
	20-22	< 6,4	6	0	0	1	0	0	0	6	0	7
	23-25	< 7,315	7	0	0	0	0	0	0	3	0	3
	26-32	< 8,839	8	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	33-40	< 11,125	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	41-48	< 13,564	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	49-60	< 16,612	13,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
61-70												
Total				579	1391	1700	199	266	837	1970	485	8870
Pourcentage(%)				8,5457	18,343	23,15	3,13416	4,16	11,02593	25,0846	6,56144307	100

Les courbes de régression statistique de la houle au large

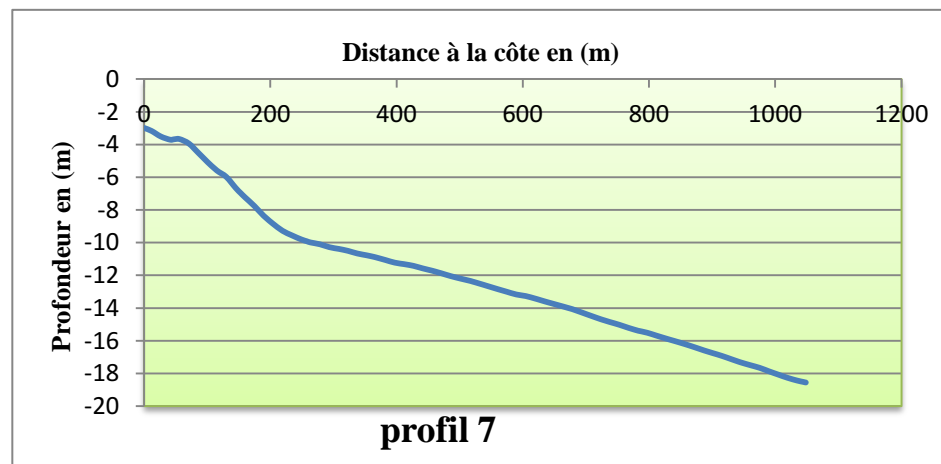
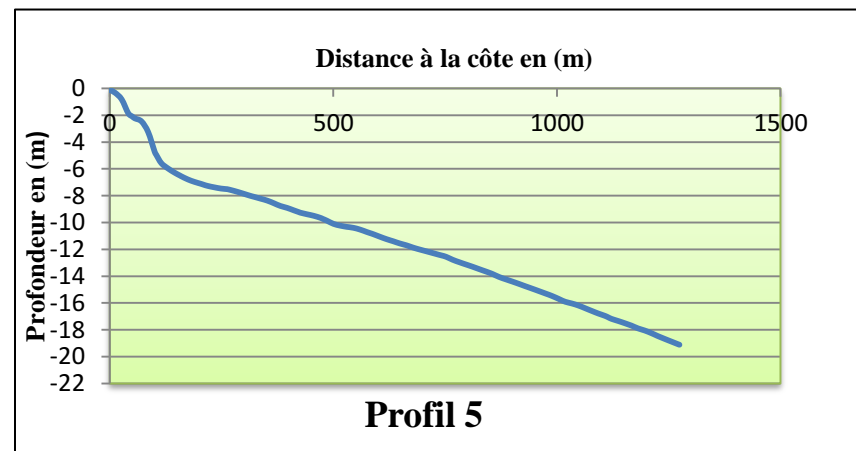
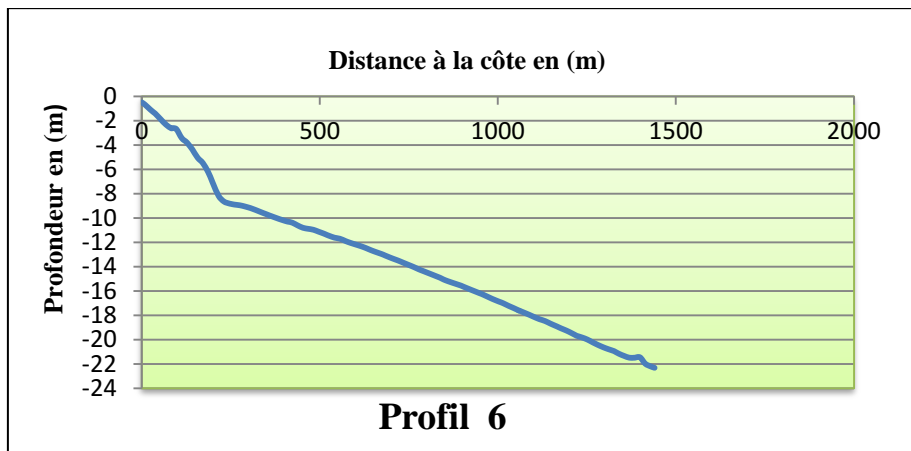


Annexe 2

Les profils bathymétriques



Annexe 2



Annexe 2

Coordonnées géographiques des stations de prélèvements et nature des matériaux. Chenoua
plage, 2010.

