

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



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

OPTION : Aménagement du littoral



Présenté par :

M^{elle} AMROUNE Soumeya

M^{elle} MOUSSAOUI Zahia

Soutenu le 28 Juillet 2010

Devant le jury composé de :

Mr. HEMIDA .F
Mr. HELLAL.M
M^{elle} AMROUCHE.L
Mme BOUDOUMA.Z
Mr. BELKESSA.R
Mr. AMARI.S

Maître de conférences (ENSSMAL)
Maître de conférences (ENSSMAL)
Chargé de cours (ENSSMAL)
LEM
Maître de conférences (ENSSMAL)
LEM

Président
Examineur
Examinatrice
Co-promotrice
Promoteur
Invité

Promotion 2009-201

Remerciements

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

Au terme de cette étude, nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements à tous ceux qui, par leur aide, leurs conseils, leur compétence ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Que soient particulièrement remerciés les membres de jury:

M. F. HEMIDA Maître de conférences à l'ENSSMAL, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

M^{elle} L. AMROUCHE, chargée de cour à l'ENSSMAL, de nous avoir dirigées dans la partie microbiologie, examinatrice.

M. M.HELLAL, Maître de conférences l'ENSSMAL, examinateur.

M^{me} Z.BOUDOUMA chef de projet au LEM, Co-promotrice.

M. S. AMARI ingénieur au LEM, invité.

Nous remercions M^{me} Y. LAZALI.Y, responsable au CNERU, de nous avoir aidés, nous tenons à lui exprimer toute notre gratitude.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance au personnel du Laboratoire des Etudes Maritime(LEM), particulièrement

Le directeur du LEM Mr M. BOUDOUMA ;

Notre co-promotrice Mme Z. BOUDOUMA ; Ainsi que Mr S. AMARI

Nous les remercions vivement de nous avoir reçues dans leur laboratoire.

Il nous est agréable de remercier l'ensemble du personnel de l'ENSSMAL.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre promoteur M. R. BELKESSA pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.

Enfin nous ne saurions terminer nos remerciements sans exprimer un hommage tout particulier à nos parents, ainsi qu'à nos familles et nos amis qui nous ont supportées, aidées et encouragées.

Tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce travail et dont nous ne pouvons citer les noms, qu'ils trouvent ici nos sincères remerciements.

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre I : Généralités.....	2
I.1. Présentation de la commune de Fouka C.N.E.R.U.2005).....	2
I.2. Situation géographique.....	3
I.3. Fouka Marine dans son ensemble.....	4
I.3.1. Aperçu sur la géomorphologique régionale.....	4
I.3.2. Morphologie régionale.....	4
I.3.3. Bathymétrie	5
I.3.4. Sédimentologie	6
I.3.5. Cadre hydrographique	7
Chapitre II : Les causes de l'érosion du littoral de Fouka Marine	
II.1. Facteurs naturels	9
II.1.1. Facteurs géologiques et géomorphologiques	9
II.1.2. Effet de la Topographie de Fouka Marine	14
II.1.3. Hydrodynamisme	16
II.2. Facteurs anthropiques	34
II.2.1. Urbanisation et exode rurale	34
II.2.2. La construction du Barrage de Bou Roumi et l'extraction du sable	35
II.2.3. Pollution.....	36
II.2.3.1. Pollution agricole	36
II.2.3.2. Pollution physique	36
II.2.3.5. Pollution hydrique	38
III. Chapitre III : Approche prospective de l'évolution du trait de côte.....	
III.1. Evolution du trait de côte	45
III.2. Estimation des biens à protéger	48
Chapitre IV : Impacts socio-économiques de l'évolution du trait de côte	49
IV.1. impact sur les habitations et les infrastructures de base	49
IV.2. Agriculture et forêts	49
IV.3. Perte des plages	49
IV.4. Analyse systémique	50
Chapitre V : Solutions d'aménagement.....	58
V.1. solution proposée par le LEM	58
V.1.1. Les essais sur les modèles réduits	58
V.1.1.1. Principe des essais sur modèles réduits	58
V.1.1.2. les similitudes	59
V.1.1.3. les lois de similitudes utilisées.....	59
V.1.1.4. Les distordions	60
V.1.1.5. Construction du modèle réduit	51
V.1.1.6. les moyens d'essai	62
V.1.1.7. Moyens mis en œuvre et observations effectuées.....	63
V.1.1.8. Condition des essais	63
V.1.1.9. Conduite des essais	64
V.1.1.10. Calibration (réglage hydraulique du modèle)	64
V.1.1.11. Caractéristiques de la protection frontale optimisée en canal à houle.....	64
V.2. Solutions proposées par notre étude	67
V.2.1. Partie plage	68
V.2.1.1. Rechargement de la plage avec brises lames en géotubes.	68
V.2.2. Coté falaises	70
V.2.2.1. Brise- lames immergés avec une protection frontale de type digue à talus.....	70
V.2.3. Pré dimensionnement des ouvrages	72
V.2.3.1. Les brises lames immergés	72
V.2.3.2. La protection frontale de Type digue à talus	74
Conclusion.....	76
Bibliographie	
Listes des figures et des tableaux	
Annexes	

Introduction

Introduction

L'érosion côtière constitue un problème important dans le monde entier, la quasi-totalité des pays possédant une côte, en sont touchés parmi lesquels l'Algérie.

Ce phénomène se traduit par une accélération de la dégradation du littoral, et de l'écosystème naturel marin qui se présente sous plusieurs formes.

Plus les côtes sont exploitées, plus le problème de l'érosion prend de l'ampleur et de l'importance. L'extraction abusive du sable, la mauvaise occupation du rivage, le piégeage des sédiments par les barrages et les ports mal placés, ainsi que la pollution sous toutes ses formes, contribuent et accélèrent le rythme de l'érosion.

