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 site de Hadjret En Enous

Présenté par:

- BELLOULOU Bilal
- GANA Aissa

Soutenu le 10/07/2012 devant le jury suivant :

Mr. Belkessa**.** R	Maître de conférences (ENSSMAL)	**Président**
M^{me} Amara**.** Z	**(**LEM)	**Promotrice**
M^{me} Fissah**.** A	**(**LEM)	**Examinatrice**
Mr. Mecheti**.** N	(LEM)	**Examinateur**

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, AMARA Zahia** pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.*

***Mme BELKESSA Rabah** d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

***Mr Mme FISSAH Assma** de nous avoir honoré de sa présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail.*

***Mr MECHETI Nacerddine**, 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.

BELLOULOU et GANA

Sommaire

Sommaire

Chapitre I : Analyse de contexte général de site

Introduction générale 1
I.1. Historique de la commune 2
I.2. Cadre géographique 3
I.3. Géologie de la zone d'étude 4
I.4. Pentes 5
I.4. Relief aérien 7
I.5. La bathymétrie 7
I.5.1. Etude bathymétrique de la zone d'étude: 7
I.5.1.1. La morphologie sous-marine : 7
I.6. Données climatologiques 10
I.6.1. Température 10
I.6.2. Précipitations 10
I.6.2.1. Régime mensuel des précipitations 11
I.6. 3. Hydrologie 12
I.7. Cadre océanographique 13
I.7.1. Le vent 13
I.7.2. Les houles 14
I.7.3. Les courants 16
I.7.3.1. Le courant côtier de retour : 16
I.7.3.1. Les courants de la dérive littorale : 16
I.7.4. La marée 16

Chapitre II: Analyse et résultat du processus sédimentaire

II.1. Houle à la côte 17
II.1.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle : 17
II.1.2. Résultats de la propagation de la houle du large vers la côte pour les périodes de retour annuelle et vingtennale : 18
II.1.2.2. La direction Nord 19
II.1.2.3. La direction Est 20
II.1.2.4. La direction Ouest 21
II.1.3. Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle: 21
II.2. Calcul du transit sédimentaire 22
II.2.1.Courants de houle. 22
II.2.3. Conclusion 25

II.3. La dynamique dans la cellule sédimentaire 25
II.4. Analyse des modifications de la ligne de côte 26
II.4.1. Evolution du trait de cote 26
II.4.2. Difficulté de définir le trait de côte 26
II.4.3. Aspect et évolution du trait de côte (HADJRET-EN-NOUS) : 27
II.4.4.1. constat sur le site de HADJRET-EN-NOUS : 28
II.4.4.2. Analyse de la problématique 28
II.4.4.2.1. Le problème de l'érosion 28
II.4.4.2.2. Pollution : 29
II.4.4.2.3. Urbanisation : 30
II.5. Effets naturels et anthropiques et rôle des anciens ouvrages : 30
II.5.1. Erosion naturelles : 30
II.5.1.1.Le Vents : 31
II.5.1.1.3. Les Courants littoraux : 31
II.5.1.1.4. L'élévation du niveau relatif de la mer 31
II.5.2. Erosion anthropique : 32
II.5.2.1. Facteurs anthropiques : 32
II.5.3. Conséquences de l'érosion 33
II.5.4. Analyse et conclusion 33
II.5.4.1. Les facteurs d'érosion les plus fréquents HADJRET-EN-NOUS 33
II.5.4.1.1. Les facteurs naturels : 33
II.5.4.1.2. Les facteurs anthropiques : 33
II.5.4.2. Conclusion : 33

Chapitre III: les propositions des dispositifs de défense avec une vision d aménagiste

III.1. Introduction 34
III.2.1. Rappel de situation actuelle de commune de HADJRET-EN-NOUS 34
III.3. Les solutions proposées par notre étude 34
III.3.1. Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et des petits fonds 34
III.3.2. Variante N°1 35
III.3.2.1. Conception du brise lames : 35
III.3.2.1.1. Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte : 36
III.3.2.1.2.Orientation de l'ouvrage 36
III.3.2.1.3. Hauteur de la houle de dimensionnement (Hb(m)) 36

III.3.2.1.3.1. La durée de retour de la houle 37
III.3.2.1.4. La hauteur de brise-lame immergé 37
III.3.2.1.5. La largeur en crête 37
III.3.2.2. Stabilités des ouvrages de protection : 38
III.3.2.2.1. La partie extérieure du brise lames : 38
III.3.2.2.1.1. : La carapace 38
III.3.2.2.1.1.1 L'épaisseur de la carapace 38
III.3.2.2.1.2. Noyau: 39
III.3.2.2.1.3. La butée de pied 39
II.3.2.2.1.4. Le filtre : 39
III.3.2.2.2. La partie intérieure du brise lames : 40
III.3.2.2.2.1. Calcul du coefficient de transmission : 40
III.3.2.2.2.2. Calcul du poids et l'épaisseur de la carapace : 40
III.3.2.3. Le musoir : 41
III.3.2.4. Rechargement de la plage 41
III.3.2.4.1. Principe 41
III.3.2.4.2.Caractéristique de la plage 42
III.3.3. Variante N°2: 44
III.3.3.1. Description de la variante 44
III.3.3.1.1. Reprofilage de falaise 44
III.3.3.1.2. Brise-lames immergé en géotubes 44
a. Principes 45
c. Vérification de stabilité du géotube 46
III.3.3.1.2.1. Avantages et inconvénients des structures en géotubes 46
III.3.3.2. Ponton flottant servant d'accès à l'ilot 46
III.3.3.2.1.Caractéristique du ponton flottant (source MASSILIA MARINE) 47
III.3.3. 3. Estimation des variantes 49
III .3.Comparaison des variantes : 49

Conclusion
Bibliographie
Annexe

Liste de figure

Figure N° 1 : Situation géographique de la zone HADJRET-EN-NOUS .. **Erreur ! Signet non défini.**
Figure N° 2: limites administratif de HADJRET-EN-NOUS 4
Figure N° 3: la carte géologique locale (la carte est une partie de la carte géologique de l'Algérie CHERCHELL à l'échelle 1/ 50000) 6
Figure n° 4: Carte bathymétrique et les profils tracés dans la zone de HadjretEnous..... 8
Figure N° 5: Carte bathymétrique en 3D de HADJRET-EN-NOUS 8
Figure N° 6: profil sous marin N°01 9
Figure N° 7: profil sous marin N°02 9
Figure N° 8: profil sous marin N°03 9
Figure N° 9 : Distribution des températures Moyennes Bouharoun 1992-2007 10
Figure N° 10: diagramme de précipitation moyenne Bouharoun 1992-2007 11
Figure N° 11 : Diagramme ombrothermique de Gaussen Bouharoun 1992-2007 12
Figure N° 12 : les réseaux hydrographiques (HADJRET-EN- NOUS) 13
Figure N° 13 : Fréquence cumulées des vents au large par direction et par mois (source SSMO 1963-1970)..... 14
Figure N° 14:Réfraction de la houle pour une direction N°315 et une période de 11,16s BELLOULOU et GANA,(2012) 18
Figure N° 15:Réfraction de la houle pour une direction N°360 et une période de 12,17s. BELLOULOU et GANA, (2012) 19
Figure N° 16:Réfraction de la houle pour une direction N°45 et une période de 11,8s. BELLOULOU et GANA, (2012) 20
Figure N° 17:Réfraction de la houle pour une direction N°270 et une période de 14,44s. BELLOULOU et GANA, (2012) 21
Figure N° 18 : la délimitation de cellule sédimentaire (Google Earth 2012) 26
Figure N° 19 : évolution du trait de cote entre 1960-2012 27
Figure N° 20 : Schéma d'illustration du principe de Brunn 32
Figure N° 21 : la vitesse des courants en fonction de la granulométrie des grains (diagramme de Hjulström)..... 43
Figure N° 22 : Schéma d'un Ponton flottant 48

Liste des tableaux

Tableau N° 1 :la distribution de température moyenne et la précipitation moyenne de station de Bouharoun (1992-2007) (source ONM) 11
Tableau N° 2: Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970) 15
Tableau N° 3 : statistique de la houle au large par direction 15
Tableau N° 4: Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour 15
Tableau N° 5 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude 18
Tableau N° 6 : moyenne de fréquence d'apparitions 23
Tableau N° 7 : les hauteurs de la houle pour chaque période 23
Tableau N° 8 : Fréquence d'observation pour chaque direction 24
Tableau N° 9 : la période « t »pour chaque direction 24
Tableau N° 10 : bilan énergétique pour chaque direction 24
Tableau N° 11 : l'obliquité de la houle pour chaque direction 24
Tableau N° 12: transit sédimentaire pour chaque direction 25
Tableau N° 13 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace 39
Tableau N° 14:Caractéristiques de géotube géosynthétique en fonction de leurs paramètres (Source LEM) 45
Tableau N° 15 : Estimations de coûts 49
Tableau N° 16: tableau représentatif de comparaison entre les variantes proposées 49

Liste des Photos

Photo N° 1 : commune de HADJRET-EN-NOUS 5
Photo N° 2: les Rejet des eaux usées (Avril 2012) 28
Photo N° 3: herbiers morts (Avril 2012) 28
Photo N° 4: Mur basculant à cause de la tempête et l'affouillement de plate forme (Avril 2012) 29
Photo N° 5 : érosion de la base de la placette (avril 2012) 29
Photo N° 6 : Pollution d'eau par les rejets liquide (Avril 2012) 29
Photo N° 7: rejet d'eau usée 29
Photo N° 8: déchets solides (Avril 2012) 30
Photo N° 9 : l'urbanisation (Avril 2012) 30
Photo N° 10 : modification de la pente (Avril 2012) 30

Introduction générale

Introduction générale

Le littoral est un lieu de rencontre, où s'expriment avec la plus grande diversité des écosystèmes façonnés par l'action des houles, du vent et des embruns (Paskoff. R, 2001).

Le littoral algérien s'étend sur 1200 km. Il représente un écosystème fragile et constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière) (Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement (M.A.T.E.), (2000), Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement).

La direction des travaux publics de la wilaya de TIPAZA Maitre d'Ouvrage, prévoit de protéger une zone littorale de la commune de HADJRET-EN-NOUS partie située en aval du village du même nom.
Cette région comme pour toutes les régions littorales de la côte Algérienne est appelée à être soumise à une pression constante.
Un fort pourcentage de la population vit à l'heure actuelle à proximité de la mer, à une distance inférieure ou égale à 50 km des côtes, et l'Algérie qui doit aux ressources de ces zones une grande partie de sa richesse économique ; les industries, l'agriculture et l'urbanisation se partagent l'espace vital des côtes Algériennes.

Le littoral, écosystème sensible et complexe a subi, et continue encore de subir, le plus de pressions, de sollicitations et de dégradations induites par une logique de planification insoucieuse de l'environnement (localisation littorale de projets et de programmes de développement pollueurs, consommation du foncier agricole, renforcement de la concentration humaine, tourisme) ; dont les conséquences ne sont pas sans incidence sur le milieu marin en général et sur la biodiversité marine et côtière en particulier.

Par cette conscience nous avons définit notre cadre de travail dans le souci de bien aménager et de bien protéger cette infime portion de côte souhaitant quelle soit un modèle d'étude intégrée ; le premier chapitre rend d'abord compte de la procédure de l'analyse du contexte général du site tant sur le plan historique géographique, géologique et topographique. Et on décrit le milieu dans lequel évolue le site d'étude et de ses caractéristiques climatologiques, océanographiques et hydrologique. Le deuxième chapitre traite de la connaissance de l'environnement hydrodynamique tant sur le plan sédimentaire que sur l'évolution de son trait de côte et les effets induits (enquête et visites).

Enfin, l'analyse et évaluation des données et la proposition de solutions d'aménagement, dans le chapitre dernier, donnant des éléments d'encadrement sur différentes considérations visant l'atteinte des objectives du projet tant sur le plan de sa justification sur les biens à protéger, de son efficacité, de son intégration que de ses impacts.

Chapitre I

Analyse de contexte général de site

I.1. Historique de la commune

HADJRET-EN-NOUS, s'appelait jadis FONTAINE DU GENIE, était composée de quelques constructions actuellement constituées de ruines (ex, la cave).

Son histoire commence par les habitations romaines, qui avaient été concentrés au centre du village et au bord de la mer, leurs restes furent effacés par les colons français lors du fonçage des terres destinées à la plantation de leur vignoble. Les pierres romaines de réemploi furent utilisées pour la construction des fermes et habitations par les colons. Cependant, il en subsiste des vestiges de construction tout le long de la côte, en particulier sur les collines de part et d'autres de l'oued Makdhaâ Naâzizi et de l'oued Ifri.
D'autres subsistent également en montagne aux alentours du mont du Koob (Huilerie romaine de Tamzita) Une prospection archéologique est effectuée en 1970 sur le site de l'huilerie romaine par le français Philipe Leveau qui avait permis de déterminer, à l'aide de la diversité céramique recueillie sur les lieux, l'occupation des lieux qui remonteraient à la fin du 1 ière siècle de l'ère chrétienne jusqu'au V siècle.
Le site, rongé à sa base par l'Oued-Ifri, mesure dans son état actuel une quinzaine de mètres de large sur une trentaine de long. Les vestiges témoignent sans conteste de l'oliveraie qui avait une place relativement importante dans la région de HADJRET-EN-NOUS. Le site avait été choisi, sans doute, par rapport à l'Oued-Terzout qui permettait aux besoins en eau de l'industrie favorisée par l'existence du petit cap d'où l'on pouvait facilement charger les produits huileux vers Caesarea.

L'embarcadère de la huilerie, plate-forme de pressage, élément de base du pressoir à huile « Les ruines de l'huilerie de Tamzita ».

Le passage des colons était composé d'une ferme et d'une cave pour la fabrication du vin. De plus à l'époque, il y a avait une exploitation importante de gisement (granite) d'où la présence d'une ancienne carrière.
Depuis 1950, les carrières de granite étaient exploitées, par intermittence, par les Ponts et Chaussées de CHERCHELL. Aujourd'hui, l'embarcadère du granite est transformé en un magnifique lieu de plaisance pendant la saison estivale. Il constitue l'un des points le plus illustré de toute la région par les magnifiques buvettes qui s'y trouvent. C'est là, sur cette terrasse pittoresque, qui ressemble à navire sans voiles et sans destination, que viennent s'y installer, chaque soir, des familles confondues et des couples de jeunes pour sentir le calme et prendre de la fraîcheur sous un ciel étoilé.

Et pour rendre le prestige à cette terrasse qu'est dédié notre travail qui conjuguera sécurité et plaisir.

I.2. Cadre géographique

La zone d'étude est comprise entre les coordonnées géographiques des méridiens 2° 2' 41,28"_2° 03' 20,16" Est et les latitudes 36° 34' 20,16" _ 36° 34' 46,56" Nord

Figure N° 1 : Situation géographique de la zone HADJRET-EN-NOUS

La commune de HADJRET-EN-NOUS fait partie de wilaya de Tipaza.

Administrativement son chef lieu de commune est HADJRET-EN-NOUS et son chef lieu de daïra est CHERCHELL.
Cette commune ce trouve au Nord-Ouest de la wilaya de TIPAZA, dont elle est distante d'environ 45km.

Elle a une superficie de 30Km^2 ; située sur le littoral méditerranéen cette commune est dans est en majorité montagneuse. Le chef lieu est traversé par le principal axe routier, la RN11 qui longe tout le littorale.

Les limites administratives (source A.P.C de HADJRET-EN-NOUS) sont :

- Au Nord : la mer Méditerranée
- Au Sud : la commune de sidi semaine
- A l'Est : la commune de Sidi ghiles
- A l'Ouest : la commune de Messelmoun

Figure N° 2: limites administratif de HADJRET-EN-NOUS

I.3. Géologie de la zone d'étude

La connaissance de la géologie locale est un paramètre qui à son importance sur l'aptitude à l'urbanisation des sols de par : la lithologie et le pendage qui peuvent influencer les phénomènes d'affaissements ou des glissements sur les constructions.

D'après la carte géologique (figure N°03) de la région de Cherchell-Sidi Ghiles-Hadjret En Nouss appartient au tell septentrional caractérisé par la présence de nappes de charriage. Cette particularité offre les conséquences suivantes:

- Une tectonique spécifique de chaque nappe (présence de plis, de failles, de renversements,...),
- Les nappes sont imbriquées les unes par rapporte aux autres et séparées par des contacts anormaux (généralement des chevauchements),
- Une aggravation de la complexité structurale à cause des dépôts post-nappes qui peuvent masquer les affleurements et aussi à cause de la néotectonique.

De plus, la venue intrusive tardive de granité et microgranite de djebel Kourb ou Djaout et les épanchements basaltiques de Menacer participent à compliquer la structure géologique.

En ce qui concerne la formation de cette entité, d'après **C. Lepvrier**, le site de HADJRET-EN-NOUS possède un substratum albo-aptien à cénomanien (crétacé moyen à supérieur) formant l'unité inférieure des flyschs. Ce substratum est recouvert en discordance tectonique et stratigraphique par:

- Le miocène post-nappe qui affleure à environ cinq cent mètres au Sud de la RN11 et au niveau de l'ilot Taourira (port de HADJRET-EN-NOUS) et de la pointe des oliviers (entre centrale électrique et le village de HADJRET-EN-NOUS),
- Les divers faciès du quaternaire; une particularité géologique de cette région est représenté par le massif intrusif de granite et de microgranite du djebel Kourb ou Djaout qui culmine à 536m, à une distance de 1,5 Km au Sud de l'ilot Taourira.

Ceci nous emmène a dire que le site d'étude présente de bonne caractéristiques géotechnique pour la mise en place de tout ouvrages en mer moyennant une substitution de la couche meuble par un autre matériaux (géotextile ou autre) pour la fondation.

I.4. Pentes

C'est un paramètre important aussi qui influe sur le coût de l'urbanisation (viabilisation, construction) La commune de HADJRET-EN-NOUS, en grande majorité montagneuse à un relief très pentu ou les pentes dépassent 20%.

Photo N° 1 : commune de HADJRET-EN-NOUS
(Avril 2012)

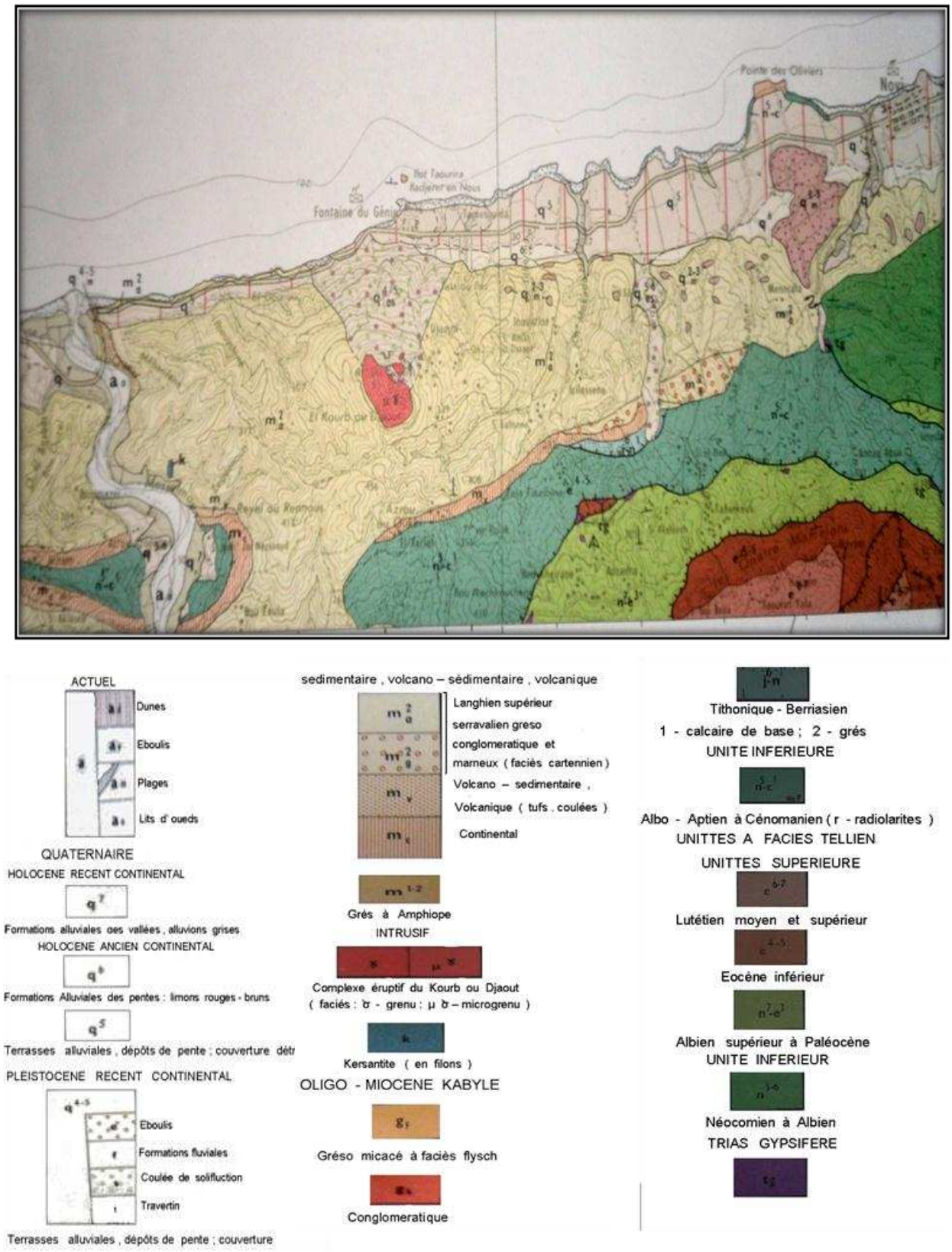


Figure N° 3: la carte géologique locale (la carte est une partie de la carte géologique de l'Algérie CHERCHELL à l'échelle 1/ 50000)

I.4. Relief aérien

Le relief dominant au niveau de la commune de HADJRET-EN-NOUS est subdivisé en trois entités:

1- La zone côtière, formée de plages graveleuses et de sables grossiers entre coupées par des falaises abruptes et par les embouchures d'oued sur la mer méditerranée.

2- Le plateau sahélien d'une largeur ne dépassant pas quelques centaines de mètre, à l'Est pour disparaître à l'ouest de l'A.C.L.H représente 10% de la superficie totale.