N° St	Cordonnées métriques		Nature des matériaux
	X	Y	
St 01	447093	4051431	ROCHEUX
St 02	447057	4051262	SABLEUX
St 03	447117	4051183	
St 04	447195	4051118	
St 05	447171	4051502	
St 06	447213	4051405	
St 07	447286	4051336	
St 08	447360	4051269	
St 09	447315	4051633	
St 10	447392	4051569	
St 11	447466	4051499	
St 12	447546	4051438	
St 13	447494	4051796	
St 14	447570	4051731	
St 15	447643	4051663	
St 16	447729	4051605	
St 17	447673	4051960	
St 18	447748	4051893	
St 19	447827	4051830	
St 20	447912	4051772	

Annexe 2

Les tableaux suivants donnent les caractéristiques de la houle aux points considérés

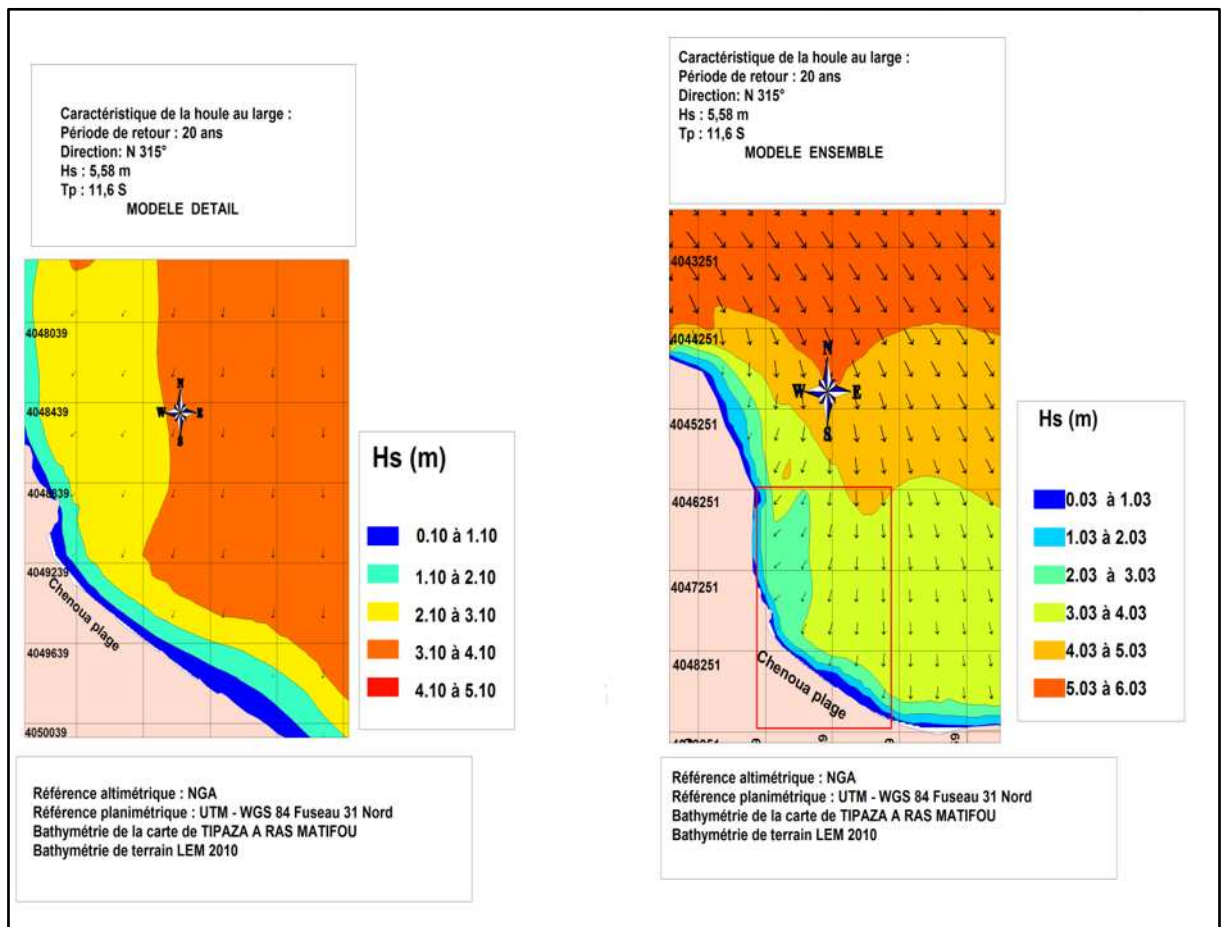
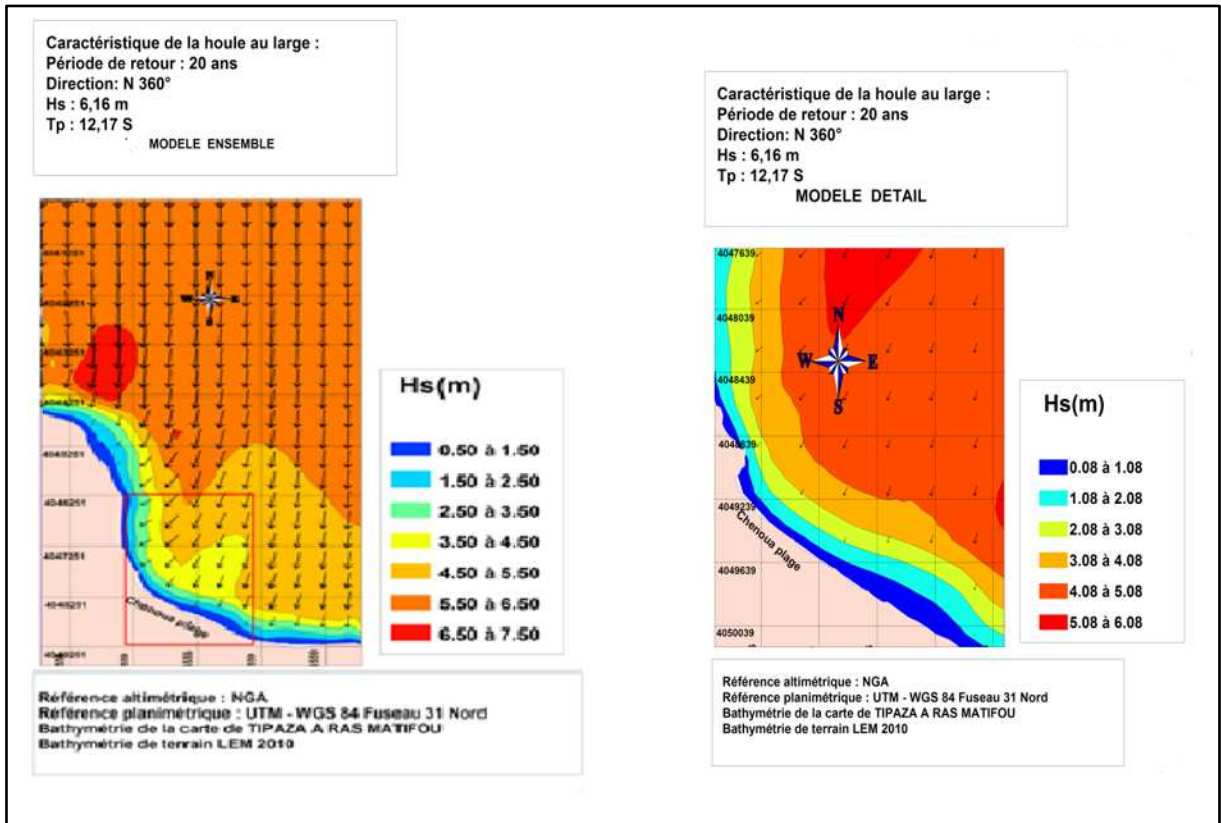
Caractéristiques de la houle au large Dir45: °N Tp =11,8s H=5,79 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof . (m)
1	447163	4051438	1,94343	11,39	0,34	52	-2,1