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. Ceci pour aboutir à des solutions adéquates.

Le but de notre mémoire est :

- D'exposer les facteurs, naturels et anthropiques, qui agissent sur l'évolution du linéaire de la zone de Fouka Marine. Ainsi que leurs impacts.
- De proposer des solutions à même de réduire le phénomène de l'érosion qui affecte cette zone.
- D'orienter l'aménagement et la mise en charge des problèmes de cette zone, vers une gestion intégrée des zones côtières.

Pour mener à bien ce travail nous avons fait une recherche bibliographique. Nous avons sollicité certains organismes notamment le CNERU (Centre National d'Etudes et de Recherche Appliquées en Urbanisme). Nous avons également exploité la documentation, traitant du sujet, présente au LEM, au sein duquel nous avons effectué notre stage de fin d'étude.

Nous avons structuré notre travail autour de cinq chapitres :

- le 1^{er} chapitre présente la zone de Fouka Marine dans son ensemble régional
- Le 2^{ème} chapitre énumère les facteurs, naturels et anthropiques, qui causent l'érosion du littoral de Fouka Marine.
- Le 3^{ème} chapitre présente l'évolution tangentielle du recul du trait de côte.
- Le 4^{ème} chapitre indique l'impact du recul du trait de côte.
- Le dernier chapitre présente la solution retenue par le LEM, pour la protection de la falaise, ainsi que nos propositions de protection et pour la falaise et pour la plage.

Chapitre I
Généralités

Introduction

Pour comprendre l'évolution d'une zone particulière, il est nécessaire de la présenter et de la situer dans son ensemble régional.

I.1. Présentation de la commune de Fouka (C.N.E.R.U.2005) :

Fouka est l'une des communes côtières de la wilaya de Tipaza. Elle a été érigée en chef lieu de daïra après le nouveau découpage territoriale et conformément au décret exécutif n° 91.306 du 24 Août 1991. La commune se situe au Nord-est de la wilaya à 35Km du chef lieu Tipaza. Elle est sillonnée par la route nationale n°11 qui relie Alger à Tipaza, et reliée à Koléa par le chemin de wilaya n°110 et à Bou Ismaïl par le chemin de wilaya n°126.

La commune se situe au point de vue géographique sur le versant nord du sahel. Son relief est composé de deux parties: la plaine côtière qui s'étend sur 4.92km où se localisent les terrains agricoles les plus riches, et les collines séparées de la plaine par une forte pente.

Les données relatives au domaine littoral :

- La surface du domaine littoral : 146,7ha.
- Le pourcentage du domaine littoral par rapport à la surface de la commune : 11,53%.
- La surface de la zone de servitude (300m) :117,1ha.
- Surface urbanisée dans la zone de servitude : 14,14ha.
- Le pourcentage de la surface urbanisée par rapport à la zone de servitude : 12,08%.

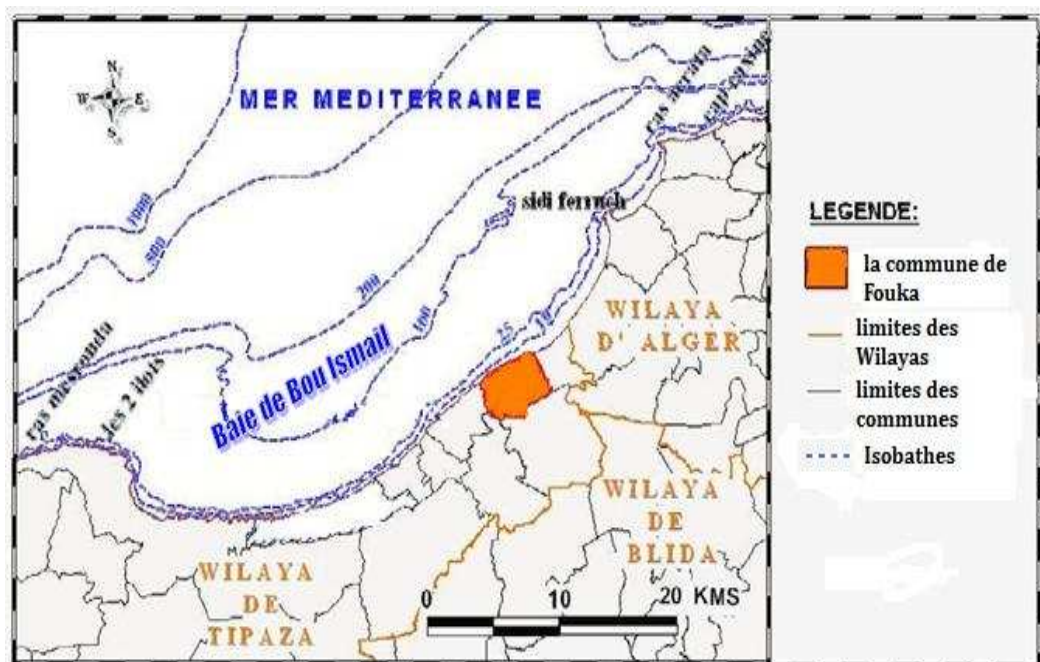


Figure I.1 : Limites administratives de la commune de Fouka.

I.2. Situation géographique :

Fouka Marine est située à environ 40Km à l'Ouest d'Alger. Elle fait partie de la baie de Bou Ismail (ex Castiglione), qui est comprise entre le mont de Chenoua et le point de Sidi Fredj. L'ouverture de la baie est de 40Km (Leclaire, 1972), c'est l'une des plus importantes de la côte Algériennes.

Elle s'étend sur une superficie totale de 1273ha et est délimitée :

- Au Nord par la mer Méditerranée.
- Au Sud par la commune de Koléa.
- A l'Est par la commune de Douaouda.
- A l'Ouest par la commune de Bou Ismail.

