

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 d'Ain Tagourait

Présenté par:

- **BOKRETA Abdellah**
- **GHOUTI Mohamed Amine**

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

Mr Belkessa. R	Maître de conférences (ENSSMAL)	Président
M^{me} Fissah. A	(LEM)	Promotrice
M^{me} Amara. Z	(LEM)	Co-promotrice
Mr Guerfi. M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
Mr Hamdane. Y	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur

Promotion : (2012)

Remerciements

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

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

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

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

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

Mr GUERFI Mokhtar de nous avoir honoré de sa présence, d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Mr HAMDANE Yassine, on le remercie d'avoir accepté examiner notre travail.

Sans oublier M^{elle} Dalila qui a nous aidés dans 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.

Bokréta et Ghouti

Je dédis ce travail

*Avant tout, à
Mes chéris parents pour leur grand amour,
leur générosité et leurs sacrifices*

A mes sœurs

A Nawel pour m'avoir aidé ; supporté et soutenu.

A mes frères ishak, sifo, mostafa, nasser.

A tout mes amis de l'enssmal K1000,

A toute ma famille et la famille de mon binôme.

Et à tous ceux qui m'aiment.

Abdo.

Sommaire

SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
1 Cadre général du site d'étude.....	3
1.1 Introduction.....	3
1.2 Situation géographique.....	3
1.2.1 Situation géographique de la Wilaya de Tipaza.....	3
1.2.2 Présentation de la zone d'étude.....	4
1.2.3 Accessibilité.....	4
1.2.4 Description des sites EST et OUEST de Aïn Tagouraît.....	5
1.2.4.1 Site Est.....	5
1.2.4.2 Site Ouest.....	5
1.3 Caractéristiques de la région.....	5
1.3.1 Géomorphologie.....	5
1.3.1.1 Géomorphologie régionale.....	5
1.3.1.1.1 Les falaises.....	5
1.3.1.1.2 Les côtes rocheuses.....	6
1.3.1.1.3 Les plages.....	6
1.3.1.1.4 Les dunes.....	6
1.3.1.2 Géomorphologie locale.....	6
1.3.2 Cadre géologique.....	7
1.3.3 Sédimentologie.....	7
1.3.4 Sismicité.....	8
1.3.5 Géotechnique.....	9
1.3.5.1 Les terrains moyennement favorables.....	9
1.3.5.2 Les terrains défavorables.....	9
1.3.5.2.1 Les glissements et le fluage dans les terrains marneux et argileux.....	9
1.3.5.2.2 Les terrains soumis à une forte propagation d'ondes sismiques.....	9
1.3.6 Réseau hydrographique.....	10
1.3.6.1 Hydrologie régionale (Figure 7).....	10
1.3.6.1.1 Oued Beni Messous.....	10
1.3.6.1.2 Oued Mazafran.....	10
1.3.6.1.3 Oued Nador.....	10
1.3.6.2 Hydrologie locale.....	11
1.3.7 Climatologie.....	11
1.3.7.1 Précipitation et Température.....	11
1.3.7.2 Les vents.....	13
1.3.8 Océanographique.....	14
1.3.8.1 Les courants.....	14
1.3.8.1.1 Les courants généraux.....	14
1.3.8.1.2 Les courants Côtiers.....	14
1.3.8.1.3 Les courants de retour.....	14
1.3.8.1.4 Les courants de dérive littorale.....	15
1.3.8.2 La marée.....	15
1.3.8.3 La houle.....	15
1.3.8.3.1 Caractéristiques statistiques de la houle au large.....	16

1.4	Caractéristiques de la zone d'étude.....	17
1.4.1	Description du rivage de Aïn Tagourâit	17
1.4.2	Evolution du trait de côte.....	18
1.4.3	Les agents d'érosion.....	18
1.4.3.1	Les agents littoraux	19
1.4.3.2	Les agents subaériens	19
2	Matériels et Méthodes d'analyse	20
2.1	Introduction	20
2.2	La réfraction de la houle	20
2.2.1	Principe de calcul de la réfraction de la houle	20
2.2.2	Données de base	21
2.2.2.1	Données bathymétriques.....	21
2.2.2.2	Données de houles au large	21
2.2.2.3	Choix du secteur angulaire	21
2.2.2.3.1	Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.....	22
2.3	Mode du levé topo-bathymétrique.....	23
2.3.1	Moyens utilisés.....	24
2.3.1.1	Moyens humains	24
2.3.1.2	Moyens matériels	24
2.3.2	Méthodologie	24
2.3.2.1	Stations de référence	24
2.3.2.2	Mode du levé topographique	25
2.3.2.3	Mode du levé bathymétrique	25
2.3.2.4	Point de contrôle	26
2.3.2.5	Calibrage de l'échosondeur.....	26
2.3.2.6	Traitement des données bathymétriques.....	27
2.4	Transit littoral	27
3	Résultats et discussions	28
3.1	Introduction	28
3.2	Etude de la réfraction de la houle.....	28
3.2.1	Les houles au large de direction Nord-Ouest.....	28
3.2.2	Les houles au large de direction Nord.....	29
3.2.3	Les houles au large de direction Nord-Est.....	30
3.2.4	Les houles au large de Direction Ouest	31
3.2.5	Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle	32
3.3	Etude bathymétrique.....	32
3.3.1	Morphologie sous marine du site Ouest	32
3.3.1.1	Les profils	33
3.3.1.1.1	Profil 01	34
3.3.1.1.2	Profil 02	34
3.3.1.1.3	Profil 03	35
3.3.1.1.4	Profil 04	35
3.3.1.1.5	Profil 05	36
3.3.1.2	Conclusion sur l'étude bathymétrique du site Ouest.....	36
3.3.2	Morphologie sous marine du site Est	36
3.3.3	Les profils	37
3.3.3.1	Profil 01	38
3.3.3.2	Profil 02	39

3.3.3.3	Profil 03	39
3.3.3.4	Conclusion sur l'étude bathymétrique du site Est.....	40
3.4	Estimation des transits sédimentaires	40
3.4.1	La moyenne des fréquences d'apparition	40
3.4.2	Calcul de H	41
3.4.3	Fréquences d'observation	41
3.4.4	La période (t).....	41
3.4.5	Bilan énergétique = $H^2 * T * t$	42
3.4.6	L'obliquité de la houle.....	42
3.4.7	Transit sédimentaire	42
3.4.8	Conclusion	42
4	Les ouvrages de protection	43
4.1	Introduction	43
4.2	Schéma de protection	43
4.2.1	Site Est.....	43
4.2.1.1	Les digues à talus	43
4.2.1.2	Principe de fonctionnement des digues	43
4.2.1.3	Prédimensionnement de l'ouvrage	44
4.2.1.3.1	Carapace.....	44
4.2.1.3.1.1	Poids des blocs de carapace, Hudson (1974)	45
4.2.1.3.1.2	Le diamètre nominal (D_{NB})	45
4.2.1.3.1.3	L'épaisseur de la carapace	45
4.2.1.3.2	La butée de pied	45
4.2.1.3.2.1	Poids de butée de pied.....	45
4.2.1.3.3	Le soubassement.....	45
4.2.1.3.4	Le Noyau.....	46
4.2.1.3.5	Le Filtre.....	46
4.2.1.3.6	Run Up.....	46
4.2.1.4	Les avantages	47
4.2.1.5	Les inconvénients.....	47
4.2.2	Site Ouest.....	50
4.2.2.1	La digue à talus	50
4.2.2.2	Les brise-lames émergés.....	52
4.2.2.2.1	Définition	52
4.2.2.2.2	Prédimensionnement de l'ouvrage	52
4.2.2.2.2.1	Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte	53
4.2.2.2.2.2	La hauteur de la crête (h)	54
4.2.3	Les résultats de calcul sont présentés comme suivant :.....	55
4.2.3.1.1.1	Hauteur de la houle de dimensionnement	55
4.2.3.1.1.2	La hauteur de brise-lames	55
4.2.3.1.1.3	La largeur de la berme	56
4.2.3.1.1.4	Stabilités des brise-lames immergés	56
4.2.3.1.2	Avantages.....	60
4.2.3.1.3	Inconvénients	60
4.3	Estimation des coûts de construction	60
Conclusion générale		61

Liste des Figures

Figure 1 : Situation géographique de la ville de Tipaza (Encyclopédie, 2011).....	3
Figure 2 : Situation géographique de Aïn Tagouraît (Google Earth, 2012).....	4
Figure 3 : Situation et description des sites d'études (Google Earth, 2012).....	5
Figure 4 : Morphologie côtière de la baie de Bou-Ismaïl (Grimes ; 2004)	6
Figure 5 : Extrait de la carte géologique de l'Algérie (2ème édition), à l'échelle 1/500000	7
Figure 6 : Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998)	8
Figure 7 : Réseau hydrographique dans la baie de Bou-Ismaïl (Aouidad.Z ,1997).....	10
Figure 8 : Distribution des températures Moyennes Bouharoun 1992-2007.....	11
Figure 9 : Evolution des pluies mensuelles de Bouharoun entre 1992-2007.....	12
Figure 10 : Diagramme Embrothermique Gausson (Station de Bouharoun, 1992-2007)	12
Figure 11 : Transit sédimentaire dans la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 2005) modification de l'IMADE.....	15
Figure 12: Observations sur le terrain	17
Figure 13 : Pied de la falaise : Accumulation de blocs et affleurement du platier rocheux	18
Figure 14 : Sapement du pied de la falaise par des vagues (Décembre 2009).....	19
Figure 15 : Photos illustrant des ravinements créés par les ruissellements des eaux de pluies..	19
Figure 16 : Organigramme des étapes de la simulation de la réfraction	23
Figure 17 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 315°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail.....	28
Figure 18 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 360°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail.....	29
Figure 19 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 45°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail.....	30
Figure 20 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 270°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail.....	31
Figure 21 : Carte bathymétrique du côté Ouest du secteur de Aïn Tagouraît.....	32
Figure 22 : Carte bathymétrique en 3D du côté Ouest de Aïn Tagouraît	33
Figure 23 : Carte bathymétrique et les profils tracés dans le côté Ouest du secteur de Aïn Tagouraît.....	33
Figure 24 : Profil sous marin du côté Ouest de Aïn Tagouraît N°01	34
Figure 25 : Profil sous marin du côté Ouest de Aïn Tagouraît N°02	34
Figure 26 : Profil sous marin du côté Ouest de Aïn Tagouraît N°03	35
Figure 27 : Profil sous marin du côté Ouest de Aïn Tagouraît N°04	35

Figure 28 : Profil sous marin du coté Ouest de Aîn Tagourait N°05	36
Figure 29 : Carte bathymétrique du coté Est du secteur de Aîn Tagourait.....	37
Figure 30 : Carte bathymétrique en 3D du coté Ouest de Aîn Tagourait (2009).....	37
Figure 31 : Carte bathymétrique et les profils tracés dans le coté Est du secteur de Aîn Tagourait.....	38
Figure 32 : Profil sous marin du coté Est de Aîn Tagourait N°01	38
Figure 33 : Profil sous marin du coté Est de Aîn Tagourait N°02	39
Figure 34 : Profil sous marin du coté Est de Aîn Tagourait N°03	39
Figure 35 : Action de la houle sur une digue à talus	44
Figure 36 : Profil de digue à talus proposé pour la protection de Aîn Tagourait (Site Est)	47
Figure 37 : Installation de l'ouvrage de protection sur la zone de Aîn Tagourait (Est)....	49
Figure 38 : Profil de digue à talus proposé pour la protection de Aîn Tagourait (Ouest) ...	50
Figure 39: Schématisation de l'action des Brise-lames (Caminades, 1995 modifie).....	52
Figure 40 : Schématisation d'un profil de brise-lames immergé	54
Figure 41 : Abaque mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i (Van der Meer 1992)	55
Figure 42: Installation de l'ouvrage de protection sur la zone de Aîn Tagourait.....	58
Figure 43: Profil de brise-lames immergés proposé pour la protection de Aîn Tagourait.....	59

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Fréquences d'observation en fonction de la direction et de la vitesse	13
Tableau 2 : Probabilité d'apparition des houles associées aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970).....	16
Tableau 3 : Caractéristiques statistiques de la houle au large (SSMO, 1963-1970).....	16
Tableau 4 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude	21
Tableau 5 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).....	22
Tableau 6 : Coordonnées des stations de référence.....	25
Tableau 7 : La moyenne des fréquence d'apparition.....	41
Tableau 8 : Calcul de H	41
Tableau 9 : Fréquences d'observation.....	41
Tableau 10 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace du site Est (Digue à talus)	46

Liste des Equations

$K_r = H_s \text{ local} / H_s \text{ large}$	Équation 1	20
$Q = \frac{K_g}{c} \cdot H^2 \cdot T \cdot t \cdot f(\alpha)$	Équation 2.....	40
$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_s \cdot H_b^3}{Kd \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 \cdot \cot \alpha}$	Équation 3	45
$Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma B}}$	Équation 4	45
$E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	Équation 5	46
$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$	Équation 6	45
$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	Équation 7	46
$W_{\text{filtre}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$	Équation 8.....	46
$Ru = (H_S + 0.8) \cdot 0.67 \cdot \left(\frac{\text{tg}(\alpha)}{2 \sqrt{(H_S + 0.8)/L}} \right)^{0.51}$	Équation 9	46
$l > 1,2 (lc + 0,3L)$	Équation 10.....	53
$L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 Dp}{T^2 g}\right)}$	Équation 11	52
$F/H_i = -0,32$	Équation 12.....	55

Introduction Générale

Introduction Générale

Le linéaire côtier Algérien a connu un recul très important durant ces dix dernières années en raison de la concentration de l'urbanisation et son amplification au niveau du littoral. L'accentuation de cette anthropisation accélère la déformation et la dégradation de la côte, dont l'équilibre est déjà menacée par l'avancée de la mer sous l'effet de l'hydrodynamisme (Actions des houles).

En effet, la lutte contre l'érosion exige une compréhension adéquate des processus fondamentaux qui entrent en jeu, tels que l'hydrodynamisme, la morphologie côtière, les facteurs subaériens, et les facteurs anthropiques afin d'aboutir à des solutions durables.

La dégradation côtière est un phénomène naturel dont la gravité dépend essentiellement de l'action de l'Homme. Le littoral Algérien n'est malheureusement pas épargné de ce phénomène qui a tendance à contaminer la majorité des côtes.

En effet, le déséquilibre de nos plages constitue aujourd'hui un réel danger pour la biodiversité qu'elles abritent, atteignant par là un niveau suffisamment alarmant pour que les autorités se décident à mettre en place une stratégie durable de reconstitution et de protection du littoral.

L'objectif de ce travail s'insère dans cette optique environnementale et dont l'approche consiste à réaliser un cas pratique d'étude de protection des extrémités Est (500 m de long) et Ouest (165 m de long) du rivage de Ain Tagourait qui s'étend sur 665m dont le phénomène d'érosion est déjà bien visible au niveau des pieds de falaises qui reculent et s'altèrent sous l'effet de l'action marine.

Pour cela une étude descriptive du milieu dynamique est nécessaire afin de pouvoir évaluer les paramètres physiques et hydrodynamiques du site et identifier les facteurs érosifs, leur intensité et fréquence d'occurrence.

De cet Objectif, se dégage une question majeure : **Quel type de protection faut-il appliquer dans la zone d'étude afin d'assurer une efficacité durable en matière de stabilisation et de ralentissement du recul du trait de côte ?**

Pour répondre à cette interrogation, une collecte de données essentielle a été élaborée afin de rassembler le maximum d'informations descriptives de la zone d'étude, afin de pouvoir envisager une solution adéquate au problème posé.

Le développement de ce mémoire dont l'intitulé « Etude de Protection du rivage de Ain Tagourait » est articulé autour de trois volets essentiels :

Une introduction générale dans laquelle est posée la problématique de ce travail

- Premier Volet : Collecte des données de base et de terrain.
- Deuxième Volet : Etude analytique des données avec présentation des résultats
- Troisième Volet : Propositions de solutions d'aménagement et de protection

Et enfin une conclusion générale dans laquelle est présentée une synthèse générale du travail effectué et des conclusions.

Chapitre I

Cadre général du site d'étude

1 Cadre général du site d'étude

1.1 Introduction

Ce chapitre consiste en une synthèse bibliographique qui retrace les connaissances actuelles sur la situation géographique de la zone d'étude, les caractéristiques de la région du point de vue géomorphologique, géologique, sédimentologique, sismique, géotechnique, Réseau hydrographique, Climatologie, et une Description de la zone d'étude, les agents d'érosion ainsi que l'évolution du trait de côte.

1.2 Situation géographique

1.2.1 Situation géographique de la Wilaya de Tipaza

La Wilaya de Tipaza est située dans la partie centrale du Sahel (Altitude 100-200m) qui s'étend sur un linéaire d'environ 115 km. Au centre nord de la Wilaya, le massif de Chenoua culmine à 900m d'altitude. Au sud de la Wilaya s'étend la Vallée de la Mitidja et se dresse sur le Massif de Bou-Maad qui appartient à l'Atlas Blidien.

Sur le plan géographique (Figure 1), la Wilaya de Tipaza est limitée :

- A l'Ouest par la Wilaya de Chlef ;
- À l'Est par la Wilaya d'Alger;
- Au Sud par les Wilayas d'AïnDefla et Blida ;
- Au Nord par la mer de Méditerranée.



Figure 1 : Situation géographique de la ville de Tipaza (Encyclopédie, 2011)

1.2.2 Présentation de la zone d'étude

Le rivage de Ain Tagourait se situe à l'Ouest du port de Bouharoun à environ 4 Km et à l'Est du port de Tipasa à environ 12 Km. L'agglomération de Ain Tagourait occupe une bande littorale de 3 km de long pour moins de 800 m de large. Elle est rattachée administrativement à la Wilaya de Tipasa, Daïra de Bou-Ismaïl (Figure 2).

Limites communales : Au Nord la mer Méditerranée ;Au Sud les communes Htatba et Sidi Rached ;A l'Ouest la commune de Tipasa et A l'Est la commune de Bouharoun.

La superficie du territoire communal est estimée à 2570 ha pour une population de 10702 habitants d'où il ressort une densité brute de 4 hab / ha(APC).

Les coordonnées géographiques du site étant : Latitude : 36° 36' 8" Nord et Longitude: 02° 37' 6" Est.



Figure 2 : Situation géographique de Ain Tagourait (Google Earth, 2012)

1.2.3 Accessibilité

D'après l'APC on y accède à Ain Tagourait par :

- La RN 11 qui traverse la commune d'Est en Ouest en passant par l'agglomération chef lieu, c'est l'axe principal de la commune qui assure la liaison à l'Ouest avec Tipasa et à l'Est avec les communes avoisinantes : Bouharoun, Bou-Ismaïl, etc.
- Le CW 40 qui prend naissance à partir de la route nationale 11 à l'Ouest du chef lieu, il relie la commune Ain Tagourait à celle de Sidi Rached.
- Le CW 108 qui prend naissance à partir de la route nationale 11 au niveau du chef lieu, il relie la commune Ain Tagourait à celle de Htatba.

1.2.4 Description des sites EST et OUEST de Ain Tagourait

1.2.4.1 Site Est

Situé à l'ouest du port de Bouharoun à environ 4 km. Il est limité au Nord par la mer Méditerranée, au Sud par un îlot d'habitations de la ville de Ain Tagourait (Bérard) traversée par la Route Nationale 11. La zone d'étude s'étend sur un linéaire de 500 m.

1.2.4.2 Site Ouest

Limité au Sud par des habitations ; à l'Ouest par un Oued ; à l'Est par une falaise longée par une route ; au Nord par la Mer Méditerranée. La zone d'étude s'étend sur un linéaire de 165 m (Figure 3).



Figure 3 : Situation et description des sites d'études (Google Earth, 2012)

1.3 Caractéristiques de la région

1.3.1 Géomorphologie

1.3.1.1 Géomorphologie régionale

La baie de Bou-Ismaïl est caractérisée par une morphologie côtière diversifiée composée de côtes rocheuses, falaises, plages et dunes (Grimes, 2004).

1.3.1.1.1 Les falaises

La falaise la plus importante dans la baie de Bou Ismaïl est celle du Mont Chenoua qui est située à l'Ouest de la commune du chef lieu de Tipaza.

1.3.1.1.2 Les côtes rocheuses

Il s'agit de formes rocheuses quelconques localisées entre Tipaza (Les différentes Anses) et Bou Haroun (Rocher Plat), qui constitue notre zone d'étude.

1.3.1.1.3 Les plages

La baie de Bou-Ismaïl comprend 16 plages dont la plus développée est celle du Colonel Abbas (Située dans la commune de Douaouda) qui s'étale sur une longueur de 3000 m. La granulométrie de ces plages est constituée de sable fin, moyen et de galets.

1.3.1.1.4 Les dunes

Ce sont des formations qu'on retrouve immédiatement sur la continuité des plages puisqu'elles sont à l'origine de leur formation (Figure 4).