2	447176	4051389	1,88112	11,39	0,32	52	-2,2
3	447193	4051328	1,81041	11,39	0,31	49	-2,2
4	447208	4051272	1,71312	11,39	0,30	48	-2,1
5	447233	4051227	1,66554	11,39	0,29	47	-2,0
6	447274	4051186	1,66733	11,39	0,29	45	-2,0
7	447283	4051251	2,13692	11,39	0,37	46	-3,0
8	447249	4051333	2,335	11,39	0,40	47	-3,3
9	447215	4051409	2,38487	11,39	0,41	49	-3,2
10	447191	4051467	2,39835	11,39	0,41	52	-3,1
11	447251	4051496	3,0713	11,39	0,53	50	-5,1
12	447279	4051434	3,04886	11,39	0,53	48	-5,0
13	447323	4051366	2,95655	11,39	0,51	46	-4,8
14	447378	4051321	3,00421	11,39	0,52	45	-5,0
15	447266	4051291	2,2579	11,39	0,39	46	-3,2
16	447487	4051652	4,27106	11,39	0,74	50	-10,0
17	447579	4051589	4,42672	11,39	0,76	47	-10,0
18	447230	4051377	2,38204	11,39	0,41	48	-3,3
19	447247	4051425	2,74844	11,39	0,47	48	-4,1
20	447276	4051361	2,6861	11,39	0,46	47	-4,2
21	447335	4051277	2,57	11,39	0,44	45	-3,9