Fouka marine a comme coordonnées géographiques :

- Latitude Nord : 36°66',
- Longitude Est : 2°74,2'.

Cette zone comprend de l'Ouest à l'Est :

- Une série de falaises abruptes constituées d'un grès dunaire.
 - Une plage d'environ 20m de large et de 300m de long, portant une série d'habitations.
 - Zone rocheuse déchiquetée, se prolongeant sur environ 800m de long.
- Cette zone est intercalée par de petites grèves à galets.
- Le dernier tançon se compose de falaises et de blocs de roches (éboulis), jusqu'à Douaouda Marine.



Figure I.2 : Situation géographique de Fouka marine (Google Earth).

I.3. Fouka Marine dans son ensemble :

I.3.1. Aperçu sur la géomorphologie régionale :

Les grands ensembles morpho-structuraux des régions d'Alger et de Tipaza se présentent comme suit :

a. Le massif de la Bouzaréah :

Il s'étend sur une longueur de 20Km, et une largeur de 6Km. Ce massif culmine à 407m d'altitude, bordée au Nord et l'Est par la mer Méditerranée suivant des pentes en s'abaissant progressivement sous le plateau d'Ain Benian.

b. Le massif de Chenoua :

Il constitue une structure montagneuse de même orientation que le massif de Bouzaréah. Il culmine à 905m. Les pentes sont très accidentées et le contact avec la mer est souligné par des falaises rocheuses très disséquées par l'érosion marine.

c. Le Sahel d'Alger :

C'est un anticlinal qui se prolonge sur une distance moyenne de 1000Km d'Est en Ouest. Il regroupe tous les petits reliefs qui lui donnent une topographie mamelonnée.

I.3.2. Morphologie régionale:

Le plateau continental de la baie de Bou-Ismaïl présente une extension maximale de 11 km (il est très étroit à proximité des massifs : 4 km pour le Chenoua, moins de 2 km pour Bouzaréah). Il a une surface de 509 Km² et une largeur de 55 km. Sa longueur se rétrécit au niveau des caps (2km à 3km) et s'élargit au milieu de la baie (11Km en face du Mazafran).

Notre zone d'étude est située dans la baie de Bou-Ismaïl, cette dernière est subdivisée d'Ouest en Est en 2 secteurs, à savoir : la baie de Chenoua et la baie de Bou-Ismaïl (ex Castiglione).

a. La baie de Chenoua :

Du cap du four jusqu'à Boumachouk (2,3km), formée de falaises abruptes avec quelques grottes entaillées dans les roches tendres, puis une plage d'environ 3km de longueur traversée par l'oued Nador. A partir de Matares au port de Tipaza, la cote est formée de falaises de grés sur 1,4km de long.

b. La baie de Bou-Ismaïl :

Du port de Tipaza jusqu'au port de Bou Haroune, se dressent des falaises de grés dunaires sur 20km interrompues par des micros baies et criques abritant des petites plages. De Bou Haroune à Fouka Marine il y'a une alternance de plages et de cotes rocheuses formées de grés.

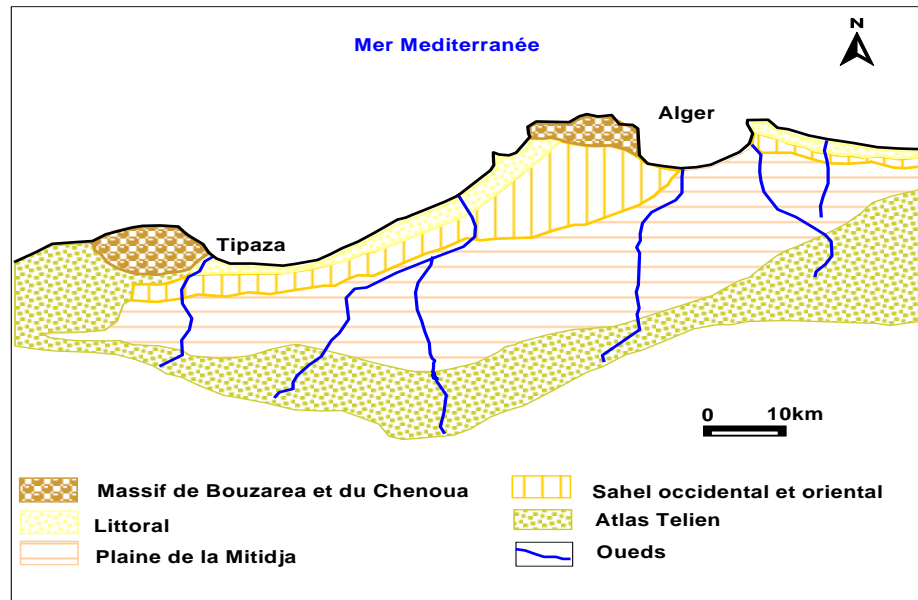


Figure I.3 : Carte Géomorphologique de la baie de Bou Ismail (LEM, 1999).

I.3.3. Bathymétrie :

Leclair (1972) a dressé une carte de la couverture sédimentaire de toute la baie de Bou-Ismaïl (Figure I.4), il distingue ainsi trois zones d'affleurement rocheux difficilement chalutables, qui sont comme suit:

1. Le prolongement du massif de Chenoua, lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras- Nador depuis la côte jusqu'à l'isobathe 180 m en direction Nord Nord-Est.
2. Entre Bouharoun et Douaouda Marine, depuis la côte jusqu'à l'isobathe 100 m.
3. Depuis les fonds de 110 à 150 m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de Sidi- Fredj.