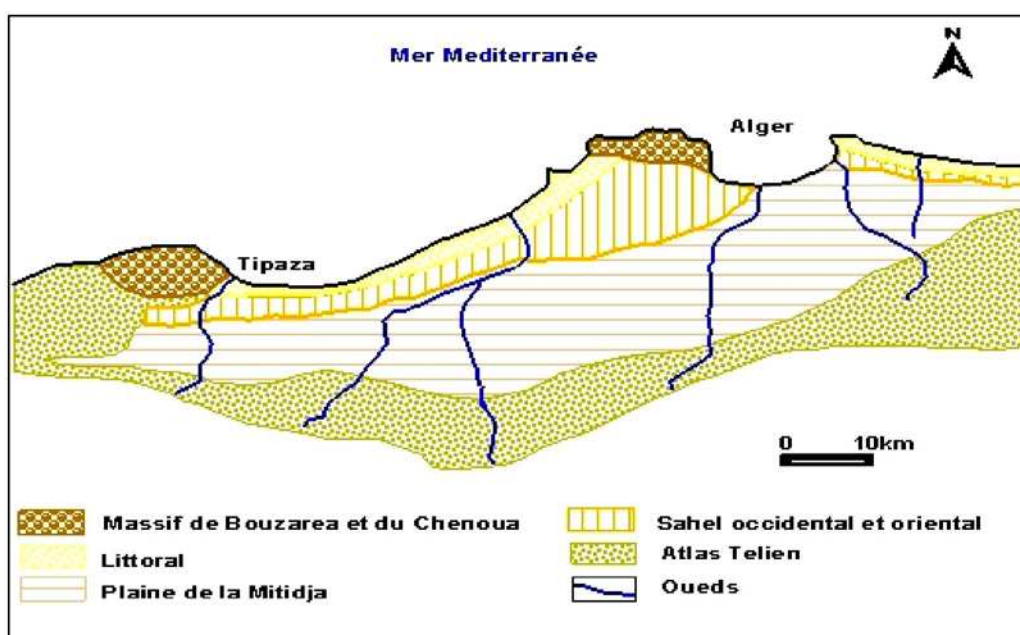


Figure 4 : Morphologie côtière de la baie de Bou-Ismaïl (Grimes ; 2004)

1.3.1.2 Géomorphologie locale

D'après le plan directeur de l'Aménagement et de l'urbanisation de la Wilaya de Tipaza (PDAU), Ain Tagourait est située sur un plateau constitué par des dunes consolidées de la dernière régression marine du pléistocène. L'intérieur du territoire est constitué de sables plus ou moins argileux du Villafranchien, provenant de la désagrégation mécanique des reliefs Astiens le trouvant dans le sud et de celui des dunes au Nord.

De nombreux cours d'eau temporaires ont creusé leur lit dans les dunes, s'illustrant par une sorte de branchage.

1.3.2 Cadre géologique

Le littoral de Ain Tagourait Ex Bérard qui s'étale sur une longueur de 3 km ; est caractérisé par des accumulations sableuses à l'Est et des formations rocheuses à l'ouest. A partir de la carte géologique de l'Algérie (2ème édition), à l'échelle 1/500000, on a reporté les formations locales rencontrées au niveau du site d'étude et ses alentours (Figure 5).

A l'Ouest et à l'Est, les dépôts sont constitués essentiellement de grès et de formations dunaires héritées du Calabrien, ainsi que des plages à galets au Centre héritées du quaternaire marin. En effet ces dépôts sont très récents, Raison pour laquelle, notre site d'étude est classé comme étant vulnérable, nécessitant par là une protection adéquate.

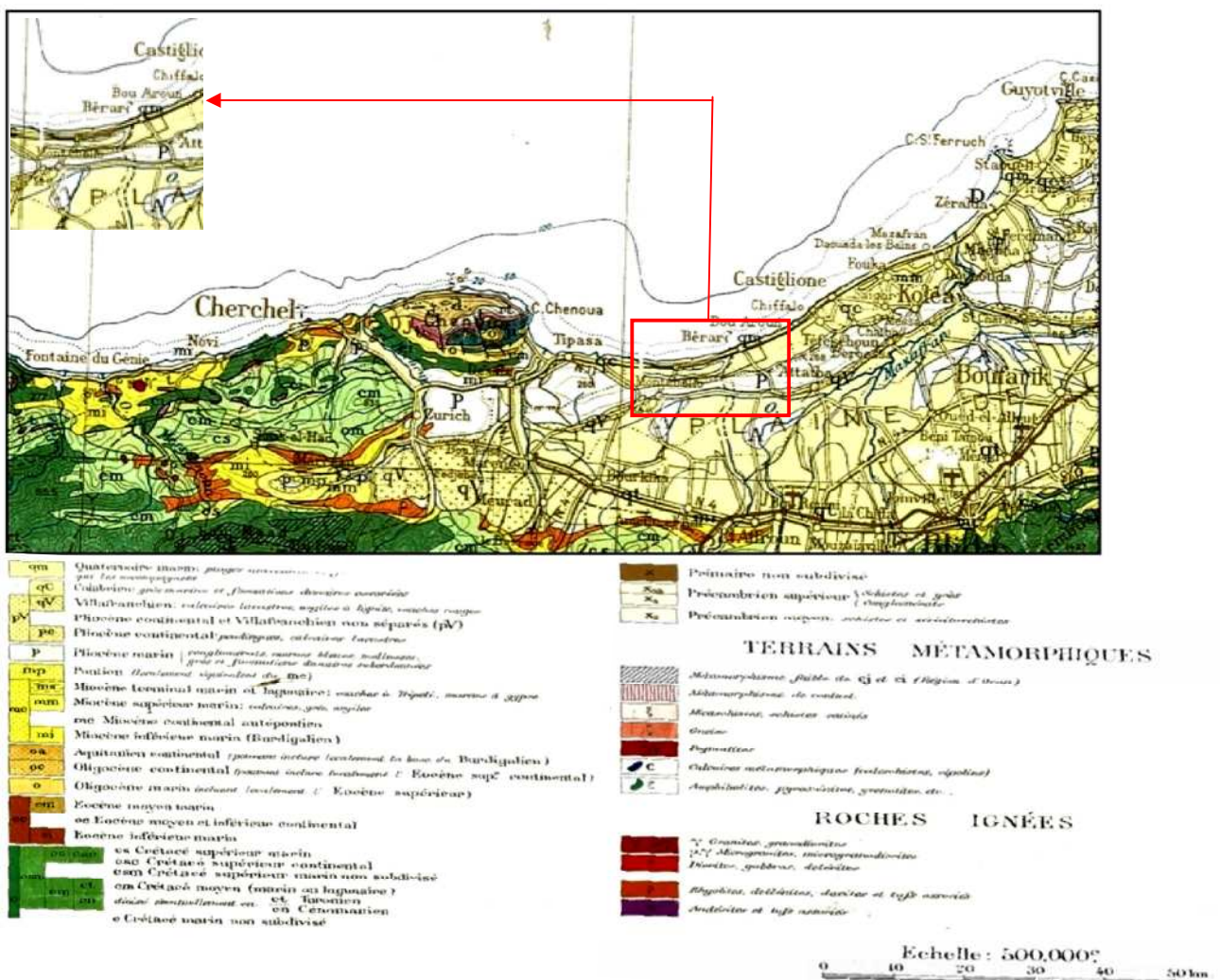


Figure 5 : Extrait de la carte géologique de l'Algérie (2ème édition), à l'échelle 1/500000

1.3.3 Sédimentologie

L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sédimentologique des fonds de cette baie, 09 faciès identifiés selon la carte (Figure 6) :

Selon le LEM (1998), la répartition de ces faciès n'est pas identique, ainsi deux régions apparaissent :

- La région Est ou orientale (Prédominance de graviers envasés constitués de plusieurs faciès de sables grossiers, fins graviers et sables graveleux).
- La région Ouest ou occidentale qui représente la zone de la présente étude (Prédominance des vases pures).

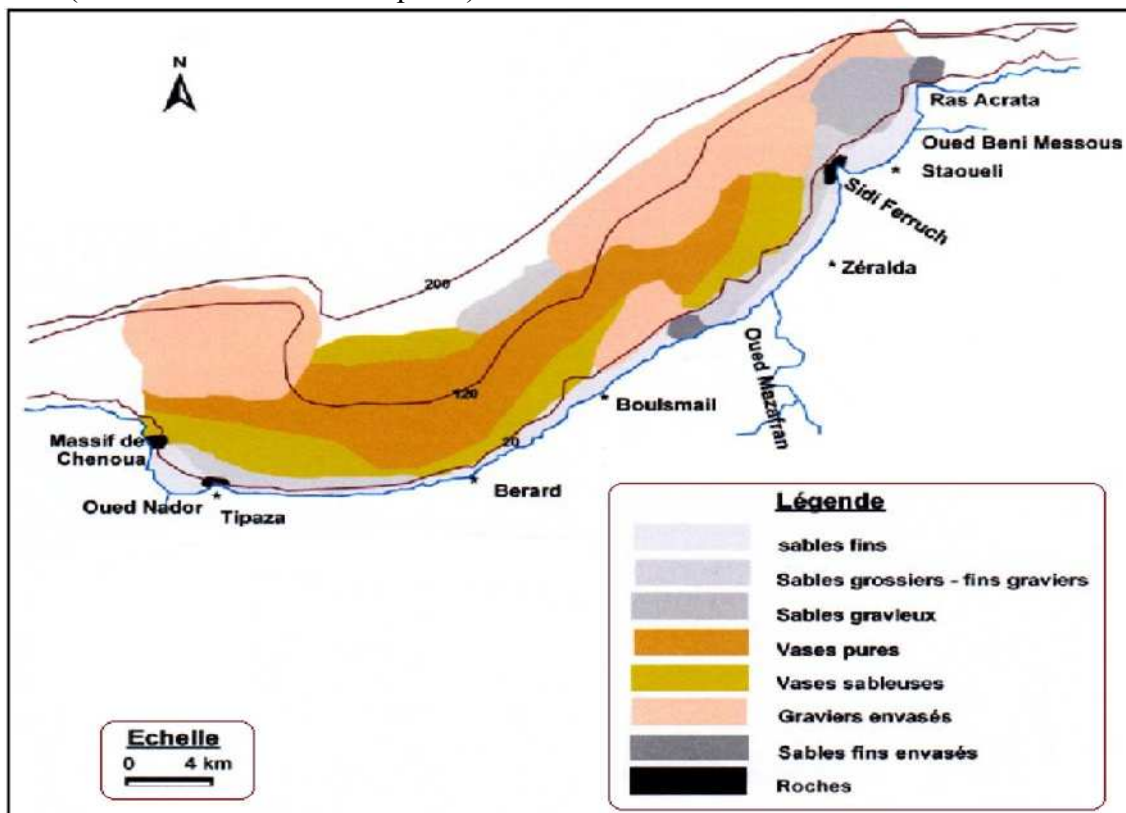


Figure 6 : Carte sédimentologique de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998)

1.3.4 Sismicité

La région de Tipaza limitrophe à notre zone d'étude, est connue pour être une région sismique, par la présence des failles du Dahra, de Larhat, du Chenoua et de la subsidence de l'oued Nador. Le séisme du 29 Octobre 1989 (M=6, I = 10) a propulsé la zone au summum de la gravité et depuis la région est classée en zone III par le RFA (Haute magnitude et forte intensité). En plus du séisme de AinBenian en 1990 (M=5,7), dont les épïcètres étaient en mer sont ceux qui ont été les plus proches de la commune (D'après le PDAU).

Ain Tagourait est sujette aux séismes venant d'Ouest (Tipasa-Nador), du Sud-ouest (Oued Djer), du Sud (Flexure de la Mitidja- Sahel et flexure Mitidja -Atlas Tellien), de l'Est venant de AinBenian, d'Alger, de Thénia ou de Zemmouri. Il est important de connaître l'historique de la sismicité de la région, car il reflète l'aptitude de la liquéfaction du sol suite au

déroulement d'un séisme, phénomène qu'il faut tenir en compte lors de n'importe quel aménagement.

1.3.5 Géotechnique

1.3.5.1 Les terrains moyennement favorables

Ce sont des sols constitués de sables plus ou moins argileux du villafranchien (as) provenant du produit de désagrégation de la roche en place.

La pulvérisation des reliefs environnants, s'est déposée et accumulée sous forme d'horizon épais de sables et d'argiles.

Une étude géotechnique de détail circonscrit les terrains à la construction moyenne, à laquelle elle donnerait une orientation d'urbanisme en adoptant les fondations parasismiques.

1.3.5.2 Les terrains défavorables

Se sont des terrains qui se trouvent dans les fonds de talweg, ils ne sont pas constructibles sur une bande de 15m de part et d'autre du lit de l'oued. La superficie des zones les plus touchées par les risques majeurs naturels dans la commune de Ain Tagourait est calculée en fonction de deux facteurs principaux:

- Les glissements et le fluage dans les terrains marneux et argileux ;
- Les terrains soumis à une forte propagation d'ondes sismiques.

1.3.5.2.1 Les glissements et le fluage dans les terrains marneux et argileux

Les alluvions récentes tapissent le fond des oueds. Le site est très disséqué par une multitude d'oueds dont le plus important est l'oued Maguem.

La superficie soumise aux effets du fluage et des glissements est de 3408385,7214 ha, occupée par les marnes plaisanciennes et par le lit des oueds.

On trouve ces terrains sur une bande Nord entre deux autres entités qui sont les dunes consolidées le long des falaises et les alluvions récents et limoneuses qui se trouvent au Sud.

1.3.5.2.2 Les terrains soumis à une forte propagation d'ondes sismiques

La superficie la plus touchée par la propagation des ondes sismiques est occupée par les alluvions récents et les sables argileux. Ce sont des sols constitués de sables plus ou moins argileux au villafranchien (as) provenant du produit de désagrégation de la roche en place.

La pulvérisation des reliefs environnants, s'est déposée et accumulée sous forme d'horizon épais de sables et d'argiles. La surface totale étant de 1215,44ha.

1.3.6 Réseau hydrographique

1.3.6.1 Hydrologie régionale (Figure 7)

Trois principaux oueds se déversent dans la baie de Bou-Ismaïl. Ils sont perpendiculaires à la côte (Oued Nador) ou obliques (Oued Beni Messous et Mazafran).

1.3.6.1.1 Oued Beni Messous

Se situe à l'Ouest d'Alger à environ 15 Km entre El Djamila et club des pins, il alimente la Baie d'El Djamila, prend source dans le grand Cheraga, traverse les communes de Cheraga au Nord, Bouzaréah au nord Est au niveau d'une agglomération appelée "La tribu", Dely Brahim à l'Est et AinBenian à l'Ouest et débouche au niveau d'une plage appelée "Les Dunes" à environ 2 Km à l'Ouest du port d'El Djamila sur une distance de 11,5 Km, regroupant l'Oued Defla et l'Oued Bâinem. Son bassin versant est réduit, il est souvent sec, sauf lors des fortes pluies ou il peut raviner une quantité non considérable de sédiments (Aouidad.Z ,1997).

1.3.6.1.2 Oued Mazafran

Situé à l'Ouest de Sidi Fredj, il est formé de ramification des Oueds Djer, Chaffa et Bou-Roumi. Il prend source à partir de la plaine de Matidja, et il débouche entre Zéralda et Douaouda. Son débit est estimé à environ $13,8 \text{ m}^3/\text{s}$, et couvre une superficie de 600 km^2 (Aouidad.Z ,1997).

1.3.6.1.3 Oued Nador

Situé dans la partie occidentale de la baie, il prend son origine à partir de la cluse de Tipaza avant de déboucher dans la petite Baie de Chenoua. Il est formé par la réunion des Oueds suivants : Oued Bou-Yersen, Bou-Ardoun et Oued Meurad. Son bassin versant a une superficie de l'ordre de 200 à 230 Km^2 . (Aouidad.Z ,1997).

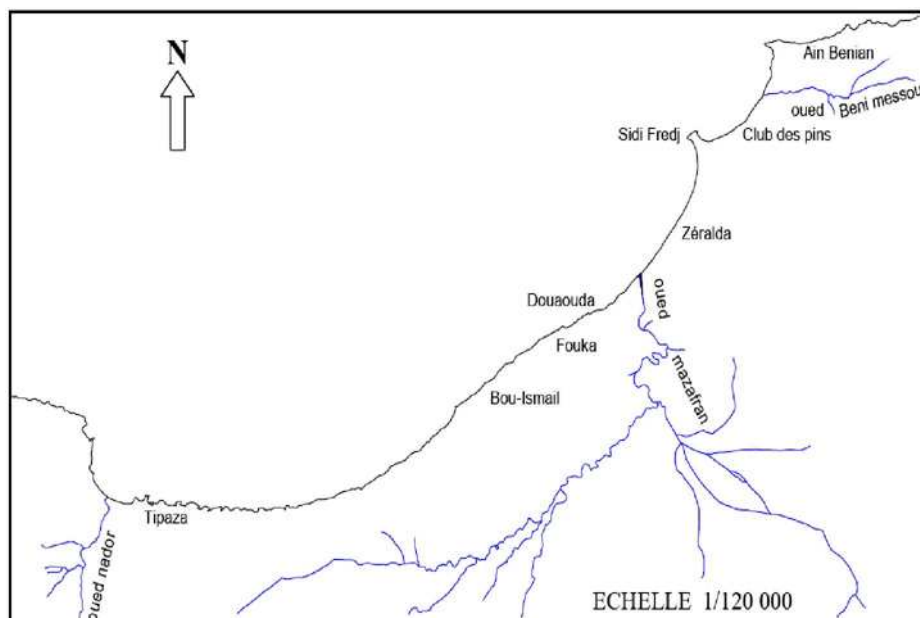


Figure 7 : Réseau hydrographique dans la baie de Bou-Ismaïl (Aouidad.Z ,1997).

1.3.6.2 Hydrologie locale

La ville de Ain Tagourait est traversée par un oued appelé « Oued Maguem », dont la direction est Sud-ouest, Nord-est selon le PDAU.

1.3.7 Climatologie

1.3.7.1 Précipitation et Température

Par sa proximité immédiate avec la mer, le site bénéficie d'un climat sec en été, humide et froid en hiver. Il reçoit des précipitations annuelles variant de 600 à 800 mm/an. Les températures y sont clémentes avec une moyenne annuelle de 17- 18°C dont les minimas absolus sont très modérés et rarement négatifs (LEM,2012).

Le climat est caractérisé par deux saisons :

- Une saison pluvieuse s'étalant d'Octobre à Mai avec deux maximum de pluviométrie (Octobre – Février) et (Mars – Mai). Ces pluies sont le plus souvent des courtes et violentes, les débits liquides sont directement liés à cette pluviosité, induisant un régime hydrographique très irrégulier et les températures atteignent leurs minimas.
- Une saison sèche qui s'étale sur le reste de l'année avec des températures saisonnières.

Des données de température sont mesurées par la station de Bouharoun de 1992 jusqu'à 2007 et qui ont permis de tracer la courbe suivante (Figure 8) :

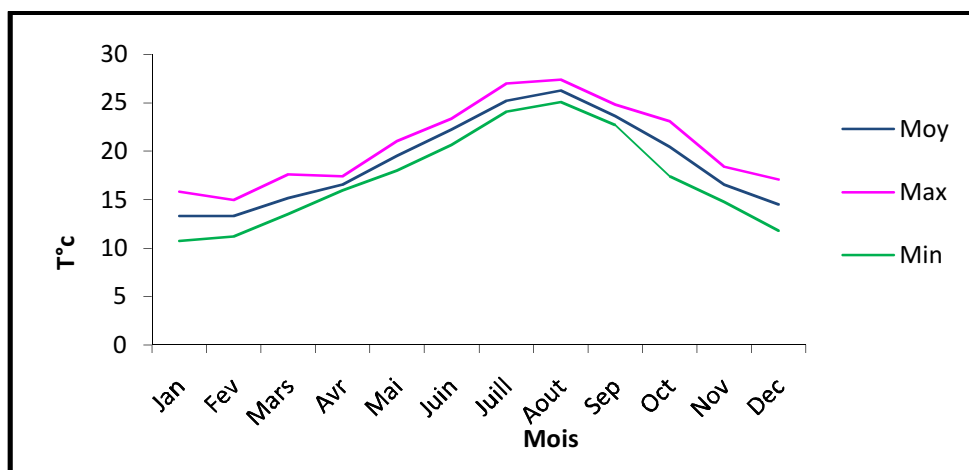


Figure 8 : Distribution des températures Moyennes Bouharoun 1992-2007

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. On distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à Octobre où les températures moyennes de l'air varient entre 20°C et 25°C, et se rafraichissent en Novembre et une autre saison qui débute en Décembre et s'achève en mars où les températures moyennes varient entre 13°C et 16°C.