Caractéristiques de la houle au large Dir: 360°N Tp =12,17s H=6,16m							
N ° point	X (utm)	Y (utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	447163	4051438	1,97822	12,46	0,32	45	-2,1
2	447176	4051389	1,91614	12,46	0,31	44	-2,2
3	447193	4051328	1,85055	12,46	0,30	41	-2,2
4	447208	4051272	1,76108	12,46	0,29	39	-2,1
5	447233	4051227	1,72372	12,46	0,28	37	-2,0
6	447274	4051186	1,73438	12,46	0,28	36	-2,0
7	447283	4051251	2,20993	12,46	0,36	36	-3,0
8	447249	4051333	2,39321	12,46	0,39	38	-3,3
9	447215	4051409	2,41764	12,46	0,39	41	-3,2
10	447191	4051467	2,42533	12,46	0,39	44	-3,1
11	447251	4051496	3,05749	12,46	0,50	41	-5,1
12	447279	4051434	3,06881	12,46	0,50	38	-5,0
13	447323	4051366	3,00528	12,46	0,49	36	-4,8
14	447378	4051321	3,07275	12,46	0,50	34	-5,0
15	447266	4051291	2,32354	12,46	0,38	37	-3,2
16	447487	4051652	4,11099	12,46	0,67	35	-10,0
17	447579	4051589	4,29485	12,46	0,70	32	-10,0
18	447230	4051377	2,42287	12,46	0,39	39	-3,3
19	447247	4051425	2,77504	12,46	0,45	39	-4,1
20	447276	4051361	2,73927	12,46	0,44	37	-4,2
21	447335	4051277	2,6423	12,46	0,43	35	-3,9