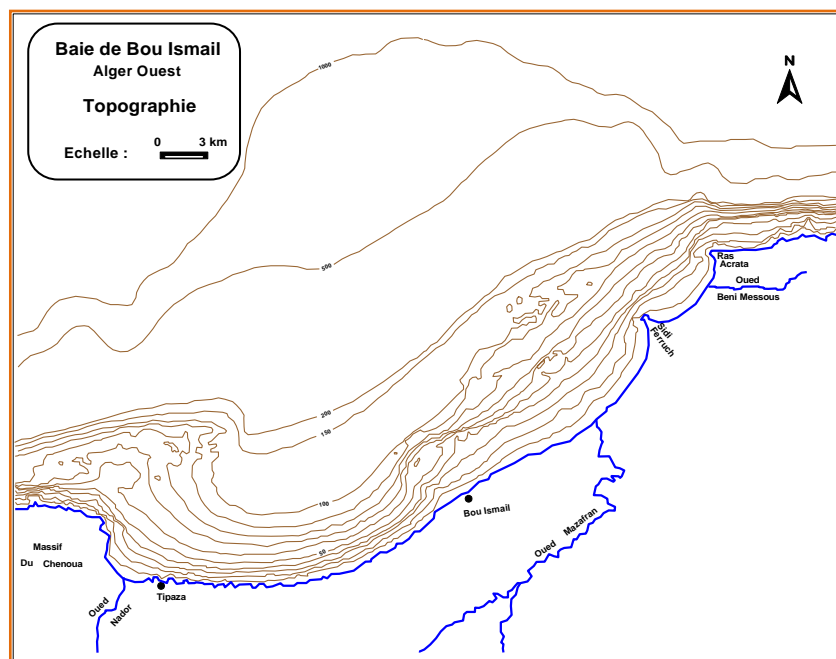


Figure I.4 : Bathymétrie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclair, 1972).

I.3.4. Sédimentologie :

Vers l'embouchure de l'Oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 2,5m, on trouve les sables grossiers. Au-delà de ce dépôt fluvio-marin et jusqu'à une profondeur de 10m à 15m, on trouve les sables moyens, qui ne réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza.

Une bande de sable fin apparaît au large de Sidi Fredj et à Palm Beach à moins de 2m de profondeur et tapisse le fond de 15m à 25m tout le long de la baie. Parallèlement à ce faciès, on retrouve les sables fins vaseux qui longent la côte entre 25m à 40m de profondeur. Notons qu'au large de Sidi Fredj (2km à 3km), on retrouve un dépôt de sables moyens, graviers et mærl (**LEM, 1999**).

L'analyse des sédiments de la baie de Bou Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie. Neuf faciès sont identifiés: les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures, le faciès rocheux (Figure I.5). L'importance et la répartition de ces faciès ne sont pas identiques en tout point de la baie.

Ainsi deux régions apparaissent: la région Est ou orientale et la région Ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologiques propres, fait déjà signalé par **Dagorne (1973)**.

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou Ismaïl. Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est. Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux ne sont présents que dans la région orientale

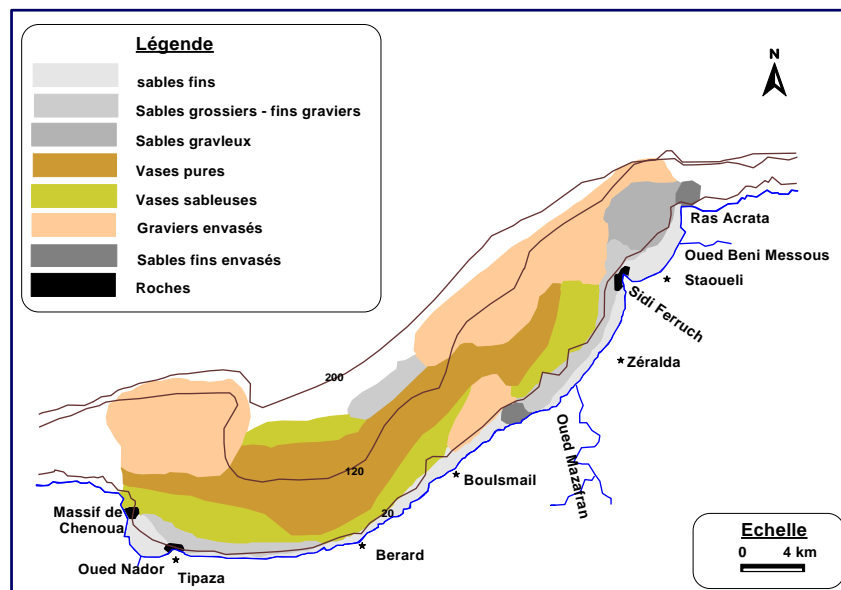


Figure I.5 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismaïl (PAC, 2005).

I.3.5. Cadre hydrographique :

La baie de Bou-Ismaïl est traversée par trois oueds découlant du bassin versant, et traversant la plaine de la Mitidja avant de se jeter à la mer. Nous trouvons d'Est en Ouest :

L'oued Beni Messous, et les deux principaux oueds issus de l'Atlas blidéen l'Oued Mazafran et l'Oued Nador et franchissent les obstacles du sahel par des cluses. D'autres petits cours d'eau naissent dans le flanc Nord du sahel et se déversent directement en mer avec de faibles débits.