D'après les données de la station météorologique de Bouharoun (1992-2007) les précipitations mensuelles de la ville de Ain Tagourait sont représentées dans le graphe suivant (Figure 9) :

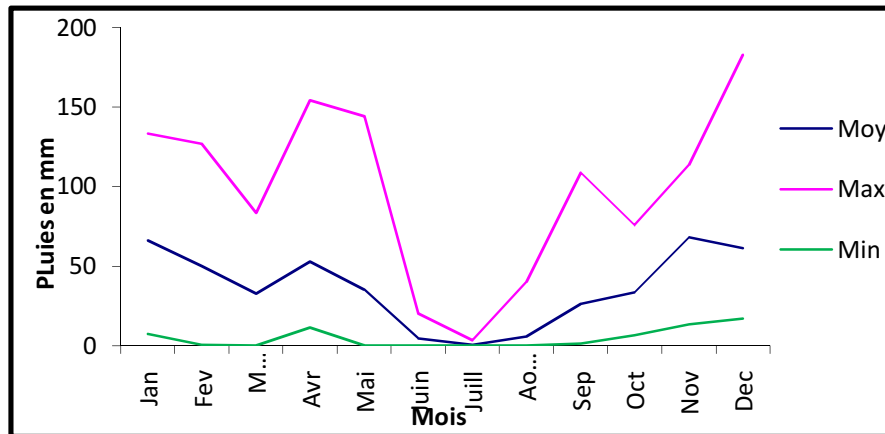


Figure 9 : Evolution des pluies mensuelles de Bouharoun entre 1992-2007

Commentaire

Deux saisons humides se distinguent : L'une allant du mois de Novembre au mois de Février où la moyenne mensuelle maximale atteint 70 mm et l'autre plutôt sèche allant du mois de Juin au mois d'Octobre avec un minimum de quelques millimètres.

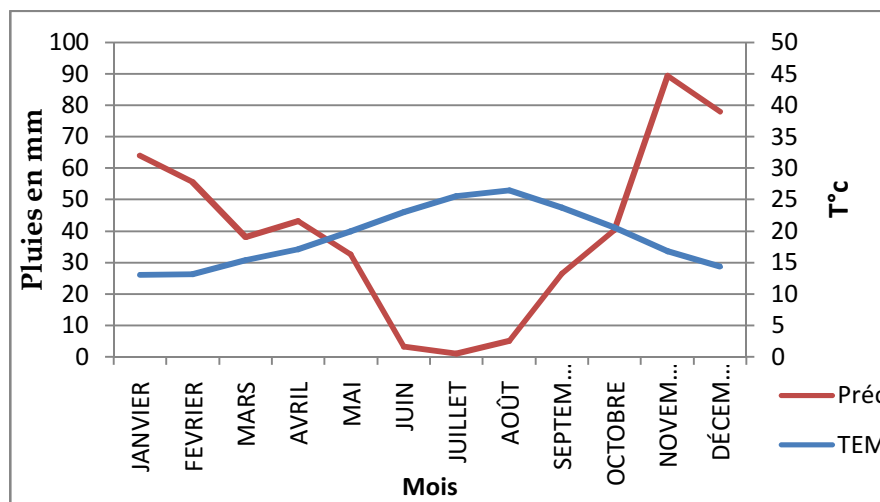


Figure 10 : Diagramme Embrothermique Gausse (Station de Bouharoun, 1992-2007)

Commentaire

L'analyse du diagramme (Figure 10) montre que la période sèche s'étale sur environ 06 mois. Elle s'étend de Mai jusqu'à Octobre, tandis que la période humide, s'étend du début Octobre jusqu'à la fin d'Avril. Cette alternance de phases climatiques sèches et humides peut également contribuer à déstabiliser les roches des bassins versants qui ont un lien direct ou indirect en matière d'apport sédimentaire à la plage de Ain Tagourait.

1.3.7.2 Les vents

Le vent par son action directe sur la déformation de la surface libre (houle, vague) et les conséquences en terme de dynamique sédimentaire qui en découlent, sont des agents météorologiques importants à considérer. En effet, le vent intervient dans l'évolution et la reconstitution des dunes.

Au large de la baie de Bou-Ismaïl les vents soufflent environ 90 % du temps, considérés comme facteur déterminant affectant de manière significative le nombre et la durée des sorties en mer, de même que l'écologie des espèces (ONM, 2007). La vitesse du vent moyen annuel à Alger estimée (ONM, 2007) sur une période allant de 1970 à 2006, est de 3,09 m/s.

L'analyse globale des observations des régimes des vents faite sur 5 ans (CROP, 1983), montre qu'il existe trois catégories dominantes du vent:

- Le vent modéré, estimé annuellement à 11,6 % avec une prédominance estivale.
- Les vents de secteur Nord Nord Ouest (N315° - 360°) à Ouest (N270° à 315°) sont les plus fréquents (Représentés à 18,06 % en Eté, et à 45,64 % en Hiver). Ils s'étalent sur une longue période (de Décembre à Mai) et se caractérisent par leur violence (de 6 à 10 nœuds) (Leclaire, 1972).
- Le vent de secteur Est (N 45°-90°), peu fréquents (de 18,27 % en Hiver et 57,63% en Eté), de durée moindre (de Juin à Octobre), ils ont des vitesses plus atténuées (de 4 à 6 nœuds).
- Les vents sont donnés par le Summary of SynopticMétéorological Observation (S.S.M.O) de l'US Naval Weather Service pour la période allant de 1963 -1970.

Les fréquences d'apparition du vent par vitesse et par direction sont présentées dans le Tableau suivant (Tableau 1) :

Tableau 1 : Fréquences d'observation en fonction de la direction et de la vitesse

Direction					
VITESSE (MS)	Nord	Nord Est	Nord Ouest	Est	Ouest
0,5-1,54	1,1%	1%	0,7%	1,4%	1%
2,04-5,1	4,8%	6,5%	6,1%	9,1%	10,4%
5,61-10,7	2,4%	2,8%	6,1%	5,6%	13,2%
11,22-11,73	0,6%	0,5%	2,7%	0,5%	5,3%
17,34-23,97	0,1%	0%	0,8%	0,1%	1,1%
25	0%	0,1%	0,1%	0%	0%

(Source :ONM 2009)

A partir de ces données, on note la prédominance de deux secteurs :

- Le secteur Ouest à Nord Ouest avec 47,5% de fréquence d'apparition.
- Le secteur Nord à Est avec 36,6% de fréquence d'apparition.

Les vents qui proviennent du Nord-Ouest, sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violentes. Dans la zone de Ain Tagourait, les vents sont du secteur Nord, surtout en hiver. Ils peuvent être très forts et dévastateurs comme en Avril 1989.

1.3.8 Océanographique

Les courants dus aux houles sont les seuls à être capable d'assurer la mise en mouvement des sédiments. Les autres courants ne font que s'ajouter aux courants de houle pour véhiculer ces matériaux.

1.3.8.1 Les courants

La côte subit des courants côtiers induits par les vents où par les houles à quelques distances des plages. Plus au large, on rencontre le courant permanent dirigé d'Ouest en Est, la vitesse de ce courant peut atteindre 2 nœuds.

Il est certain que les caractéristiques de ces courants et leurs fluctuations sont étroitement liées au régime des vents et des houles.

04 types de courant sont identifiés :

1.3.8.1.1 Les courants généraux

Le courant général des eaux Atlantiques de Gibraltar s'écoule vers l'Est. Ce courant évolue généralement avec une vitesse de 0,5 m/s au large des côtes Algériennes. Au niveau de la zone d'étude, il y a possibilité d'existence d'un contre courant littoral dirigé vers l'Ouest.

1.3.8.1.2 Les courants Côtiers

C'est un courant qui conditionne la dynamique sédimentaire le long du rivage. Le sens et l'intensité de ces courants, sont fonction de : l'amplitude, l'incidence de la houle par rapport à la côte, la topographie de la plage sous-marine ainsi qu'à la granulométrie du sédiment.

La conséquence de la mise en contact de la houle avec les irrégularités des fonds est la formation de rouleaux, ceux-ci provoquent la mise en suspension de particules et par conséquent leur transport.

1.3.8.1.3 Les courants de retour

Ils correspondent à une zone de flot de retour à partir du courant existant. Ces courants sont une source de dispersion d'une partie du stock côtier vers le large.

1.3.8.1.4 Les courants de dérive littorale

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement, où l'énergie est maximale. Si cette énergie est importante, alors elle pourra mettre en suspension et transporter des particules sédimentaires le long de la côte (Figure 11).

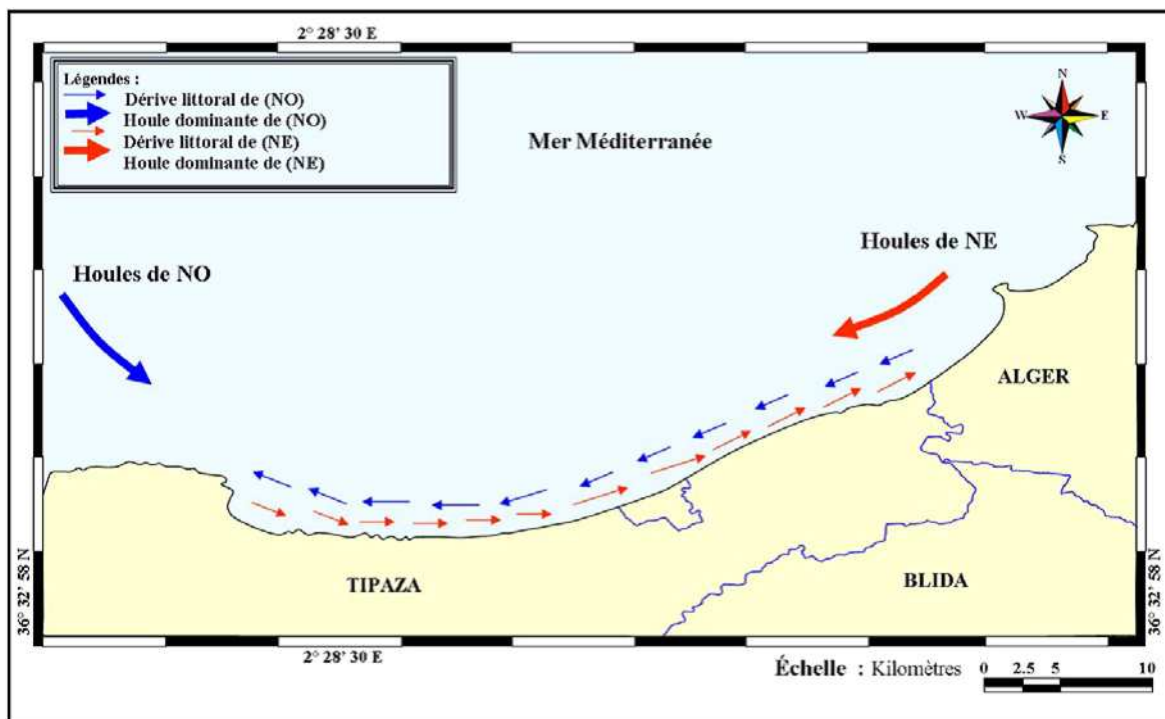


Figure 11 : Transit sédimentaire dans la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 2005)

La marée

Généralement, dans les côtes Algériennes, l'amplitude de la marée astronomique est peu importante mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. La marée de pleine lune est de l'ordre de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune est de 05 à 15 cm. La variation journalière observée est inférieurs à 10 cm.

La différence entre la valeur moyenne maximale de niveau de la mer ne dépasse pas les 50 cm. Cette valeur est prise en compte dans le calcul des paramètres physiques de la structure de la protection.

1.3.8.2 La houle

C'est un paramètre hydrodynamique qui dépend directement des vents et qui joue un rôle important dans la zone de déferlement. En général, le principe d'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord de navires (U.S Naval Weather Command (S.S.M.O)). Ces observations s'étalent sur la période de 8 ans (1963 à 1970).

Ces observations couvrent la zone au large des côtes Algériennes qui se situe entre 2° et 5° de longitude Est et 36,5° et 38° de latitude Nord. Une analyse statistique de ces données permet de définir les secteurs de houles prédominants.

1.3.8.2.1 Caractéristiques statistiques de la houle au large

A partir de l'analyse des observations faites à bord des navires et des amplitudes observées par direction, on établit une loi de régression donnant la fréquence de dépassement en fonction de la hauteur de la houle. On définit par ailleurs, les probabilités d'apparitions associées aux périodes de retour.

Les ouvrages de protection sont conçus pour une certaine durée de vie durant laquelle on ne souhaite pas qu'ils subissent des dégâts. Aussi il faut connaître la houle maximale susceptible d'arriver pendant ce laps de temps désiré. En général pour les ouvrages de protection de rivage un dimensionnement pour une houle vingtennale est admis (Tableau 2-3).

Tableau 2 : Probabilité d'apparition des houles associées aux périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

Période de retour	Probabilité associée
Biannuelle	4,57 10 ⁻⁴
Quinquennale	1,83 10 ⁻⁴
Décennale	9,13 10 ⁻⁵
Vingtennale	4,57 10 ⁻⁵
Cinquantennale	1,83 10 ⁻⁵
Centennale	9,13 10 ⁻⁶

Tableau 3 : Caractéristiques statistiques de la houle au large (SSMO, 1963-1970)

Période de retour/Hauteur (m)	Est	N-Est	Nord	N-Ouest	Ouest	Toutes Directions
Biannuelle	4.12 m	4.93 m	4.90m	4.16 m	7.36 m	7.44 m
Quinquennale	4.70 m	5.67 m	5.75m	4.87 m	8.43 m	8.34 m
Décennale	5.14 m	6.23 m	6.38m	5.40 m	9.22 m	9.02 m
Vingtennale	5.59 m	6.79 m	7.02m	5.94 m	10.02 m	9.70 m
Cinquantennale	6.17 m	7.53 m	7.87m	6.65 m	11.08 m	10,60 m
Centennale	6.62 m	8.08m	8.50m	7.18 m	11,88 m	11.27 m

1.4 Caractéristiques de la zone d'étude

1.4.1 Description du rivage de Ain Tagourait

Le rivage à protéger s'étale sur une longueur d'environ 1200m linéaire faisant face au presque au Nord, il se caractérise par une occupation anthropique sur toute sa longueur comprenant, notamment, des habitations individuelles et collectives.

D'après les observations sur le terrain :

- Un cordon d'enrochement situé à la limite Est du site a été aménagé par la DTP de la Wilaya de Tipasa en 2003 et ce pour parer à une érosion ponctuelle très accentuée (Figure 12- Photo 1).
- Une route parallèle longeant la côte traverse le site de bout en bout avec une section dégradée par l'érosion marine dans la partie Ouest (Figure 12 - Photo 2-4-5).
- La zone d'étude se caractérise par la présence d'un débarcadère dans la partie centrale qui fait l'objet de travaux de protection et de remise en état (Etude élaborée par le LEM), suite aux dégâts enregistrés lors des tempêtes de 2009(Figure 12-Photo 3).



P



:Route bordant le rivage Est



Photo 4 : Mur au niveau du débarcadère



Photo 5 : Route bordant le rivage Ouest



Photo 6 : Extrémité Ouest

Figure 12: Observations sur le terrain

- Du point de vue morphologique, le rivage se présente sous forme de falaise rocheuse en saillie, celle-ci est classée dans la catégorie moyenne à haute, son altitude est variable, comprise entre 6 et 15 m dans la partie Est, et entre 5 et 9 m dans la partie Ouest et se situe aux alentours de 3m au bord du débarcadère.
- Cette falaise est vive car elle est battue par la mer, ses profils sont dans l'ensemble assez raides allant de 70° jusqu'à presque la verticale.
- Le pied de la falaise comporte des accumulations de blocs de dimensions et de formes variées issues de la désagrégation des roches. Localement des affleurements du platier rocheux atteignent le pied de cette falaise (Figure 13).



Figure 13 : Pied de la falaise : Accumulation de blocs et affleurement du platier rocheux

1.4.2 Evolution du trait de côte

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 morfo-dynamiques affectant les interfaces Terre /Mer /Atmosphère. L'occurrence et l'intensité de l'érosion côtière varieront en fonction des caractéristiques morpho-lithologiques, climatiques, hydrogéologiques et anthropiques.

Notre site d'étude ainsi que la plupart des côtes Algériennes subissent l'érosion marine. Celle-ci n'est pas exclusive mais a plutôt une tendance mondiale. Les causes sont multiples, certains l'attribuent à une remontée du niveau marin, d'autres à l'augmentation du nombre et la vélocité des tempêtes, le déficit sédimentaire, etc.

Nous nous intéressons dans cette étude à l'échelle locale, aux agents à l'œuvre ainsi qu'aux principaux facteurs en cause.

1.4.3 Les agents d'érosion

Quelque soit sa nature et son environnement, deux groupes d'agents d'érosion contribuent à l'érosion des rives : Les agents littoraux et les agents subaériens.

1.4.3.1 Les agents littoraux

La houle joue un rôle prépondérant, elle constitue l'agent littoral essentiel responsable des processus dynamiques étant donné que les autres agents (Marée, Gel et Dégel, Remonté du niveau marin, Courants.....) sont insignifiants ou très peu connus en Algérie.

En effet, du fait de l'orientation du trait de côte de la ville de Ain Tagourait et de l'importance des pentes topographiques sous marines, le rivage est frontalement exposé aux houles Nord à Nord-ouest.

L'action des houles est mécanique, les lames qui déferlent contre les parois de la falaise exercent des pressions considérables. La multiplication des chocs finit par éroder la base des falaises et provoquent leurs éboulement et ainsi le recul du trait de côte (Figure 14).



Figure 14 : Sapement du pied de la falaise par des vagues (Décembre 2009)

1.4.3.2 Les agents subaériens

Des agents subaériens contribuent également à l'érosion littorale. Le ruissellement est le type d'érosion le plus fréquent sur terre, il peut être diffus ou concentré. Dans certains points de la côte, leur action est aussi importante que celle des houles. En effet, le ruissellement et le drainage superficiel des eaux de pluies sont à l'origine du ravinement des terrasses des rives au niveau des points de rejets. Ces points considérés comme points singuliers sont clairement identifiés sur notre rivage (Figure 15).



Figure 15 : Photos illustrant des ravinements créés par les ruissellements des eaux de pluies

Chapitre II

Matériel et méthode d'analyse

2 Matériels et Méthodes d'analyse**2.1 Introduction**

Ce chapitre évoque la méthodologie d'une réalisation d'un levé topographique et bathymétrique qui est nécessaire pour l'étude de la réfraction de la houle.

La méthodologie d'une étude d'une modélisation de la réfraction de la houle par le logiciel SWAN est aussi détaillée dans ce chapitre.

2.2 La réfraction de la houle

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte (direction et hauteur).

La connaissance des caractéristiques de la houle (direction, amplitude, période) permettent d'apprécier et de comprendre les phénomènes qui se produisent dans la zone de déferlement et serviront de données d'entrée pour le dimensionnement des ouvrages maritimes.

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

2.2.1 Principe de calcul de la réfraction de la houle

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

$$K_r = \frac{H_s \text{ local}}{H_s \text{ large}} \dots \dots \dots \text{Équation 1}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN pour différentes conditions de houle au large (Hauteur, Période et Direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

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

Et est donc parfaitement adopté à la problématique du littoral ouest algérien dont fait parti notre site d'étude. Les résultats sont donc exploités sous forme des épures de réfraction qui montrent qualitativement comment la hauteur de houle et direction changent au cours de la propagation de la houle.

2.2.2 Données de base

2.2.2.1 Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3030 intitulée « Carte septentrionale d'Afrique partie comprise entre Alger et Cherchell-échelle : 1/100720 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de Mars 2010 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage de Ain Tagourait.

2.2.2.2 Données de houles au large

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

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

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 (>10 S), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles (Tableau 4).

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

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

2.2.2.3 Choix du secteur angulaire

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

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (Tableau 5).

Tableau 5 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970)

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mois								
Janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
Février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
Mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
Avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
Mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3,3	7,2	13,9	5,2
Juins	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
Juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
Août	8,8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
Octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	14,8	28,8	6,8
novembre	5,5	5,8	5,8	10	8	15,9	40,4	9,4
décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
Moyenne	8,52	18,28	18,72	23,08	4,19	11,06	25,23	6,46

- Deux directions approximativement perpendiculaires à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N, 360N)
- Une direction de houle à incidence oblique (45°N)
- La direction de (270°N) qui est plus au moins énergétique peut atteindre notre zone d'étude par réfraction.

2.2.2.3.1 Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction

A fin de procéder à l'étude de la réfraction deux logiciels sont couplés, il s'agit du logiciel des SIG Mapinfo version 7.8 comme surface de saisie de données et d'acquisition de résultats, ainsi que le logiciel SWAN (SimulatingwavesNearshore) comme calculateur.