3- La zone montagneuse où se trouvent les points culminants (KoudietIberdjene :453m, Koudiet Oum oudjouf :500m) qui se trouvent dans la foret de Taourira.

Dans la continuité du relief aérien, la connaissance de la limite sous marine est ensuite introduite par ce qui :

I.5. La bathymétrie

C'est un paramètre très important qui doit d'être étudié car il joue un rôle important dans la connaissance de la morphologie sous marine qui nous renseigne sur :

- La présence éventuelle de phénomènes de rupture de pentes ;
- La connaissance des courbes bathymétriques devant servir aux modifications des phénomènes hydrodynamiques (cap : pente serrée ou baie : pente régulière).

I.5.1. Etude bathymétrique de la zone d'étude:

Les données bathymétriques ont été traitées à l'aide du logiciel surfer 10 et ont servies à la réalisation de deux carte bathymétriques (2D et 3D) en plus de trois profils en travers pour interpréter la morphologie sous marine.

I.5.1.1. La morphologie sous-marine :

La carte bathymétrie (figure N°04) montre des isobathes irrégulières signifiant que la morphologie sous-marine est irrégulière c'est-à-dire, des fosses, des barres des déferlements et un oued sous-marin.

D'où 3 faisceaux différents :

- L'un ayant des isobathes plus ou moins régulières de 0 à -5m de profondeur caractérisé par des isobathes sériées et parallèles entre elles qui correspondent à une falaise sous-marine (pente abrupte). figure N°6
- Les 2^{iéme} faisceau ou se trouve un oued sous-marin ; de 0 à-2m et des irrégularités sur tout le reste du profil (isobathes sériées et pente abrupte et parfois pente douce et même présence de fosse). figure N°7

- Le 3^{iéme} faisceau caractérisé par des isobathes plus ou moins régulières et par la présence des fosses et des barres des lévigations plus importants. Figure N°8

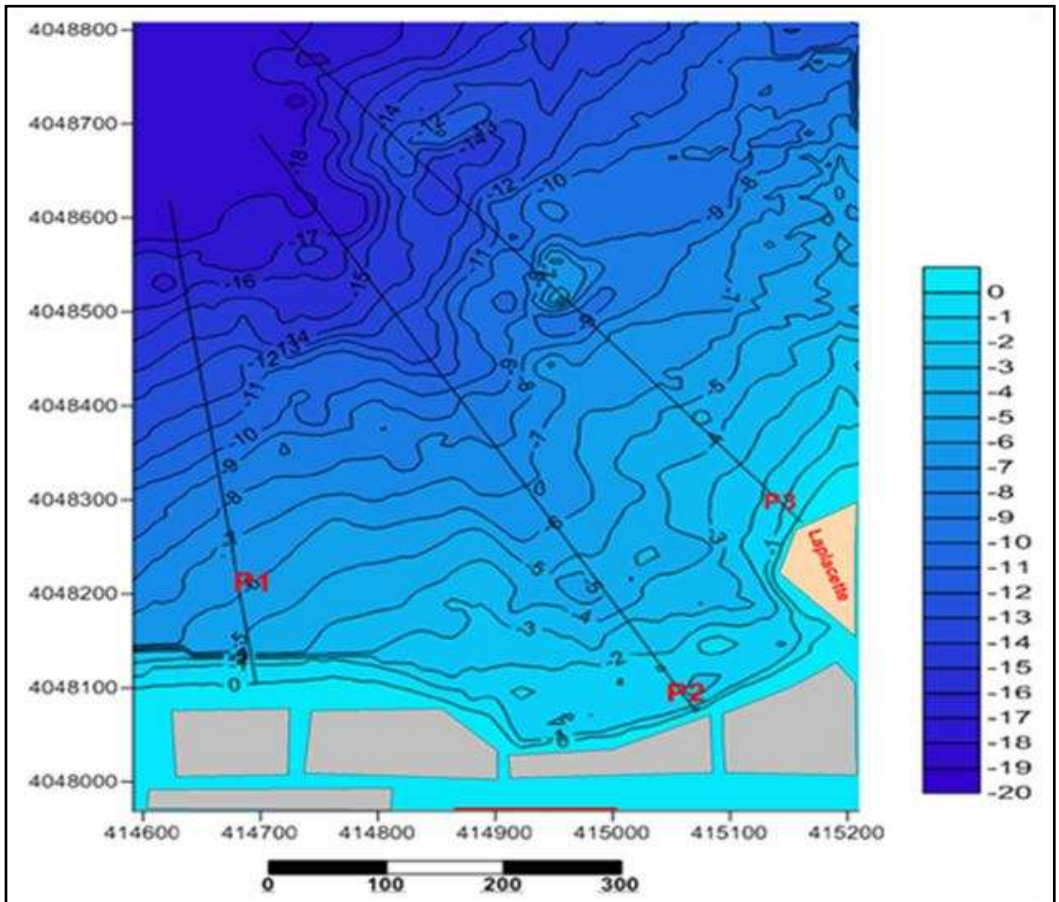


Figure n° 4: Carte bathymétrique et les profils tracés dans la zone de HadjretEnous

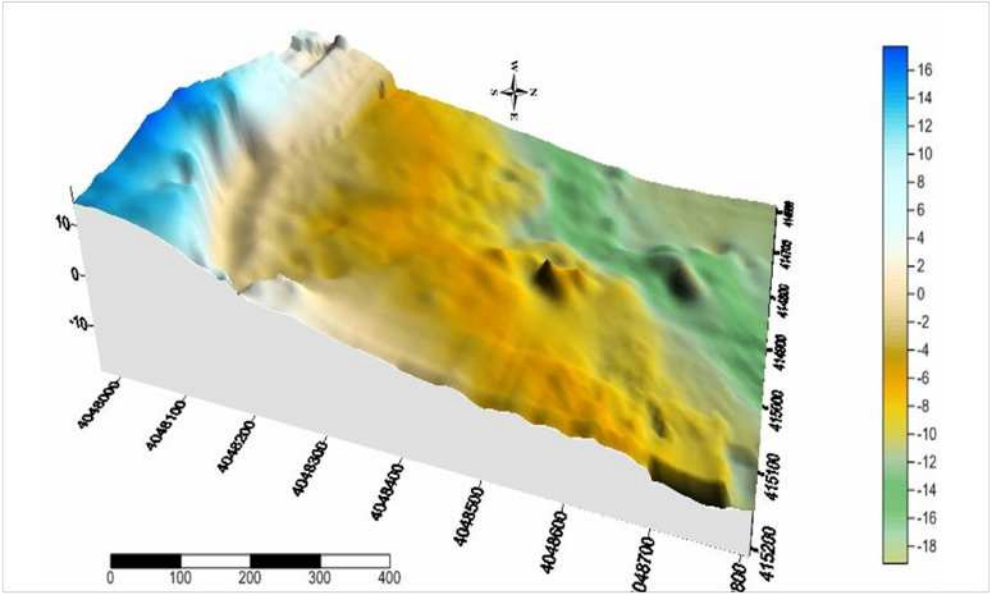


Figure N° 5: Carte bathymétrique en 3D de HADJRET-EN-NOUS

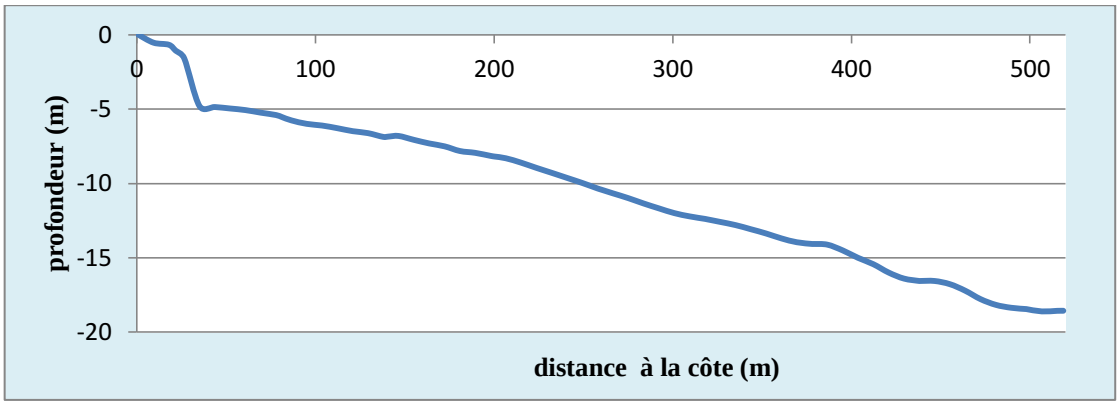


Figure N° 6: profil sous marin N°01

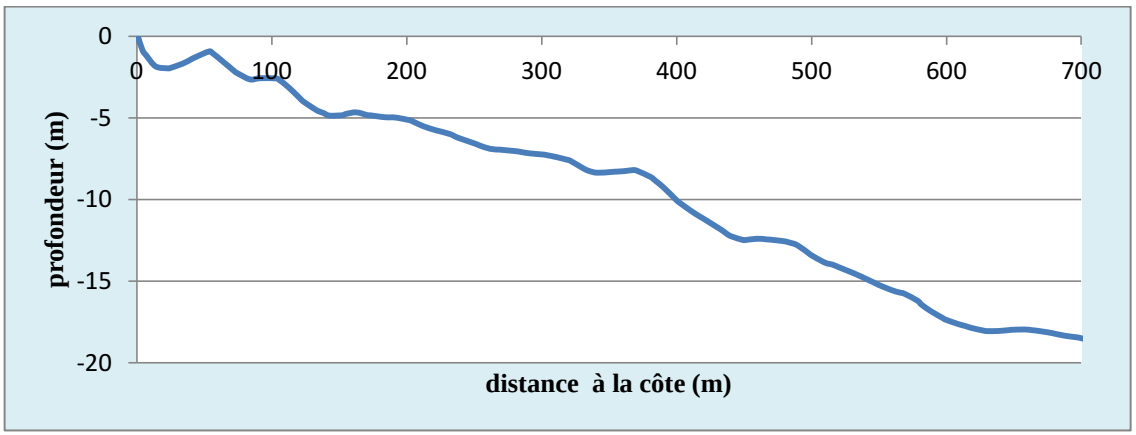


Figure N° 7: profil sous marin N°02

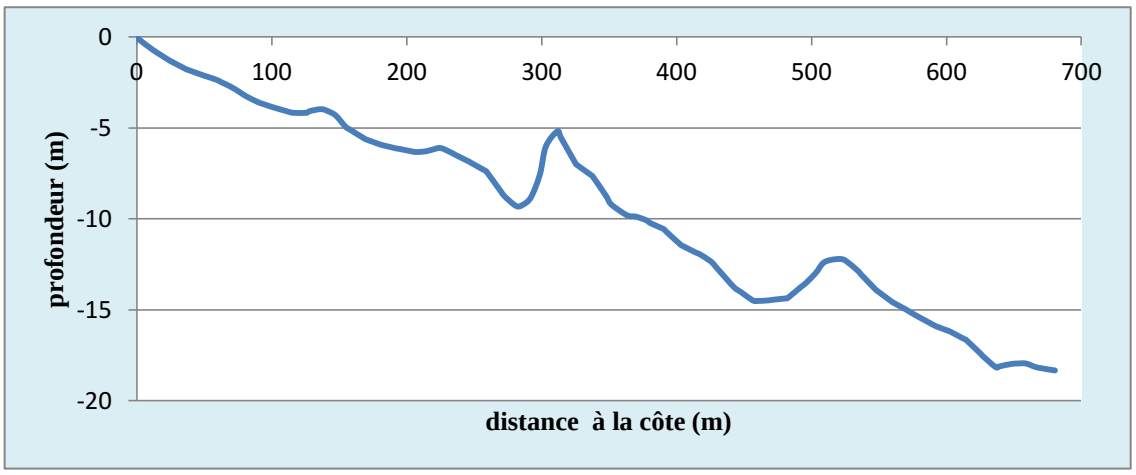


Figure N° 8: profil sous marin N°03

I.6. Données climatologiques

Le climat peut se définir comme étant l'ensemble des conditions dominantes du milieu physique de la Terre. Plus précisément c'est l'état de l'atmosphère dans un lieu donné, température, phénomènes atmosphériques, précipitations etc.…

Afin de se doter de données localisées sur le site d'étude, nous sommes contraints de réunir toutes les informations brutes afin de les analyser et de les synthétiser.

I.6.1. Température

Les valeurs moyennes de température varient entre 13,11°C et 26,5°C, et une moyenne générale de 18,84°C.

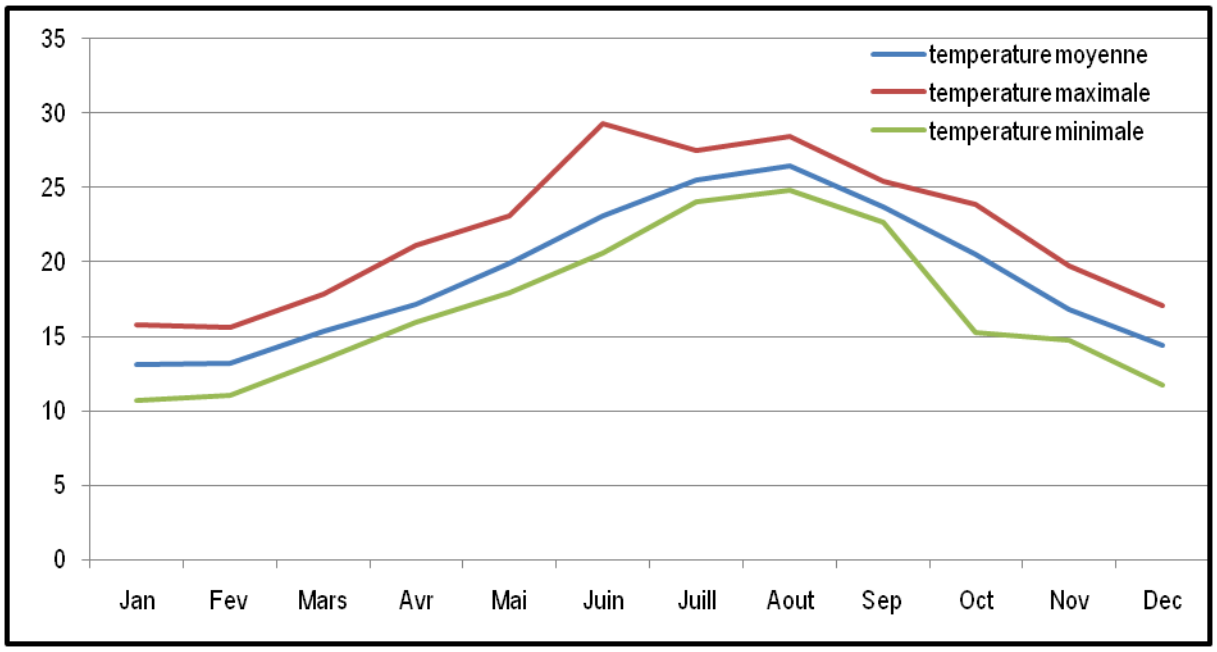


Figure N° 9 : Distribution des températures Moyennes Bouharoun 1992-2007

I.6.2. Précipitations

Par définition, elles désignent tous corps liquides ou solides qui tombent du ciel, (neige, pluie, grêle, etc.). Sous cette rubrique, nous intéresserons principalement à l'évolution inter mensuelle et saisonnière des quantités de pluie tombées au cours de la même période (1992_2007) concernant la température.

Les pluies sont souvent irrégulières d'une année à l'autre et pour un même mois, elles se caractérisent par les précipitations moyennes d'une série de plus de 15 ans et font sortir une moyenne annuelle de 457,75mm (annexe 2).

I.6.2.1. Régime mensuel des précipitations

Les variations des quantités pluviométriques de la station de BOUHAROUN montre que les précipitations sont abondantes en Hiver et qu'au contraire un minimum de pluie est enregistre en été.

On peut dire que la période humide présente un maximum au mois de Novembre avec 352 mm, et une diminution au mois de Juillet. Le mois le plus sec à une moyenne de 1,045 mm de pluie.

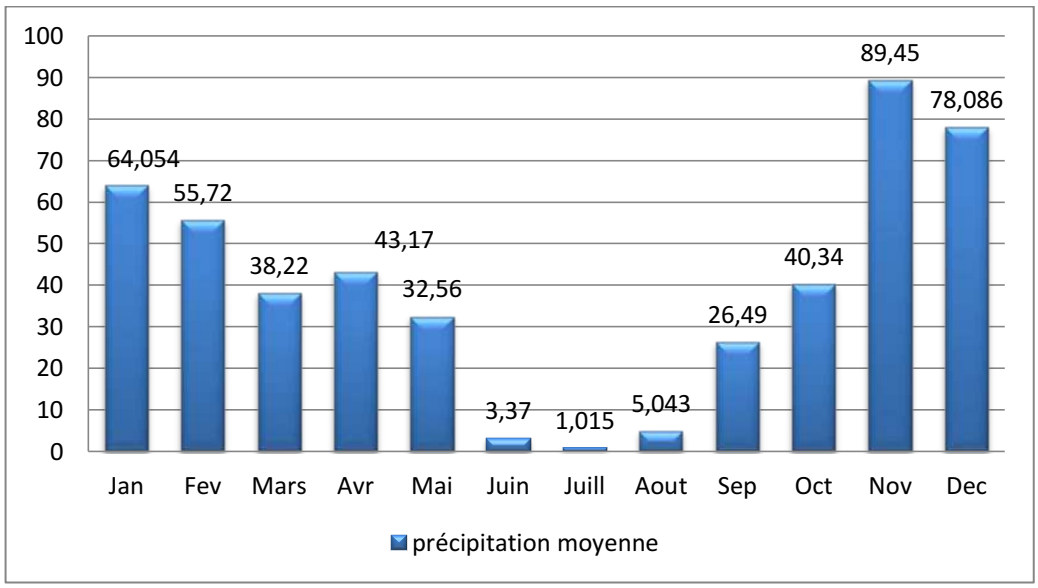


Figure N° 10: diagramme de précipitation moyenne Bouharoun 1992-2007

La relation entre ses deux données nous a conduit à établir le diagramme ombrothermiquede Bagnouls et Gaussen afin de déterminer les saisons sèches et humides de notre région qui grâce 39/18=2,16 caractérisant la zone comme une zone subhumide.

Un mois est biologiquement sec lorsque le rapport précipitation (P) sur température (T) est inférieur à 2 (Sur la base de l'équation P=2T,

Tableau N° 1 :la distribution de température moyenne et la précipitation moyenne de station de Bouharoun (1992-2007) (source ONM)

	Jan	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
Précipitation	64,05	55,71	38,22	43,17	32,55	3,37	1,01	5,04	26,49	40,34	89,45	78,09
T°C	13,10	13,20	15,38	17,15	19,94	23,09	25,55	26,49	23,73	20,57	16,80	14,42

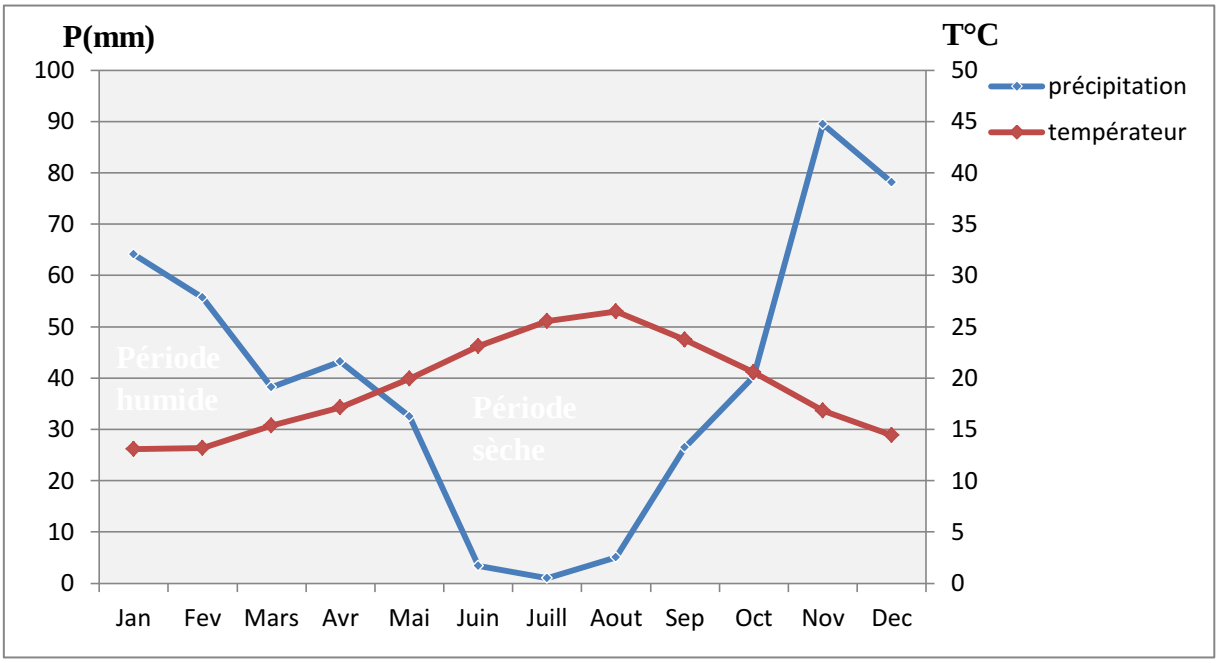


Figure N° 11 : Diagramme ombrothermique de Gaussen Bouharoun 1992-2007

Commentaire

L'analyse du diagramme (Figure N° 11) montre que la période sèche est d'environs de 06 mois.
Elle s'étend de mai jusqu'à octobre, tandis que la période humide, s'étend de début d'octobre jusqu'à fin avril.

Conclusion

Cette alternance des phases climatiques sèches et humides n'affecte pas notre zone d'étude du fait que la couverture végétale assure la fixation du bassin versant qui a un lien direct (bassin versant de Côtiers CHERCHELL code 0203) ou indirect avec l'alimentation en apports sédimentaire de la plage de HADJRET-EN-NOUS.

I.6. 3. Hydrologie

Par manque de données hydrologique des réseaux présents au niveau du site, nous considérons que les seuls oueds Messelmoun (10,165 km) et oued Sept (18,971km) alimentent la cellule sédimentaire par des sédiments sableux gris noire à grossiers (galets, graviers) localisés aux débouchés de ses derniers et le reste consiste en de nombreuses Chaabats qui drainent les eaux de pluies dans la zone montagneuse. Et le tout sans informations quantitatives.