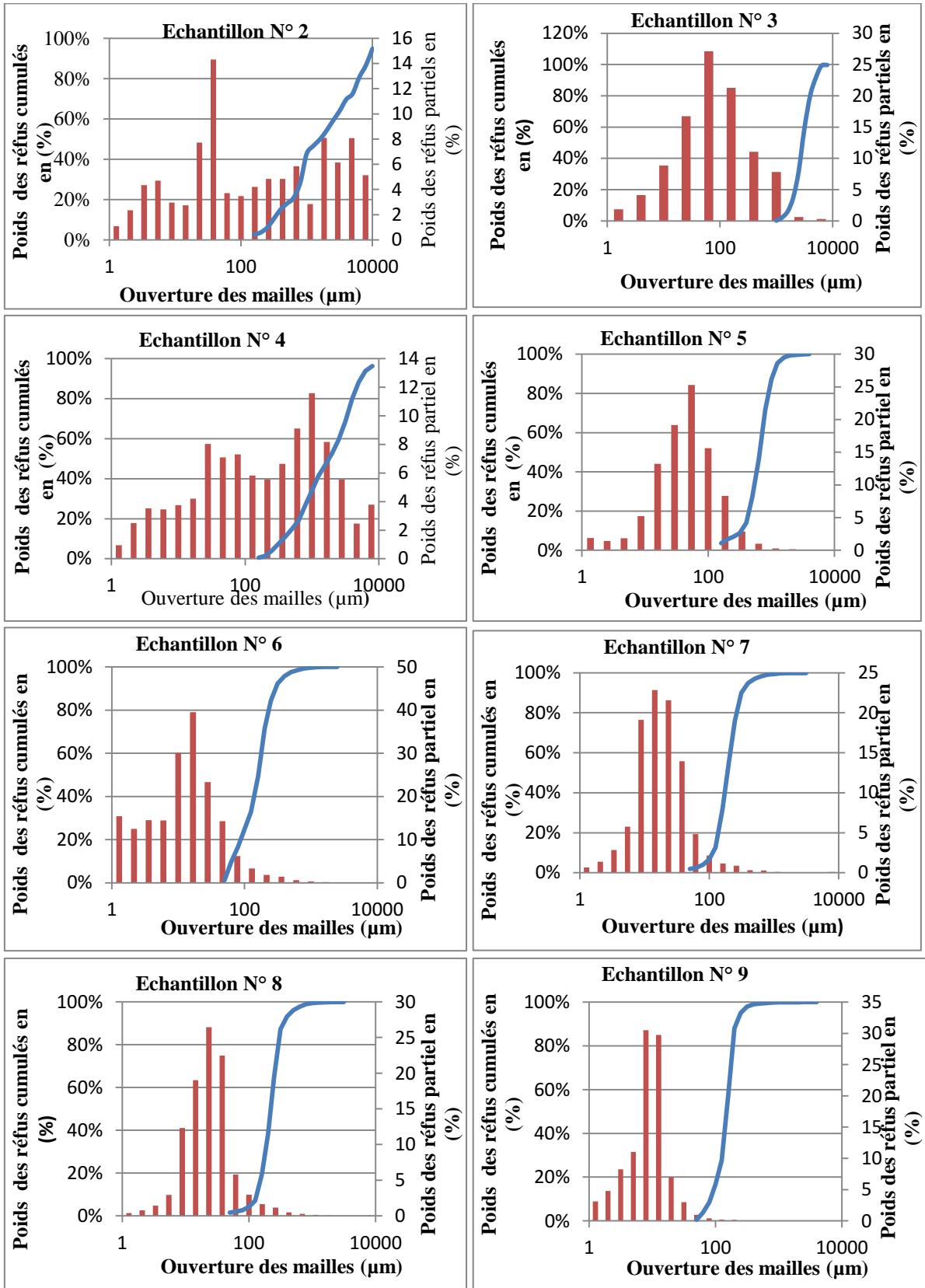
Annexe 2

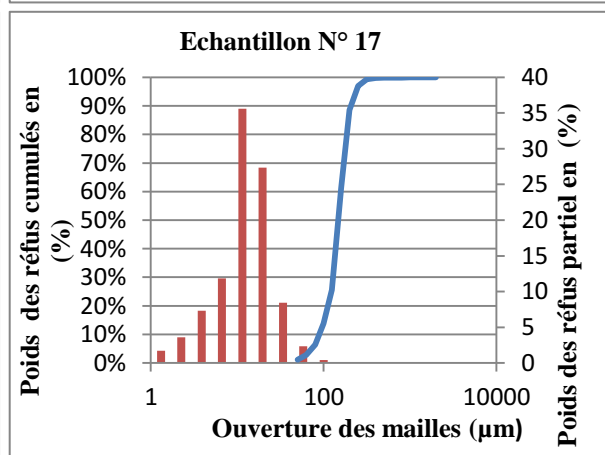
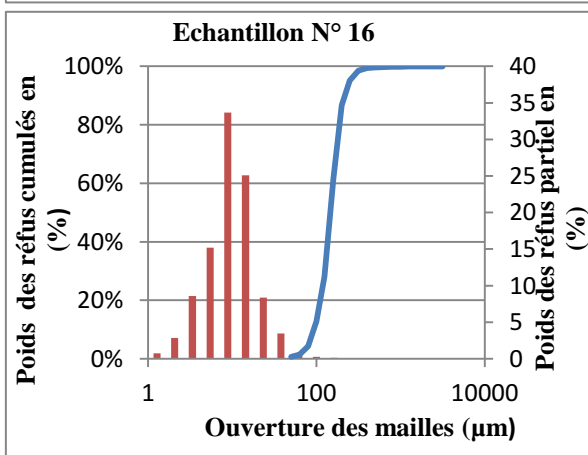
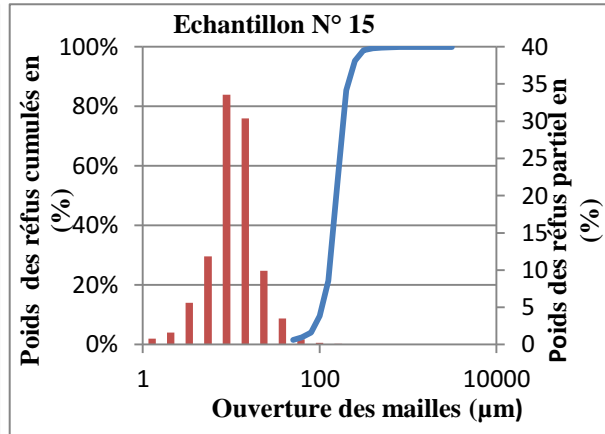
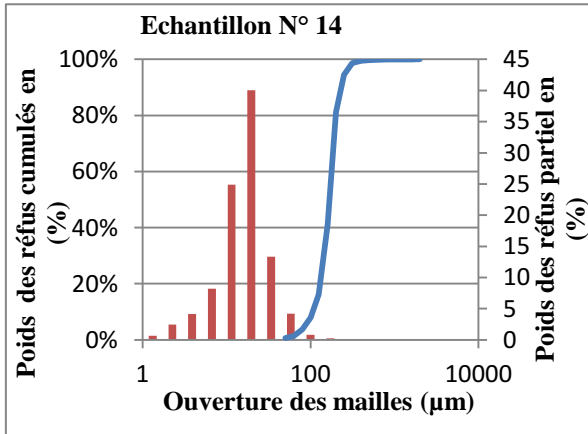
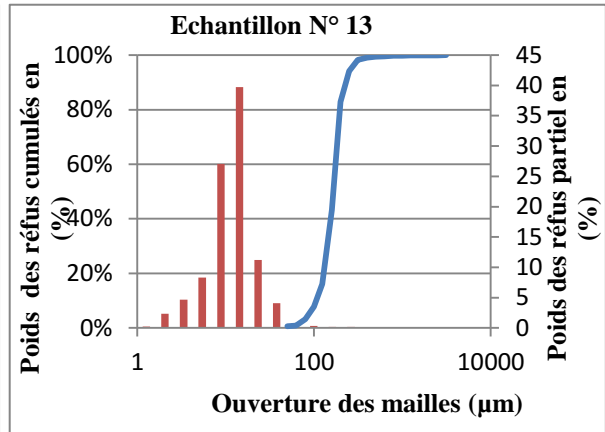
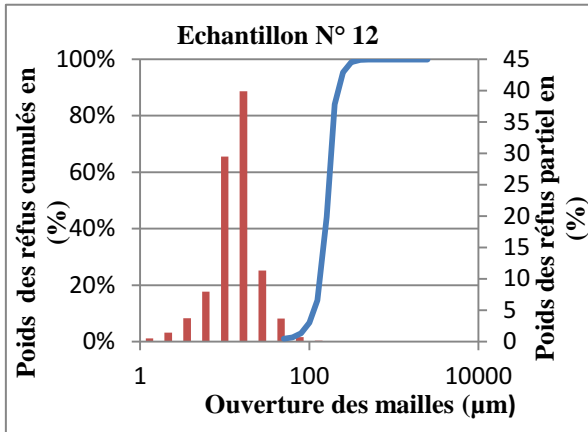
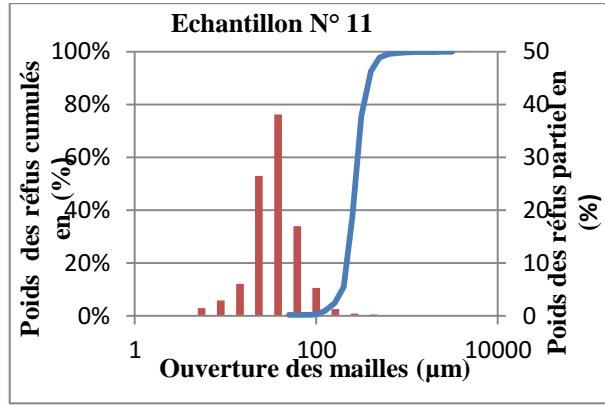
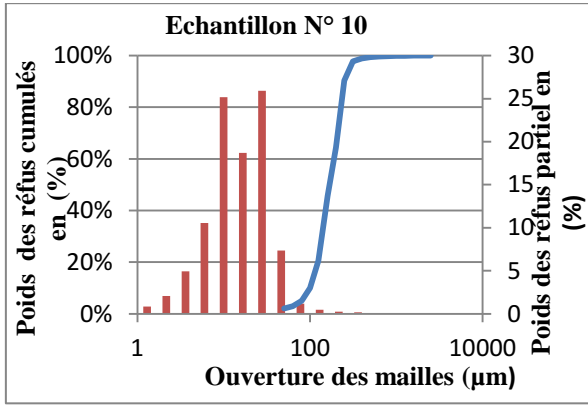
Caractéristiques de la houle au large Dir: 315°N Tp=11,6s H=5,58 m							
N ° point	X (utm)	Y (utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	447163	4051438	1,85126	11,39	0,33	44	-2,1
2	447176	4051389	1,86869	11,39	0,33	43	-2,2
3	447193	4051328	1,86801	11,39	0,33	39	-2,2
4	447208	4051272	1,84065	11,39	0,33	37	-2,1
5	447233	4051227	1,86946	11,39	0,34	35	-2,0
6	447274	4051186	1,90452	11,39	0,34	33	-2,0
7	447283	4051251	2,29105	11,39	0,41	33	-3,0
8	447249	4051333	2,2664	11,39	0,41	35	-3,3
9	447215	4051409	2,11694	11,39	0,38	39	-3,2
10	447191	4051467	2,08386	11,39	0,37	43	-3,1
11	447251	4051496	2,26132	11,39	0,41	38	-5,1
12	447279	4051434	2,39144	11,39	0,43	35	-5,0
13	447323	4051366	2,54453	11,39	0,46	32	-4,8
14	447378	4051321	2,70332	11,39	0,48	30	-5,0
15	447266	4051291	2,28598	11,39	0,41	34	-3,2
16	447487	4051652	2,58742	11,39	0,46	30	-10,0
17	447579	4051589	2,84577	11,39	0,51	25	-10,0
18	447230	4051377	2,17495	11,39	0,39	37	-3,3
19	447247	4051425	2,27172	11,39	0,41	37	-4,1
20	447276	4051361	2,42871	11,39	0,44	34	-4,2
21	447335	4051277	2,5328	11,39	0,45	31	-3,9