L'étude de la propagation de la houle sur un site réel comporte trois phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous (Figure 16) :

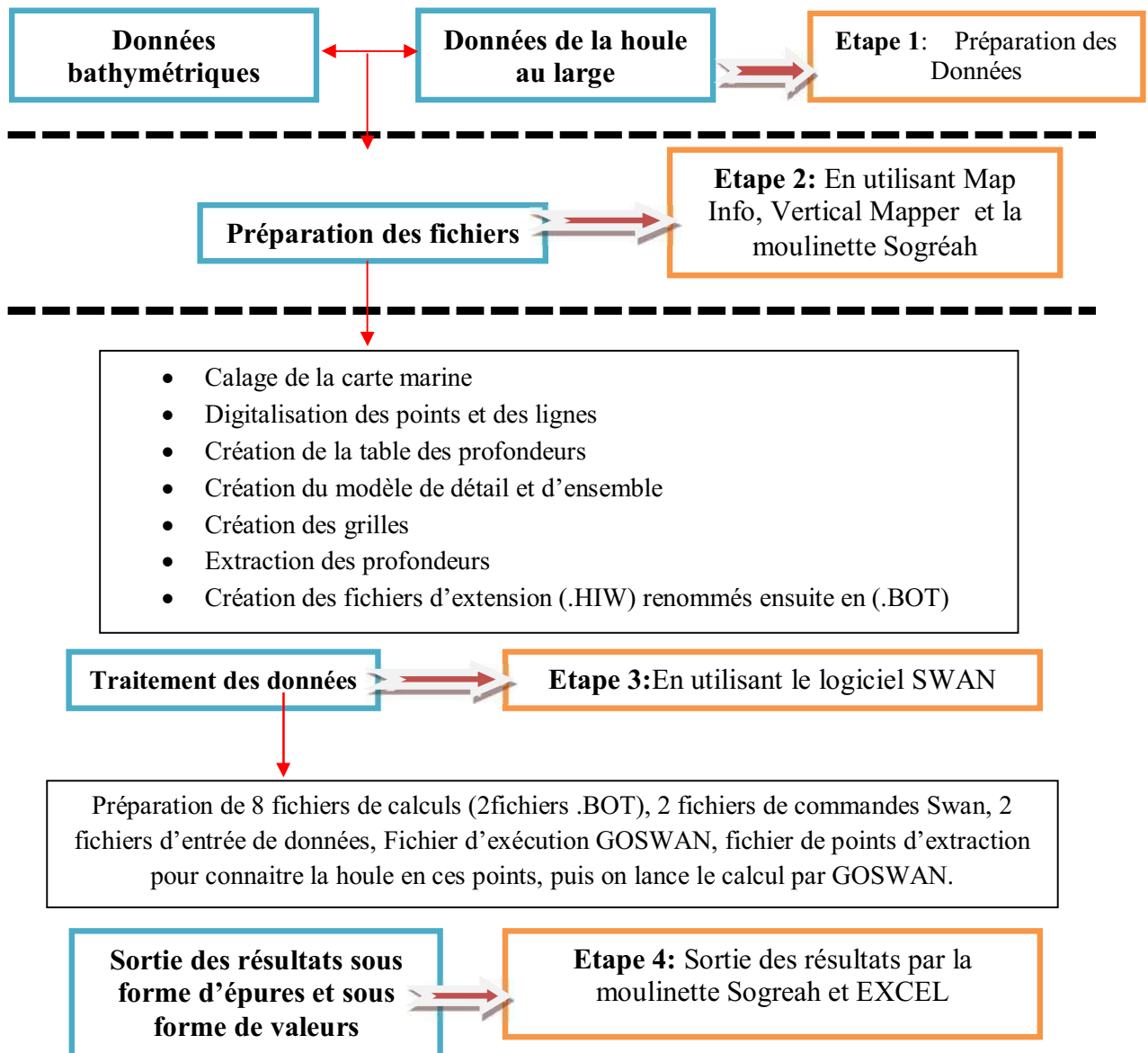


Figure 16 : Organigramme des étapes de la simulation de la réfraction

2.3 Mode du levé topo-bathymétrique

Dans le cadre de cette étude de protection du rivage Est de Ain Tagourait, un levé topo bathymétrique a été réalisé par l'équipe du Centre de Travaux sur Sites du LEM durant la période Avril- Mai 2009.

Les travaux ont consisté en la réalisation :

- D'un levé topographique du site sur une bande d'environ 80m de large, englobant tous les détails à savoir les accès routiers, les talus, la falaise, les constructions existantes, le rivage, etc.
- D'un levé bathymétrique couvrant la zone d'étude, réalisé suivant 27 profils parallèles de 850m de long chacun, espacés de 20m et 27 profils intermédiaires de 300m de long.

Les quantités réalisées sont de :

- 4 hectares de levé topographique
- 31 kilomètres de levé bathymétrique

2.3.1 Moyens utilisés

2.3.1.1 Moyens humains

- 01 Ingénieur topographe
- 01 Ingénieur d'études
- 01 Technicien supérieur
- 01 Marinier

2.3.1.2 Moyens matériels

- 02 Récepteurs GPS 5700 et accessoires.
- 01 GPS de poche GARMIN 76C.
- 01 Radio modem Pacific Crest.
- 01 Echosondeur ODOM ECHOTRAC.
- 01 PC portable + accessoires informatiques.
- 01 Embarcation pneumatique.
- 01 véhicule utilitaire

2.3.2 Méthodologie

2.3.2.1 Stations de référence

Deux stations topographiques ont été implantées sur le site, matérialisées et observées par GPS pendant une journée.

Ces points qui ont servi de stations de référence durant le levé RTK (Real Time Kinematic), ont été rattachés à deux bornes topographiques installées, une au niveau du port de Tipaza et une seconde sur le site d'étude de Khemisti. Ces bornes appartiennent au réseau réalisé par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage de la wilaya de Tipaza.

Le rattachement altimétrique des stations de référence a été réalisé à partir des observations GPS sur les repères de nivellement n° 131 et 132 installés respectivement au niveau du bâtiment des contributions et du pont situé à l'entrée Ouest de Ain Tagourait.

Le niveau de référence est le zéro du Nivellement Général Algérien (NGA). Les coordonnées des stations de référence ainsi déterminées sont représentées dans le Tableau 6 :

Tableau 6 : Coordonnées des stations de référence

ST N°	X UTM (m)	Y UTM (m)	Z NGA (m)
ST 1	465170,07	4051094,26	10,47
ST2	465107,583	4051082,964	10,12

2.3.2.2 Mode du levé topographique

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

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

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

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

2.3.2.3 Mode du levé bathymétrique

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

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

Donc pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

- Une antenne GPS, qui reçoit les données des satellites, est fixée sur le point de référence. Le récepteur 5700 émet ces données par liaison radio au récepteur mobile à l'aide d'un modem externe PACIFIC CREST et une antenne UHF.

- Le récepteur mobile placé à bord de l'embarcation fonctionne en mode RTK (Real Time Kinematic), résolution des ambiguïtés en mode OTF. Il reçoit les données des satellites de la station de référence et fournit instantanément la position tridimensionnelle de l'antenne GPS.
- L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS. Quelque soit la variation du plan d'eau, la longueur du support est constante, par conséquent tous les échos mesurés sont référencés par rapport à l'antenne GPS. La partie immergée du support ainsi que celle située hors de l'eau sont mesurées avant le début des levés.
- Ce dispositif est interface par un micro ordinateur et le logiciel de navigation et d'acquisition de données « HYPACK ».
- Le logiciel reçoit du récepteur GPS les coordonnées du point au niveau du plan d'eau, l'échosondeur calcule la profondeur à partir des mesures effectuées par le transducteur, le résultat de ces deux opérations aboutit à la connaissance des coordonnées du point bathymétrique mesuré.

2.3.2.4 Point de contrôle

Un point de contrôle est implanté à terre, ses coordonnées sont obtenues par observation statique relativement aux stations de référence.

Ce point de contrôle est mesuré avant le début de chaque levé. Les coordonnées affichées sur HYPACK sont comparées avec les coordonnées réelles.

Afin de pouvoir entamer les levés, l'écart tolérable obtenu suite à cette comparaison doit être inférieur à cinq centimètres (< 5 cm).

2.3.2.5 Calibrage de l'échosondeur

Le calibrage de l'échosondeur s'effectue en utilisant une plaque métallique attachée à une chaîne graduée. La plaque est immergée à une profondeur choisie par rapport au niveau du plan d'eau.

Le calibrage se fait en agissant sur la valeur de célérité (vitesse de propagation du signal dans l'eau), afin d'obtenir la profondeur affichée sur l'échosondeur correspondant à celle lue sur les graduations de la chaîne.

L'opération est répétée sur plusieurs profondeurs, avant d'entamer les levés.

2.3.2.6 Traitement des données bathymétriques

Les données brutes acquises lors du levé bathymétrique sont traitées à l'aide du logiciel HYPACK. Le traitement consiste à supprimer les sondes résultantes de fausses mesures. La souplesse du logiciel permet de générer un modèle numérique du terrain MNT des données traitées grâce auquel sont visualisées les isobathes qui permettent de vérifier les données sur la base de la forme des courbes générées.

2.4 Transit littoral

La direction résultante et importante du transit littoral dépend principalement de la hauteur, période et direction de la houle.

L'existence d'un transit résultant peut être détectée par la morphologie de la côte ; flèches sédimentaires, accumulations sur la face d'un épi, d'une jetée portuaire, etc.

Le transit littoral s'effectue principalement selon deux (2) processus :

- Par effet des vagues sur la plage, la vague fait remonter le matériau suivant la direction de la houle, en se retirant le matériau redescend suivant la ligne de plus grande pente, le mouvement résultant est parallèle à la côte, c'est le transport par jet de rives.
- Par le déferlement et le courant côtier, le matériau est remis en suspension par la houle et transporté par le courant littoral. L'évaluation du transit littoral doit porter sur plusieurs points :
 - ❖ Le volume transporté (Résultant mais aussi dans chaque direction).
 - ❖ Sa répartition perpendiculairement au littoral.

Chapitre III

Résultats et discussions

3 Résultats et discussions

3.1 Introduction

Ce chapitre consiste en la mise en application des méthodes évoquées dans le Chapitre 03, et l'interprétation et discussions des résultats obtenus en matière d'étude de réfraction de la houle, d'étude bathymétrique et d'estimation du transit sédimentaire dans les deux sites Est et Ouest de Ain Tagourait.

3.2 Etude de la réfraction de la houle

Les hauteurs des houles de période égale à 10s sont les plus prépondérantes au large de ce fait, l'étude se focalisera sur une période de 10 s dans les 4 secteurs suivants : Nord, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest.

Les épures de réfraction sont après traitements des résultats du calcul SWAN par le logiciel MapInfo 7.8(Figures 17-18-19-20).

3.2.1 Les houles au large de direction Nord-Ouest

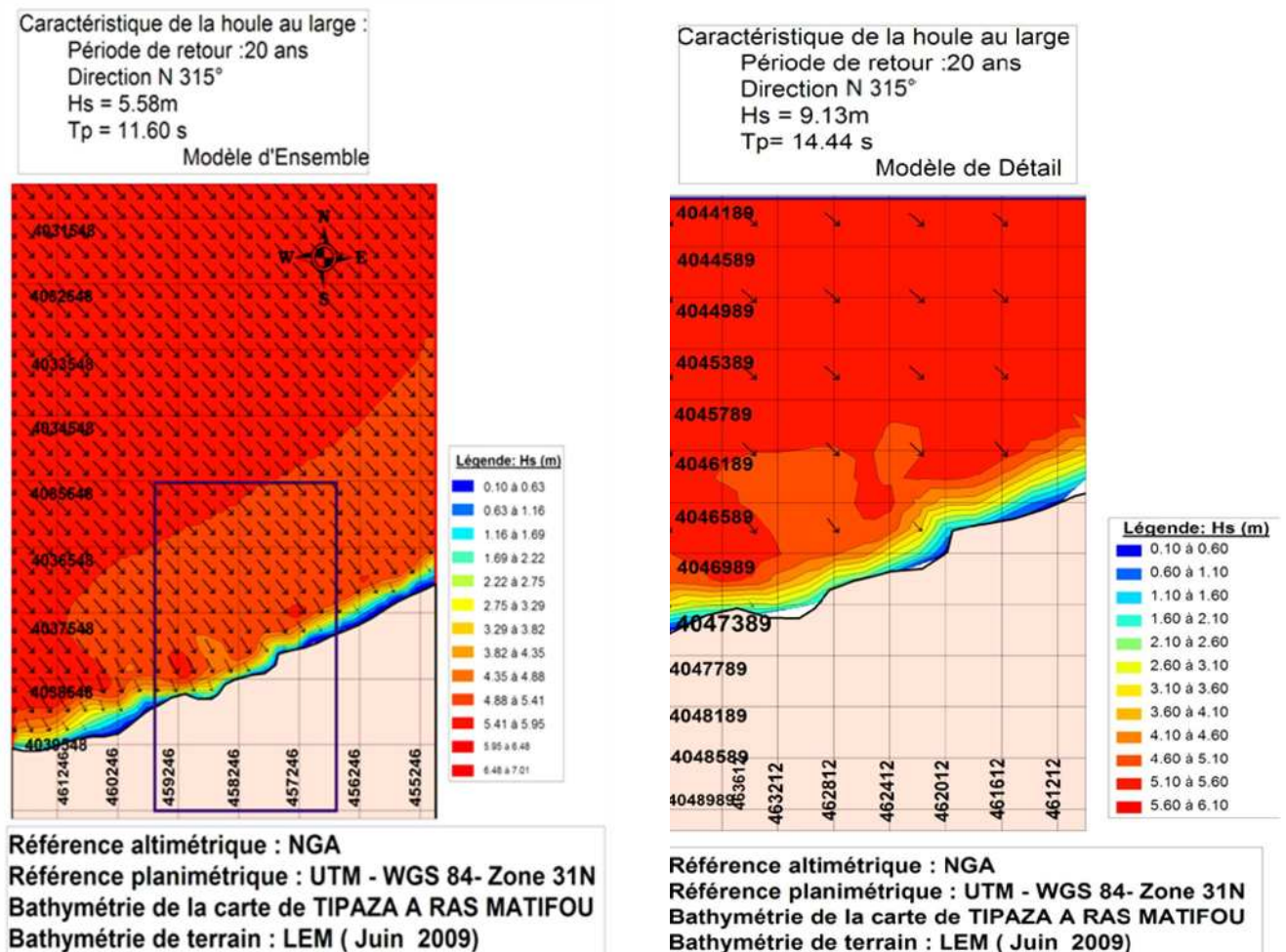


Figure 17 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 315°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail (BOKRETA et GHOUTI, 2012)

Commentaire (Figure 17)

Les houles de direction Nord-Ouest sont les plus énergiques, et peuvent éroder la zone de Ain Tagourait, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,88 à 10 m de profondeur. Ce qui signifie que les houles perdent que très peu de leur énergie lors de la propagation du large vers la côte.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales avec un angle moyen de 326°. Les houles Nord-Ouest atteignent notre zone frontalement, c'est la houle qui va être utilisée dans le dimensionnement.

3.2.2 Les houles au large de direction Nord

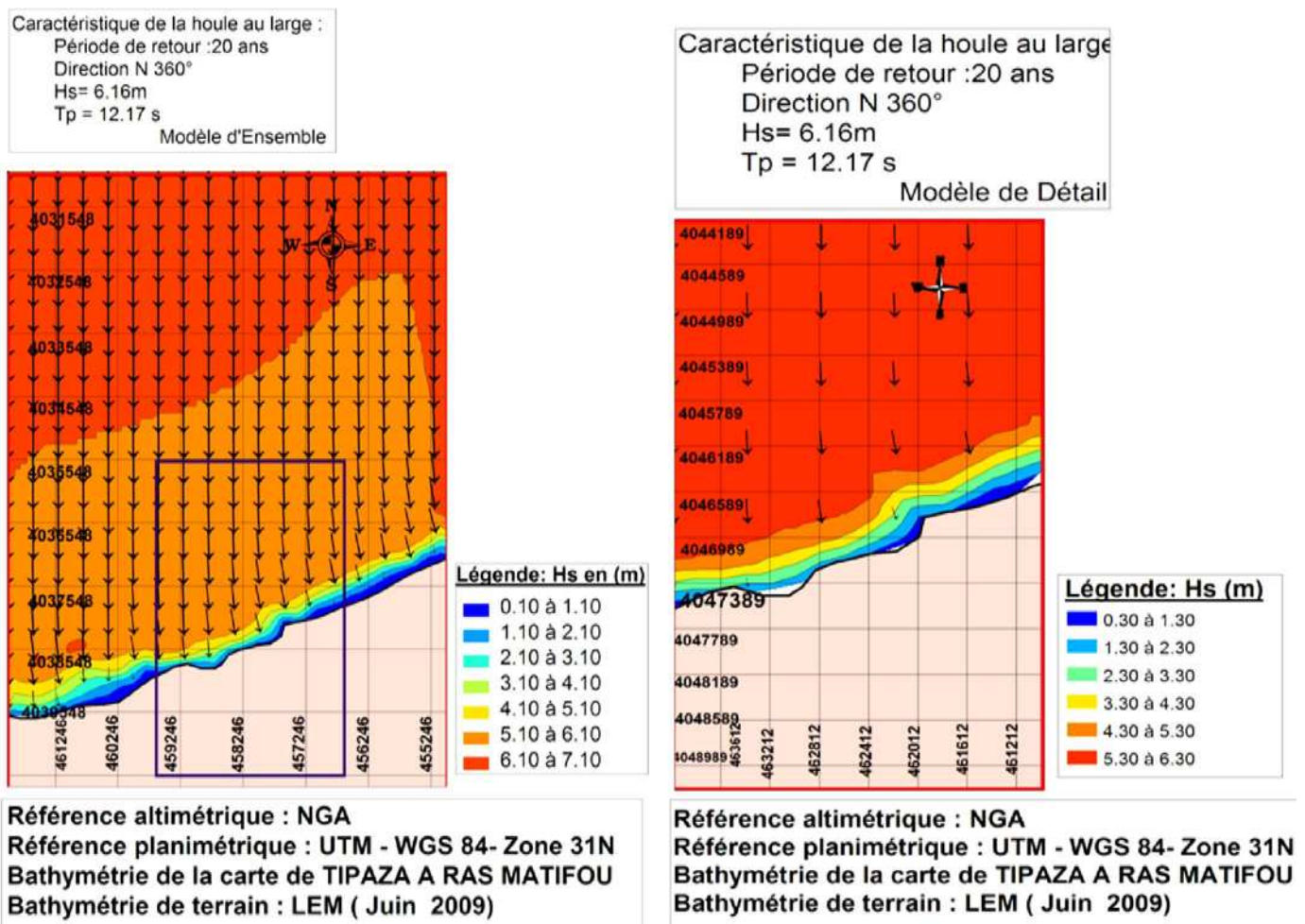


Figure 18 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 360°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail (BOKRETA et GHOUTI, 2012).

Commentaire (Figure 18)

La figure 18 présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle Vingtennale de secteur Nord, la propagation se fait de façon quasi frontale, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,81 à 10 m de profondeur, donc les houles ne perdent que peu de leur énergie. Les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, avec un angle d'arrivée en moyen égal à 348°.