Figure N° 12 : les réseaux hydrographiques (HADJRET-EN- NOUS)

I.7. Cadre océanographique

I.7.1. Le vent

Les résultats du S.S.M.O ou (summary of synopticmeteorological observation) montre que :

- Les vents de secteur Nord Est et Est sont dominants dans la période estivale avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur Nord Est. (figure N°13)
- Et les vents d'Ouest sont dominants durant l'hiver avec une fréquence allant de 60 à 80%.
- Les vents le plus forts son ceux venant de l'Ouest ces derniers se lèvent brusquement et soulèvent une forte houle.

Note : L'interprétation de ces résultats et spécialement des extrêmes doit être faite prudemment car les enregistrements sont réalisés par des bateaux qui en général essaient d'éviter les tempêtes.

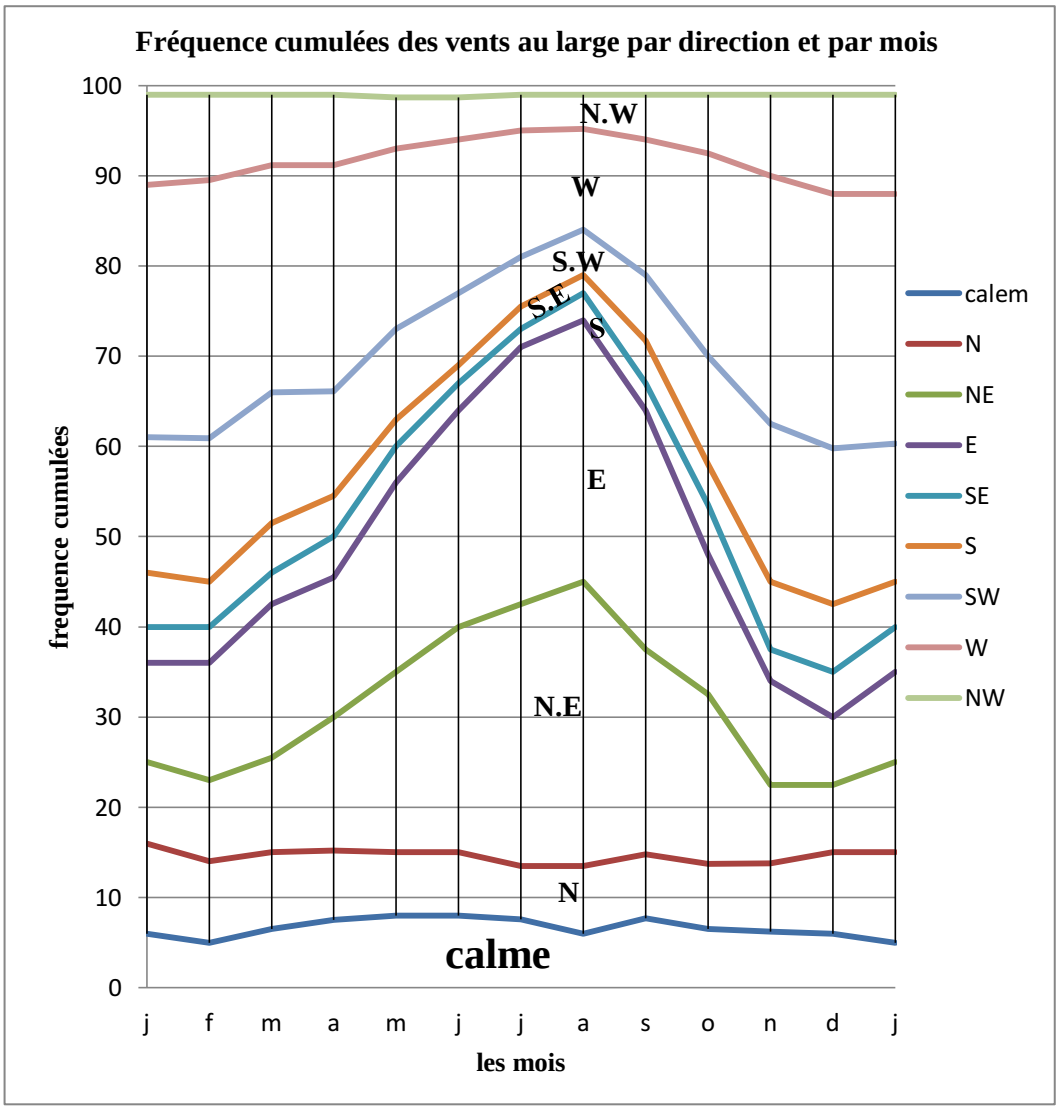


Figure N° 13 : Fréquence cumulées des vents au large par direction et par mois (source SSMO 1963-1970)

I.7.2. Les houles

La houle est produite en général par le vent soufflant sur la surface de la mer. C'est un paramètre essentiel à prendre en compte pour différentes applications entre autre :

- à la côte, elle intervient pour le dimensionnement et la conception d'ouvrages portuaires, l'aménagement des plages et du littoral de manière générale,

- elle participe aussi au transport de sédiments, pouvant affouiller le pied d'une digue, déplacer le sable d'une plage, combler un chenal de navigation.

On dispose des données disponible de houle pour une période s'étalent de 1963 a 1970 permettant d'effectuer une analyse statistique de la houle au large de la région centre d'Algérie.

Elles sont effectuée par un navire dans un secteur de cordonnée 37 ,4° N et 3,9°E,

Les observations du S.S.M.O font ressortir la relation amplitude période de la houle et les résultats de ces observations sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 2: Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)

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

75% des houles observées sont des périodes inférieures ou égale 7s seules 3% des houles ont une période comprise entre 10 et 13s.

Sur cette base on effectue un calcul statistique sur le nombre de répartition de la houle au large pour les périodes 6, 8 et 10s (annexe1), et on aboutit aux résultats présentés dans le tableau suivant :

Tableau N° 3 : statistique de la houle au large par direction

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
Répartition Total	758	1627	2053	278	369	978	2225	582	8870
pourcentage	8,55%	18,34%	23,15%	3,13%	4,16%	11,03%	25,08%	6,56%	100,00%

En résumé :

- Les houles de direction Ouest, Sud-Ouest, Est et le Nord-Est sont les plus fréquemment observées, les fréquences d'apparitions sont plus faibles pour le secteur Nord, Sud et Nord-Ouest.
- La direction Nord à une répartition assez régulière au cours de l'année
- Durant l'année, les fréquences correspondant aux directions Est et Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest.

Le site d'étude est ouvert aux secteurs Nord Ouest à Nord Est, les autres secteurs seront exclus de la suite du travail.

Tableau N° 4: Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO1963-1970**)**

SECTEURS / PERIODE DE RETOUR	NW	N	NE
biannuelle	3,64	4,07	4,06
quinquennale	4,41	4,90	4,75
décennale	4,99	5,53	5,27
vingtennale	5,58	6,16	5,79
cinquantennale	6,35	7,00	6,47
centennale	6,93	7,63	6,99

I.7.3. Les courants

Le courant algérien, dont les caractéristiques sont spécifiques (Millot, 1989), est un courant côtier initialement (près 0° de longitude) d'une dizaine de Km de largeur et entre 100 à 200 Km d'épaisseur. La plupart du temps, le Courant algérien produit des tourbillons relativement petit (dizaine de km dans le diamètre) et peu profond (100-200 m) qui n'ont pas de conséquences significatives sur la circulation des masses d'eau. Cependant, à quelques occasions, ce courant se forme relativement grand méandre qui a en réalité des conséquences pour la circulation de toutes les masses d'eau.

I.7.3.1. Le courant côtier de retour :

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

I.7.3.1. Les courants de la dérive littorale :

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique. Elle donne naissance à un courant de dérive littoral, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.Ce courant parallèle au rivage, qui se manifeste dans la zone de déferlement des vagues, joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments le long de la côte et dans l'alimentation des plages en sable et en galet

I.7.4. La marée

Bien que la marée soit faible sur la côte Algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type microtidal,

Les informations données par N.G.A (niveau général algérien) sur le niveau de la mer à Tipaza sont comme suit

- ✓ Le niveau maximal……+0.6m
- ✓ Moyen des hautes mers de vive eau…… +0.10m
- ✓ Moyen de basse mers de vive eau…….-0.10m

Chapitre II

Analyse et résultat du processus sédimentaire

II.1. Houle à la côte

L'étude de la houle à l'abord d'une côte constitue un élément important du travail de l'ingénieur qui s'intéresse au génie côtier ou à l'aménagement portuaire : réfraction, diffraction, réflexion. Nous nous intéressons ici au problème de la réfraction. Il s'agit d'un phénomène fréquemment rencontré en physique : optique, acoustique et plus généralement dans tous les domaines qui se prêtent à un traitement ondulatoire.
La réfraction consiste en une inflexion de la direction de propagation de l'onde sous l'effet de la non-homogénéité du milieu qui est le siège de la propagation. Dans le cas de la houle la perturbation transportée est une hauteur d'eau et "l'indice de réfraction" dépend de la profondeur du milieu.

On se propose de présenter pour résoudre le problème de la réfraction le traitement par le logiciel SWAN élaboré par le laboratoire d'hydraulique DELFT.

II.1.1. Principe de calcul de la réfraction de la houle :

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

$$k_r = \frac{Hs_{local}}{Hs_{large}} \qquad (1)$$

Les calcules de la réfraction sont effectués par le modèle numérique SWAN, en prenant en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages;
- Déferlement de la houle.

Ce travail a été basé sur des données de type tridimensionnel (x, y, z), en l'occurrence : longitude, latitude et profondeur et des données de houles au large.

Concernant la profondeur l'information utilisée qui provient de la digitalisation de la carte marine (carte de la cote septentrionale d'Afrique-partie comprise entre Cherchell et Ténès d'échelle 1/100000eme) ainsi que la campagne de reconnaissance sur site effectué dans la zone d'étude par LEM.
Les données de houles au large utilisées sont celles de Summury of SynopticMeteorological Observations (SSMO)

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

II.1.2. Résultats de la propagation de la houle du large vers la côte pour les périodes de retour annuelle et vingtennale :

- ✓ Pour les houles annuelles traitées et destinées au calcul du transit sédimentaire, les résultats sont donnés par le tableau N°5 suivant :

Tableau N° 5 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude

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

- ✓ Pour les houles vingtennales destinées au calcul du dimensionnement des ouvrages, les résultats sont sous formes graphiques comme l'exemple de la direction N315°ci après **:**

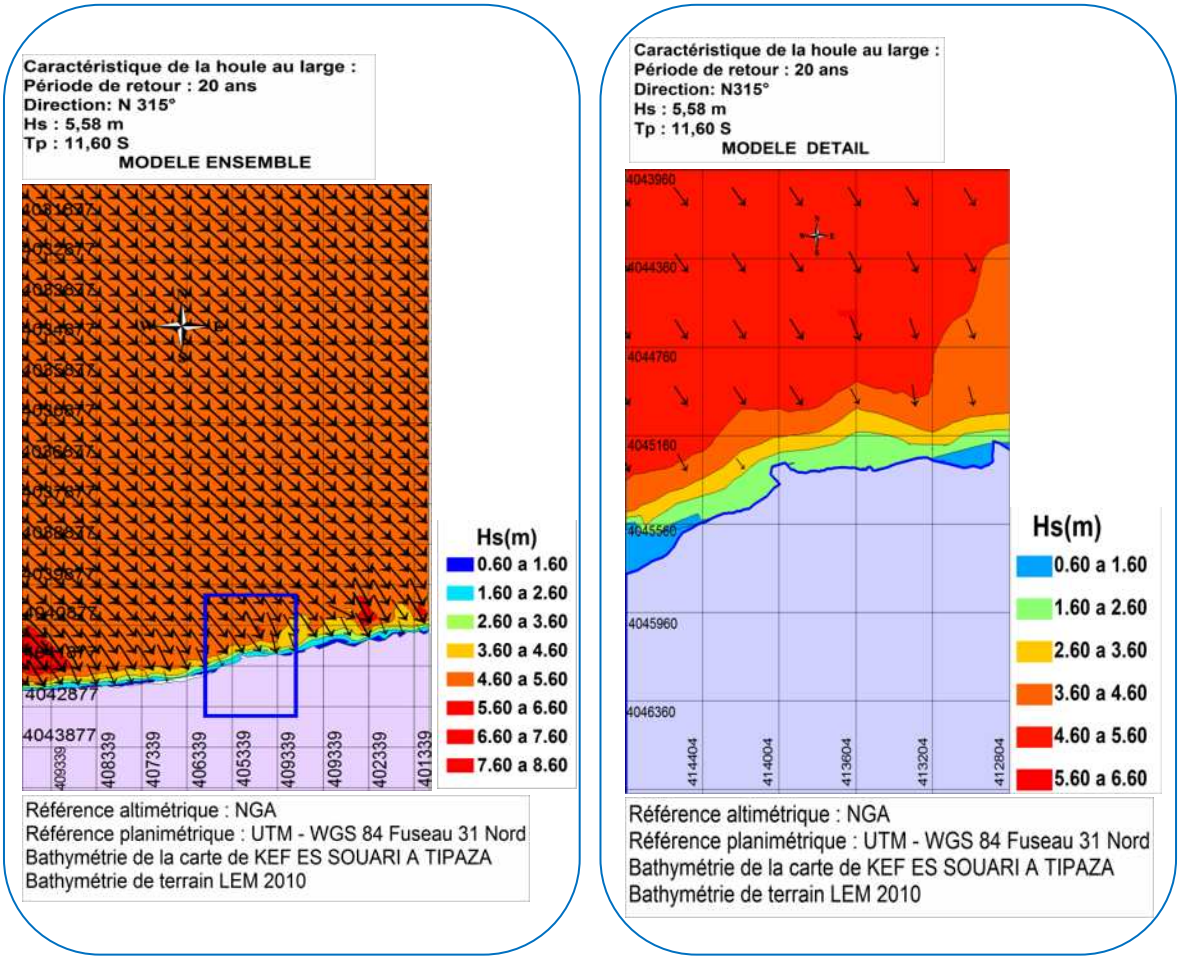


Figure N° 14:Réfraction de la houle pour une direction N°315 et une période de 11,16s BELLOULOU et GANA,(2012)

Commentaire

Les houles de direction Nord-Ouest sont les plus énergétiques (tableau n°1), et peuvent atteindront la zone de HADJRET-EN-NOUS, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,72 à 10 m de profondeur (annexe 1). Elles perdent que peu de leur énergie du large à l'approche de la côte.

II.1.2.2. La direction Nord

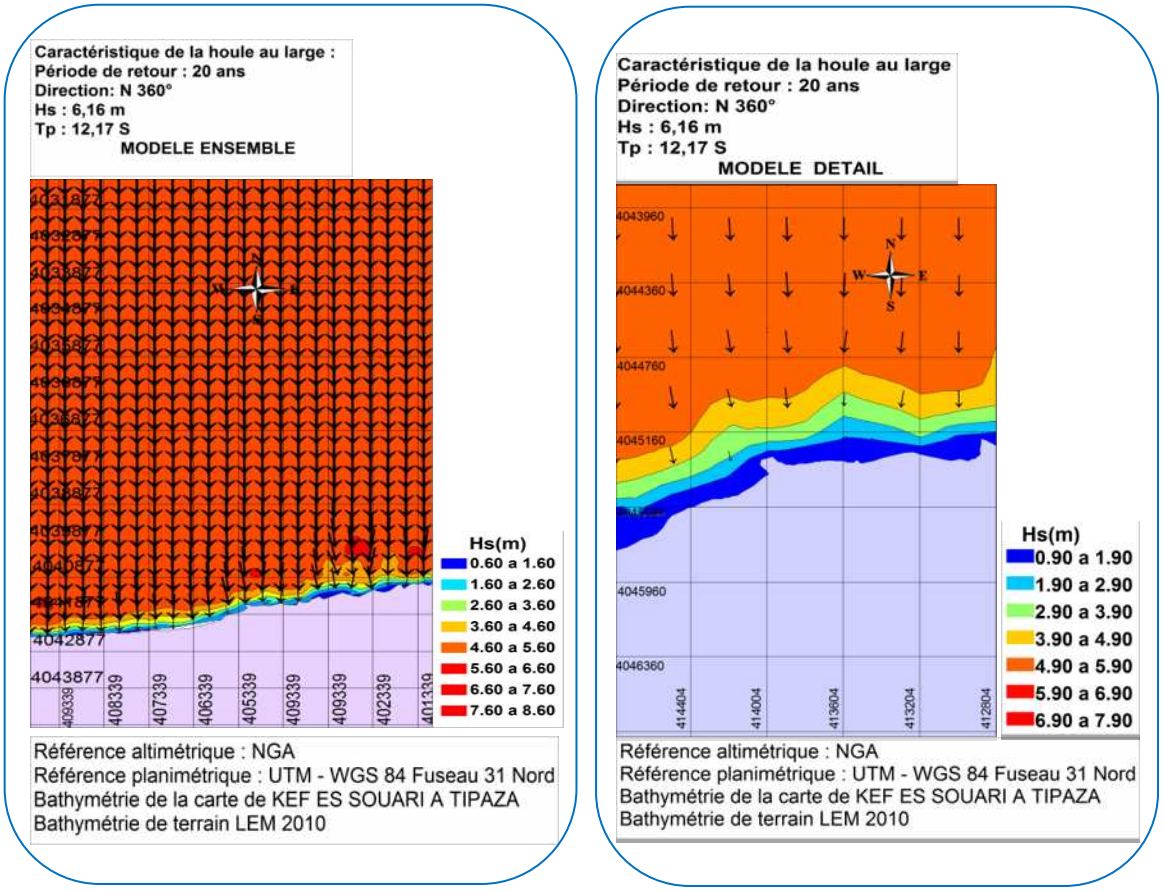


Figure N° 15:Réfraction de la houle pour une direction N°360 et une période de 12,17s. BELLOULOU et GANA, (2012)

Commentaire

La figure N°15 présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et une période de 12,17 secondes, la propagation se fait de façon frontale, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.63 à 10 m de profondeur, donc les houles ne perdent que 27%de leur énergie. Les orthogonales atteindront la côte avec un angle d'arrivée en moyenne égal à 360°.

II.1.2.3. La direction Est

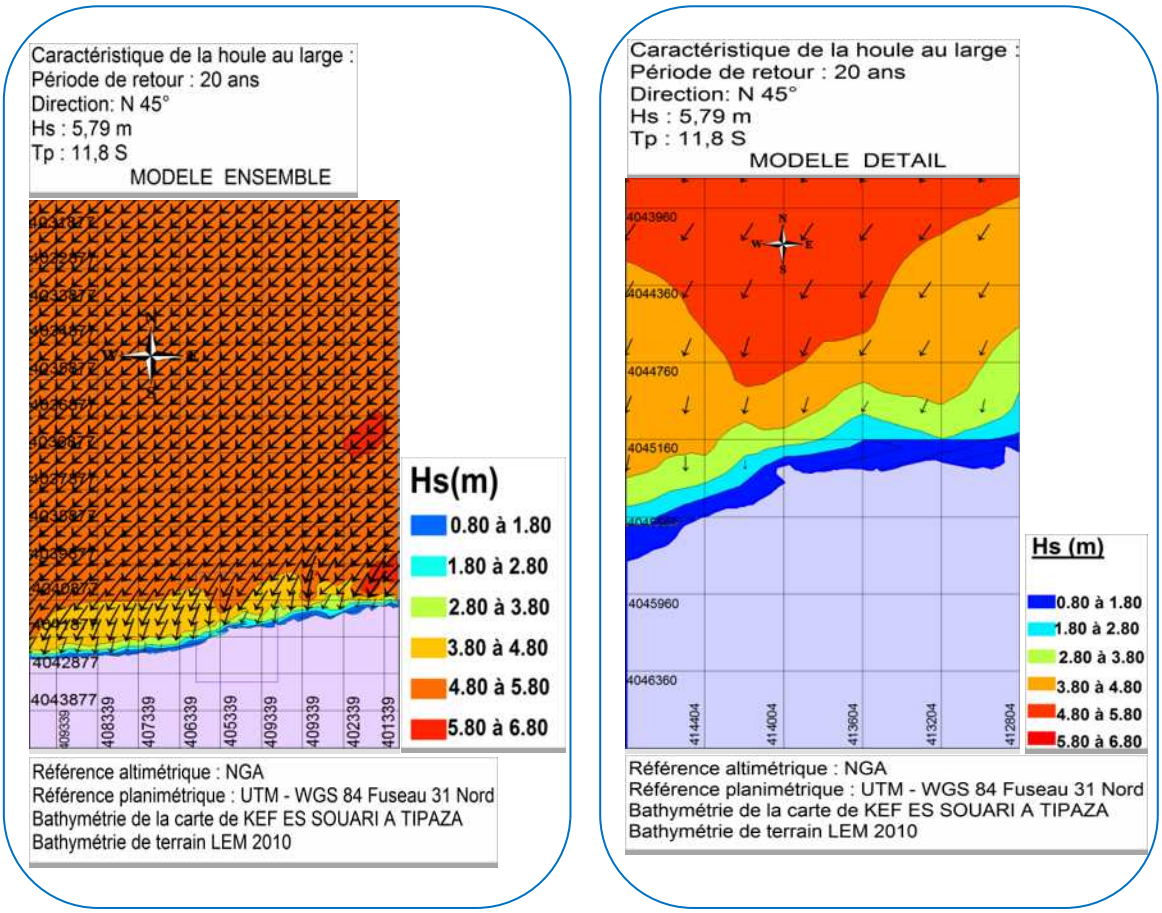


Figure N° 16:Réfraction de la houle pour une direction N°45 et une période de 11,8s. BELLOULOU et GANA, (2012)

Commentaire

L'étude de la réfraction sur ce cas démontre que pour une houle de secteur Est et de période de 11,8 secondes, la réfraction s'opère sur cette dernière de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte, avec un coefficient de réfraction en moyenne égal à 0,57à 10m de profondeur. Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie du large.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord – Est à sud avec un angle d'arrivée en moyen égal à 46°