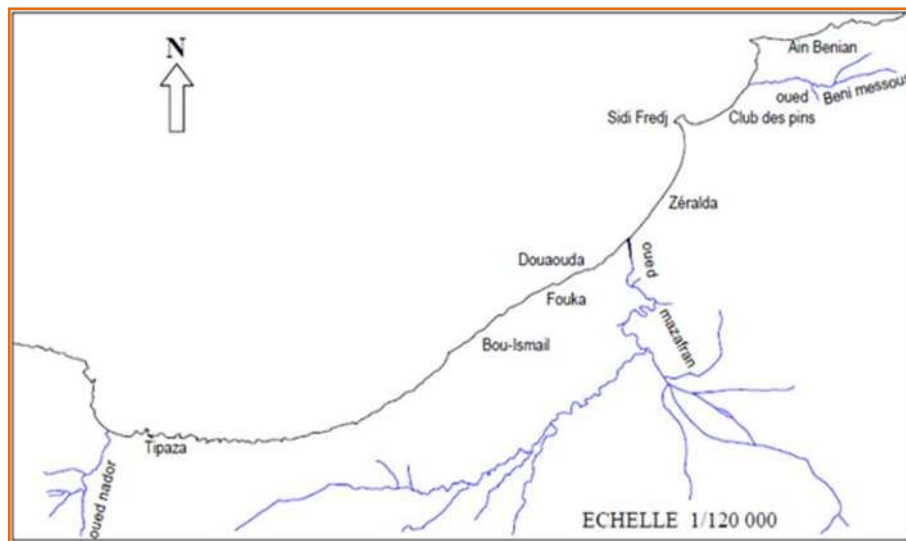


Figure I.6 : Réseau hydrographique dans la baie de Bou Ismaïl.

Dans le Sahel, les niveaux aquifères s'établissent nettement au dessus de l'assise argileuse du Sahel. Les marnes bleues plaisanciennes peuvent également arrêter l'infiltration ; mais en général, la nature sableuse des couches inférieures du pliocène, notamment des lits glauconieux, donne lieu à une nappe phréatique qui va constituer les puits du plateau.

La faible épaisseur des assises pliocènes, dans les affleurements disséminés à la surface des argiles, ne permet l'existence que de nappes peu importantes, alimentant seulement des puits disséminés au voisinage des fermes. Toute cette partie centrale du Sahel d'Alger est pauvre en eau.

a- Oued Beni Messous:

Il prend naissance dans le massif de Bouzréah, il reçoit plusieurs affluents et se jette dans la baie d'El -Djamila, son bassin versant s'étend sur 33km², son sol est considéré comme semi-perméable.

Ce caractère hydrologique limite l'infiltration et diminue l'importance des nappes phréatiques ce qui favorise le lessivage des sols par les eaux de ruissellement. Ces apports alimentent surtout la baie d'El Djamila.

b- Oued Mazafran:

Oued Mazafran est considéré comme le cour d'eau le plus important de la région. Il résulte de la jonction de trois oueds : l'oued Djer, l'oued Bou-Roumi, l'oued Chiffa.

L'oued Chiffa et ses affluents prennent leurs sources sur le versant Sud de l'Atlas, et reçoivent en basse Mitidja un affluent important : l'Oued Anasseur.

L'oued Djer prend sa source dans le massif du Zaccar (Miliana) à plus de 1000m d'altitude. Le Mazafran arrache chaque année une importante masse de matériaux de l'Atlas.

Le bilan de ses écoulements annuel moyen est de l'ordre de 4000 m³/s. En période de crue, cet oued recueille une partie des eaux de ruissellement des régions montagneuses à très forte pluviométrie. En raison de sa pente presque nulle, ne permettant d'évacuer qu'1/5 de son débit, des inondations importantes sont courantes.

c-Oued Nador:

Situé sur la partie occidentale, entre Tipaza et le mont Chenoua, son bassin versant est drainé par un réseau d'affluents dont l'oued Bouyersen, l'oued Bouardoun, l'oued Meurad, l'oued Bourkika.

La surface de son bassin versant est de l'ordre de 230 km², son débit annuel est de 0,89 et sa charge sédimentaire est d'environ 28 .10⁶ m³/an (**Boukretaoui, Boutouili 1989**).

Chapitre II

Causes de l'érosion du littoral de Fouka Marine

Introduction

Le littoral de Fouka Marine subit une érosion importante due à la combinaison de facteurs naturels et anthropiques. Dans ce chapitre nous exposerons quelques uns de ces facteurs.

II.1. Facteurs naturels :

II.1.1. Facteurs géologiques et géomorphologiques :

La géologie de Fouka est surtout caractérisée par des dépôts pliocènes et quaternaires.

Cette différence lithologique est à l'origine de l'érosion différentielle des couches.



Figure II.1 : Extrait de carte géologique de Koléa pour la délimitation de la région de Fouka, 1 / 50 000^{ème}.