3.2.3 Les houles au large de direction Nord-est

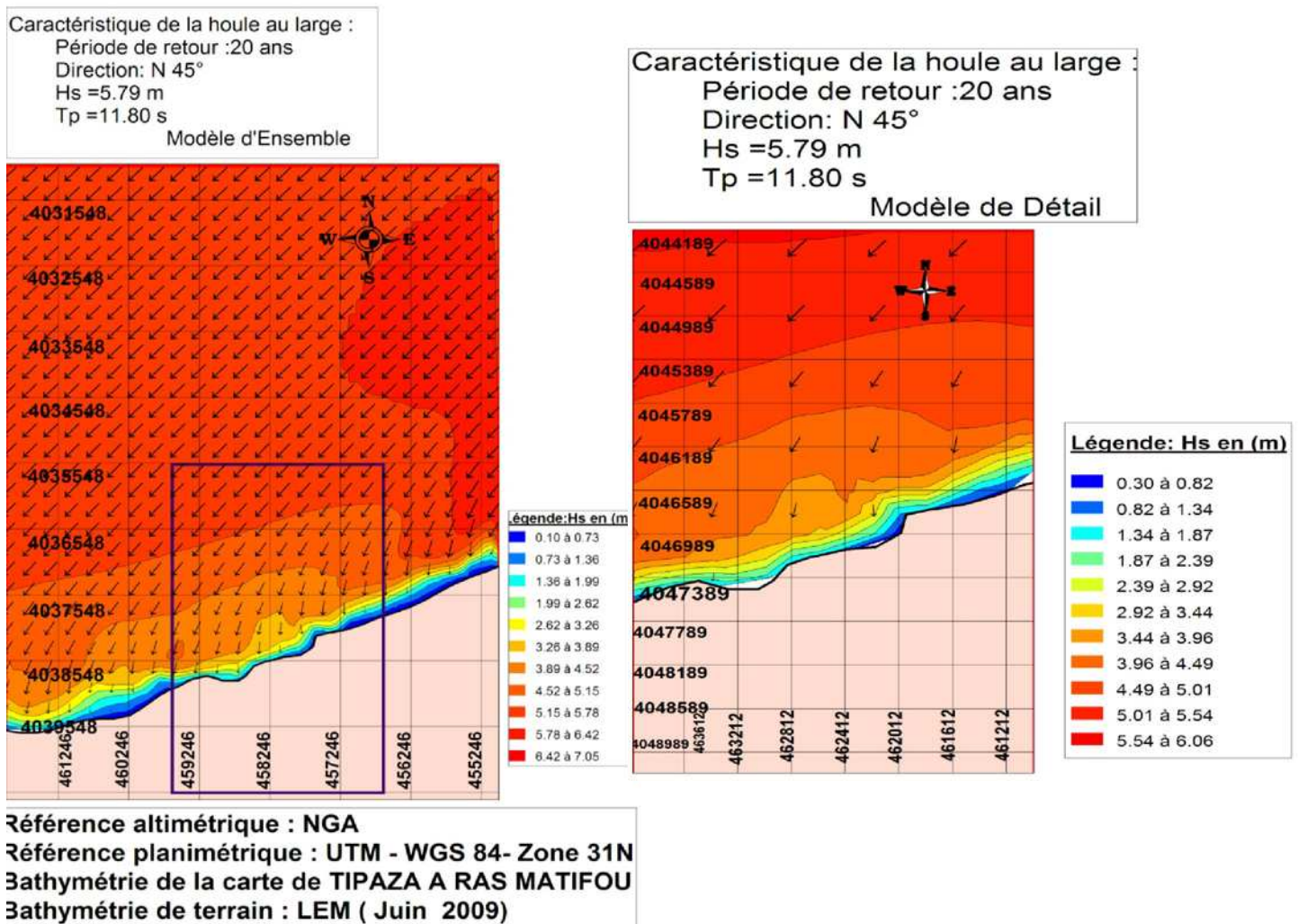


Figure 19 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 45°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail(BOKRETA et GHOUTI, 2012).

Commentaire (Figure 19)

L'étude de la réfraction sur ce cas démontre que pour une houle Vingtennale de secteur Nord-est, 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 0,68 à 10m de profondeur. Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie de large.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord à Nord – Est, avec un angle moyen de 2°.

3.2.4 Les houles au large de Direction Ouest

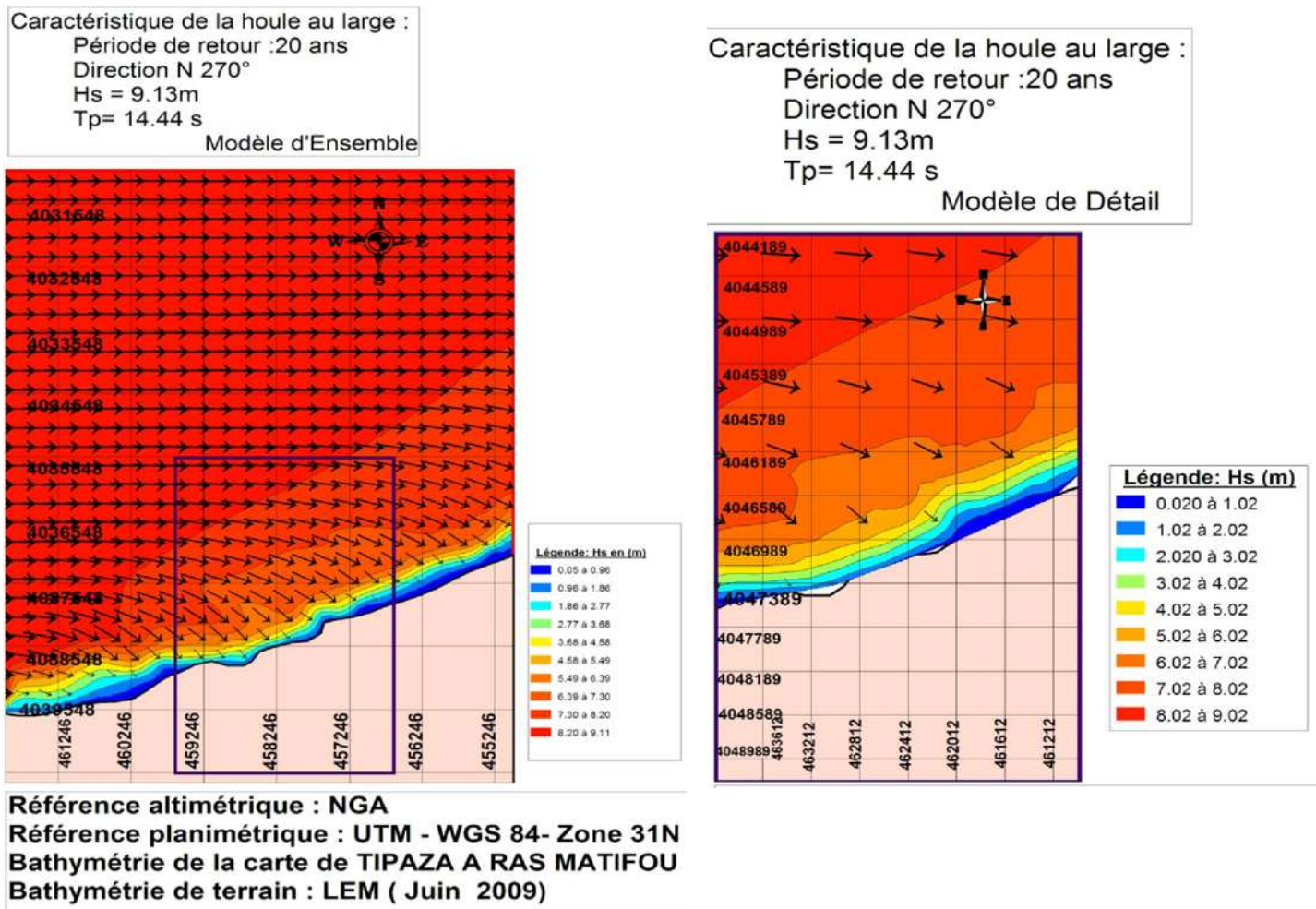


Figure 20 : Réfraction de la houle Vingtennale pour une direction 270°N, Modèle d'ensemble et modèle de détail (BOKRETA et GHOUTI, 2012).

Commentaire (Figure 20)

La figure 20 présente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle Vingtennale de secteur Ouest, 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 0,63 à 10m de profondeur. Donc elles ne conservent que très peu de leur énergie de large.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Ouest à Nord – Ouest, l'angle d'arrivée en moyen égal à 311°.

3.2.5 Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer sur la zone de Ain Tagourait sont les houles de Nord et les houles Nord-Ouest, elles sont peu réfractées ($0.81 < K_r < 0.88$) pouvant garder la presque totalité de leur énergie initiale du large vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

3.3 Etude bathymétrique

3.3.1 Morphologie sous-marine du site Ouest

La carte bathymétrique montre que les isobathes ne sont ni parallèles, ni régulières, donc la morphologie sous-marine est irrégulière avec un fond accidenté plain de creux plongeants (Fosses) et des barres de déferlements.

Après de la côte la pente du coté Ouest de la carte est généralement abrupte ou la profondeur atteint -6 mètres, cependant le coté Est de la carte a une pente douce avec une profondeur de -2 m.

Vers le large, la pente devient plus en plus douce dans le coté Ouest de la carte, avec la présence d'un creux plongeant de -8 m de profondeur et une barre de déferlement de -14 m de profondeur

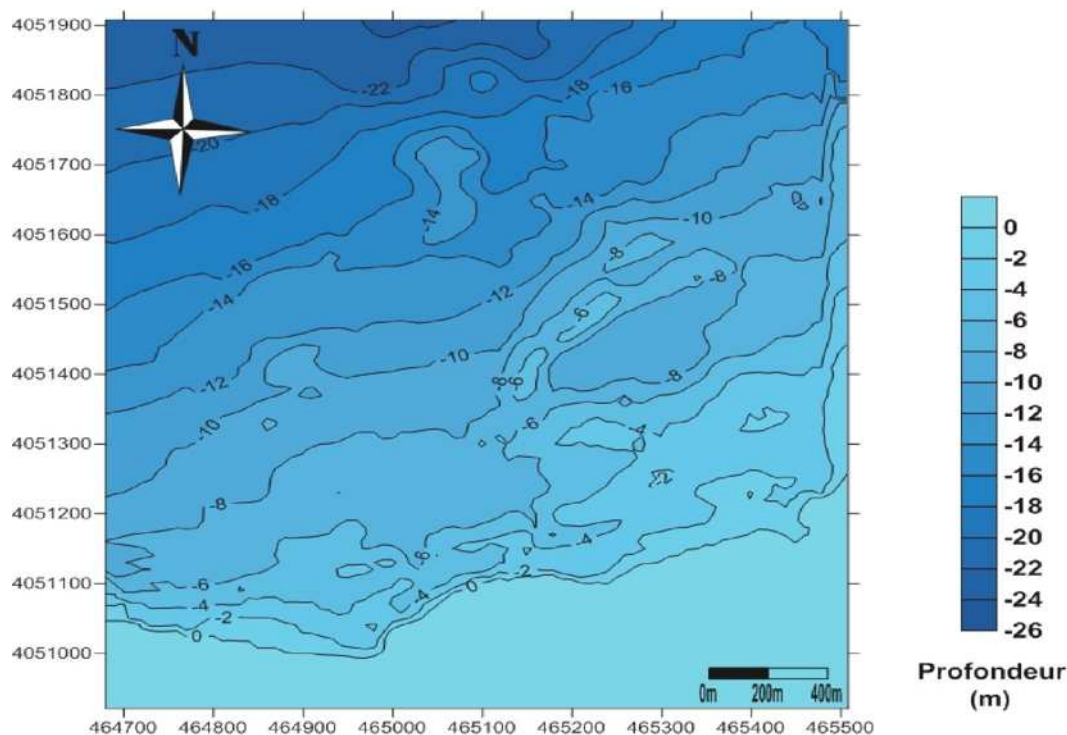


Figure 21 : Carte bathymétrique du coté Ouest du secteur de Ain Tagourait (BOKRETA et GHOUTI, 2012).

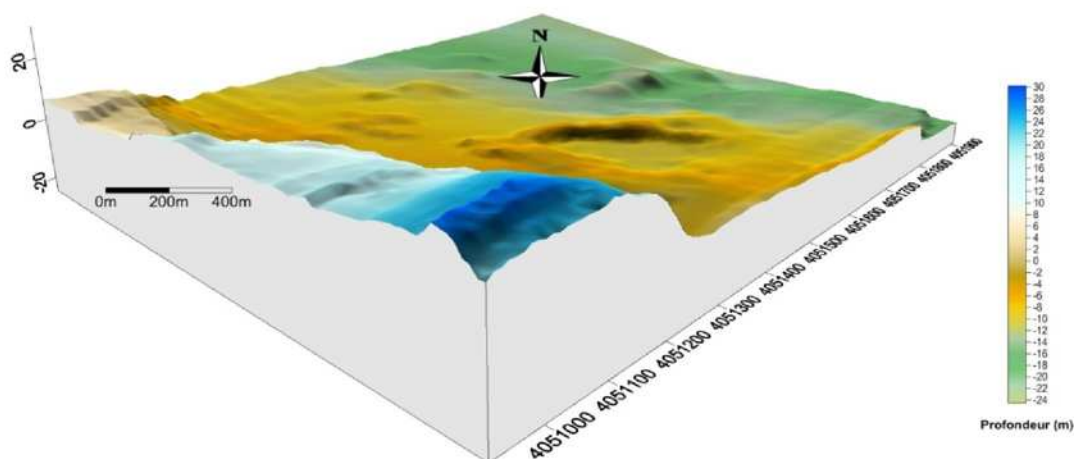


Figure 22 : Carte bathymétrique en 3D du coté Ouest de Ain Tagourait

3.3.1.1 Les profils

Cinq profils sont tracés sur la carte bathymétrique du coté Ouest de la zone d'étude afin d'étudier au mieux la morphologie sous-marine et comprendre l'évolution du fond

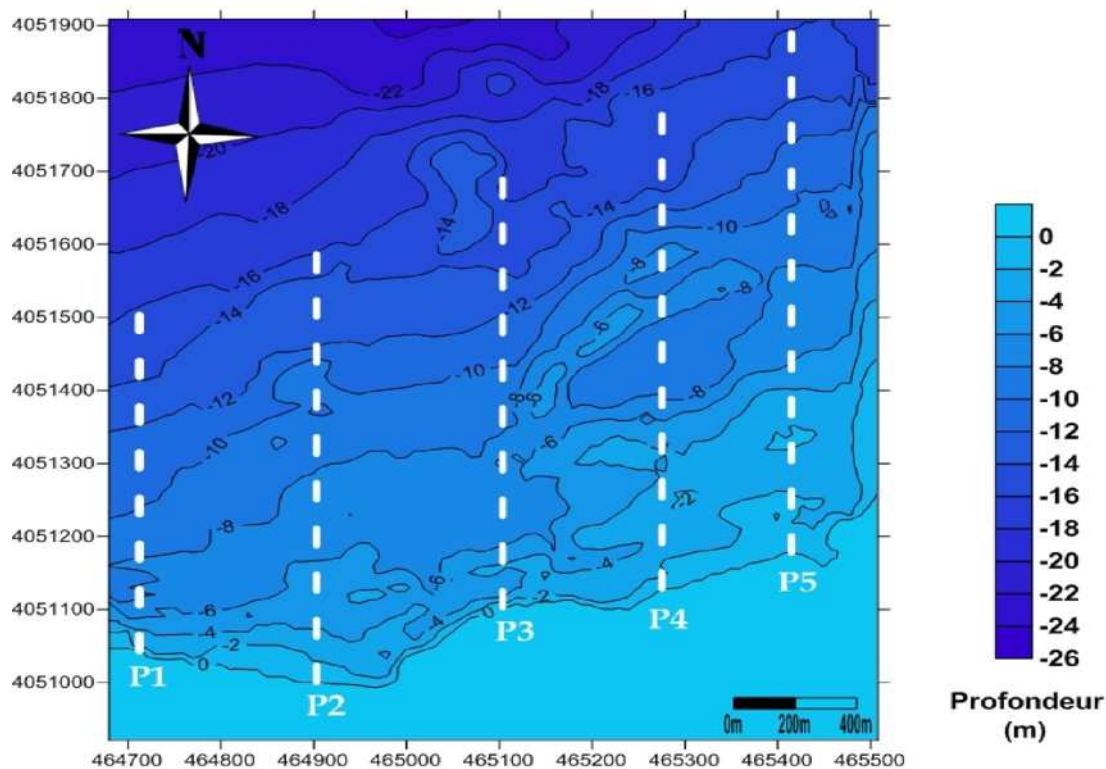


Figure 23 : Carte bathymétrique et les profils tracés dans le coté Ouest du secteur de Ain Tagourait

3.3.1.1.1 Profil 01

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à -8 mètres de profondeur avec deux ruptures de pente dont la première est à -3 mètres et la seconde est à -6 mètres de profondeur, la pente jusqu'à -8 m est de l'ordre de 10 %, cette pente continue par une forme plate de 8 m de profondeur situé entre 77 et 117 m de la cote, juste après il y a une barre de déferlement de 7,5 mètres de profondeur, au-delà de cette barre la pente devient douce jusqu'à 16 m de profondeur avec une pente de 2%(Figure 24).

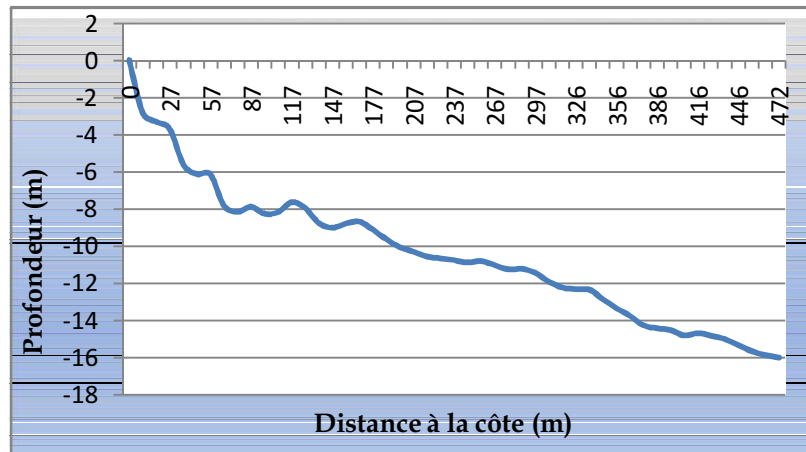


Figure 24 : Profil sous-marin du côté Ouest de Ain Tagourait N°01

3.3.1.1.2 Profil 02

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 5 mètres de profondeur sur une distance de 80 mètres de la côte, en suite cette pente devient plus ou moins douce jusqu'à 260 mètres ou il y a une barre de déferlement, le profil continue a descendre avec une pente douce et régulière jusqu'à 10 mètres de profondeur avant que la forme plate réapparait a 9,5 mètres de profondeur , juste après elle devient abrupte ou elle décent jusqu'à -12 mètres, puits elle continue a évoluer presque doucement et régulièrement jusqu'à -16 mètres avec une rupture a -13,5 mètres de profondeur la pente en générale est de l'ordre de 2,5% (Figure 25).

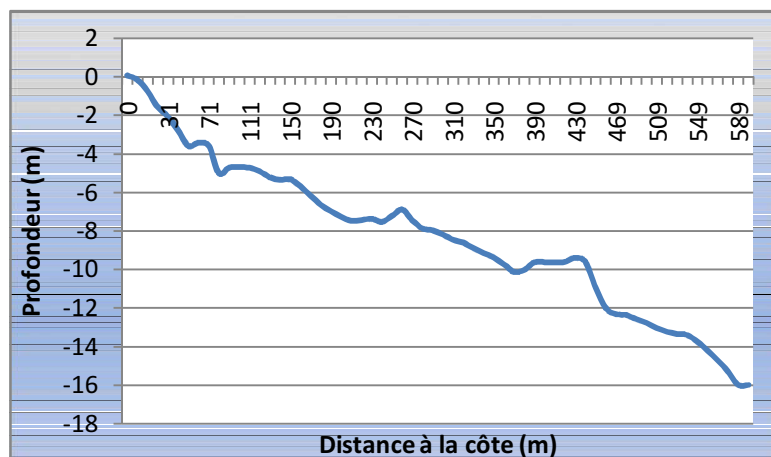


Figure 25 : Profil sous-marin du côté Ouest de Ain Tagourait N°02

3.3.1.1.3 Profil 03

La pente du profil est fortement abrupte jusqu'à -5 mètres de profondeur sur une distance de 30 mètres de la côte avec une pente de 15%. Deux barres de déferlements se distinguent dont les profondeurs sont successivement -4 et -6 m, séparées par une pente très douce, en suite le profil évolue avec une pente plus ou moins douce et régulière jusqu'à -15 mètres où il y a une fosse située à 566 mètres de la côte, la pente en générale est de 2% (Figure 24).

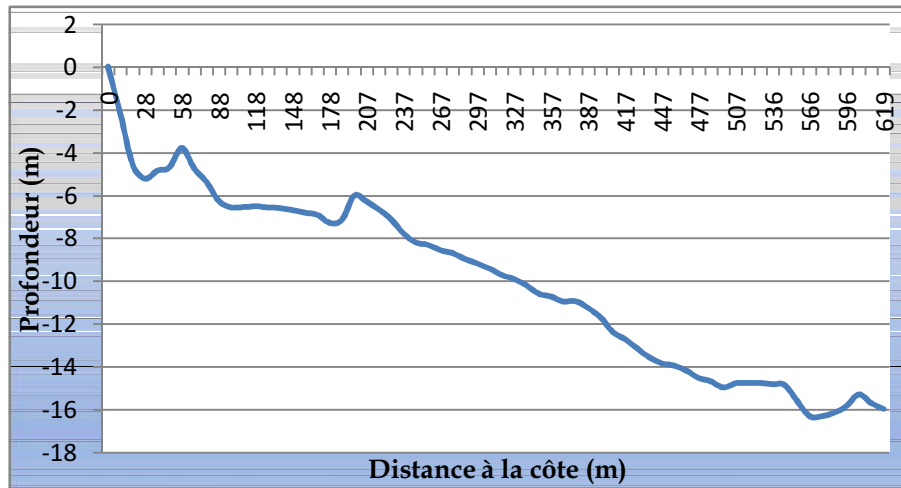


Figure 26 : Profil sous-marin du côté Ouest de Ain Tagourait N°03

3.3.1.1.4 Profil 04

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à -4 mètres de profondeur où il plonge pour former une fosse suivi d'une barre de déferlement de -2 mètres de profondeur à 112 mètres de la côte, la pente abrupte réapparaît jusqu'à -10 mètres formant une fosse suivi par deux barres de déferlements successives finis par une pente très forte jusqu'à -14 mètres, le profil continue avec une forme plate de -15 mètres et une rupture de pente jusqu'à -16 mètres de profondeur.