II.1.2.4. La direction Ouest

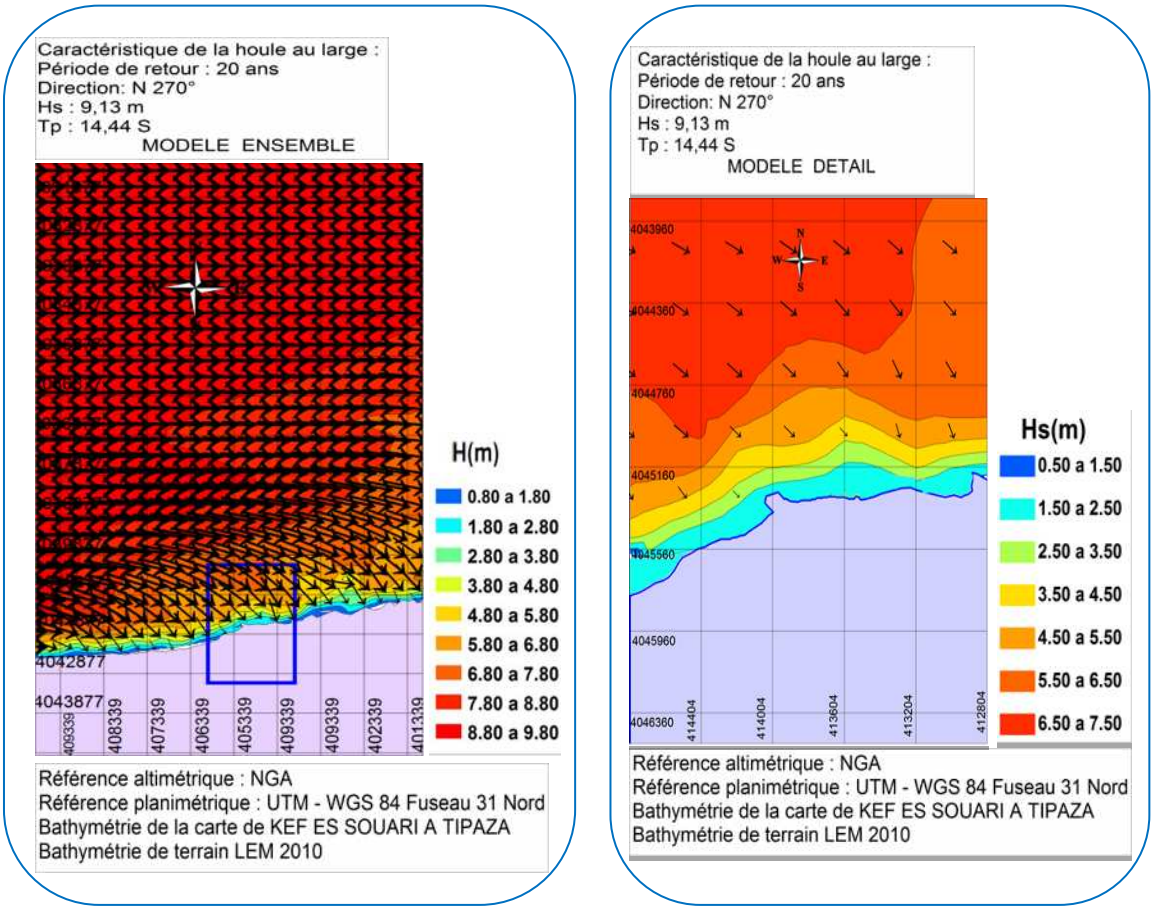


Figure N° 17:Réfraction de la houle pour une direction N°270 et une période de 14,44s. BELLOULOU et GANA, (2012)

Commentaire

Les houles de direction Ouest sont les moins énergétique par rapport aux autres directions (tableau n°2), en atteignant la zone d'étude, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,46 à 10 m de profondeur. Elles perdent la moitié de leur énergie du large qui s'opère sur cette figure de façon à diminuer leur énergie au fur et à mesure de leur évolution vers la côte.
La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Ouest à Nord et donc un angle moyen de 22°.

II.1.3. Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle:

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer sur la zone de HADJRET-EN-NOUS sont les houles de Nord Ouest, c'est celles qui vont être prises en considération dans le dimensionnement des ouvrages de protection car elles conservent leur énergie de départ et arrivent avec une incidence frontale sur le site d'étude.

II.2. Calcul du transit sédimentaire

La houle est le principal acteur responsable du transport des sédiments le long des rivages. Son action dépend du type de littoral ; de l'obliquité de sa propagation par rapport à la direction générale du trait de côte et aussi liés aux caractéristiques énergétiques des conditions environnementales (vent, houle, courant …). Ils sont donc saisonniers, et peuvent s'effectuer avec des fluctuations importantes d'une année à l'autre.

II.2.1.Courants de houle.

Sous l'action des houles obliques un courant de houle prend naissance et se dirige parallèlement à la côte formant un véritable "fleuve littoral" susceptible de transporter en suspension, ou par charriage, des masses considérables de sédiments apportés du large par le courant de translation sur les fonds ou arrachés de la côte par la houle. La répartition des vitesses dans ce fleuve littoral, créé par les courants de houle, montre un maximum vers la côte entre une demi-longueur d'onde et une longueur d'onde du point de déferlement. Vers le large, les vitesses diminuent très rapidement pour devenir faibles à négligeables au de là du point de déferlement de la houle. Vers la côte, la diminution est plus lente.

On peut admettre, en première approximation, que la vitesse du courant de houle peut être rattachée aux caractéristiques de la houle et de la pente des fonds par l'expression :

$$V = 20{,}7\, m\, (gH_b)^{1/2} \sin(2a_b) \qquad (2)$$

V : la vitesse de courant
H_b : hauteur de la houle déferlante,
m : pente moyenne de la plage, exprimée par sa tangente,
a_b: incidence de la houle au déferlement,

Pour une houle de 3 m, la vitesse du courant de houle atteindrait 0,5 m/s pour une obliquité des lames de 15° avec une pente moyenne de 1% .

II.2.2. Estimation des transits sédimentaires :

Les débits des transports sédimentaires engendrés par une succession d'états de mer réels peuvent être estimés d'après les données statistiques des houles, en pondérant par leur probabilité d'occurrence les résultats relatifs à chacune d'entre elles.

On note que les méthodes empiriques permettant d'effectuer de tels bilans sont subordonnées à une bonne connaissance du terrain, et restent encore assez approximatives.

Formule de transport

$$Q = \frac{K.g}{C}.H^2.T.t.f(\alpha) \quad (3)$$

Q : volume de sable transporte (m^3/an)
K : coefficient de transport de sable ($2,5 * 10^{-6}$)
g: gravité (m/s^2)
C : la cambrure de la houle 3%
H : amplitude significatif (m)
t : période (s)
$\boldsymbol{f(\alpha)}$: fonction de l'obliquité de la houle $(f(\alpha) = \sin(7\alpha/4))$
T : duré d'action de la houle (s)

1 : moyenne de fréquence d'apparitions

- $P_n=\sum f_{ri}/n$
- f_{ri} : fréquence d'observation pour chaque période (annexe)
- n : nombre de classe

Tableau N° 6 : moyenne de fréquence d'apparitions

	PERIODE		
DIRECTION	6	8	10
N 360	0,0431	0,0008	0,0000
N 315	0,0361	0,0007	0,0000
N 45	0,0783	0,00084555	0,0000
N 270	0,10746336	0,00191657	0,0000

2 : calcule de H :

$H = A \ln(P_n) + B$ (annexe)

Tableau N° 7 : les hauteurs de la houle pour chaque période

	PERIODE (s)		
DIRECTION	6s	8s	10s
N 360	0,580049573	3,35237948	0,0000
N 315	0,76555069	3,04436302	0,0000
N 45	0,607374222	3,17221908	0,0000
N 270	0,668526878	2,99633521	0,0001

3 : Fréquence d'observation :

f%=∑(nombre de cas pour chaque période/8870)* 100

Tableau N° 8 : Fréquence d'observation pour chaque direction

	PERIODE (s)		
DIRECTION	6s	8s	10s
N 360	7,981961669	0,52987599	0,03382187
N 315	6,178128523	0,38331454	0
N 45	17,80157835	0,48478016	0,05636979
N 270	22,49154453	2,42390079	0,16910936

4 : la période (t) :

t= (365*24*3600/100)*f%

Tableau N° 9 : la période « t »pour chaque direction

	PERIODE (s)		
DIRECTION	6s	8s	10s
N 360	2517191,432	167101,691	10666,0654
N 315	1948334,611	120882,074	0
N 45	5613905,75	152880,271	17776,7756
N 270	7092933,484	764401,353	53330,3269

5 : bilan énergétique = H^2.T.t

Tableau N° 10 : bilan énergétique pour chaque direction

	PERIODE (s)			TOTAL
DIRECTION	6s	8s	10s	
N 360	5081567,728	15023709,6	0	20105277
N 315	6851137,764	8962821,89	0	15813960
N 45	12425935,05	12307441,4	0	24733376
N 270	19020191,41	54902513,8	0,00533303	73922705
			TOTAL	134575318,5 jol

6 :l'obliquité de la houle ($f(\alpha) = \sin(7\alpha/4)$)

Tableau N° 11 : l'obliquité de la houle pour chaque direction

		PERIODE (s)		
DIRECTION		6s	8s	10s
N 360	α	-23	-20	-18
	F(α)	-0,64612398	-0,57357644	-0,522498565
N 315	α	10	14	17
	F(α)	0,3007058	0,414693243	0,496216504
N 45	α	-62	-52	-40
	F(α)	-0,94832366	-0,9998477	-0,939692621
N 270	α	38	39	47
	F(α)	0,917060074	0,928809553	0,990865897

7 : transit sédimentaire

Tableau N° 12: transit sédimentaire pour chaque direction

	PERIODE (s)			TOTAL
DIRECTION	6s	8s	10s	
N 360	-2684,11636	-7044,5984	0	-9728,714793
N 315	1684,194582	3038,50172	0	4722,696301
N 45	-9633,26316	-10059,801	0	-19693,06408
N 270	12335,85623	37958,6369	4,27598E-06	50294,49313
			TOTAL	25595,41056m^3/an

II.2.3. Conclusion

La direction de transit littoral est de l'Ouest vers Est avec une faible quantité de l'ordre de 25000 m^3/an.

II.3. La dynamique dans la cellule sédimentaire

La connaissance de la dynamique sédimentaire et la délimitation de la cellule sédimentaire est une phase importante dans le choix de l'ouvrage de défense.

La notion de cellule sédimentaire, appelée aussi cellule de dérive littorale, s'est imposée avec l'objectif de caractériser à court et long termes les évolutions longitudinales des transits sédimentaires littoraux. Elle a tout d'abord été développée par **(J.P. May et W.F. Tanner 1973)** à partir de la notion de distribution de l'énergie des houles (et du courant de dérive littorale) le long d'un rivage. Une cellule est souvent définie comme un compartiment côtier qui contient un cycle complet de sédimentation comprenant une zone source (d'érosion), une zone en équilibre dynamique puis une zone en accrétion.

EUROSION (initiative européenne pour la gestion durable de l'érosion côtière) a définit une cellule sédimentaire côtière comme un compartiment côtier dans lequel se produisent des phénomènes incluant la mise en mouvement des sédiments, leurs transports et leurs dépôts.
(M.J. Bray et al. 1995) ont établi une typologie et une méthodologie pour définir les différentes limites de cellule et en distinguent deux groupes. Les limites fixes correspondent à un obstacle physique, naturel (cap, estuaire, embouchure) ou anthropique (jetée portuaire, brise-lame, digue). Les limites mobiles ou libres, se rencontrant le plus fréquemment sur les littoraux ouverts, correspondent à des instabilités ou des réponses morphologiques à une variation d'une composante gérant le transit sédimentaire

La cellule sédimentaire côtière de la zone de HADJRET-EN-NOUS, est délimitée parle cap de Kef el Terf (longitude 36° 34' 33,24 N ; latitude 1° 55' 15,72 E) coté Gouria vers l'Ouest et l'ilot deTaourira (36° 34' 39,34" N ; 2° 03' 9,85") coté HADJRET-EN-NOUS vers l'Est (figure N°18)

Figure N° 18 : la délimitation de cellule sédimentaire (Google Earth 2012)

Caractéristique de cellule sédimentaire :
La quantité de sédiment dans cette cellule est faible car le rapport terrigène dans cette zone est limité à cause de :

1. la couverture végétale dense donc le piégeage de sédiment est important
2. la frontière terrestre dont le matériel sableux demeure inexistant de part l'absence de dunes et plages;
3. la frontière marine émergée dont une certaine quantité de sable s'échappe à ce niveau vers le large et n'est plus récupérée par le système littoral ;
4. deux frontières latérales plus ou moins imperméables marquantes, l'une constituant une zone source de départ d'un transit littoral (les caps), et l'autre un secteur ou zone puits d'accumulation du sable transporté (l'embouchure de oued).

Ces cellules sont dépendantes de leur environnement ce qui constitue un système ouvert, car il y a un échange d'apport sédimentaire qui se fait à l'extérieur (apport sédimentaire fluviatile).

La zone d'étude est située à la limite Est de la cellule ce qui explique la pauvresse de sédiment car au niveau des capsla concentration de l'énergie, cette dernière ne laisse pas le temps aux sédiments pour se déposer; en plus que la zone est très loin de la source de sédiment (oued).

Vérifions maintenant si la cote à toujours été ainsi comment ? Par :

II.4. Analyse des modifications de la ligne de côte

II.4.1. Evolution du trait de cote

Avant d'exposer les résultats des mesures connues à ce jour, il convient de noter que le paramètre le plus utilisé et le plus cité dans la littérature pour caractériser l'érosion est celui du recul du trait de côte par unité de temps (en m/an).

II.4.2. Difficulté de définir le trait de côte

Sous le vocable de trait de côte, qui semble une notion des plus limpides (la ligne qui sépare l'océan du continent), se cache une réelle ambiguïté. En effet, « dans un milieu qui doit son existence à un mouvement, celui de la mer, qui détermine une frange d'indécision, le rivage, il est bien difficile de placer une limite entre la terre et la mer. » (Lacoste, 1993).

La netteté de cette limite est éminemment variable avec l'échelle de l'observation. Si les clichés de la terre réalisés depuis l'espace montrent clairement la dichotomie terre-mer, la réduction d'échelle modifie l'image des rivages. Les photographies aériennes prises à des altitudes de plus en plus faibles ou à l'aide de focales de plus en plus longues montrent des détails que les images distales ignoraient. La perception de la limite entre la terre et la mer devient floue à l'échelle de l'observateur humain chargé de la marquer sur le terrain et l'observation microscopique permet d'atteindre des niveaux plus fins encore (Verger, 1993). Cette limite est également rendue incertaine par son instabilité temporelle : à court terme (les vagues, les marées), à moyen terme (les saisons, les actions anthropiques), à long terme (les passages des wagons sédimentaires) ou à très long terme (les transgressions et régressions marines). Et comme élément nouveau maintenant le réchauffement climatique qui contribuera à l'accélération de ses derniers.

II.4.3. Aspect et évolution du trait de côte (HADJRET-EN-NOUS) :

Nous avons pour notre cas utilisé un moyen simple caractérisé par une superposition de Photos aériennes de 1960-1973 échelle 1/20000 associées par la suite à une image Google calée et le résultat est reporté sur la figure N°19.

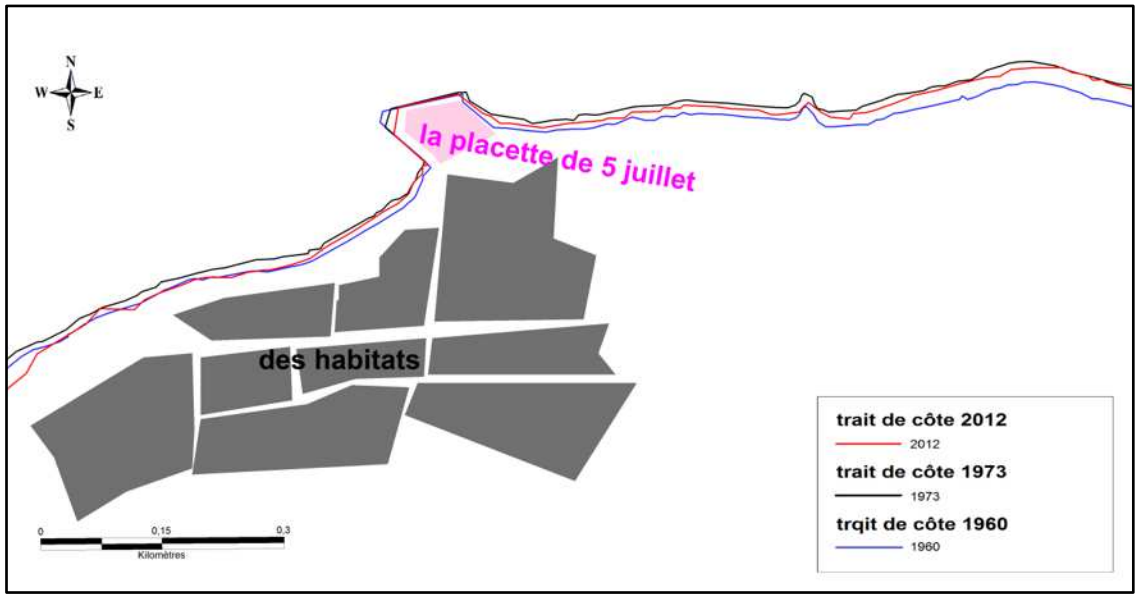


Figure N° 19 : évolution du trait de cote entre 1960-2012

Interprétation :

D'après le résultat des traitements les photos aériennes (1960 ; 1973) et image satellitaire de Google Earth 2012 par logiciel Map Info 8 ; il nous été permis d'identifier deux périodes de cette frange littorale : dans la première période le littoral a une tendance accumulative, et dans la seconde période le littoral à une tendance érosive.

Le premier stade. S'étend entre les années 1960 et 1970, On remarque une accumulation des sédiments sur toutes les parties Est et Ouest de la placette de gain moyen de 8m qui est traduit par un taux d'accumulation d'environ de 0,65m/an

Le deuxième stade : s'étend entre les années 1973 et 2012, dans cette période la zone connue une érosion sur tout les parties (Est et Ouest) recul moyen d'environ 6m qui équivalent à une vitesse de régression de trait de côte de 0.2m/an

II.4.4. Auscultation du site

Malgré la faible vitesse d'érosion due aux facteurs naturels, les actions anthropiques contribuent dans la dégradation focalisée par ci par là et ressentie sur les zones.

II.4.4.1. constat sur le site de HADJRET-EN-NOUS :

Le littoral est à dominance rocheuse (pas des plages sableuses), un mince cordon de sédiments meubles très grossiers s'étend au pied de la frange littorale, on constate aussi de nombreux dépôts (déversement d'ordure ménagères, débris de construction…) et l'absence de réseau d'assainissement (rejet des eaux usées directement en mer) surtout la partie ouest de la placette photos01 ainsi que la présence d'herbiers morts (herbiers à posidonie) photos02 sur l'estran dans les zones les plus abritées des agitation dominantes de secteur Nord Est.
Une plate forme rocheuse étendue vers la mer de l'ordre de 10 à 20m c'est un environnement favorable pour les espèces échinodermes exemple les oursins.

Photo N° 2: les Rejet des eaux usées (Avril 2012)

Photo N° 3: herbiers morts (Avril 2012)

II.4.4.2. Analyse de la problématique

II.4.4.2.1. Le problème de l'érosion

L'érosion littorale est une forme de dégradation mécanique qui se manifeste par un recul du trait de côte. Présente à toutes les échelles d'espace et de temps, elle est l'expression de processus morphodynamiques affectant l'interface terre /mer / atmosphère. Parce que le régime des marées y est micro-tidal, que la pression de l'urbanisation et des aménagements touristiques, combinée aux effets locaux de subsidence, y est considérable, les côtes de

Méditerranée occidentale sont en voie de dégradation rapide. Elle est naturelle mais peut être déclenchée et souvent accélérée par des interventions humaines.(CIESM Science Séries, 1997).

Donc sur le site d'étude l'érosion touche la partie Ouest, et Nord-Ouest du port (attaque direct par l'énergie des vagues) de façon plus fréquente et un peu moins sur la partie Est.

L'érosion sur la placette causée par l'affouillement de la base de la plate forme

Photo N° 4: Mur basculant à cause de la tempête et l'affouillement de plate forme (Avril 2012)

Photo N° 5 : érosion de la base de la placette (avril 2012)

II.4.4.2.2. Pollution :

La pollution marine résulte de tous les produits rejetés dans les mers et les océans en conséquence de l'activité humaine.

Dans la zone d'étude existe des rejets liquides (eaux usées domestique) et des déchets solides qui sont localisés surtout dans la partie Ouest de la placette.

Photo N° 6 : Pollution d'eau par les rejets liquide (Avril 2012)

Photo N° 7: rejet d'eau usée (Avril 2012)

Photo N° 8: déchets solides (Avril 2012)

II.4.4.2.3. Urbanisation :

L'occupation du littoral comprend le bâti et la pression que celui-ci exerce sur le milieu, et aussi la modification de la couverture végétale

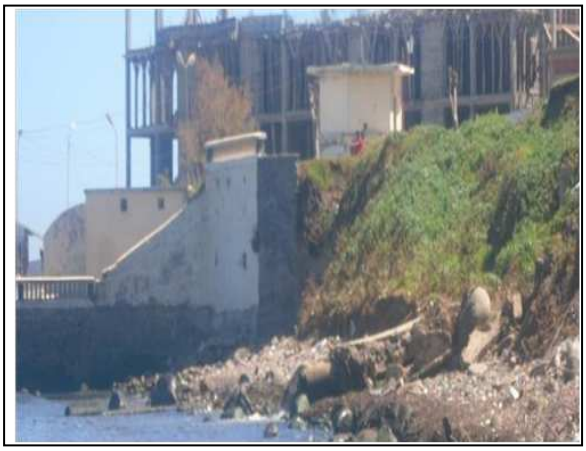


Photo N° 9 : l'urbanisation (Avril 2012)

Photo N° 10 : modification de la pente (Avril 2012)

II.5. Effets naturels et anthropiques et rôle des anciens ouvrages :

L'érosion des côtes est d'une part un phénomène naturel et d'autre part, dans une bien plus large mesure, un phénomène induit par l'homme. C'est pour cela qu'avant toue action il faut d'abord définir le type d'érosion (naturelles due aux facteurs naturels, ou humaine).