Légende : Alluvions et roches du littoral de Fouka Marine

A. Le quaternaire		
A	Alluvions actuelles des plages	De peu d'importance dans l'élargissement du lit de débordement de l'Oued Mazafran. Nous avons deux lentilles à l'ouest de la Plages « très limitées » de Fouka et Douaouda marine.
Ad	Dunes actuelles	C'est une formation de dunes occupant une bande d'une largeur de 15m en bordure Est de la mer. Elle s'étend de part et d'autre de l'embouchure de l'Oued Mazafran. Elle se trouve en bordure du littoral à l'extrême Ouest de Fouka – Marine.
q1	Alluvions anciennes (niveau inférieur) et cône de déjection	On a séparé ainsi les terrasses caillouteuses qui forment la lisière du pied de la ride du Sahel dominant de 10 à 15 mètres de la plaine limoneuse. Les cônes de déjection, à éléments caillouteux plus ou moins volumineux, qui proviennent des cours d'eau de l'Atlas, ont été distingués sous cet indice. Cette distinction n'implique pas partout une formation antérieure à celle des alluvions (a ²).
q1m	Dunes de gros sables	Dunes formées de gros sables consolidés, formation d'une petite lentille à Fouka Marine.
q1d	Dunes à hélix	Dunes consolidées niveau inférieur ce sont des matériaux de grés à graviers fins à débris d'hélix provenant de consolidation des sables de dunes. Ces grés se retrouvent collés au rivage entre Fouka Marine et Douaouda.
qd	Grés et sables de Zéralda	Ce sont des grés et des sables, correspondant à des dunes consolidées, provenant de la cimentation plus ou moins complète de dunes anciennes dont il ne reste que quelques lambeaux se trouvant sur le promontoire dominant la berge Ouest de l'Oued Mazafran.
Qd	Grés et sables	Grés et sables de Bou Ismail : sont formés à base d'une ancienne dune consolidée. Elle occupe le flanc Nord de la corniche jusqu'au sommet en bancs inclinés vers le rivage.
B. Le pliocène		
P ²	Grés et sables du plateau de Fouka	D'origine dunaire, occupent la première plateforme du plateau Nord du Sahel et forment la corniche de la haute falaise de Bou-Ismaïl, Fouka Douaouda, entre 110 et 140 mètres d'altitude. A la surface, ces grés sont souvent décomposés et donnent des terrains sablonneux rouges propices à la vigne. Les mêmes grés et sables s'étalent sur le plateau inférieur de Mahelma et vont rejoindre la couverture des plateformes de Saint Ferdinand. Dans cette partie du Sahel, ces sables rouges sont intimement liés aux dépôts caillouteux précédents. Ces grés et ces sables du plateau formant un gradin qui s'étendant sur la partie Nord de la zone d'étude, et le chef lieu de la commune. Ils proviennent de la consolidation de dunes anciennes.
T	Travertins de Fouka	Deux affleurements situés, l'un au-dessous du village de Fouka, l'autre au pied de la corniche de la haute falaise à l'Est du village, comprenant les calcaires Travertin à végétaux à hélices résultant d'anciennes sources, peut être contemporaines du début de la formation des dunes P ² , les grés les surmontent.
P1	Grés et sables du plateau de Koléa	Grés et sables du plateau de Koléa, d'origine éolienne, occupent le plateau supérieur de Koléa.
C. Le miocène post-Nappe		
m1c	Marne du Cartennien	A la lisière Nord du sahel se montrent les marnes grises dures à rognons jaunes qui se rapportent au Miocène inférieur. La compacité de cette assise a causé les fortes pentes de la grande falaise de Fouka – Douaouda. C'est une formation marneuse, correspondant à une terre argileuse présentant des intercalations de calcaires. Elle se trouve le long de la corniche dite du Sahel.
m1b	Grés Cartenniennes	Les bancs de grés à strates fortement redressés inclinés au Sud, qui appartiennent à la base des marnes précédentes sont restés en témoins sur quelques points du rivage de Fouka et Douaouda.

- **Coupes géologiques:**

Coupe à Fouka Marine Ouest :

Cette coupe (figure II .2) montre que la falaise affleure, parallèlement au rivage, sur une hauteur de 10m à 14m environ.

Au pied de cette falaise gisent de très gros blocs détachés de celle-ci. A la base affleure le substratum formé par les marnes bleues plaisanciennes (figure II.3). A plus de 4m d'altitude, ces marnes sont tronquées horizontalement par un poudingue marin à galets, gravillons et coquilles marines. Le poudingue marin, fortement consolidé, passe vers le sommet à un grès coquillier riche en gravillon.

La partie supérieure du gré coquillier est couronnées par une formation lumachellique rubéfiée contenant des pédoncules en grand nombre.

Il y a aussi des limons rouges qui ravinent la lumachelle à pédoncule et lui confère sa couleur rouge.

(Pédoncule : mollusque bivalve comestible vivant sur les fons sableux (diamètre 6cm).

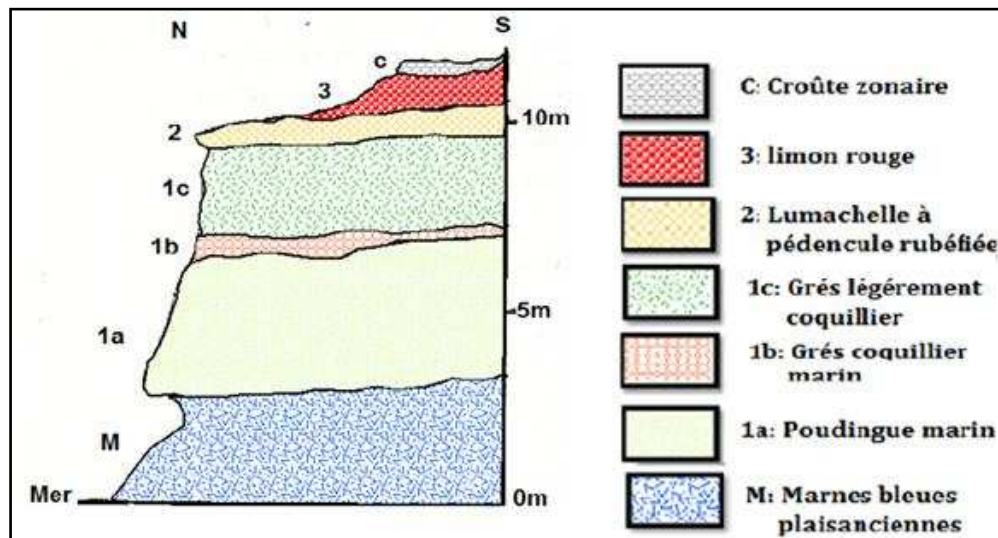


Figure II.2 : Coupe de Fouka Marine Ouest (in Rahal 1988)



Figure II.3 : Partie de la falaise montrant les marnes bleues plaisanciennes et le grès coquillier.

Coupe à Fouka marine Est :

A 1Km à l'Est de Fouka Marine, les falaises de Douaouda disparaissent. Nous constatons d'Est en Ouest un abaissement topographique progressif. La côte devient assez basse et limitée par une petite falaise de 1m à 2m de hauteur. Au pied de cette falaise, se développe par endroits une petite plage à galets. Les marnes plaisanciennes disparaissent totalement. Elles sont bien au dessous du niveau actuel de la mer, ainsi que le poudingue et grès coquilliers qui suivent fidèlement leur enfoncement sous zéro actuel.