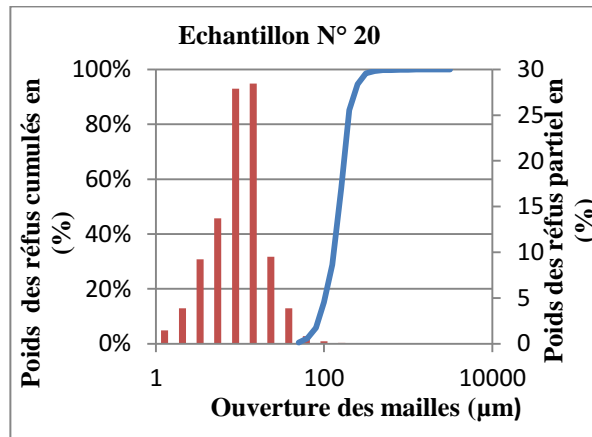
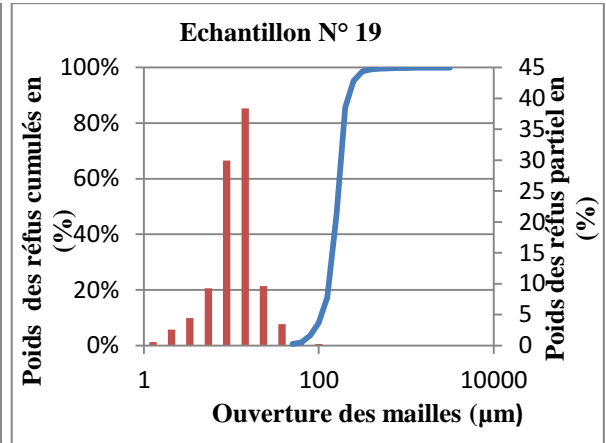
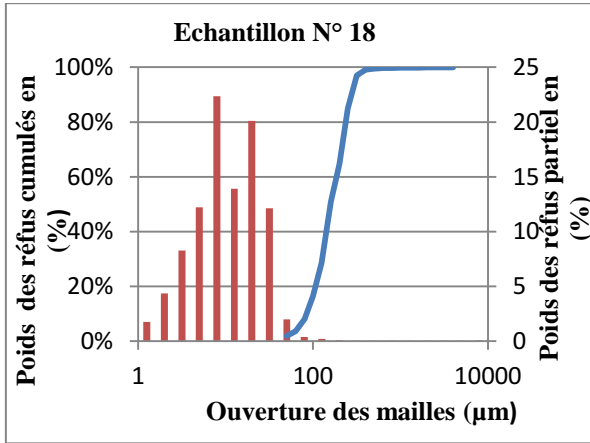
Les cartes de la réfraction