II.5.1. Erosion naturelles :

L'évolution des côtes se fait suivant un cycle naturel, qui pourrait se résumer ainsi : les falaises et les talus sont soumis à l'érosion (principalement par les vagues) et recul en fournissant à la mer avec l'apport des alluvions des rivières, les matériaux nécessaire à la formation des plages et des avant plages.

II.5.1.1.Le Vents :

Ils génèrent la vague mais créent aussi un mouvement de sédiments, contribuant à la formation des dunes de la zone côtière vers l'intérieur des terres (abrasion ou érosion éolienne) mais en l'absence de ces formation la région est à l'abri de l'effet du vent.

II.5.1.2. Les Tempêtes :

Les dommages causés par les ondes de tempête ne contribuent pas nécessairement à l'érosion côtière à long terme. Une érosion irréversible induite par les tempêtes se produit au niveau des falaises, à ce niveau on qualifie alors que la côte de HADJRET-EN-NOUS va se comporter vis à vis des tempêtes comme une falaise et non une côte.

II.5.1.1.3. Les Courants littoraux :

Les sédiments prélevés par les vagues peuvent être déplacés par le courant de la dérive littorale (Ouest Nord et Est).
Celui-ci est causé par les vagues orientées par les vents dominants frappant le rivage obliquement (de direction Nord Ouest).
Une part importante des sédiments prélevés à un point donné va alors être redistribuée le long de la côte et ce, dans le sens de cette dérive littorale et n'étant pas captée au niveau de notre site d'étude à cause des courants de dérive littoral du secteur Nord.

II.5.1.1.4. L'élévation du niveau relatif de la mer

L'élévation du niveau de la mer est la conséquence directe du réchauffement global de notre planète, du à l'augmentation de l'effet de serre.

On a constaté que cette élévation du niveau de la mer provoque un démaigrissement et un recul des plages **(principe de Brunn 1962)**. 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. (Voir schéma ci-dessous)

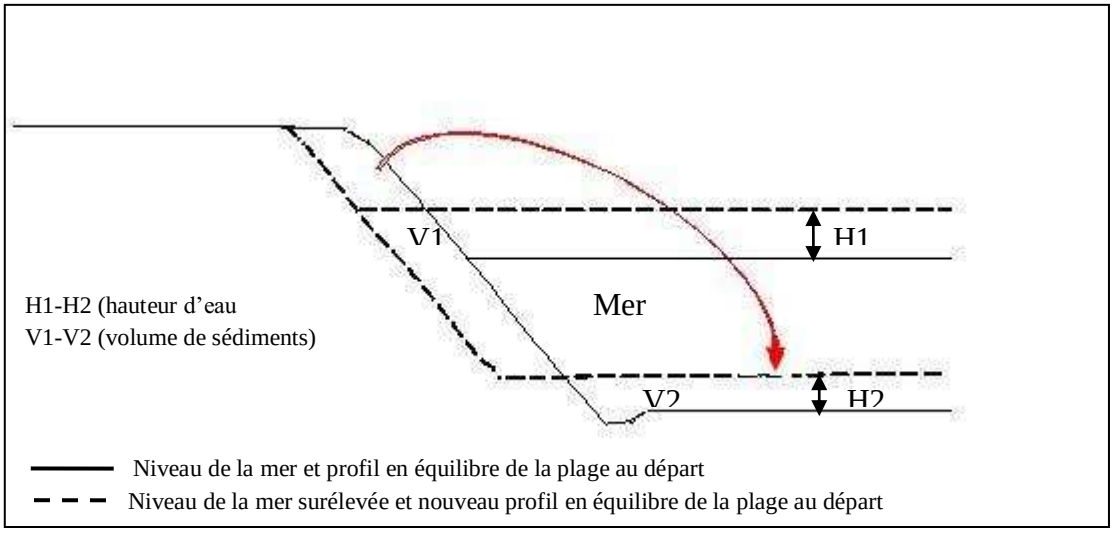


Figure N° 20 : Schéma d'illustration du principe de Brunn

II.5.2. Erosion anthropique :

C'est une érosion due aux agissements de l'homme qui fait qu'accélère et amplifier les phénomènes de l'érosion.

II.5.2.1. Facteurs anthropiques :

L'activité humaine influe de plus en plus sur le profil des plages. On dénombre ainsi plusieurs facteurs d'érosion directement liés à l'homme :

- L'urbanisation du littoral : la construction d'immeubles, de promenades, de routes… renvoie la houle et empêche le déferlement des vagues. Leur énergie n'est plus dissipée le long des plages et le phénomène érosif s'accentue (photos N° 09 ; 10)
- La construction des ports, qui empêchent le déplacement des sédiments le long de la côte.
- La domestication des cours d'eau : la construction de barrages réduit les apports solides des cours d'eau qui se jettent dans la mer.
- La sur-fréquentation de certaines plages, qui détériore les massifs dunaires.
- La dégradation des plantes marines, par la pollution, les chaluts, les mouillages sauvages… Or, ces plantes freinent l'érosion des côtes en stabilisant les fonds marins et en dissipant l'énergie de la houle.
- La mauvaise conception d'ouvrages de défense, qui en luttant localement sur un problème, le déplacent sur les plages voisines.

II.5.3. Conséquences de l'érosion

Sur les bords de mer dépourvus d'ouvrages de défense ou de solutions de dépôt de sédiments (engraissement), les conséquences peuvent être critiques :

- Disparition de la plage.
- Erosion des falaises, provoquant éboulement et chutes de pierres.
- Dégradation des habitations en front de mer.
- Altération des routes, des chemins…

II.5.4. Analyse et conclusion

II.5.4.1. Les facteurs d'érosion les plus fréquents HADJRET-EN-NOUS

Les facteurs d'érosion le plus fréquent dans la zone de HADJRET-EN-NOUS sont :

II.5.4.1.1. Les facteurs naturels :

- Les tempêtes surtout qui arrivent de l'Est car elles ont une durée long (3 jour jusqu'à une semaine).
- L'attaque frontale de la houle sur les bordures de la placette qui dégrade rapidement leurs fondements (photos N° 03).

II.5.4.1.2. Les facteurs anthropiques :

- L'occupation du littoral qui est due essentiellement à l'augmentation du nombre des habitats (taux de croissance démographique de 2,61 % (A.P.C)) d'une part et la surface réduite de la commune d'autre part (zone montagneuse).
- La pollution par les rejets des eaux usées domestiques.
- La présence de placette elle même qui fonctionne comme un épi.
- Défaut d'application de loi littorale 0202 qui interdit l'implantation et la construction sur une bande de 100 m à partir de la cote.

II.5.4.2. Conclusion :

l'érosion côtière, dans la zone de HADJRET-EN-NOUS qui a une cote linier de 200m à protéger provoquée essentiellement par des facteurs naturels, avec une très grande importance au facteur houle laquelle peut causer des dégâts sur les infrastructures côtières lors d'une tempête, mais aussi accélérés par des facteurs anthropiques générant ainsi des problèmes d'ordre environnemental, susceptibles de s'aggraver dans le future.

Chapitre III

Les propositions de dispositif de défense avec une vision d'aménagiste

III.1. Introduction

Avant d'entreprendre un aménagement d'une côte et implanter des ouvrages de protection contre la houle, il est nécessaire de bien connaître les caractéristiques du site ainsi que les ressources locales, de façon à réaliser un ouvrage qui soit optimisé en fonction des critères fondamentaux que sont :

- la durabilité ;
- l'efficacité de la protection contre la houle ;
- le coût de construction ;
- le coût d'entretien.

En effet, compte tenu du coût très élevé de ce type d'ouvrage, leur durée de vie souhaitable est d'au moins 50 ans, et atteint souvent plusieurs siècles. En général, les renseignements recueillis lors de la phase préliminaire des études sont suffisants pour pouvoir déterminer les caractéristiques des ouvrages de protection contre la houle.

III.2. Les besoins de la commune de HADJRET-EN-NOUS

La commune de HADJRET-EN-NOUS représente un grands intérêt, par sa richesse et ses caractéristiques de site (la mer, les montagnes, la foret,…), elle est très riches en potentialités touristique, mais malheureusement qui ne sont pas exploités, (des monuments et des objets d'arts de l'ère romaine, la placette…) on veut dans ce chapitre proposer des solutions de protection qui serviront aussi de lutte contre la dégradation de ces monuments pour les injectés dans un cadre d'aménagement et développement du secteur touristique.

III.2.1. Rappel de situation actuelle de commune de HADJRET-EN-NOUS

Le littoral est à dominance rocheuse, un mince cordon de sédiments meubles très grossiers s'étend au pied de la frange littorale au niveau de site HADJRET-EN-NOUS, on constate de nombreux dépôts (déversement d'ordure ménagères ,débris de construction…) et l'absence de réseau d'assainissement (rejet des eaux usées directement en mer) surtout la partie ouest de la placette ainsi que la présence d'herbiers morts (herbiers à posidonie) sur l'estran dans les zones les plus abritées des agitation dominantes de secteur Nord-Ouest
Une platier rocheux étendu vers la mer de l'ordre de 10 à 20m qui laisse la commune dépourvue de plage de baignade (zone de cap).

III.3. Les solutions proposées par notre étude

III.3.1. Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et des petits fonds

Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et de petits fonds, dénommés brise-lames, ont pour objet d'une part de limiter la dispersion transversale des matériaux lorsque des transports importants de sédiments s'effectuent dans le profil et d'autre part de provoquer une diminution de l'énergie de la houle permettant aux sédiments en transit de s'accumuler à leur abri.

Un brise-lame exerce deux types d'actions sur les houles s'approchant du rivage. Il diminue d'une part leurs énergies atteignant la zone côtière (zones d'ombre) situées à leur abri, et en réfléchissant ou absorbant au moins partiellement l'énergie des houles qui le frappent directement, les houles résiduelles étant transmises par-dessus l'ouvrage (franchissement) et au travers de l'ouvrage (perméabilité). D'autre part il provoque la diffraction des houles à ses extrémités ce qui entraîne une modification du tracé des orthogonales et des crêtes de houle en arrière de lui. De ces deux effets, en découle une modification du tracé des orthogonales de houles générant elles-mêmes un remodelage des fonds.

Dans cette partie nous présentons nos propositions pour protéger la zone contrer les différents formes des dégradations anthropiques et naturels cette protection est consisté de la :

III.3.2. Variante N°1

- Implanter un brise lame immergé lie avec la terre
- On soutenir la placette par une plateforme sur ses contours,
- Implanter une passerelle reliant la placette et l'ilot.
- Recharger la cote par des matériaux d'apport.

III.3.2.1. Conception du brise lames :

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

Il semble :

- que les brises lames efficaces sont ceux qui ne sont pas franchis par les vagues.
- qu'une série de brise-lames courts puisse avoir la même efficacité qu'un seul brise-lames long.

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

- ✓ **Implantation :**

D'une manière générale si la distance au rivage d'un brise lames augmente, son efficacité diminue, mais si cette distance est trop faible, le bassin de dissipation de l'ouvrage est trop petit pour absorber l'énergie de la houle après déferlement.

Son implantation résulte de deux types de considérations.

- Longueur de l'ouvrage par rapport à sa distance à la côte.
- Orientation de l'ouvrage.

III.3.2.1.1. Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte :

Des études faites au LCHF montrent que, pour qu'un brise-lames 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 à la relation :

$l > 1.2\ (l_c + 0.3L)$ (4)

l : longueur du brise-lames
l_c : distance du brise-lames à la côte
L : longueur d'onde de la houle au point considéré

La période (T) des houles longues susceptible d'exister est estimée à 11,60s.
Pour une distance du brise- lames à la côte l_c est égale à 100m (pour qu'un brise lames fonctionne bien, la distance à la côte doit être prise égale en moyenne à la moitié de la longueur d'onde de la houle au large, sachant que L au large = $1.56T^2$ = 210m)
On calculer longueur d'onde de la houle L au pied de l'ouvrage :
On a

$$L = L_0 * \sqrt{tanh(\frac{4\pi^2 Dp}{T^2 g})} \qquad L_0 = \frac{g.T^2}{2\pi} \qquad (5)$$

$L_0 = 210m$

$L = 57m$

L : Longueur au pied de l'ouvrage
L_0 : Longueur d'onde de la houle au large

Donc la longueur de l'ouvrage (l) est égale 139,34

En prend : l =140m

III.3.2.1.2.Orientation de l'ouvrage

L'orientation du brise-lames par rapport, tant à la direction prédominante des houles qu'à la ligne de rivage originelle, peut avoir un effet important sur la taille et la forme de l'avancée ou du tombolo résultant. Un changement de l'orientation de l'ouvrage modifie la figure de diffraction sur la ligne de rivage et, par conséquent, la réponse de ce dernier.
Pour des houles d'incidence très oblique sur la ligne de rivage, il est recommandé d'orienter le brise-lames parallèlement aux lignes de crêtes des lames incidentes, car cette disposition protège une plus grande section de la ligne de rivage, pour une longueur donnée de l'ouvrage.

III.3.2.1.3. Hauteur de la houle de dimensionnement (Hb(m))

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

III.3.2.1.3.1. La durée de retour de la houle

Par définition, la période de retour T (ou temps de retour, ou durée de retour) de la valeur x est l'espérance mathématique de la variable aléatoire définie comme la durée séparant deux dépassements successifs (dépassements vers les valeurs supérieures) de cette valeur. Elle est associée à la durée de vie de l'ouvrage et correspond aux nombre d'années entre deux occurrences successives d'un évènement $H>H_n$. elle est appelée annuelle, décennale, centennale…

Pour tout ouvrage en eau peu profonde, la hauteur de la houle de dimensionnement est bien souvent celle qui correspond à la hauteur de la plus grande lame déferlante pouvant atteindre l'ouvrage dans notre cas on prend la hauteur significative Hs qui peut être revenir chaque les 20 ans, qui est égale à **3,00 m**

On distingue en général quatre types de déferlement (glissant, plongeant, cassant et gonflant) maison s'intéresse surtout ici au déferlement plongeant qui est le plus dangereux pour les ouvrages, et qui correspond à notre cas (pente douce).

III.3.2.1.4. La hauteur de brise-lame immergé

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'arase, qui conditionne la hauteur des houles qui le franchissent sans déferler.

- Pour que l'ouvrage soit totalement émergent, il serait nécessaire de l'araser à une cote de l'ordre du niveau de la marée la plus haute augmentée de 1.25 fois la hauteur de la houle maximale.
- 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.

P : profondeur d'implantation de l'ouvrage =2,5 m

Donc on prend h (La hauteur de brise-lames) est égale à p – 0,5 = 2m

On prend : h =2m

III.3.2.1.5. La largeur en crête

Des expériences réalisées en laboratoire ont montrés que si la cote d'arase d'un brise-lames doit être abaissée, cette diminution rendant l'ouvrage plus vulnérable à l'arrière et moins efficace lors des tempêtes, cette dernière peut être en partie compensée par une augmentation de la largeur en crête.

Cette condition s'exprime par la relation

$$b=4*Hb$$

Ou

$$25 - 5z_a < b < 15 + 5z_a \quad (6)$$

Avec :

- b : largeur du brise lames en crête (m)
- z_a : cote d'arase de l'ouvrage (m)

On prend : b =12m

III.3.2.2. Stabilités des ouvrages de protection :

III.3.2.2.1. La partie extérieure du brise lames :

III.3.2.2.1.1. : La carapace

La carapace forme la première défense contre l'action d'érosion des vagues et représente aussi une protection pour les sous-couches. C'est en effet entre les blocs de la carapace que l'essentiel de l'énergie contenue dans les vagues va être dissipée, avant de rentrer en contact avec les sous-couches.

Les carapaces peuvent être construites le plus couramment avec :

- des enrochements naturels,
- des blocs artificiels massifs en béton

Poids des blocs de carapace, formule de Hudson (1974)

$$W_{carapace} = \frac{\gamma_s * {H_b}^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 * cotg\alpha} \quad (7)$$

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

$\mathbf{K_D}$: coefficient du dommage (pour un dommage entre 0-5% et pour une forme des blocs rugueuse et angulaire et pour un emplacement aléatoire Kd=3.5)

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

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

cotgα : la pente de l'ouvrage

Le coefficient de stabilité K_D

Le coefficient de stabilité K_D est un coefficient semi-empirique établi pour chaque type de bloc grâce à des essais en modèle réduit physique ou grâce à des observations réalisées sur des ouvrages déjà construits (annexe).

III.3.2.2.1.1.1 L'épaisseur de la carapace

$$e = n * K_\Delta \left(\frac{W}{\gamma_s}\right)^{1/3} \quad (8)$$

- e : épaisseur de la sous-couche,
- n : nombre de lits,
- K_Δ : coefficient tenant compte de la nature de la sous-couche,
- W : poids moyen des éléments constitutifs (W50),
- γ_s : poids volumique des éléments,

III.3.2.2.1.2. Noyau:

Une attention particulière doit être apportée à la réalisation du noyau car cela conditionne la qualité de l'ouvrage. Le noyau devra être non poreux pour arrêter les ondes longues contenues dans la houle et donc composer des éléments fins en quantité suffisante.

Pour qu'il puisse être mis en œuvre et résister à la houle lors de la construction ainsi qu'aux pressions transmises dans l'ouvrage fini, il devra être bien charpenté. On recourra donc à un tout-venant (TVC) bien gradué de 0 à 500 kg.

III.3.2.2.1.3. La butée de pied

De façon à éviter que les carapaces ne glissent trop en partie basse, il est souvent utile d'en bloquer le pied par un massif d'enrochements.
L'implantation de la butée liée directement a la hauteur d'eau h et le creux de la houle de projet lorsque h disponible au-dessus de celle-ci est inférieure à 1,3 fois le creux de la houle de projet elle sera constituée de blocs identiques à ceux de la carapace si la cas contraire le poids de ces blocs donner par la formule suivante : $W_{butée}= \frac{H}{10h} W_{carapace}$;
Dans le cas de cette projet le butée constituée de blocs de la carapace (h=2,5m < 1,3(H))

II.3.2.2.1.4. Le filtre :

les couches filtre ont pour but, à la fois d'empêcher que les matériaux du noyau passent à travers les protections latérales contre l'érosion des courants engendrés essentiellement par les montées et descentes des vagues sur l'ouvrage, et de continuer à dissiper l'énergie de la houle après son passage à travers la carapace. $\mathbf{W_{filtre}= 1/10\ W_{carapace}}$
dans le cas de ce projet le poids de filtre inclus dans le noyau c'est-à-dire pas de filtre.

Tableau N° 13 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace

Caractéristique du Brise lame immerge				
Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{carapace} = \frac{\gamma w * Hd^3}{Kd\left(\frac{\gamma r}{\gamma w}-1\right)^3 * cotg\alpha}$	$W_{carapace}= \frac{2,65*3^3}{3,5\left(\frac{2,65}{1,028}-1\right)^3 *1,5}$	W= 3,5t	[2-4]
	$\frac{Dn_{50}}{} = \sqrt[3]{\frac{Wcarapace}{\gamma s}}$	$Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{3,5}{2,65}}$	Dn_{50}= 1,09m	
	$e = n * K_{\Delta}(\frac{W}{\gamma_s})^{1/3}$	e = 2*1,15*1,09	e=2,5m	

Filtre	——	——	——	——
Le noyau	——	——	——	[0-500kg]
La largeur de crête	4*H_b	4*3	b = 12 m	

III.3.2.2.2. La partie intérieure du brise lames :

III.3.2.2.2.1. Calcul du coefficient de transmission :

Pour déterminer le coefficient de transmission on a utilisé **la formule d'Angremond& van der Meer& de Jong 1996** relative aux brise-lames immergés.

$$K_t = -0{,}4\frac{R_c}{H_s} + \left(\frac{b}{H_s}\right)^{-0{,}31}\left(1 - e^{-0{,}5\varepsilon}\right)c \qquad (9)$$

K_t: coefficient de transmission
R_c: revanche en m (hauteur entre l'ouvrage et la surface de l'eau comptée négativement vers le bas et positivement vers le haut)
Hs: hauteur significative de la houle incidente
b : largeur de la berme
Ɛ : paramètre d'Irribaren

$$\varepsilon\mathcal{E} = \frac{tang(\alpha)}{\sqrt{\gamma}} \qquad \gamma = \frac{H}{L_0} \qquad L_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$$

c : coefficient de perméabilité
c= 0,64 pour un ouvrage perméable, 0,8 pour un ouvrage imperméable
tang(α) : pente de l'ouvrage

Cette formule est valide pour : 0,075 $< K_t <$ 0,8

Application numérique :

$$K_t = -0{,}4\left(\frac{-0{,}5}{3}\right) + \left(\frac{12}{3}\right)^{-0{,}31}\left(1 - e^{-0{,}5*12{,}55}\right)0{,}64$$

Donc $K_t \approx 0{,}45$
A partir de coefficient de transmission on détermine Ht (la hauteur significative de la houle transmise) car $C_t = \frac{H_t}{H_i}$ sachant que Hi est la hauteur significative de la houle incidente qui est dans ce cas 3m on a trouvé $H_t = 1{,}35m$.

III.3.2.2.2.2. Calcul du poids et l'épaisseur de la carapace :

Du même principe que précédemment, on détermine le poids et l'épaisseur de la carapace en utilisant Ht, mais pour mieux protéger l'ouvrage contre les houles transmise en garde le même

poids de partie extérieur et change dans l'épaisseur pour diminue le cout de l'ouvrage donc on prend $2t < W < 4t$; et $e \approx 1m$).

III.3.2.3. Le musoir :

Les musoirs situés aux extrémités des ouvrages en enrochements présentent un problème de stabilité spécifique. La houle qui déferle sur un musoir peut s'y concentrer et accroître de manière significative l'exposition et l'instabilité, en particulier à l'arrière du musoir.
Pour résoudre ce problème et garantir au musoir la même stabilité qu'à la section courante principale, le talus est adouci ou la masse de l'enrochement est augmentée où les deux.
On utilise la formule de Hudson (1974) pour déterminé le poids de carapace mais en change le coefficient du dommage K_D qui est dans ce cas 2,5 les résultats obtenues sont :

- le poids de carapace $W_{50} = 4,187t$ on prend $3t < W_{50} < 5t$
- épaisseur de carapace $e = 2,814m$ on prend $e \approx 3m$

III.3.2.4. Rechargement de la plage

III.3.2.4.1. Principe

Un rechargement de plage a pour objectifs :

- soit de reconstituer une plage, en compensant le déséquilibre du littoral résultant d'une érosion naturelle ou d'interventions humaines (ouvrages portuaires, emprunts de sable au large ou à l'amont...),
- soit de créer une plage artificielle, destinée à la protection de l'arrière-plage ou à une utilisation balnéaire.
- Ce type d'aménagement est intéressant à plusieurs titres :
    - Les plages peuvent efficacement dissiper l'énergie des vagues, et ainsi constituer des aménagements de protection du littoral lorsqu'elles sont maintenues à des dimensions convenables.
    - La reconstitution d'une plage par rechargement permet de supprimer les phénomènes de réflexion de la houle sur un haut estran trop accore et de rétablir les possibilités de la remontée des sédiments du large sous l'action des houles faibles à moyennes.
    - Le procédé n'apporte généralement pas de perturbations à l'environnement et évite des répercussions sur les installations voisines à condition que les plages rechargées ne viennent pas perturber un secteur où doivent être maintenues des profondeurs suffisantes pour la navigation.