Sur la coupe (Figure II.4), nous pouvons reconnaître facilement la formation lumachellique rubéfiée, portée à plus de 1m d'altitude. Elle est suivie comme dans les coupes précédentes par une couche de limons rouge (figure II.5).

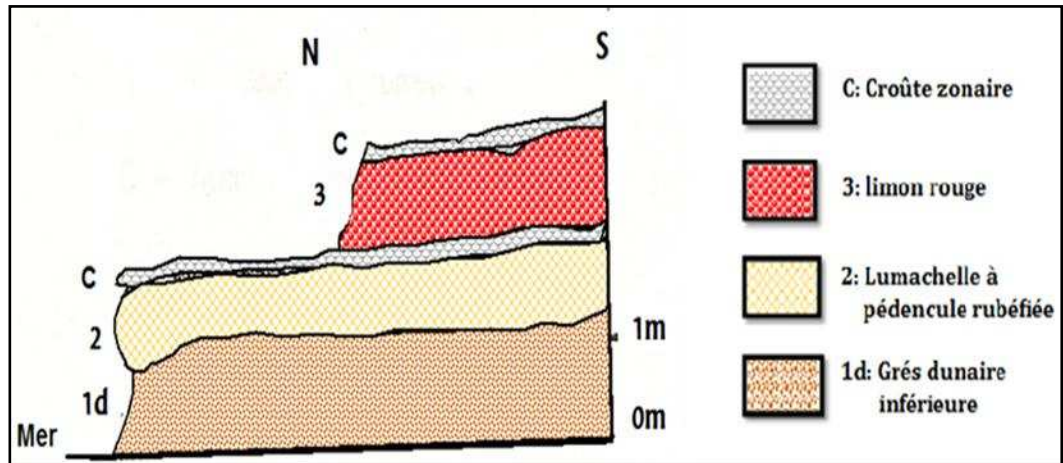


Figure II.4 : Coupe de Fouka Marine Est (in Rahal1988).



Figure II.5 : Partie de la falaise montrant l'érosion différentielle causée par les limons rouges

A. Morphologie côtière de la zone :

Le long de la zone côtière de la commune de Fouka Marine on trouve une côte rocheuse formée dans des grés quaternaires entre passées par des paléolosols rubéfiés.

Ces derniers forment la base de l'ensemble des grés dunaires. La différence lithologique provoque une érosion par basculement. Sur la partie Ouest de Fouka Marine, les falaises s'élèvent sur plus de 14m de hauteur avec effondrement d'énormes pans des falaises suite à l'érosion de la base des falaises.



Figure II.6 : Côte rocheuse Est de Fouka Marine



Figure II.7 : Falaise Ouest de Fouka Marine

Sur la partie Est de Fouka Marine (Figure II.6), les hauteurs deviennent plus réduites voire nulles. L'érosion est plutôt mécanique et chimique due à l'eau de mer. Cette érosion est accentuée par la présence de plusieurs égouts avec l'arrivée des eaux usées domestiques favorisant ainsi l'érosion chimique.

- Plage Gadea visal (Figure II.9): C'est une plage qui n'existe plus actuellement, se situe dans la localité de Fouka. Elle a une longueur de 150 m et une largeur 5 m. Les sédiments sont hétérométriques avec présence de galets de grés alvéolés sous marins rejetés sur la plage, témoignage de l'érosion sous marine.

- Plage Fouka Marine (Figure II.8) : Elle ne représente plus une morphologie de plage. Si rien n'est fait pour diminuer l'érosion, cette plage est vouée à disparaître.



Figure II.8 : Plage de Fouka Marine



Figure II.9 : Plage Gadea visal

II.1.2. Effet de la topographie de Fouka Marine :

- Partie Ouest : Le côté Ouest présente une topographie haute et abrupte (figure II.10) comprenant une falaise de hauteur variable, dont la crête varie de +14 à +5 m. Le long de ce linéaire côtier qui fait environ 200m, cette falaise présente un recul inquiétant causé par le détachement de gros blocs (figure II.12).

Ce détachement de blocs est causé par l'attaque, à la base des falaises, des vagues. Ceci provoque l'altération de la roche par l'énergie et l'agressivité de la houle. Ces points altérés à la base de la falaise sont nommés les encoches. L'avancement des encoches vers l'intérieur provoque la chute de blocs.

- Partie Centre et Est : Le côté Est de la zone présente une topographie basse (Figure II.10), cela valorise les franchissements et les inondations.

Elle correspond à la continuité de la falaise du côté Ouest mais avec une hauteur moins importante qui varie de 4 à 2 m jusqu'à disparaître là où commence une petite plage. Ce platier rocheux est actuellement occupée le long de son talus par une série d'habitations trop proches du bord de l'eau.