La courbes granulométriques







Annexe 4

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua					
Devis quantitatifs et estimatifs					
Variante N°1 Brise-lames plus rechargement de la plage					
N° DES PRIX	DESIGNATION	U	Q	PU (DA-HT)	MONTANT (DA-HT)
1	Fourniture, transport et mise place du tout venant de carrière de catégorie (0-500kg) pour l'accès et le noyau de la jetée.	T	4224	1 989	16803072
2	Fourniture, transport et mise en place des remblais en sable de carrière nécessaires à la création de la plage artificielle, y compris toutes sujétions.	M3	12665	1020	25836600
3	Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.	F	1	60000000	60000000
4	Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (0,5 à 1t) pour la partie intérieure.	T	1096,8	1930	3979630
5	Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (2 à 4t) pour la partie intérieure.	T	1260,3	3060	6941732
6	Nettoyage de la plage	M2	2809	500	1404500
Montant total HT			114965534		
Montant TVA (17%)			19544140		
Montant total TTC			134509674 DA		

Annexe 4

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua					
Devis quantitatifs et estimatifs					
Variante N°3 : Récifs artificiel					
N° DES PRIX	DESIGNATION	U	Q	PU (DA-HT)	MONTANT (DA-HT)
1	Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.	F	1	60000000	60000000
2	Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (0,5 à 1t).	M3	2060	1930	7474504
3	Fourniture, transport et mise place de TVC (0-500Kg) pour l'accès.	T	512	1989	2036736
Montant total HT			69511240		
Montant TVA (17%)			11816910		
Montant total TTC			81328150 DA		

Annexe 4

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua					
Devis quantitatifs et estimatifs					
Variante N°2 : Géotube					
N° DES PRIX	DESIGNATION	U	Q	PU (DA-HT)	MONTANT (DA-HT)
1	Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.	F	1	60000000	60000000
2	Géotube	M/L	7560	27300	206388000
3	Pompage des sables.	M3	5035	4000	40280000
4	Sable de la carrière (D50>2,6mm).	M3	5035	1400	14098000
5	Tapis anti affouement muni de deux lests de géotubes de 0,5 m de diamètres	M2	3841	935	359149
Montant total HT			288105493		
Montant TVA (17%)			48977933		
Montant total TTC			337083426 DA		

Annexe 4

Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua					
Devis quantitatifs et estimatifs					
Variante N°4 : STABIPLAGE					
N° DES PRIX	DESIGNATION	U	Q	PU (DA-HT)	MONTANT (DA-HT)
1	Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.	F	1	60000000	60000000
2	Géotube.	M/L	505	27300	13786500
3	Pompage des sables.	M3	206	4000	1648000
4	Sable de la carrière (D50 >2,6 mm).	M3	206	1400	576800
5	Nettoyage de la plage.	M2	3102	500	3102000
6	Fourniture, transport et mise en place des remblais en sable de carrière nécessaires à la création de la plage artificielle, y compris toutes sujétions.	M3	2896	1020	5907840
Montant total HT			85021140		
Montant TVA (17%)			14453594		
Montant total TTC			99474733 DA		