Comme la plupart des problèmes d'érosion de plage se produisent lorsqu'il y a un déficit dans l'apport naturel de sable, la mise en place de matériaux d'emprunt sur le rivage doit être considérée comme une mesure de stabilisation, et non pas seulement de protection, du rivage.

Il est souhaitable d'étudier la possibilité de mettre en place directement, par voie mécanique ou hydraulique, du sable sur un rivage en érosion, pour reconstituer ou former, et ensuite maintenir, une plage protectrice convenable, et de considérer les autres mesures de protection comme annexes à cette solution.

Quand les conditions d'utilisation de ce procédé sont satisfaites, de longues étendues du littoral peuvent être protégées à un coût relativement modéré par rapport à d'autres solutions. L'élargissement de la plage peut en outre avoir une valeur touristique.

III.3.2.4.2.Caractéristique de la plage

Pour que les plages artificielles puissent répondre à l'attente des touristes, il convient de leur donner des dimensions minimales qui assurent un minimum de confort.

La largeur L_m de la plage au dessus des plus hautes eaux doit avoir une largeur minimale lui permettant d'assurer son rôle de protection de l'arrière plage contre les effets de la houle.

$$L_m > 15 \text{ m}$$

On prend L_m = 30m sur le coté de la placette et lorsque en éloigne de la placette la largeur de la plage diminue ce qui donne une forme d'un arc ; cette structure est effectué pour que soit assurée la relation suivante :

- la profondeur en pied de plage devra être au minimum de l,50 m permettant un confort pour la nage. $h_m > 1.5$ m

Les profils à donner aux plages dépendront des matériaux d'apports pour notre cas le rechargement de plage est applicable en choisissant un sédiment suffisamment grossier (sables grossiers ou petits graviers) ou éventuellement du concassé de carrière de 5 à 20 mm qui pourra très vite s'émousser sous l'action des vagues. Donc la pente de la plage varie entre 1/20 à 1/30.
Le volume de sédiment à remplir estimé par logiciel de l'autoCad 8 qui est égale 22000 m^3

Enfin la surface S =4608 m^2 de la plage émergente doit permettre d'accueillir le nombre N de touristes prévu : $S > N s$

avec une surface individuelle minimale (s) comprise entre 4 et 6m^2 par personne en zone urbaine et de l'ordre de 8m^2 à l'extérieur des agglomérations.
En Algérie on prend 4 m^2 pour chaque individu donc les superficies ainsi aménagées répondraient à l'achalandage de 1152 baigneurs sur cette nouvelle plage.

Rechargement des plages par déversements des matériaux sur l'estran

Pour réalimenter une plage en érosion il est souhaitable de déverser les produits directement sur le haut estran en laissant à la houle le soin de répartir les matériaux et de modeler le profil.

Dans ce projet on a choisis le rechargement par des apports par voie terrestre, donc il s'agit de recharger de petites quantités de matériaux provenant d'une carrière ou d'extraction dans des zones d'accumulation, les apports pourront se faire par voie terrestre à l'aide de

Stabilité de plage :

Selon l'abaque figure N°22, la plage est stable car cet abaque détermine l'état des sédiments en fonction de diamètre des grains et la vitesse de courant. Sachant que V(vitesse de courant)= 0,5m/s (chapitre II) et le diamètre des grains considéré pour le rechargement est égale 5mm

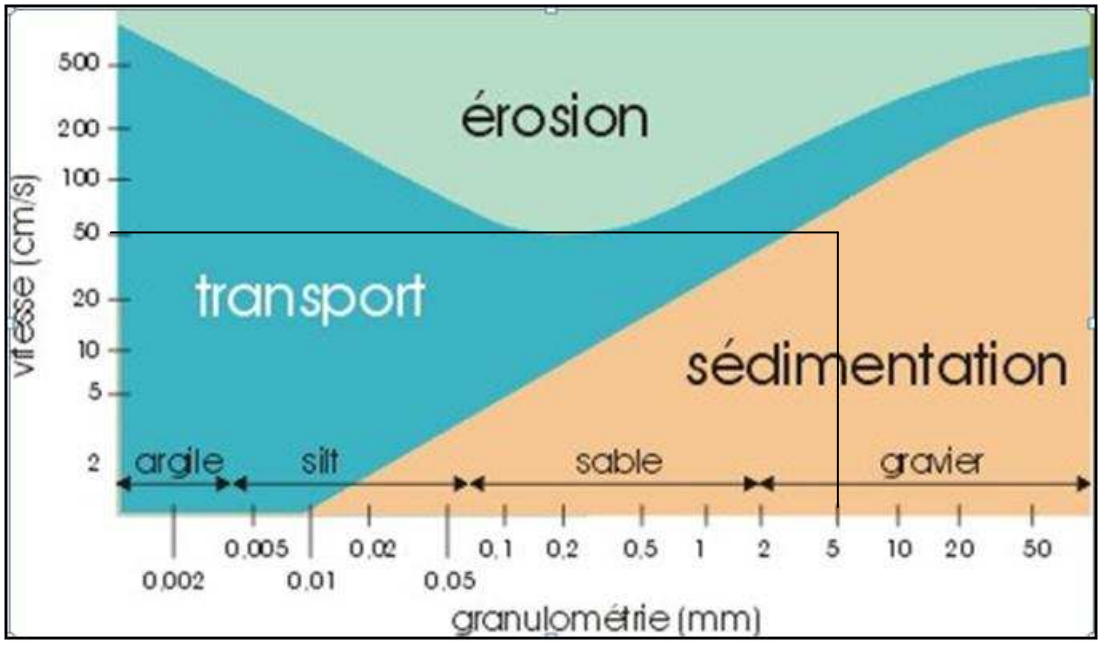


Figure N° 21 : la vitesse des courants en fonction de la granulométrie des grains (diagramme de Hjulström)

a) Avantages de brise lames immergés

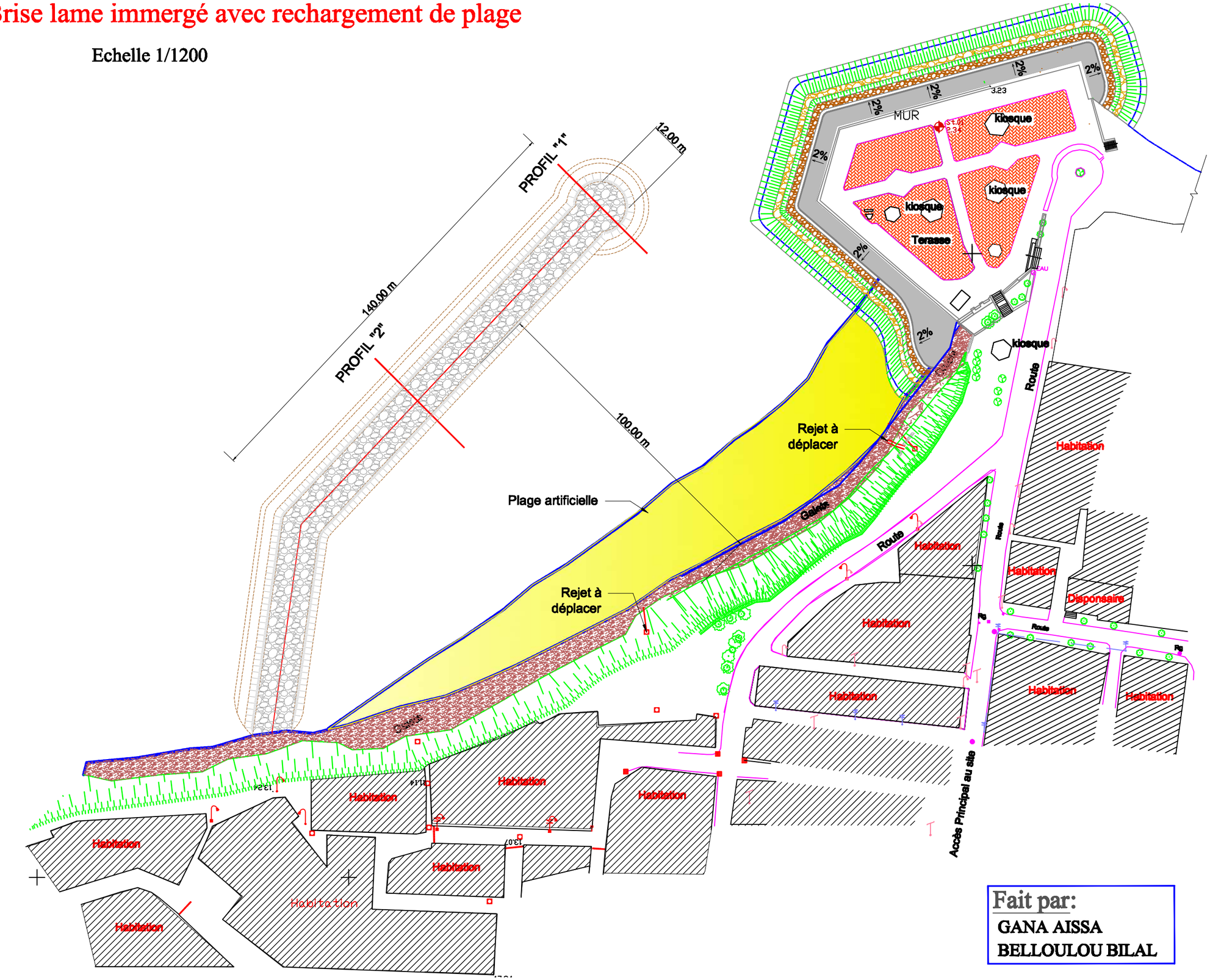
- Favorisent en général un meilleur renouvellement de l'eau.
- Leur coût est moins élevé que les brise-lames émergés.
- Meilleur solution dans le plan esthétique (pour le cas des ouvrages en enrochements).

b) Inconvénients de brise lames :

- Des phénomènes importants de réflexion sont constatés sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voir son écroulement.
- Le danger qu'ils peuvent présenter pour les baigneurs, et pour la navigation de plaisance (jet ski).
- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).

VARIANTE N° 1: Brise lame immergé avec rechargement de plage

Echelle 1/1200


PROFIL "1"
PROFIL "2"
140.00 m
12.00 m
100.00 m
Rejet à déplacer
Plage artificielle
Rejet à déplacer
MUR
kiosque
kiosque
kiosque
Terasse
kiosque
Route
Habitation
Habitation
Habitation

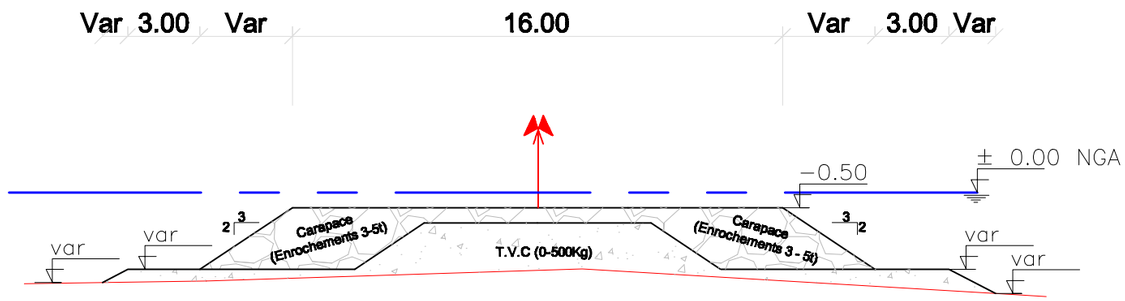
PROTECTION DU RIVAGE DE HADJRET ENNOUS

PROFIL EN TRAVERS N°1

Echelle 1/200

LEGENDE
- Carapace ENR [3 à 5t]
- Noyau TVC [0 à 500Kg]

MUSOIR



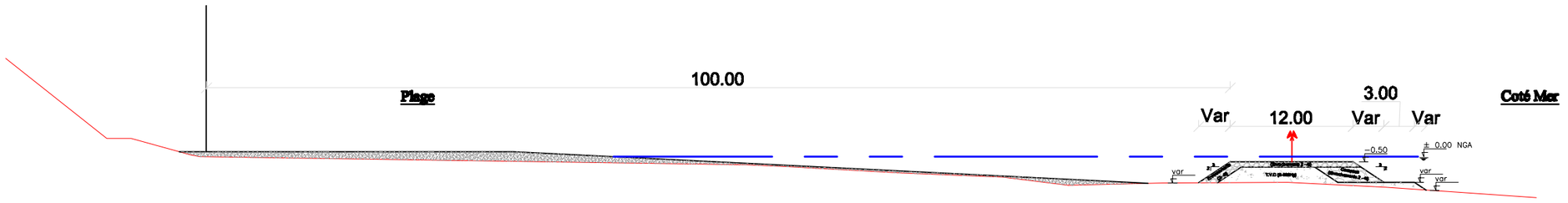
PROTECTION DU RIVAGE DE HADJRET ENNOUS
VARIANTE N° 1: Rechargement + brise lame immergé

PROFIL EN TRAVERS N°2

Echelle 1/500

LEGENDE
- Carapace ENR [2 à 4t]
- Noyau TVC [0 à 500Kg]
- Sable

Brise lame



Fait par:

GANA AISSA

BELLOULOU BILAL

III.3.3. Variante N°2:

Dans une vision de développement du secteur touristique de la commune en même temps que la protection de l'arrière plage contre l'érosion on propose une autre variante qui consiste en une extension de la placette du coté ouest avec un accès à la mer sous forme de solarium (Amphithéâtre romain) qui assurera une stabilisation du talus coté terre et accès coté mer. Cette structure devra être associée à un système de géotube implanté à une profondeur de 3 m pour l'atténuation de l'énergie de la houle frontale et assure aussi la durabilité de l'extension de la placette.

III.3.3.1. Description de la variante

III.3.3.1.1. Reprofilage de falaise

- ✓ Reprofilage de la falaise de haut de plage avec une pente de 3/2 pour forme des escaliers de 2m sur 0.5mla structure prend alors une forme d'arc redonnant à l'aménagement de la placette un aspect antique.
- ✓ Remblayer l'espace de la nouvelle placette pour atteindre le niveau de l'ancienne placette, avec un volume de 33300m^3 de tout venant,
- ✓ Créer un accès en escaliers vers la mer de 2m sur 0.5 m

Le revêtement de ce tout venant sera exécuté par une succession de trois couches respectivement de l'intérieur vers l'extérieur comme suivant

- Une couche de réglage d'épaisseur 0.1m en concassée 40mm à 70mm ;
- Une couche d'épaisseur de 0.1m en béton de propreté ;
- Une couche de revêtement de 0.15m de béton dosé à 300kg et teinté suivant la couleur de la roche locale.

III.3.3.1.2. Brise-lames immergé en géotubes

Afin de proposer une solution légère, économique et réversible, on préfère la réalisation d'un atténuateur des houlesen tubes géotextile qui est un tissu en forme d'un long cylindre malléable qu'on remplit avec du sable hydrauliquement 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.

Il sera posé sur un tapis anti- affouillement, le sable étant pompé localement aux abords de l'implantation de l'atténuateur ou ramener par voie terrestre et posé au niveau de l'eau pour en faire une mixture à pomper. 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.

a. Principes

Les géotextiles sont appelés à jouer diverses fonctions qui peuvent schématiquement être réparties en six rôles : conteneur, renforcement, séparateur, protecteur, filtrage et drainage. L'intérêt principal de ces structures réside dans leur continuité, leur souplesse, leur perméabilité et leur adaptabilité aux tassements éventuels. La résistance des coutures à la traction étant plus faible que celle du tissu géotextile, une attention particulière doit être portée sur ces dernières.

b. Paramètres d'implantation de l'ouvrage en geotubes

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

Tableau N° 14: Caractéristiques de géotube géosynthétique en fonction de leurs paramètres (Source LEM)

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 100 m.
- Une longueur de 135 m (chaque structure de 40 m de longueur).
- Une profondeur moyenne d'implantation de -3 m de profondeur, qui correspond à une hauteur significative de la houle est 3m ;
- Une côte d'arase de -0,6m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur de 5.1m ;
- Une pente de 3/2 à l'extrémité.

c. Vérification de stabilité du géotube

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

$$\frac{Hs}{\Delta.b} < 1 \qquad (10)$$

Avec :

- H_s : étant la hauteur significative des vagues incidentes,
- b : la largeur du géotube
- n : la porosité

$$\Delta = (1 - \mathrm{n})\frac{\gamma s - \gamma w}{\gamma w} \qquad (11)$$

A.N $\Delta = (1 - 0{,}3)\frac{2{,}65-1{,}025}{1{,}025}$:$\Delta$=1.11

$$\frac{2.7}{1.11 * 5.1} < 1$$

$$0{,}47 < 1$$

III.3.3.1.2.1. Avantages et inconvénients des structures en géotubes

✓ **Avantage**

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.

✓ **Inconvénients**

- Stabilité faible sur les fonds en pente dans les cas de fortes houles ;
- Risque important de déchirement de l'enveloppe pour les structures d'ancienne génération (vandalisme, chocs, débris flottants, etc.) ;
- Affouillement possible en pied si des vides existent dans la structure, dus à un remplissage trop lent;
- Surveillance très régulière impérative pour ajuster éventuellement le fonctionnement et pallier les défauts.

III.3.3.2. Ponton flottant servant d'accès à l'ilot

Dans une perspective de découverte et d'exploitation des ressources et des patrimoines existants au niveau de l'ilot (fondements des chambres qui revienne à l'ère romaine) On envisage de relier la placette à l'ilot par une structure légère « Ponton flottant ».

III.3.3.2.1.Caractéristique du ponton flottant (source MASSILIA MARINE)

- ✓ **Flotteurs**

La structure aluminium repose sur des flotteurs en polyéthylène roto moulés et moussés, et de dimension 2m x 0, 6m x 0,5m. L'épaisseur de la peau en polyéthylène sera de 6mm minimum. La fixation sur la structure aluminium est réalisée par l'intermédiaire d'un profil coulissant sur un côté et, de deux vis quart de tour inox M16x40mm sur l'autre côté .Ce montage a pour principal avantage de pouvoir positionner les flotteurs sur toute la longueur de la panne, et cela selon la particularité des différents chantiers.

- ✓ **Platelage**

Le platelage est réalisé en essence de bois IPE. Le platelage est présenté sous forme de latte d'épaisseur 25mm et de largeur 140mm. La partie supérieure est rainurée pour assurer la fonction antidérapante. La densité, l'épaisseur de 25 mm et les caractéristiques mécaniques de ces produits sont une garantie de tenue parfaite dans le temps.

- ✓ **Défenses**

Les défenses proposées sont réalisées en essence de bois IPE. Les dimensions 80x40 sont calculées pour permettre une absorption optimale de l'énergie lors des chocs. Nous avons aussi la possibilité de réaliser ces défenses en matériau composite et cela dans des dimensions identiques. Le choix de la matière n'aura aucune incidence sur le montant du marché.

- ✓ **Liaison entre pannes**

Les pannes sont reliée sent réelles par l'intermédiaire de silentblocs élastomères renforcés par un insert inox de4mm d'épaisseur. Ceux-ci sont positionnés horizontalement sur la structure aluminium et, de ce fait serviront de fusibles dans le cas ou des contraintes trop importantes seraient appliquées sur les pontons.