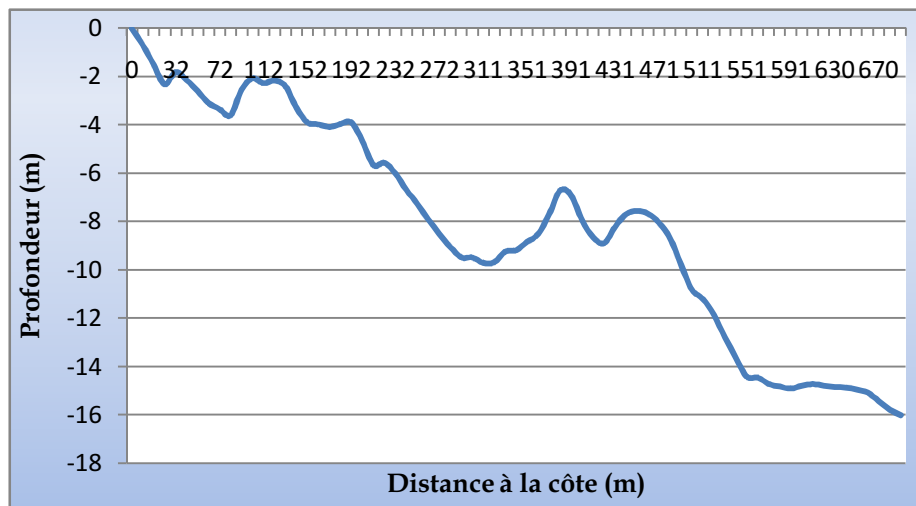


Figure 27 : Profil sous-marin du côté Ouest de Ain Tagourait N°04

3.3.1.1.5 Profil 05

Le profil évolue en pente abrupte jusqu'au environ -2 mètres puis une pente douce et irrégulières jusqu'au environ de 3 mètres de profondeur où il se forme une barre de déferlement suivi par une pente plus ou moins douce et irrégulière vers le large, la pente généralement est de l'ordre de 2%.

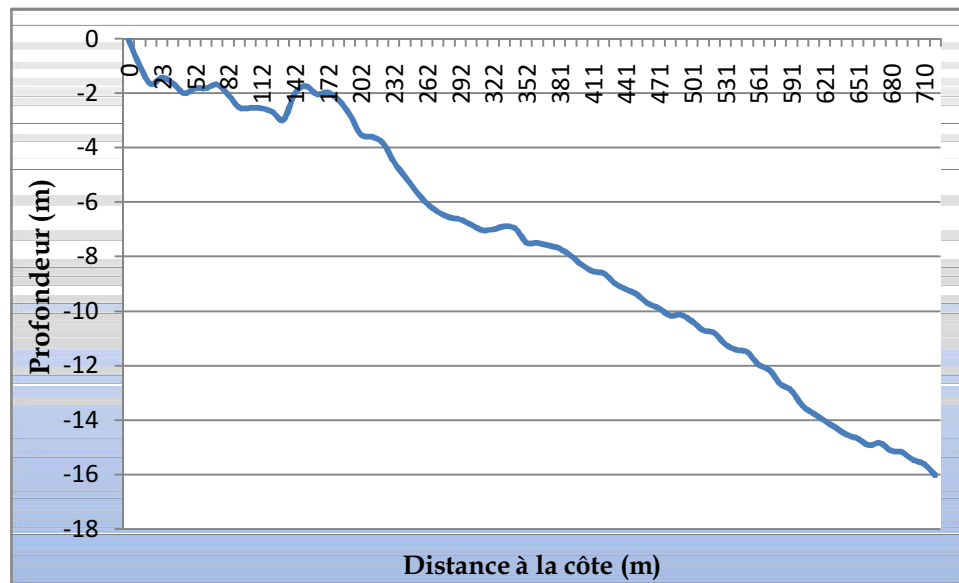


Figure 28 : Profil sous-marin du côté Ouest de Ain Tagourait N°05

3.3.1.2 Conclusion sur l'étude bathymétrique du site Ouest

En générale, le fond marin du site Ouest de notre zone d'étude est relativement irrégulier il présente différentes formes (les fosses et les barres de déferlements), les profils 01,02 et03 montrent que la pente est généralement abrupte auprès de la côte, cependant au large elle est plus ou moins douce.

A l'Ouest de la carte (profil 04 et 05) le fond est plus accidenté ou on marque des fosses et des barres de déferlements plus importantes

3.3.2 Morphologie sous-marine du site Est

Cette zone a fait l'objet d'un levé bathymétrique qui couvre les fonds de la côte jusqu'à une profondeur de 16 m.

La carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et espacées sur tout auprès de la côte.

La morphologie sous-marine présente des formes remarquables, en marque la présence d'une fosse de -6 mètres de profondeur suivie par une barre de déferlement (Figure 29-30).

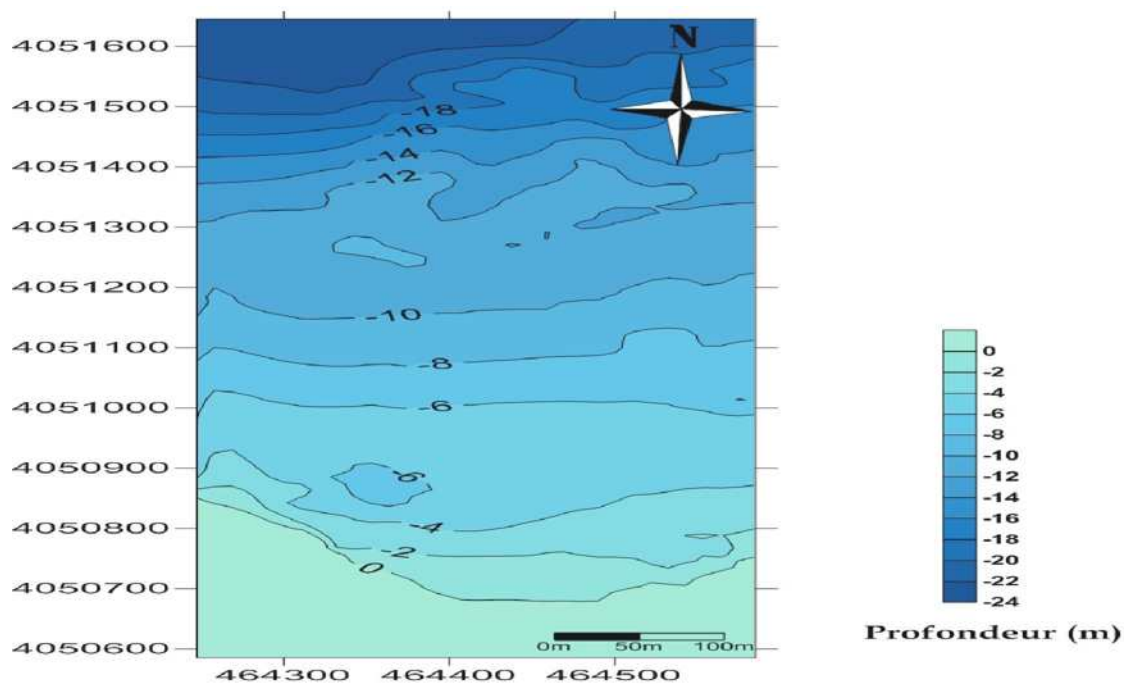


Figure 29 : Carte bathymétrique du coté Est du secteur de Ain Tagourait

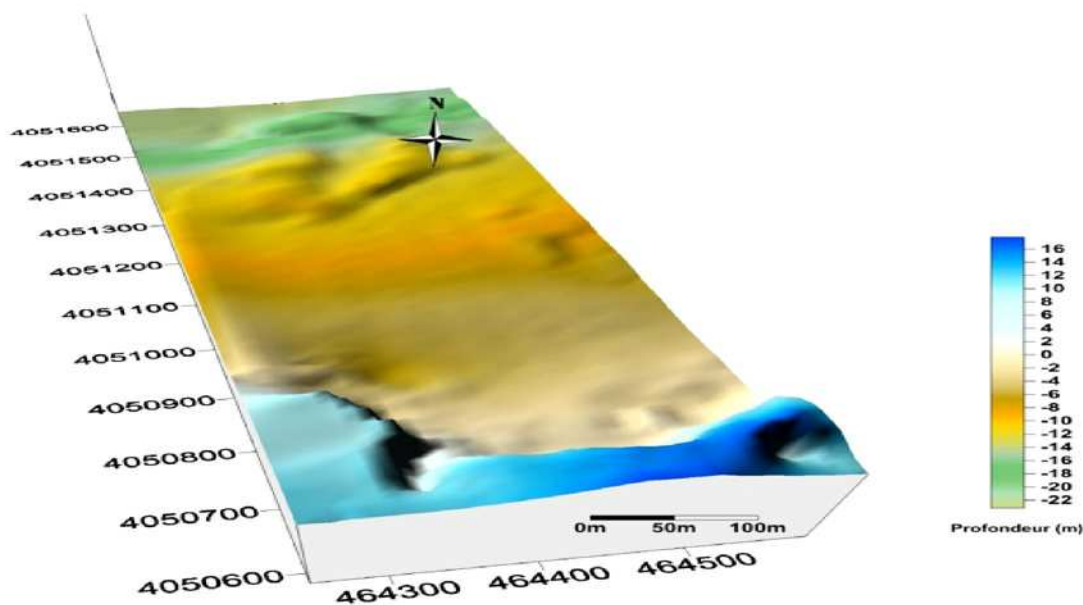


Figure 30 : Carte bathymétrique en 3D du coté Ouest de Ain Tagourait (2009)

3.3.3 Les profils

Trois profils sont tracés sur la carte bathymétrique du coté Ouest de la zone d'étude afin d'étudier au mieux la morphologie sous-marine et comprendre l'évolution du fond (Figure 31).

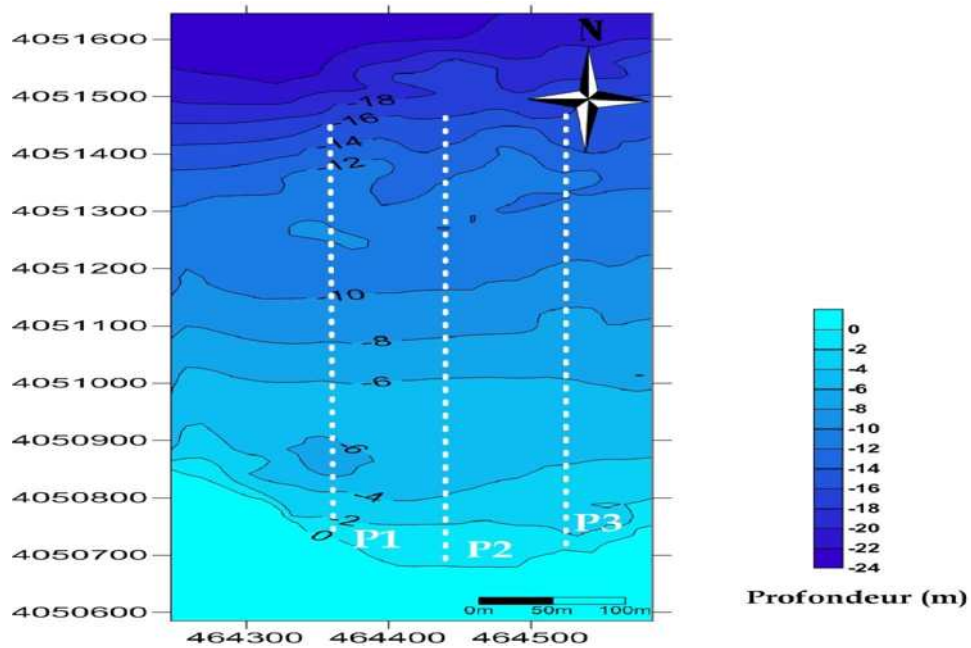


Figure 31 : Carte bathymétrique et les profils tracés dans le côté Est du secteur de Ain Tagourait

3.3.3.1 Profil 01

La pente du profil est abrupte jusqu'à -6,5 mètres de profondeur sur une distance de 150 mètres de la côte avec une valeur de 4%, juste après on marque la présence de deux barres de déferlements séparées par une pente plus ou moins abrupte et régulière, cette pente fini par une rupture ou elle devient très abrupte pour atteindre -16 mètres de profondeur, au-delà de 260m de la côte la pente est de l'ordre de 2% (Figure 32).

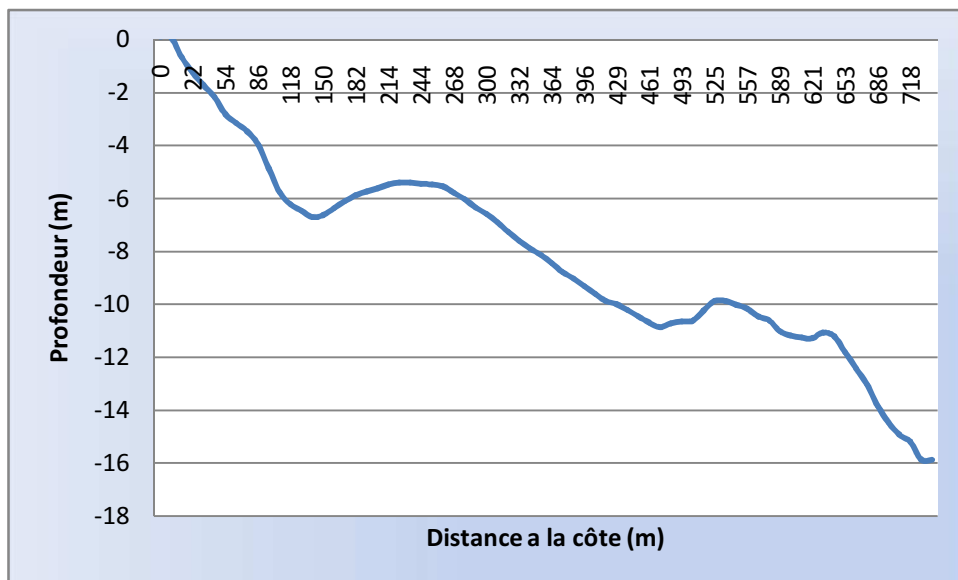


Figure 32 : Profil sous-marin du côté Est de Ain Tagourait N°01

3.3.3.2 Profil 02

Le profil a une pente abrupte qui atteint -5 mètres de profondeur à 150 mètres de la côte suivi par une forme plate, à 300 mètres de la côte, la pente devient plus ou moins douce et régulière jusqu'à -12 mètres ou on marque une fosse suivi par une barre de déferlement de -10,5 mètres.

La pente continue régulièrement pour atteindre -16 mètres à 785 mètres de la côte, la pente est de l'ordre de 2%(Figure 33).

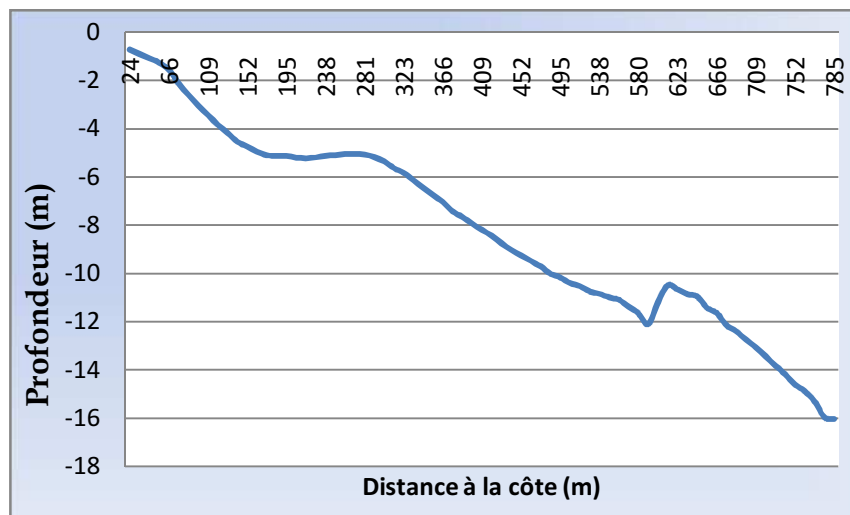


Figure 33 : Profil sous-marin du coté Est de Ain Tagourait N°02

3.3.3.3 Profil 03

Auprès de la côte, la pente est abrupte ou elle atteint -2,5 mètres sur une distance de 40 mètres de la côte, cette pente fini par une barre de déferlement puis elle continue à évaluer d'une façon plus ou moins irrégulière jusqu'à -12 mètres de profondeur à 600 mètres de la côte ou on trouve une autre barre de déferlement qui fini par une pente abrupte à -16 mètres de profondeur, la pente est de l'ordre de 2% (Figure 34).

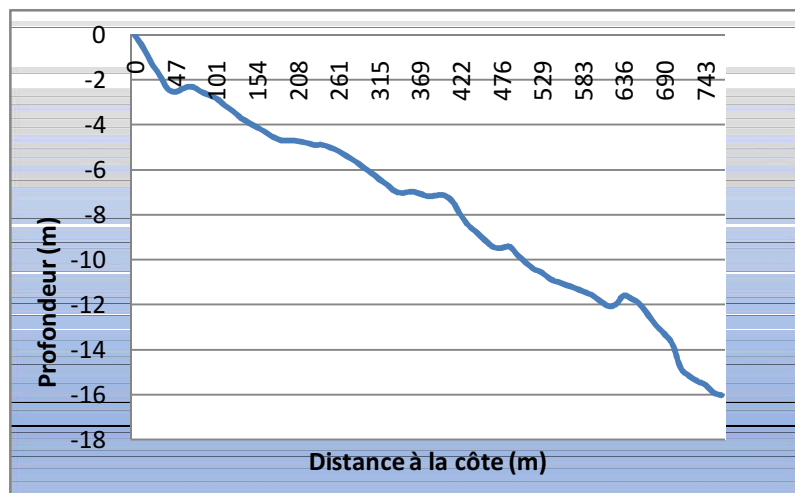


Figure 34 : Profil sous-marin du coté Est de Ain Tagourait N°03

3.3.3.4 Conclusion sur l'étude bathymétrique du site Est

Le fond marin du site Est de notre zone d'étude se caractérise par des formes importantes, où on marque la présence d'une fosse suivie par une barre de déferlement à 200 mètres de la côte, vers le large (Environ 600 mètres de la côte), on distingue aussi une autre fosse suivie par une autre barre de déferlement et qui se termine par une pente abrupte. Généralement, la pente est à l'ordre de 2%.

3.4 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.

L'estimation du transit sédimentaire est réalisée par un calcul manuel en s'appuyant sur la formule du **Lchf** suivante :

$$Q = \frac{K \cdot g}{C} \cdot H^2 \cdot T \cdot t \cdot f(\alpha) \dots \dots \dots \text{Équation 2}$$

Q : Volume de sable transporté (m³/an)

K : Coefficient de transport de sable (2,5 * 10⁻⁶)

g : Gravité (m/s²)

C : La combure de la houle 3%

H : Amplitude significative (m)

t : Période (s)

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

T : Durée d'action de la houle (s)

3.4.1 La moyenne des fréquences d'apparition

$$P_n = \sum f_{ri} / n$$

f_{ri} : Fréquence d'observation pour chaque période

n : Nombre de classe

Tableau 7 : La moyenne des fréquence d'apparition

DIRECTION	PERIODE		
	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

3.4.2 Calcul de H

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

Tableau 8 : Calcul de H

DIRECTION	PERIODE		
	6	8	10
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

3.4.3 Fréquences d'observation

$$F(\%) = \sum(\text{Nombre de cas pour chaque période} / 8870) * 100$$

Tableau 9 : Fréquences d'observation

DIRECTION	PERIODE		
	6	8	10
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

3.4.4 La période (t)

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

DIRECTION	PERIODE		
	6	8	10
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

3.4.5 Bilan énergétique = $H^2 * T * t$

DIRECTION	PERIODE			TOTAL
	6	8	10	
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

3.4.6 L'obliquité de la houle

$$f(\alpha) = \sin(7\alpha/4)$$

DIRECTION		PERIODE		
		6	8	10
N 360	α	-28	-25	-23
	F(α)	-0,75470958	-0,69151306	-0,64612398
N 315	α	11	8	5
	F(α)	0,329690645	0,241921896	0,152123386
N 45	α	-65	-50	-40
	F(α)	-0,91531148	-0,99904822	-0,939692621
N 270	α	40	33	24
	F(α)	0,939692621	0,845727822	0,669130606

3.4.7 Transit sédimentaire

DIRECTION	PERIODE			TOTAL
	6	8	10	
N 360	-3135,20066	-8493,0821	0	-11628,28281
N 315	1846,533055	1772,58759	0	3619,120645
N 45	-9297,91881	-10051,757	0	-19349,67596
N 270	14611,28665	37958,6369	2,9172E-06	52569,92355
			TOTAL	25211,08543

3.4.8 Conclusion

La direction de transit littoral est de l'Ouest vers Est avec une quantité faible de l'ordre de 25000 m³/an, donc on constate que le transit sédimentaire est modéré.