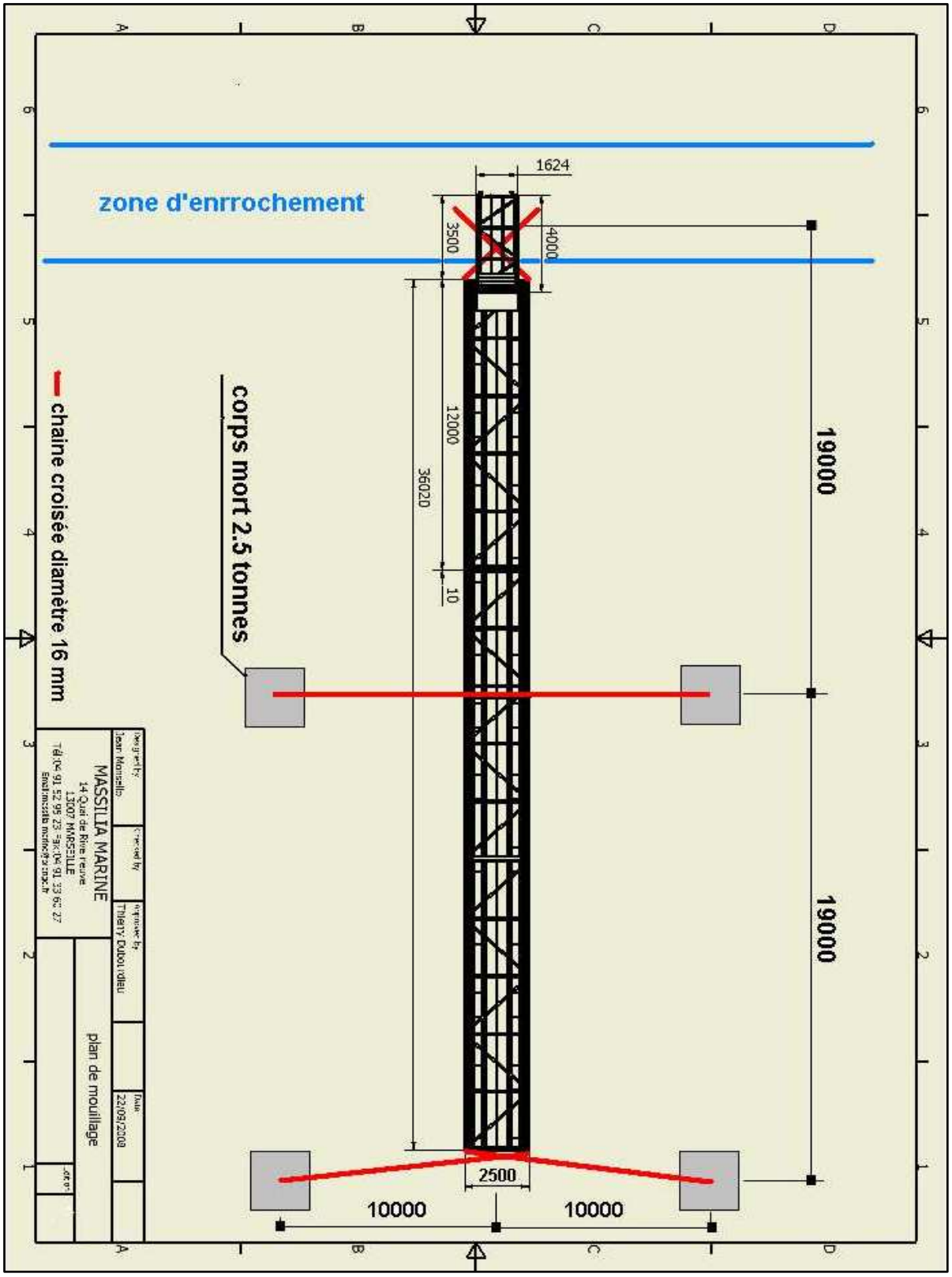
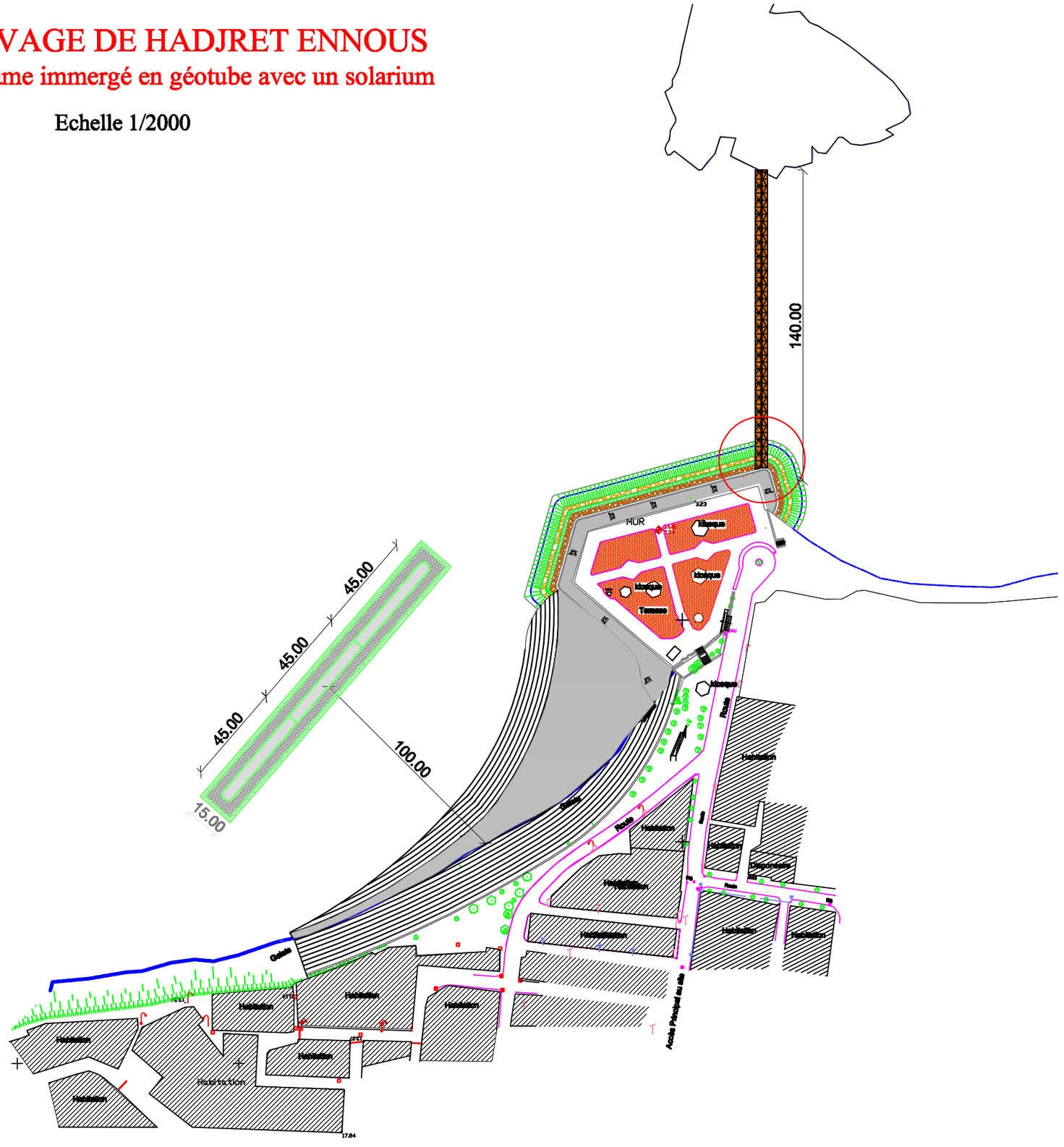


Figure N° 22 : Schéma d'un Ponton flottant

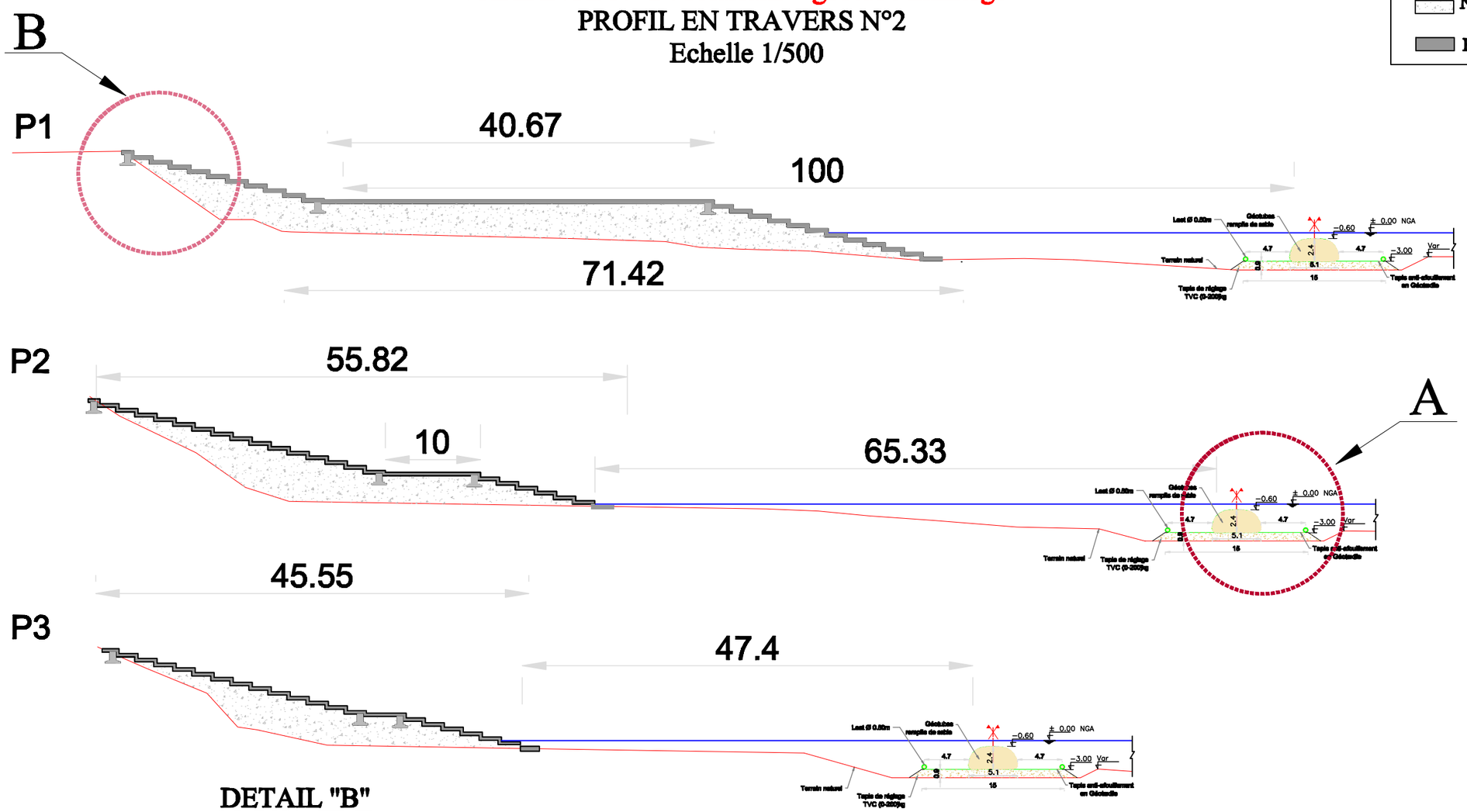
PROTECTION DU RIVAGE DE HADJRET ENNOUS
VARIANTE N° 2: Brise lame immergé en géotube avec un solarium

Echelle 1/2000

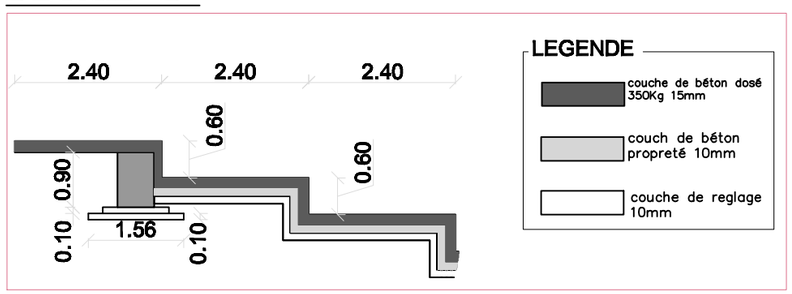

140.00
45.00
45.00
45.00
100.00
15.00
MUR
Kiosque
Kiosque
Kiosque
Kiosque
Terrasse
Route
Habitation
Habitation
Habitation

PROTECTION DU RIVAGE DE HADJRET ENNOUS
VARIANTE N° 2 : solarium + geotube immergé
PROFIL EN TRAVERS N°2
Echelle 1/500

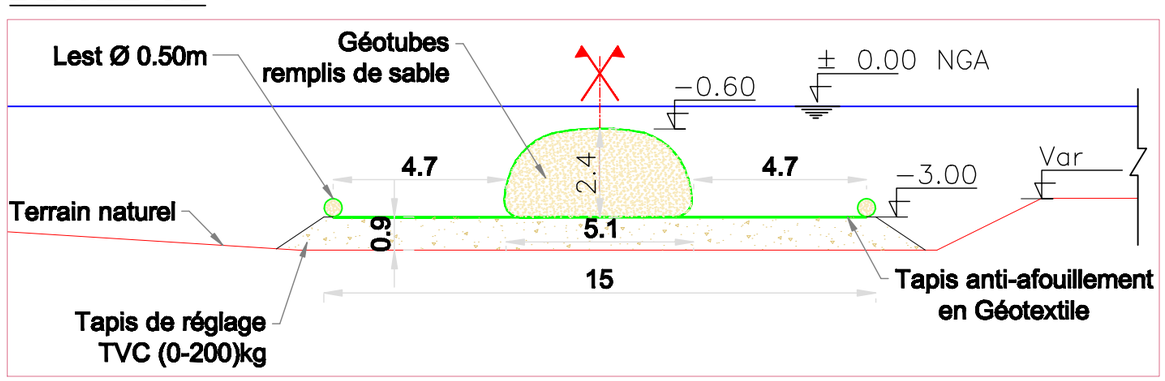
LEGENDE
- Noyau TVC [0 à 500Kg]
- Béton



DETAIL "B"



DETAIL "A"

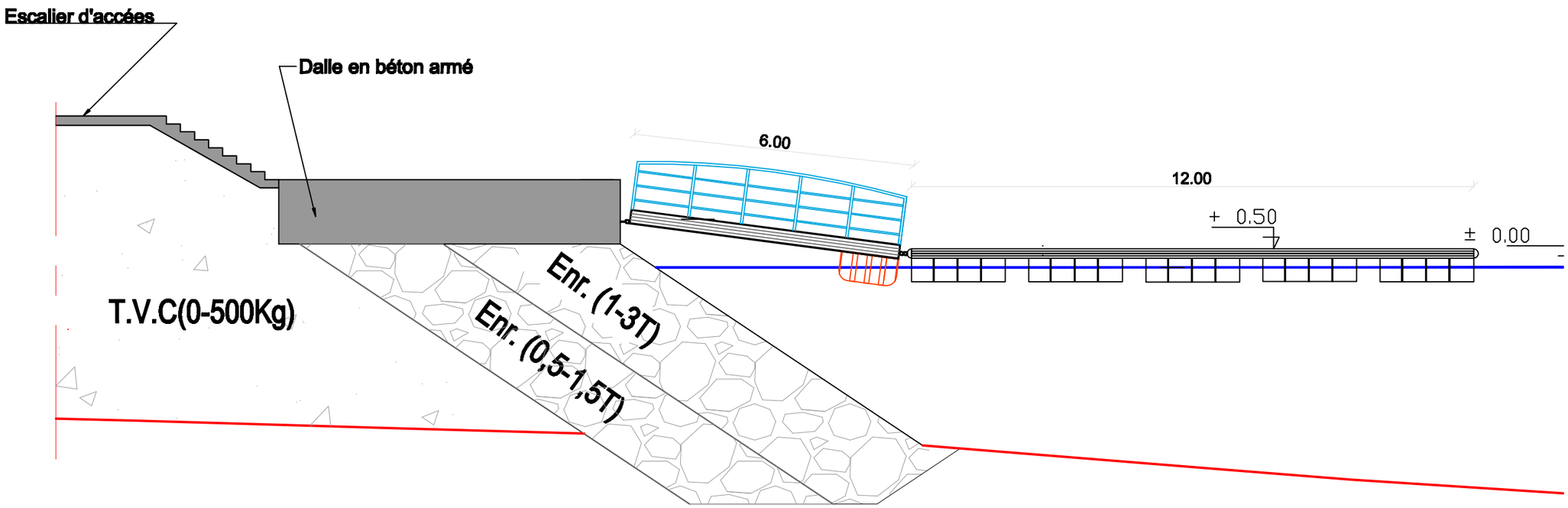


Fait par:

GANA AISSA

BELLOULOU BILAL

PROTECTION DU RIVAGE DE HADJRET ENNOUS
VARIANTE N°2: accées placette vers ponton flottant



Fait par:
GANA AISSA
BELLOULOU BILAL

III.3.3. 3. Estimation des variantes

Un récapitulatif des couts de construction approximatif est donné pour les deux variantes :

Tableau N° 15 : Estimations de coûts

Variante N°1	Brise lames et épi	557 556400DA
	Rechargement de plage	126000000DA
	TOTAL	**683556400DA**
Variante N°2	Extension de placette	3080816760 DA
	Géotube	217211824 DA
	La passerelle	40000000 DA
	TOTAL	**3338028584 DA**

III .3.Comparaison des variantes :

Les variantes N°1 et N°2 sont totalement différent. Le tout comparé sur la base des critères qui suivent :

- Réalisation
- Coût de réalisation
- Entretien
- Esthétique
- Impact

Les notations A, B et C sont attribuées respectivement au critère favorable, peu favorable et défavorable.

Tableau N° 16: tableau représentatif de comparaison entre les variantes proposées

	Variante N°1	Variante N°2
Critère	Brise Lame immergé + Plage artificielle	l'extension de la placette+ Géotube
Réalisation (délai, difficultés, etc…)	B	A
Coût de réalisation	A	B
Entretien	B	A
Esthétique	B	A
Impact	B	B
Total	**A+4B**	**3A+2B**

- ✓ **La réalisation :**

La différence réside dans la réalisation d'une part d'un cavalier pour exécuter les brise lames et ou les géotubes qui, par manque de moyens maritimes spécifiques le recours à l'exécution par voie terrestre nécessitant une consommation énorme de matériaux de type T.V.C.

- ✓ **Le coût de réalisation :**

Le coût de réalisation de la variante N°2 est plus cher d'environ 5 fois que la variante N°2

- ✓ **L'entretien :**

La variante N°2 est plus facile à entretenir à cause de son lien direct avec la terre, alors que pour les brise lame, il est nécessaire après un passage d'une tempête exceptionnelle de refaire un accès pour travaux.

- ✓ **L'esthétique :** sur le plan esthétique la variante brise lames et plage artificielle est plus agressive que le géotube et extension de la placette. il faut donner un cycle de tempête pour que la plage artificielle ait un aspect naturel (temps donné aux graviers pour s'émousser).
- ✓ **L'impact :** il est certain que les ouvrages immergés impactent négativement l'environnement visuel comme le cas de la variante 1 mais nous avons donné un traitement particulier ou ouvrages du solarium pour qu'il s'intègre dans son ensemble sans atteinte aucune à l'aspect visuel.

Conclusion malgré son coût élevé, la variante 2 reste la favorite de par son délai de réalisation plus court, son impact positif sur le tourisme et le développement de l'économie, son entretien aisé et l'esthétique quelle va engendrée par le façonnage du solarium ramenant le site à un type antique et redonnant à la commune son cachet d'antan.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'érosion est d'abord un phénomène naturel liée aux effets météorologiques et hydrodynamiques. Ce phénomène est toutefois accéléré par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage.

Notre étude nous a permis de constater que l'érosion côtière dans la zone de HADJRET-EN-ENOUS résulte en effet d'une combinaison de plusieurs facteurs à la fois d'origine naturelle et humaine, opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace. Ce sont les tempêtes, les courants littoraux, les variations du niveau de la mer à terme plus au moins long, qui seraient à l'origine de cette érosion.

L'étude bathymétrique a révélé une morphologie particulière caractérisée par des isobathes irrégulières signifiant que la morphologie sous-marine est accidentée c'est-à-dire, des fosses, des barres des déferlements et un oued sous-marin.

D'après le résultat des traitements les photos aériennes (1960 ; 1973) et photos de Google Earth 2012 par logiciel MapInfo 8 ; il nous été permis d'identifier deux périodes de cette frange littorale : dans la première période le littoral a une tendance accumulative d'environ 0,65m/an, et dans la seconde période le littoral à une tendance érosive d'environ 0.2m/an.

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

L'estimation de transit sédimentaire montre que la direction de transit est de l'Ouest vers Est avec une quantité de l'ordre de 25000 m^3/an

La décision de protéger un site côtier, le choix de type de défense ou de protection, son implantation et son dimensionnement résultent de combinaison de plusieurs facteurs :

- côté touristique
- intégrations des ouvrages avec le milieu naturel
- la justification de l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens dommageables.
- l'appréciation des contraintes économiques qui pondèrent la mise en place des dispositifs de protection par rapport au fonctionnement du milieu physique, notamment du point de vue environnemental.
- Les ouvrages proposés présentent chacun des avantages et des inconvénients. Toutefois, nous favorisons le choix de l'ouvrage mixte qui, en combinant la souplesse et la stabilité semble le plus adéquat pour notre zone d'étude.

L'objectif principal de cette étude est l'implication de l'océanographe ou l'aménagiste au fait que l'aménagement côtier est intimement lié à l'environnement naturel et à la société qui le composent, au territoire auquel il s'intègre, et surtout à la conviction que son métier consiste à être au service de la population sans nuire à l'environnement, car aménager c'est d'abord ménager.

Bibliographie

Liste 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 p.*

-Amari. S et Guessab. R, 2005.Travaux de protection du complexe touristique de Zéralda contre l'érosion côtière. *Mémoire d'ingéniorat, ENSSMAL, p17, 29.*

-Bellesort, B. 1993.etude bibliographique sur les rechargement de plage à l'aide des produits de dragage. ER.PM. n093.03. *250 p*

-Bellsort, B. 1994. Recherches des solutions de protection du littoral d'un nouveau type. ER.PM n 0 94.02 *,251p.*

-Bitam. S , 2006: L'apport de la télédétection à la gestion intégré des zones côtières de l'Algérie, *Mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL*.52 p.

-Boudouma Amara. Z, 2012. Cours Génie côtiers, 5^{éme}année Aménagement du littoral, *ENSSMAL.*

-Caminade. D, 1995. Ouvrages de protection contre la houle. Techniques de l'ingénieur, traité,deconstruction*http://www.techniques_ingenieur.fr/basedocumentaire/construcna»th3/genie-civil-ti254/ouvrages-de-protection-contre-la-houle-c4631/, 28 p.*

-Chamley. H, 2000. Bases de sédimentologie.*2^{éme} Editions 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.*EdEyrolles, Paris, 309p.*

-**Cincin-Saint. B et Knecht. R.W,1998**. Intégredcoastal and ocean management concept.

--Dossier technique. La houle comment s'en protéger.*Edition département du maritime. Chapitre 3, p5.*

-Fedala. N et Rakem. N, 2002. Cartographie géologique et géotechnique des instabilités de terrain à l'ouest de la ville de cherchell.*Mémoire d'ingéniorat, USTHB, p 5,53.*

-Francois.R et François. B, 1997.*Conception et dimensionnement des digues à talus.* p. 147. PM 97.01.

-Gourmelon. F et Robin .M ; 2005. SIG et littoral. *Ed Lavoisier, Paris, 328 p.*

-Herve Régnauld, 1999. Les littoraux. *Ed ARMAND COLIN, 95p.*

-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.*

Liste bibliographie

-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.

-Larid.M, 2012.Cours Aménagement du littoral,5^{éme}année Aménagement du littoral,*ENSSMAL.*

-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.*

-LEM,2003.Etude de l'état de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral algérien. *2^{éme} tranche, Wilaya de Tipaza, Mission 2.*

-Maghraoui. L, 2008. Sismique réfraction en génie civil cas d'implantation d'une centrale thermoélectrique à Hadjret En Nouss (wilaya de Tipaza).*Mémoire d'ingéniorat, USTHB, p 1,11.*

-Millot.C, 1989. La circulation générale en Méditerranée occidentale. Aperçus de nos connaissances et projet d'études. *Annales de géographique.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^{éme} Ed Masson, Paris ,256p.*

-Pinot J-P , 1998 : La gestion du littoral, Littoraux tempérés : côtes rocheuses et Sableuses. *Edt Institutocéanographique, Paris*. 339p.

-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. etOrford. J, 2004. Stonns and their significance in coastal morpho-sedimentary dynamics. *Ed Marine Geology, 210p*.

Annexe

Annexe 1

Statistique de la houle au large

Période	amplitude au fert	au mettre	rond	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	TOTAL
6	<1	<0,305	0	179	236	353	79	103	141	255	97	1443
	1 _2	0,4575	0,5	263	615	818	132	164	301	546	182	3021
	3_4	1,0675	1	148	462	574	52	64	270	607	147	2324
	5_6	1,6775	1,5	77	197	226	10	29	157	363	81	1140
	7	2,135	2	41	69	49	3	6	55	224	41	488
	8_9	2,5925	2,5	25	25	25	1	3	29	107	19	234
8	10_11	3,2025	3	14	8	6	1	0	15	53	7	104
	12	3,66	3,5	3	5	1	0	0	5	31	5	50
	13_16	4,4225	4	5	5	0	0	0	3	24	3	40
	17_19	5,49	5	3	5	0	0	0	2	5	0	15
	20_22	6,405	6	0	0	1	0	0	0	6	0	7
	23_25	7,32	7	0	0	0	0	0	0	3	0	3
10	26_32	8,845	9							1		1
	33_40	9,6075	9,5							0		0
	41_48	13,5725	13,5									0
	49_60	16,6225	16,5									0
			TOTAL	758	1627	2053	278	369	978	2225	582	8870
			pourcentage	8,55 %	18,34%	23,15 %	3,13 %	4,16 %	11,03 %	25,08%	6,56 %	100,00%

Source SSMO 1963_1970 (Région Centre Alger)

Fréquence d'apparition au large

	Fréquence							
Période	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
0	0,02018	0,02661	0,03980	0,00891	0,01161	0,01590	0,02875	0,01094
0,5	0,02965	0,06933	0,09222	0,01488	0,01849	0,03393	0,06156	0,02052
1	0,01669	0,05209	0,06471	0,00586	0,00722	0,03044	0,06843	0,01657
1,5	0,00868	0,02221	0,02548	0,00113	0,00327	0,01770	0,04092	0,00913
2	0,00462	0,00778	0,00552	0,00034	0,00068	0,00620	0,02525	0,00462
2,5	0,00282	0,00282	0,00282	0,00011	0,00034	0,00327	0,01206	0,00214
3	0,00158	0,00090	0,00068	0,00011	0,00000	0,00169	0,00598	0,00079
3,5	0,00034	0,00056	0,00011	0,00000	0,00000	0,00056	0,00349	0,00056
4	0,00056	0,00056	0,00000	0,00000	0,00000	0,00034	0,00271	0,00034
5	0,00034	0,00056	0,00000	0,00000	0,00000	0,00023	0,00056	0,00000
6	0,00000	0,00000	0,00011	0,00000	0,00000	0,00000	0,00068	0,00000
7	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00034	0,00000
9	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00011	0,00000
9,5	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
13,5								
16,5								

Source SSMO 1963_1970 (Région Centre Alger)

Annexe 1

Statistique de la houle à la cote

		nombre de cas				K coeficient de refraction				amplitude au voisinage de la cote			
ondes	amplitude au large	N 360	N 315	N 45	N 270	N360	N315	N45	N270	N360	N315	N45	N270
6	0	179	97	236	255	0,90	0,89	0,78	0,65	0	0	0	0
	0,5	263	182	615	546	0,90	0,89	0,78	0,65	0,45	0,45	0,39	0,33
	1	148	147	462	607	0,90	0,89	0,78	0,65	0,90	0,89	0,78	0,65
	1,5	77	81	197	363	0,90	0,89	0,78	0,65	1,36	1,34	1,17	0,98
	2	41	41	69	224	0,90	0,89	0,78	0,65	1,81	1,78	1,56	1,31
8	2,5	25	19	25	107	0,87	0,86	0,70	0,60	2,18	2,14	1,76	1,49
	3	14	7	8	53	0,87	0,86	0,70	0,60	2,62	2,57	2,11	1,79
	3,5	3	5	5	31	0,87	0,86	0,70	0,60	3,06	3,00	2,46	2,09
	4	5	3	5	24	0,87	0,86	0,70	0,60	3,50	3,43	2,82	2,39
10	5	3	0	5	5	0,85	0,84	0,67	0,58	4,27	4,20	3,35	2,91
	6	0	0	0	6	0,85	0,84	0,67	0,58	5,12	5,04	4,02	3,49
	7	0		0	3	0,85	0,84	0,67	0,58	5,98	5,88	4,69	4,07
	8				1	0,85	0,84	0,67	0,58	6,83	6,73	5,36	4,65
	9				0	0,85	0,84	0,67	0,58	7,68	7,57	6,03	5,23
	TOTAL	758	582	1627	2225								

Source SSMO 1963_1970

La fréquence d'observation f_{ri}

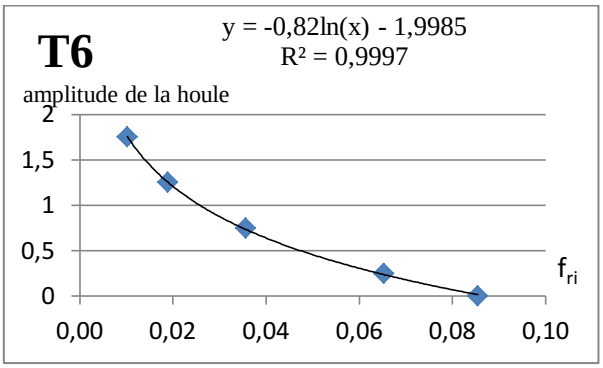
	nombre d'observation >Hs				f_{ri} -fréquence d'observation			
Hs observer	N 360	N 315	N 45	N 270	N 360	N 315	N 45	N 270
0	758	582	1627	2225	0,0855	0,0656	0,1834	0,2508
0,25	579	485	1391	1424	0,0653	0,0547	0,1568	0,1605
0,75	316	303	314	817	0,0356	0,0342	0,0354	0,0921
1,25	168	156	117	230	0,0189	0,0176	0,0132	0,0259
1,75	91	75	23	70	0,0103	0,0085	0,0026	0,0079
2,25	25	15	15	39	0,0028	0,0017	0,0017	0,0044
2,75	11	8	10	15	0,0012	0,0009	0,0011	0,0017
3,25	8	3	5	10	0,0009	0,0003	0,0006	0,0011
3,75	3	0	0	4	0,0003	0,0000	0,0000	0,0005
4,25	0	0	0	1	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001
4,75	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
5,5	0	0	0	0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
6,5	0	0	0		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
7,5	0	0	0		0	0	0	0
							TOTAL	8870

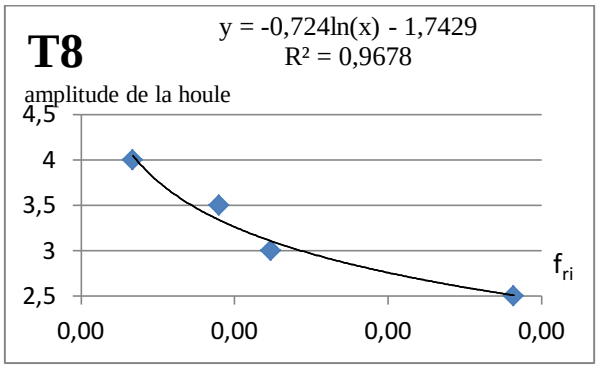
Source SSMO 1963_1970

Annexe 1

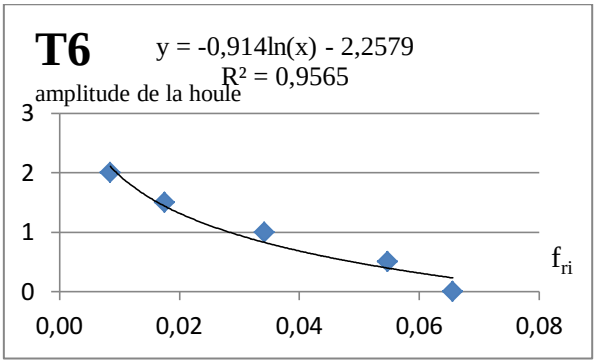
Les droits de régression (houle à la cote):

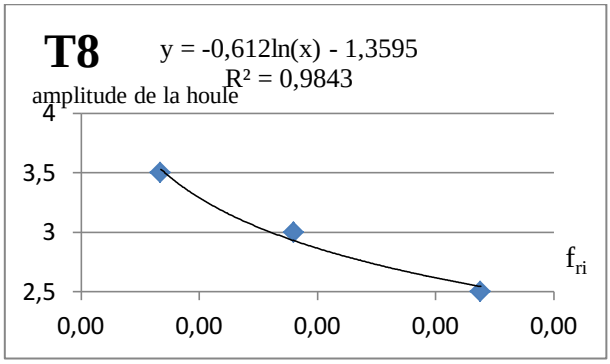
Pour N360 :



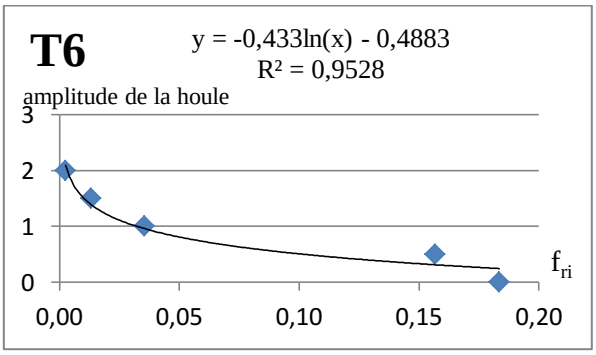


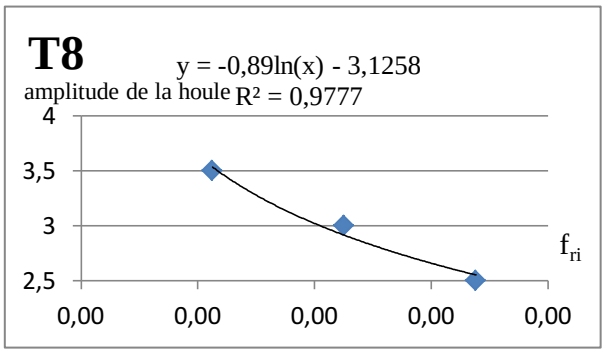
Pour N315 :



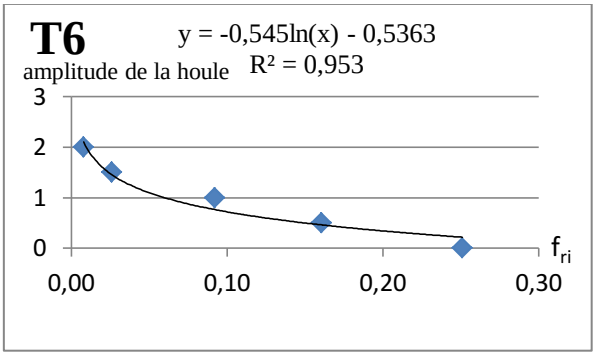


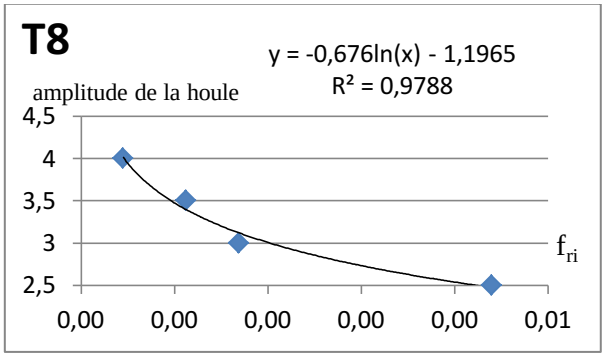
Pour N45 :





Pour N270





Annexe 2

Pluviométrie mensuelle en mm station de BOUHAROUNE													
Années	**Jan**	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Total**
1992	133,6	12,3	61,5	40,7	66,7	20,3	3,5	0	1,3	55,6	77,2	60,7	533,4
1993	10,7	84,5	14,2	62,9	34,7	0	0,5	2,1	25,3	22,7	70,2	17	344,8
1994	78,6	34,1	1,1	43,3	3,7	0	0	0	108,9	30,8	40,8	54,3	395,6
1995	94,8	45,7	57,8	15,9	0	13	0	40	24,3	11,9	74,1	48,5	426
1996	73,2	*	39,2	154,3	11	6,6	2,3	10,9	28,1	76	13,4	*	415
1998	10,9	46,8	30,7	81,2	144,3	0	0	0,5	6,8	22,9	69	29,5	442,6
1999	80,8	126,8	83,6	11,4	0,7	0,1	0	0,7	25,1	6,6	113,9	182,9	632,6
2000	7,2	0,6	7,8	27,6	37,8	0,0	0,4	0	4,0	53,3	88,8	39,5	267
2001	108,4	50,7	0	38,3	17,9	3,0	0	0,3	16,3	22,7	67,4	59,5	384,5
2002	31,5	13,3	47,7	25,1	15	0,8	3,8	14,1	1,2	40,7	78,7	56,7	328,6
2003	154,5	109,4	12,7	38,3	9,2	0	0,8	0	13,3	28,5	93,8	121,4	581,9
2004	67,1	37,7	68,2	47,5	44,7	0,5						77,9	343,6
2005	40,5	122,1	48,8	13	7,6	0,2	0,9	0	15,2	71	81	103,3	503,6
2006	56	64	11	6	92	1	0	1	58	7	32	150	478
2007	13	32	89	42	3	5	2	1	43	115	352	92	789
RR moy	**64,05**	**55,71**	**38,22**	**43,17**	**32,55**	**3,367**	**1,014**	**5,043**	**26,49**	**40,34**	**89,45**	**78,09**	**457,75**
RR Max	**154,5**	**126,8**	**89**	**154,3**	**144,3**	**20,3**	**3,8**	**40**	**108,9**	**115**	**352**	**182,9**	**789**
RR min	**7,2**	**0,6**	**0**	**6**	**0**	**0**	**0**	**0**	**1,2**	**6,6**	**13,4**	**17**	**267**

Source ONM

Température minimale moyenne en °c station de BOUHAROUNE													
Année	**Jan**	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Ann**
1992	9,5	9,3	11,9	13,4	16,2	18,7	21,3	22,6	21,9	17,4	14,5	12,3	15,8
1993	10	10,7	11,7	14,3	17,4	20,6	22,3	24	20,5	17,6	14,1	12,1	16,3
1994	11,1	11,6	13,6	13,4	18,2	17,8	24	25	22,3	19,5	15,9	12,7	17,1
1995	12,2	12,5	12,2	13,2	17,4	20,5	23,2	24,1	20,6	18,3	15,9	14,1	17,0
1996	13,7	*	13,1	15	17	19,7	22,8	24,5	20,6	13	12,6	*	17,2
1997	10,3	9,4	8,8	11,8	15,5	18,7	*	*	20,4	17,9	13,6	11,1	13,8
1998	9,5	9,5	10,2	12,3	14,3	17,7	20,8	21,5	20,2	14,3	12,1	18,4	15,1
1999	8,8	7,5	11	11,9	15,9	18,7	20,5	23,1	19,9	17,8	11,2	8,1	14,5
2000	6,4	9,1	10,4	12,1	16,3	18,8	21,8	21,3	19,3	14,5	12,5	10,4	14,4
2001	10	8,4	12,8	12,6	14,6	19,5	21,6	22,6	18,7	19,2	11,7	8,3	15,0
2002	9,2	9,5	11,1	12,7	15,3	18,6	21	21,9	19,7	17	13,8	12,1	15,2
2003	9,7	8,3	13,1	17,4	14,3	22,9	21,8	24,7	17,4	13,9	12,6		16,0
2004												11	11,0
2005	7,8	7,3	10,8	13,5	17,2	20,5	22,9	21,9	20,1	18,5	13,3	10,8	15,4
2006	9,8	9,7	12,8	15	17,9	19	22,8	22,9	21,1	19,7	15,7	11,7	16,5
2007	10,6	11,5	10,7	13,9	19,8	20,5	21,8	22,7	19,8	17,4	13,1	10,7	16,0
TN moy	**9,907**	**9,593**	**11,61**	**13,5**	**16,49**	**19,48**	**22,04**	**23,06**	**20,17**	**17,07**	**13,51**	**11,7**	**15,363**
TN max	**13,7**	**12,5**	**13,6**	**17,4**	**19,8**	**22,9**	**24**	**25**	**22,3**	**19,7**	**15,9**	**18,4**	**17,2**
TN min	**6,4**	**7,3**	**8,8**	**11,8**	**14,3**	**17,7**	**20,5**	**21,3**	**17,4**	**13**	**11,2**	**8,1**	**11**

Source ONM

Annexe 2

Température maximale moyenne en °c station de BOUHAROUNE													
Année	**Jan**	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Ann**
1992	14,8	15,6	17,1	18,8	21,7	24,2	26,8	28,7	27,1	22,3	18,8	17,6	21,1
1993	15,7	15,7	17,9	20,5	22,9	25,2	27	28,2	26,3	22,8	18,6	16,6	21,5
1994	15,6	17,1	18,8	19	23,8	23,4	29,9	29,7	27,3	23,6	20,9	17,6	22,2
1995	16,7	17,4	17,5	18,7	22,5	24,5	27,5	28,3	25,4	23,3	20,3	18	21,7
1996	17,9	*	18	19,7	21,3	23,9	27,2	28,6	24,8	21,8	20,6	*	22,4
1997	17,8	17,6	18,2	21	23,1	26,2	26,8	28,3	27,4	25,2	20,6	18,1	22,5
1998	17,6	17,8	18,6	20,4	21,6	25,1	28,2	28,6	27,2	23,2	18,8	15,7	21,9
1999	15,8	14,8	19,1	20,9	23,9	26,7	29,3	30,8	27,9	26,7	18,3	16	22,5
2000	15,0	18,0	18,8	20,6	23,7	27,3	28,9	30,9	26,9	23,1	20,4	18,4	22,7
2001	17,6	17,2	22,4	20,6	22,0	27,2	29,3	29,4	26,6	26,9	18,5	15,2	22,7
2002	16,2	16,8	19,5	19,9	23,6	26	28,1	27,8	27,4	24,9	21,4	19,1	22,6
2003	15,7	15,7	22,5	24,8	23,8	35,7	30,6	32,1	28,5	16,7	19,9		24,2
2004												17,2	17,2
2005	15,2	14,8	18,6	22	25,8	29,1	31,3	31,6	28,9	27	20,1	16,4	23,4
2006	15,2	17,1	20,7	24	24,9	27,5	32,2	31,7	29,8	28	23,8	17,2	24,3
2007	17,7	19,7	19,6	21,1	26,4	28,4	30,5	32,6	28	25,5	20,5	16,8	23,9
TX Moy	**16,3**	**16,81**	**19,15**	**20,8**	**23,4**	**26,69**	**28,91**	**29,82**	**27,3**	**24,07**	**20,1**	**17,14**	**22,377**
TX Max	**17,9**	**19,7**	**22,5**	**24,8**	**26,4**	**35,7**	**32,2**	**32,6**	**29,8**	**28**	**23,8**	**19,1**	**24,342**
TX Min	**14,8**	**14,8**	**17,1**	**18,7**	**21,3**	**23,4**	**26,8**	**27,8**	**24,8**	**16,7**	**18,3**	**15,2**	**17,2**

Source ONM

TEMPERATURE MOYENNE EN 1/10°c station de BOUHAROUNE													
Année	**Jan**	**Fev**	**Mars**	**Avr**	**Mai**	**Juin**	**Juill**	**Aout**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**	**Ann**
1992	12,2	12,5	14,5	16,1	19,0	21,5	24,1	25,7	24,5	19,9	16,7	15,0	18,4
1993	12,9	13,2	14,8	17,4	20,2	22,9	24,7	26,1	23,4	20,2	16,4	14,4	18,9
1994	13,4	14,4	16,2	16,2	21,0	20,6	27,0	27,4	24,8	21,6	18,4	15,2	19,7
1995	14,5	15,0	14,9	16,0	20,0	22,5	25,4	26,2	23,0	20,8	18,1	16,1	19,3
1996	15,8	*	15,6	17,4	19,2	21,8	25,0	26,6	22,7	17,4	16,6	*	19,8
1997	14,1	13,5	13,5	16,4	19,3	22,5	*	*	23,9	21,6	17,1	14,6	17,6
1998	13,6	13,7	14,4	16,4	18,0	21,4	24,5	25,1	23,7	18,8	15,5	17,1	18,5
1999	12,3	11,2	15,1	16,4	19,9	22,7	24,9	27,0	23,9	22,3	14,8	12,1	18,5
2000	10,7	13,6	14,6	16,4	20,0	23,1	25,4	26,1	23,1	18,8	16,5	14,4	18,5
2001	13,8	12,8	17,6	16,6	18,3	23,4	25,5	26,0	22,7	23,1	15,1	11,8	18,9
2002	12,7	13,15	15,3	16,3	19,45	22,3	24,55	24,85	23,55	20,95	17,6	15,6	18,9
2003	12,7	12	17,8	21,1	19,05	29,3	26,2	28,4	22,95	15,3	16,25		20,1
2004												14,1	14,1
2005	11,5	11,05	14,7	17,75	21,5	24,8	27,1	26,75	24,5	22,75	16,7	13,6	19,4
2006	12,5	13,4	16,75	19,5	21,4	23,25	27,5	27,3	25,45	23,85	19,75	14,45	20,4
2007	14,15	15,6	15,15	17,5	23,1	24,45	26,15	27,65	23,9	21,45	16,8	13,75	20,0
TM moye.	**13,1**	**13,2**	**15,38**	**17,15**	**19,94**	**23,09**	**25,55**	**26,49**	**23,73**	**20,57**	**16,8**	**14,42**	**18,837**
TM maxi	**15,8**	**15,6**	**17,8**	**21,1**	**23,1**	**29,3**	**27,5**	**28,4**	**25,45**	**23,85**	**19,75**	**17,05**	**20,425**
TM Mini	**10,7**	**11,05**	**13,5**	**15,95**	**17,95**	**20,6**	**24,05**	**24,85**	**22,65**	**15,3**	**14,75**	**11,75**	**14,1**

Source ONM