Chapitre IV

Les ouvrages de protection

4 Les ouvrages de protection

4.1 Introduction

Ce chapitre consiste à élaborer un schéma de protection dans les sites Est et Ouest de Ain Tagourait, et à proposer l'ouvrage de défense le plus adéquat qui présente le dimensionnement idéal afin d'assurer une protection durable et efficace de la côte.

4.2 Schéma de protection

4.2.1 Site Est

Les terrains situés le long de la frange côtière subissent une érosion lente qui résulte d'une action mécanique et chimique de la mer.

L'objet de cette étude est de préconiser une protection qui doit répondre à l'impératif de réhabilitation et de sauvegarde de la frange côtière afin de protéger les infrastructures et habitations présentes.

La zone d'étude s'étend sur un linéaire de 500 m à partir des habitations qui existent à ce niveau. L'action de la mer est annulée par la réalisation d'une protection frontale. La variante proposée pour ce site sera une digue à talus.

4.2.1.1 Les digues à talus

Les digues à talus sont constituées d'un empilage d'enrochements naturels et/ou de blocs artificiels en béton, couronnées par un mur plus ou moins élevé.

Le talus d'enrochements est arasé à une côte voisine des plus hautes mers et la crête de la digue est protégée par un ouvrage de faible hauteur, monolithique, en béton ou en maçonnerie.

Quelquefois, la protection supérieure ne peut être assurée que par des blocs naturels ou artificiels. Dans ces ouvrages l'effet de résistance à la houle n'en demande uniquement qu'au talus d'enrochements.

Les digues à talus possèdent une emprise importante et nécessitent de grandes quantités de matériaux. Ces ouvrages sont peu réfléchissants à la houle. Les digues à talus s'endommagent progressivement lors des tempêtes, elles s'adaptent relativement bien à une imprécision dans la détermination de la houle de projet.

4.2.1.2 Principe de fonctionnement des digues

Le principe de fonctionnement d'une digue est différent selon la zone dans laquelle la houle rencontre la structure de l'ouvrage.

On distingue le fonctionnement d'une digue à talus ou mixte soumise à un déferlement sur la carapace, et le fonctionnement d'une digue mixte pour laquelle la muraille subit le déferlement (Figure 35).

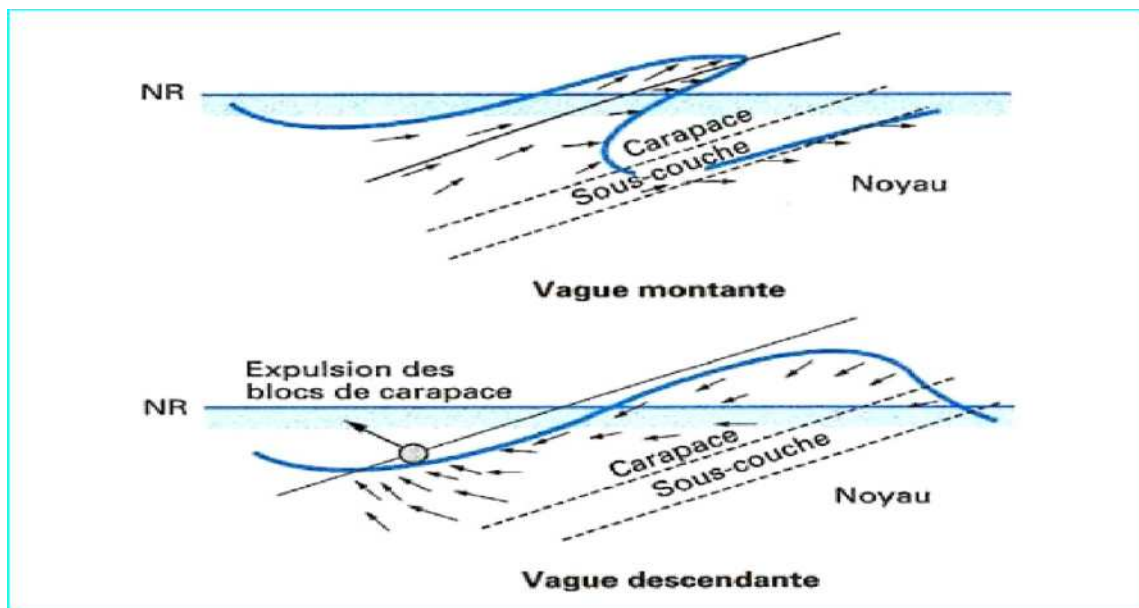


Figure 35 : Action de la houle sur une digue à talus

4.2.1.3 Prédimensionnement de l'ouvrage

A partir des résultats obtenus de l'étude de propagation de la houle à la côte par période et par direction (Annexe III), la hauteur significative H_s est de 3,08m à une profondeur de 3m.

En règle générale, les ouvrages à talus comprennent au minimum 3 couches de matériaux de granulométrie différente ayant des fonctionnalités bien spécifiques.

La carapace en enrochements naturels ou artificiels à fort indice de vides supporte directement l'action de la houle, le noyau (Généralement massif en tout venant) constitue le corps de la digue, enfin le filtre disposé entre le noyau et la carapace, assure la transition entre ces 2 couches et le poids de ses éléments ne doit pas être inférieure 1/10 de ceux constituant la carapace.

4.2.1.3.1 Carapace

Parmi l'ensemble des différentes parties composant une digue à talus maritime, la carapace représente l'élément clé de la stabilité de la structure. Elle se compose soit d'enrochements naturels soit de blocs artificiels en béton.

C'est la partie de l'ouvrage qui reçoit directement l'attaque de la houle et que l'on caractérise par le poids unitaire W des blocs naturels ou artificiels qui la composent.

4.2.1.3.1.1 Poids des blocs de carapace, Hudson (1974)

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

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

- W : Poids de blocs en béton ou d'enrochement en tonne (t)
- K_d : Coefficient du dommage (pour un dommage entre 0-5% et pour une forme de blocs rugueuse et angulaire et pour un emplacement aléatoire K_d=3,5)
- γ_w : La masse volumique de l'eau de mer (1,028t/m³)
- γ_s : La masse volumique des blocs utilisés (enrochement 2,65t/m³)
- H_b : Hauteur de la houle de dimensionnement (ici, H_b=3,08m)

4.2.1.3.1.2 Le diamètre nominal (Dn_B)

$$Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_B}} \dots \dots \dots \text{Équation 4}$$

4.2.1.3.1.3 L'épaisseur de la carapace

$$E = n * K_t * Dn_{50} \dots \dots \dots \text{Équation 5}$$

- K_t : Coefficient de couche (1,1 pour le béton et 1,15 pour l'enrochement)
- n : Nombre de couche

4.2.1.3.2 La butée de pied

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

4.2.1.3.2.1 Poids de butée de pied

$$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}} \dots \dots \dots \text{Équation 6}$$

4.2.1.3.3 Le soubassement

Entre le terrain naturel et le niveau de fondation de l'ouvrage, constitué par des matériaux de qualité suffisante de faible poids unitaire, généralement entre [0-500Kg].

4.2.1.3.4 Le Noyau

Le noyau doit assurer une transition satisfaisante entre le soubassement en matériaux fins, et les matériaux plus grossiers du filtre, on utilise des matériaux de bon marché provenant des carriers proches, matériaux tout-venant (TVC), généralement entre [0-500Kg].

$$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}} \dots \dots \dots \text{Équation 7}$$

4.2.1.3.5 Le Filtre

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

$$W_{\text{filtre}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}} \dots \dots \dots \text{Équation 8}$$

4.2.1.3.6 Run Up

$$Ru = (H_S + 0.8) * 0.67 * \left(\frac{\text{tg}(\alpha)}{2\sqrt{(H_S + 0.8)/L}} \right)^{0.51} \dots \dots \dots \text{Équation 9}$$

Tableau 10 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace du site Est (Digue à talus)

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	Résultats	Catégorie	
Digue à talus	Carapace $W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w * H d^3}{Kd \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_s}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$= \frac{W_{\text{carapace}}}{2,65 * 3,08^3}$ $= \frac{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{3,7}{2,65}}$	W= 3,7t Dn ₅₀ = 1,1m	[2,7-4,6t]	
	Run_Up $Ru = (H_S + 0.8) * 0.67 * \left(\frac{\text{tg}(\alpha)}{2\sqrt{(H_S + 0.8)/L}} \right)^{0.51}$	$E = 2 * 1,15 * 1,1$ $Ru = (3,08 + 0.8) * 0.67 * \left(\frac{0.66}{2\sqrt{(3,08 + 0.8)/25}} \right)^{0.51}$	E=2,5m Ru= 3,4m		
	Filtre	$W_{\text{filtre}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{filtre}} = \frac{1}{10} * 3,7$	W= 370Kg E=2,4m	[0,5-1t]
	Noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} * 3,7$	W _{noyau} = 18Kg	[1-500kg]
	La butée	h=d - (Hauteur de butée) h ≥ 1.2 * H _S (à vérifier)	h= 3-1 (Pour une hauteur de butée = 1m) 1.2 * 3.08	h=2m 4,56 > h (N'est pas vérifier)	Donc on ne peut pas maitre la butée

Donc le profil de cette variante est constitué :

Un noyau en T.V.C (0-500) kg arasé à la côte +4 m protégé par :

- Une sous couche en enrochements de (0,5-1) t et une épaisseur de 2,4 m arasée à la côte+ 4,00 m suivant une pente de 3/2.
- Une carapace en BCR de (2,7- 4,6) t et une épaisseur de 2,5 m arasée à la côte +5 m suivant une pente de 3/2.
- Une dalle de roulement en béton arasée à la côte +4,00 m et un mur de garde arasé à la cote +5 m.

4.2.1.4 Les avantages

- La durabilité : Les digues résistent bien à l'usure et à l'attrition et conviennent parfaitement à l'environnement côtier.
- Absorption de la houle : Ces ouvrages sont perméable et ont généralement des parements à faible inclinaison, ils absorbent donc aisément l'énergie de la houle et minimisent les conséquences néfastes de l'affouillement causé par les surfaces verticales réfléchissantes.
- La rentabilité : Ils peuvent être économiques, par exemple en cas d'utilisation des matériaux disponibles localement.
- Impact visuel : Ils sont considérés comme visuellement acceptables par comparaison avec d'autres formes d'ouvrages côtiers.

4.2.1.5 Les inconvénients

- La sécurité : L'accès aux ouvrages est une source de préoccupation car il existe un risque pour le public de chute entre les vides et d'y rester coincé.
- Le coût est très élevé.

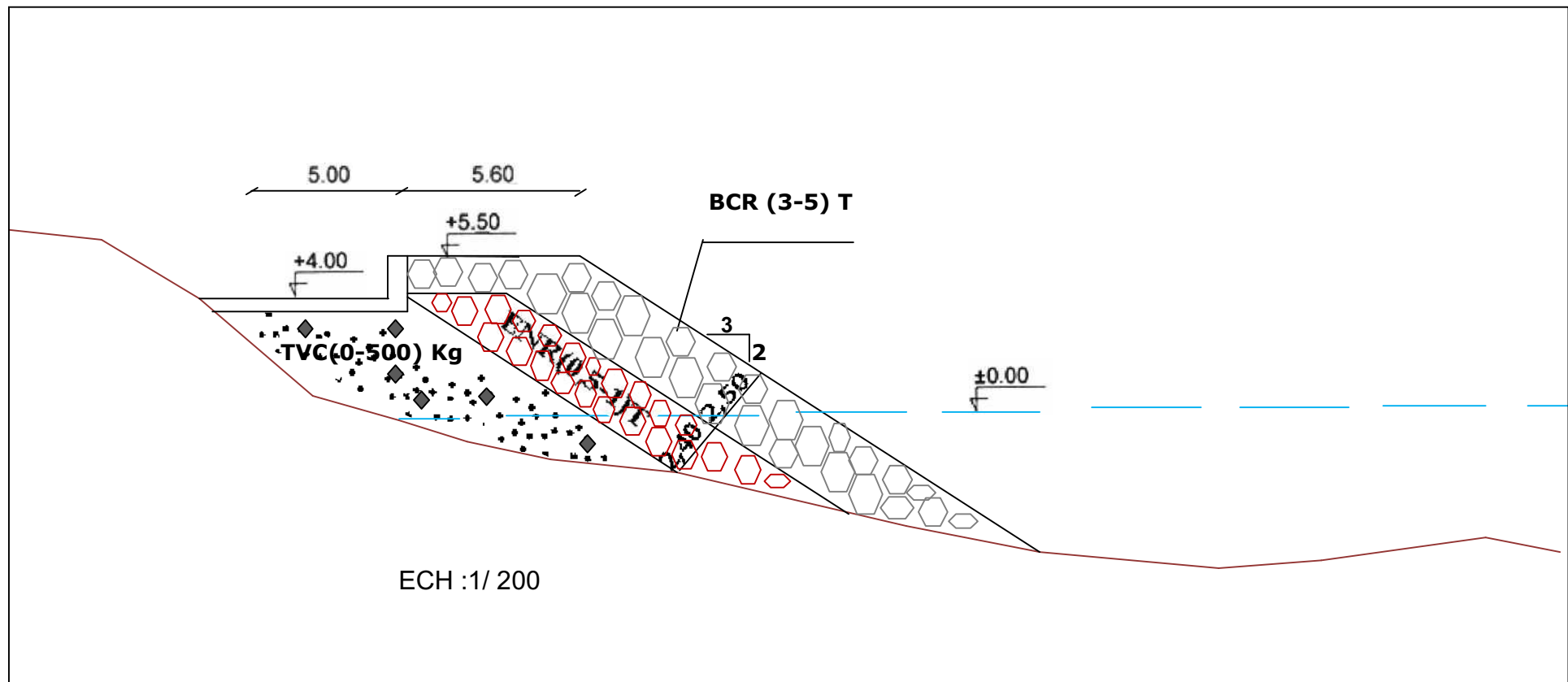


Figure 36 : Profil de digue à talus proposé pour la protection de Ain Tagourait (Site Est)



Figure 37 : Installation de l'ouvrage de protection sur la zone de Ain Tagourait

4.2.2 Site Ouest

Le site Ouest présente un état assez compliqué à diagnostiquer puisqu'il s'agit d'un talus exposé à la mer et dont l'action provoque l'écoulement d'une partie de la falaise sous son propre poids.

Comme ce talus se trouve en bordure d'une route, il s'agit donc de stopper le recul de la falaise en Concevant une protection qui atténue l'énergie de la houle. L'oued qui existe dans ce site peut l'alimenter par des sédiments terrigènes pour constituer une plage.

Pour améliorer l'efficacité des interventions de protection, on adopte souvent des défenses de natures mixtes. Donc on peut penser à deux (02) types de solutions ;

- Protection frontale au pied de la falaise (Digues à talus) : sert à renforcer et stopper le recul de la falaise
- Brise-lames immergé dans la zone de déferlement de la houle : Constitue un piège des sédiments provenant de l'oued afin de créer une petite plage.

4.2.2.1 La digue à talus

Les résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace sont calculées de la même manière que dans le site Est, elles sont représentées comme suivant : Noyau en TVC (0-500) kg arasé à +4m protégé par :

- Une couche filtre en enrochement (0.5-1) t et une épaisseur de 1,5m arasée à +4,00m avec une pente de 3/2.
- Une carapace en enrochement (2-5) t et une épaisseur de 2,5m, arasée à +5,00m avec une pente de 3/2.

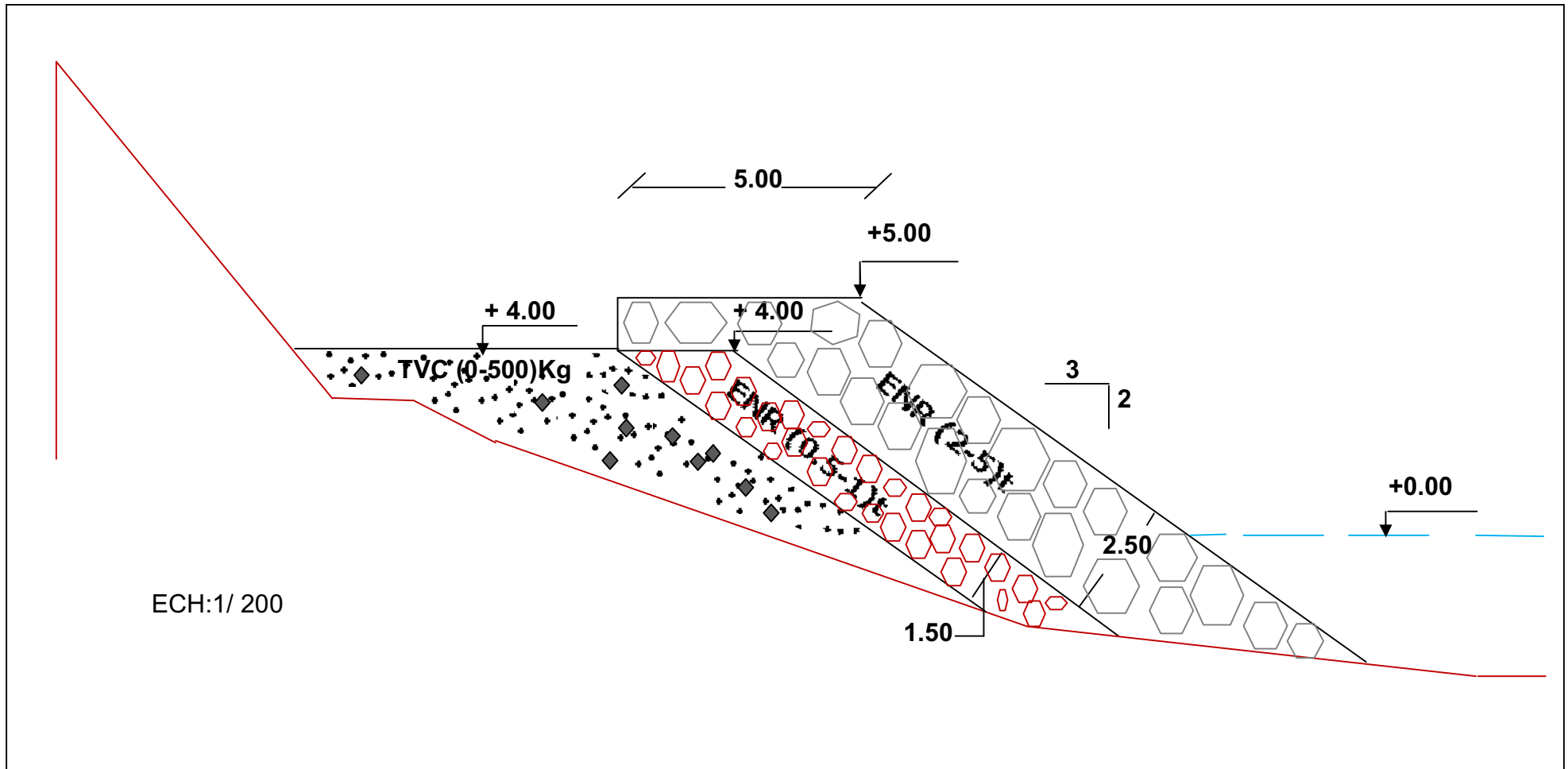


Figure 38 : Profil de digue à talus proposé pour la protection de Ain Tagourait (Site Ouest)

4.2.2.2 Les brise-lames émergés

4.2.2.2.1 Définition

Les brise-lames sont des ouvrages mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé. Ils ont pour but d'atténuer ou de supprimer l'impact des vagues sur un rivage en réfléchissant ou en absorbant leur énergie avant qu'elles ne l'atteignent. En provoquant, par voie de conséquence, une décélération de la dérive littorale, en diffractant aussi la houle lorsqu'elle heurte leurs extrémités, les brise-lames induisent une sédimentation à leur abri. Des langues de sable ou de galets, d'allure triangulaire, se développent à partir du rivage (Paskoff, 1993).

Le principe de fonctionnement consiste à créer un déferlement de la houle et une perte d'énergie par absorption et réflexion pour diminuer ainsi l'attaque de la zone située en arrière et créer un dépôt de sédiments dans la zone de calme.

De la même manière que pour les ouvrages transversaux, le positionnement des brise-lames contribue à protéger directement la côte en retrait des assauts des vagues. L'effet obtenu est fortement lié aux paramètres de construction de l'ouvrage : longueur du brise-lames, distance à la côte, cote d'arase, espacement entre brise-lames (diffraction des houles).

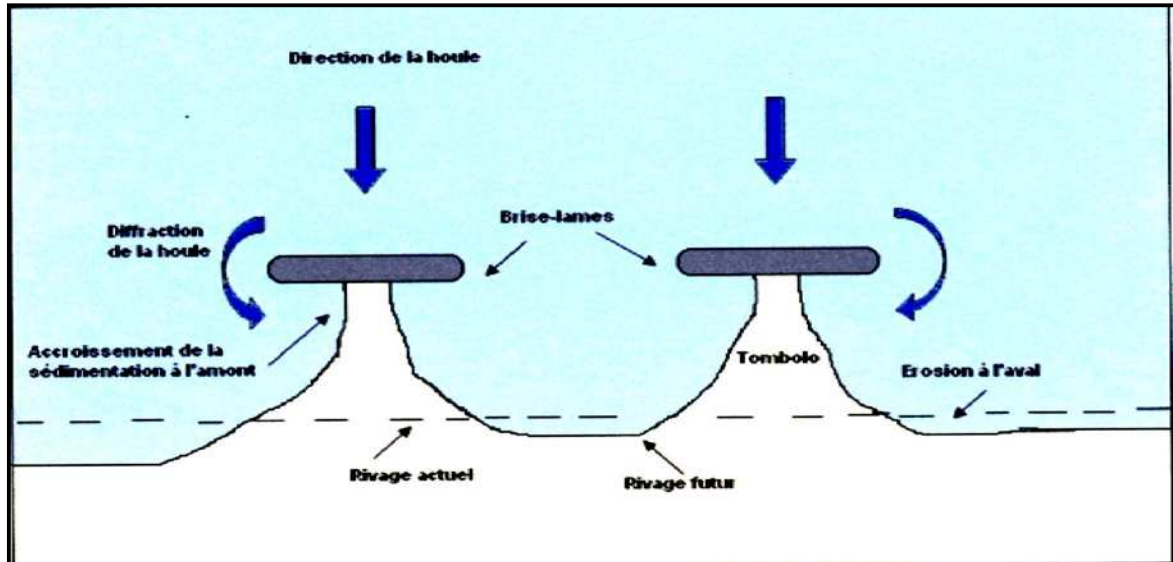


Figure 38: Schématisation de l'action des Brise-lames (Caminades, 1995 modifiée).

4.2.2.2.2 Prédimensionnement de l'ouvrage

Il n'existe pas actuellement des règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brises lame (profondeur d'implantation, longueur et espacement, hauteur).

Celles-ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde) de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds. Il semble en tout état de cause que les brises lames efficaces sont ceux qui ne sont pas franchis par les vagues.

Différentes études effectuées par le LCHF (Laboratoire Central Hydraulique de Frane) (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.

4.2.2.2.1 Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte

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

$$l > 1,2 (lc + 0,3L) \dots \dots \dots \text{Équation 10}$$

l : longueur du brise-lames

lc : distance du brise-lames à la côte

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

Le calcul est présenté comme suivant :

- La période (T) des Houles au large de direction Nord-Ouest sur la côte de Ain Tagouit est 11,6s.
- La distance du brise-lame à la côte, lc = 100m sur une profondeur de 3m
- Longueur d'onde de la houle au large ($L_0 = 1,56T^2 = 210m$)
- La longueur d'onde de la houle au pied d'ouvrage :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 Dp}{T^2 g}\right)} \dots \dots \dots \text{Équation 11}$$

$$L \approx 63 \longrightarrow l > 142,7$$

$L = 150 \text{ m}$

Donc la longueur de brise-lames est de 150m.

4.2.2.2.2 La hauteur de la crête (h)

Van der Meer et Angremond (1992) ont résumé les données disponibles ainsi que certains de leurs propres données pour présenter une procédure complète pour prédire la transmission d'ondes pour les brise-lames à faible crête.

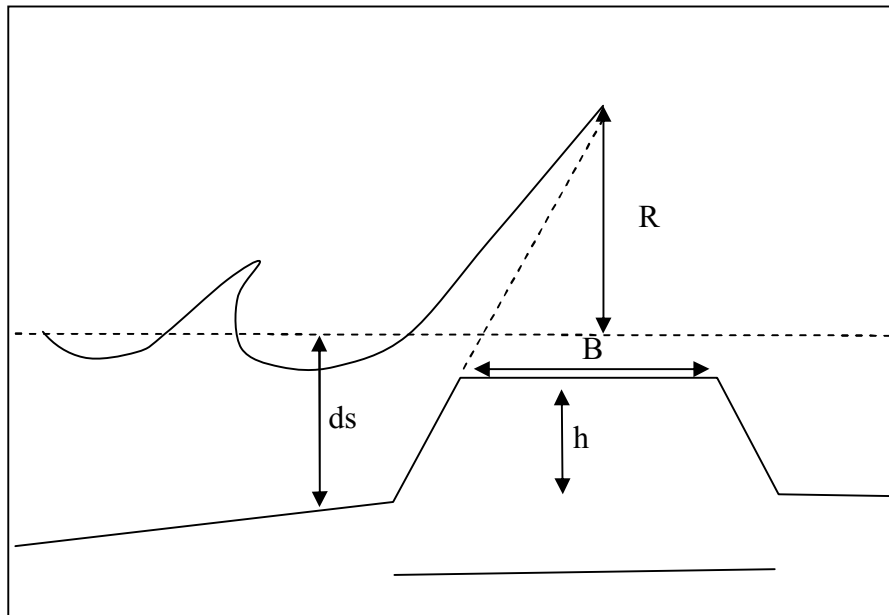


Figure 39 : Schématisation d'un profil de brise-lames immergé

Pour le dimensionnement de la hauteur de la crête de la digue, il faut tout d'abord tenir compte de la dissipation d'énergie souhaitée.

Autrement dit, la transmission des vagues. A ce titre, on peut utiliser l'abaque suivant (Figure 39) mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i où F est la hauteur de la surface libre (CERC, 2006).

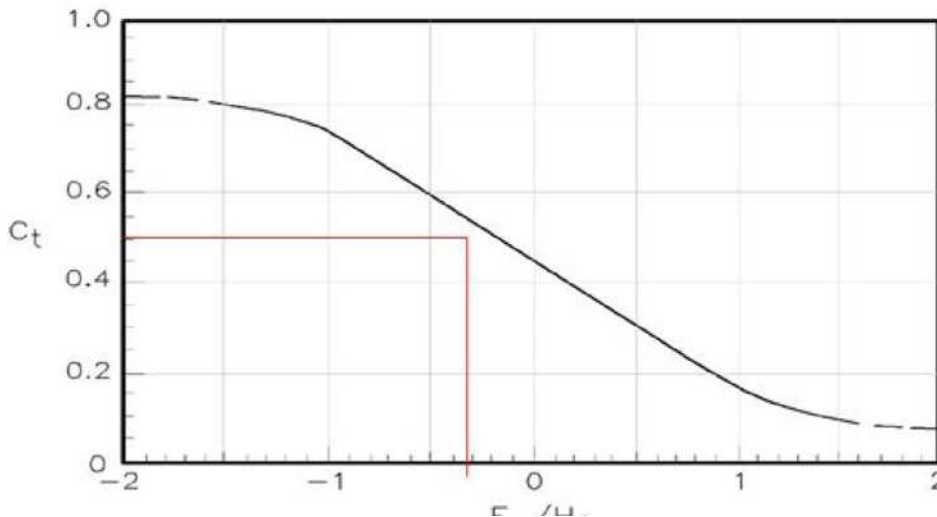


Figure 41 : Abaque mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i (Van der Meer 1992)

4.2.3 Les résultats de calcul sont présentés comme suivant :

Avec une Profondeur $D_p = 3m$, $H_i=3,08m$ et pour une hauteur h de l'ouvrage = $2m$ on a $F = -1m$

$$F/H_i = -0,32 \dots \dots \dots \text{Équation 12}$$

$$C_t = H_t/H_i = 0,54 \longrightarrow H_t = 1,66 m$$

Donc pour une diminution de la hauteur de la crête de $1m$ au-dessous de niveau 0 de l'eau de mer on aura une diminution de l'énergie de la houle de 46% .

4.2.3.1.1.1 Hauteur de la houle de dimensionnement

La connaissance des conditions extrêmes de la houle risquant d'arriver sur l'ouvrage est un paramètre très important qu'on doit chercher pour le dimensionnement en mer.

Ce paramètre est appelé "houle de dimensionnement" ou "de projet".

A partir des résultats obtenus de l'étude de propagation de la houle à la côte par période et par direction (Annexe), la hauteur significative H_s est $3,08m$ à une profondeur de $3m$.

4.2.3.1.1.2 La hauteur de brise-lames

La stabilité du talus côté mer pour un ouvrage est fondamentale, ce qui nous amène à examiner le franchissement.

En effet, celui-ci peut être un facteur de destruction de la crête de la digue, et des fondations derrière la digue.

La hauteur du brise-lames peut être déterminée pour éviter tout franchissement par la houle de projet.

En 1^{er} approche on pourra fixer l'arase supérieure des brise lames infranchissable à une hauteur de H_b à $1,5H_b$ au-dessus de l'eau (j. Chapon 1984).

La hauteur de la surface libre de l'ouvrage est de -1m à une profondeur (ds) de 3m, donc la hauteur h du brise-lames est 2m.

4.2.3.1.1.3 La largeur de la berme

En prévoyant une largeur de structure de $4 \cdot H_b$ au niveau de l'eau donc on va avoir : $B = 4 \cdot 3,08$

On prend : $B = 12\text{m}$

4.2.3.1.1.4 Stabilités des brise-lames immergés

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

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

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

Les résultats de prédimensionnement de brise-lames immergés sont présentés dans le tableau 11 suivant :

Tableau 11 : Résultats de prédimensionnement de brise-lames immergé du site Ouest

B	Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	Résultats	Catégorie
----------	----------------------------	-------------------	------------------------------	------------------	------------------

Carapace (Côté extérieur)	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 3,08^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (3,46 / 2,65)$	<p>W= 3,46t</p> <p>E=2,5m</p>	[3-4t]
Carapace (Côté intérieur)	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 3,08^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (0,35 / 2,65)$	<p>W=0,2t</p> <p>E=0,94</p>	[0,5-1t]
Musoir	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w * H_s^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $E = n * K_r * (w / \gamma_s)^{1/3}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 1,4^3}{2,9 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $E = 2 * 1,15 * (0,35 / 2,65)$	<p>W=2,42t</p> <p>E=2,23m</p>	[3-4t]
Le noyau	Généralement entre 0-500Kg			
Filtre	La catégorie de cette couche appartient à l'intervalle de noyau donc on l'inclut dans le noyau.			

Donc le profil de cette variante est constitué :

- Une carapace extérieure de catégorie 3 - 4 t avec une épaisseur de 2.5 m.
- Une carapace intérieure de catégorie 0.5-1 t avec une épaisseur de 0,94 m

Les deux carapaces sont inclinées avec une pente de 3/2. Un noyau en T.V.C de (0-500Kg) et la partie Musoir :

- Une carapace de 3 - 4 t avec une épaisseur de 2.23 m inclinée d'une pente de 3/2.
- Un noyau en T.V.C (0-500Kg).

4.2.3.1.2 Avantages

Les brise-lames présentent l'avantage de :

- Offrir une plus grande protection de la plage, en créant des zones d'eau relativement calmes où le dépôt des substances fines en suspension est facilité.
- Atténuation de l'énergie de la houle et réduction locale du transport sédimentaire ;
- Constituent de nouveaux biotopes rocheux qui sont rapidement colonisés par des espèces végétales et animales.

4.2.3.1.3 Inconvénients

- L'agitation est réduite du côté de la plage et le renouvellement des eaux n'est pas favorisé ce qui peut impliquer des répercussions négatives du point de vue sanitaire.
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).
- Impact possible pour la navigation de plaisance et les engins de plage.
- Gène la navigation.



Figure 42 : Installation de l'ouvrage de protection sur la zone de Ain Tagourait

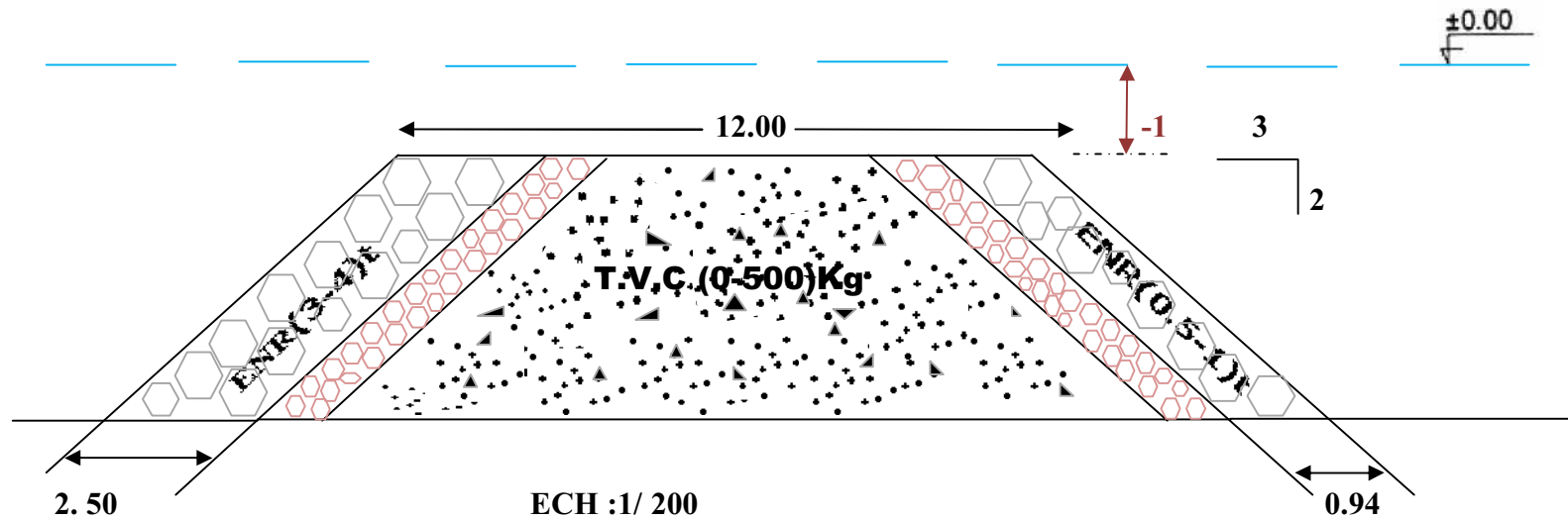


Figure 43: Profil de brise-lames immergés proposé pour la protection de Ain Tagourait

4.3 Estimation des coûts de construction

L'estimation des coûts de construction des variantes est basée sur des prix unitaires récents pratiqués par les Entreprises de réalisation nationales. Ces coûts sont les suivants:

- Variante d'aménagement du site Est : 14 713 500DA- TTC
- Variante d'aménagement du site Ouest :
 - Ouvrage 01(digue à talus): 4 855 500DA- TTC
 - Ouvrage 02 (brise lames) :37 170 000DA- TTC

Conclusion Générale

Conclusion générale

En vue de diagnostiquer le trait de côte du rivage de Ain Tagourait qui a fait l'objet du site à protéger. Une étude plus ou moins poussée a été entreprise dans ce contexte, et qui a commencé par le recensement des données relatives au milieu dynamique dans les différents domaines (Géomorphologie, Géologie, Sismicité, Climatologie, Océanographie...) afin de bien caractériser le lieu étudié. La collecte de données a été faite sur le terrain et à partir de bases de données déjà élaborées par le LEM et autres sources.

En parallèle, le suivi d'une méthodologie de réalisation d'un levé topographique et bathymétrique nécessaire pour l'étude de la réfraction de la houle a été réalisée au moyen d'outils informatiques dont SWAN représente le logiciel de base en matière de modélisation de la réfraction de la houle, en plus de l'étude du transit littoral.

La suite de l'étude a consisté en l'interprétation des résultats obtenus sur la réfraction de la houle, l'étude bathymétrique des deux sites Est et Ouest, et l'estimation des transits sédimentaires.

La dernière étape a consisté en la mise en place d'un schéma de protection à travers le dimensionnement des digues à talus dans le site Est et Ouest en plus du brise-lame dans le site Ouest, tout en présentant à chaque cas de figure des avantages et des inconvénients de l'ouvrage dimensionné, afin de proposer la solution la plus efficace dans l'espace et dans le temps.

En effet, la zone de Ain Tagourait a connu une soudaine érosion dont les causes sont difficiles à identifier à court-terme. La préoccupation du LEM de ce cas aggravant a fait l'objectif de ce projet qui nous a permis comme étant futurs ingénieurs Aménageurs de collaborer avec ce Laboratoire afin d'envisager une solution durable et réalisable dans les plus brèves délais pendant la période de stage effectuée à leur niveau. Cette contribution nous a enrichi de plusieurs bases dans le domaine de la gestion et le suivi de projets de telle envergure.

Rappelant que l'érosion est tout d'abord un phénomène naturel lié aux effets météorologiques et hydrodynamiques, mais qui peut toutefois être aggravé par les actions de l'homme entreprises au niveau du rivage.

Dans ce contexte, notre étude nous a permis de constater que l'érosion côtière dans la zone de Ain Tagourait n'est que la résultante 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, l'anthropisation qui seraient à l'origine de cette érosion.

- Les caractéristiques géologiques et géomorphologiques de la zone en question témoignent sur cette vulnérabilité (Grès non consolidé, Formations dunaires héritées du Calabrien)
- La modélisation numérique de la réfraction de la houle au niveau de cette zone confirme aussi l'impact de l'hydrodynamisme sur la zone d'étude (Site Est et Ouest) qui se trouve très exposée aux houles de secteur Nord-Ouest.
- L'étude bathymétrique révèle une morphologie particulière caractérisée par des fonds marins relativement irréguliers, traduisant la présence de fonds rocheux.
- L'étude du transport sédimentaire indique que le transit littoral a pour direction principale Ouest – Est, mais un débit sédimentaire assez faible.
- En plus de l'absence de la végétation (Herbier à Posidonie) qui joue un rôle très important dans la fixation des sédiments dans le fond.

Tenant compte de tous ces facteurs enclenchant et leur impact qui devient de plus en plus considérable lorsqu'ils se combinent, ce genre d'étude constitue un outil d'aide à la décision afin de mettre en place un ouvrage de défense pour protéger au mieux la côte en question.

En effet, la décision de protéger un site côtier, le choix de type de défense ou de protection, son implantation et son dimensionnement résultent d'une triple analyse se fondant sur :

- La justification de l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens dommageables.
- La connaissance de l'évolution du milieu littoral, souvent influencé par des actions anthropiques.
- 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.

Le choix et les caractéristiques du type des ouvrages de protection, qui ont contribué à mettre à l'abri les habitations et préserver la falaise des effets de la houle frontale sont basés sur des critères technico-économiques et écologiques.

Une explication des causes de l'érosion est démontré par :

- L'étude bathymétrique, notamment la géomorphologie sous-marine montre l'existence d'une fosse de lévigation suivie par une barre de déferlement qui provoque un gonflement de la houle arrivée au rivage.
- L'étude hydrodynamique, a fait ressortir une concentration de la houle sur toute la falaise exposée fortement à la direction Nord, Nord-Ouest.

De ce fait, les variantes proposées ont comme un rôle de fournir une protection frontale au pied de la falaise dans la zone Est et assure la création d'une petite plage par la réalisation d'une brise lames immergé qui va piéger les sédiments provenant de l'oued existant dans la zone Ouest.

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

Bibliographie :

La liste des ouvrages consultés :

Aouidad. Z; 1997. Contribution à l'étude de la pollution par les métaux lourds dans les sédiments superficiels et les particules en suspension dans la baie de Bou-Ismaïl .mémoire d'ingénieur environnement.ISMAL.alger.73 P.

CERC; 2006.Us Army Corps of Engineers. Part II, chapter7, Harbor Hydrodynamics, p19-22. Part VI, Chapter 2, Types and functions of coastal structures, p1-50. Part V, Chapter 3, Shore protection projects, p37-110.

Grimes S; 2004. Biodiversité marines et littorale Algérienne.

Jean Chapon; 1984. Travaux Maritimes, Tome I, p200, 209-211, 262.

Leclaire L; 1972. La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares (Précontinent Algérien). *Tome XXIV. Edition de Muséum, Paris, France, p391.*

L.E.M.; 1998. Laboratoire d'Etudes Maritime, Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable en baie d'Alger 22p.

L.E.M; 2005. Laboratoire d'Etude Maritime. Dragage et aménagement du port de Bouharoun. 20p.

Paskoff. R; 1993. Côtes en danger. Ed Masson. Paris, p250.

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