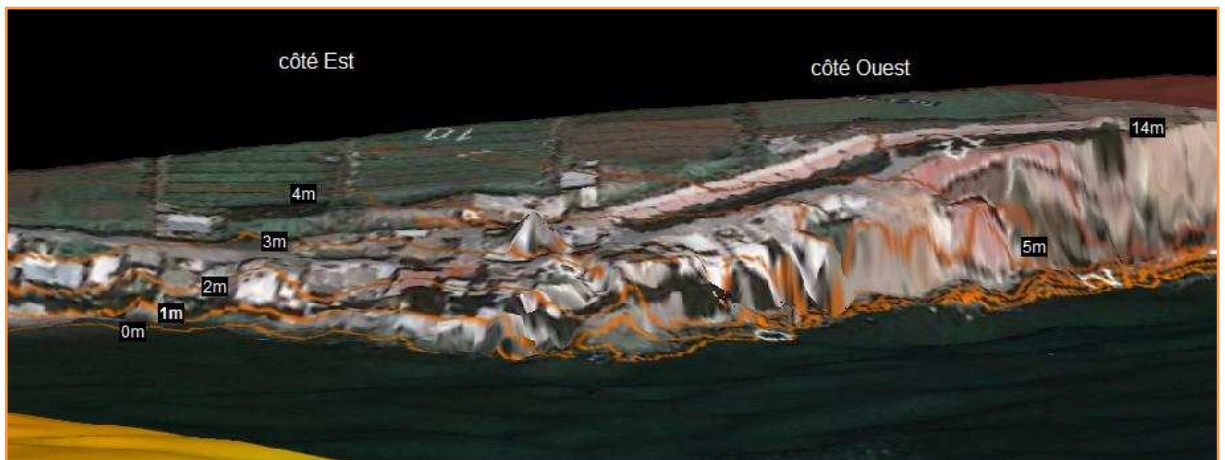


Figure II.10 : Aspect topographique du site d'étude.



Figure II. 11 : Présence d'encoche au niveau des falaises de Fouka Marine



Figure II.12: Chute de blocs de la falaise

II.1.3. Hydrodynamisme :

A. Le vent :

Le vent est un élément important dans la dynamique des eaux marines, il est à l'origine de houle et des courants superficiels. Leurs caractéristiques peuvent être déterminantes pour le choix d'un dispositif de protection.

Fouka Marine appartient à la baie de Bou Ismail qui est caractérisée par une périodicité des vents qui se traduit :

- Les vents d'Ouest en Hiver et Printemps induisant des houles de grandes amplitudes, d'une vitesse moyenne de 3m/s.
- Des vents de l'Est en été et début Automne avec de faibles amplitudes, avec une vitesse moyenne supérieur de 2m/s.

Ils peuvent être très violents de 15 à 20m/s durant 3 jours consécutifs (**Asso.1982 in Zeghdoudi ; 2006**). Les données sont représentées sous forme de rose des vents. (FigureII.13).

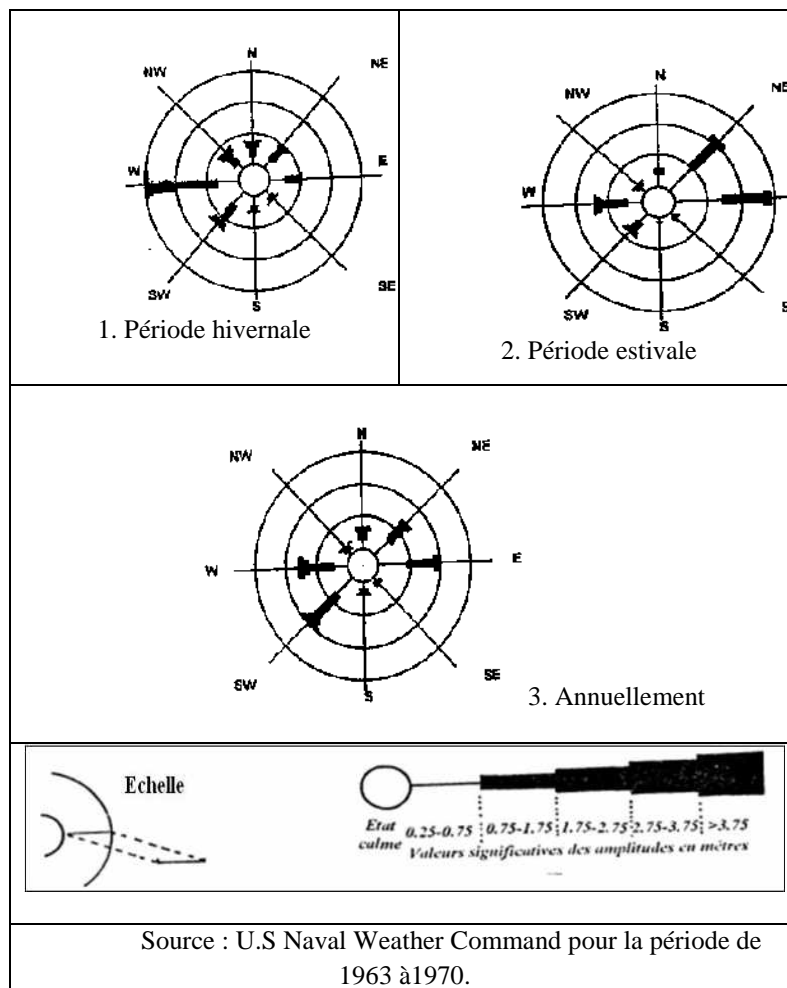


Figure II.13 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).

Les vents Ouest, et Nord-Ouest sont les plus dominants. Ils soufflent le plus souvent sur la région et peuvent engendrer des tempêtes. Celles ci causent l'érosion et

endommagent les ports ainsi que les habitations construites sur le rivage. Comme cela a été le cas lors de la tempête de 1989 à Tipasa. Sans oublier que ces vents contribuent à l'érosion éolienne.

B. Les courants :

Les courants jouent un rôle très important dans le transport sédimentaire. Ils participent dans l'évolution des formes côtières, en conduisant à des ensablements, à des envasements et à l'érosion. Notre zone est plus touchée par l'érosion et la déperdition de ces matériaux.

- **Les courants généraux:**

Le courant dominant au large de Bou Ismail est d'origine Atlantique ; c'est le « courant Algérien », il pénètre dans la méditerranée par le détroit de Gibraltar sous forme d'une couche superficielle de 150m d'épaisseur et d'une largeur de 50Km, variant de 0.5 à 2.5 nœuds.

Il longe les côtes Algériennes en allant vers l'Est, il donne naissance à des tourbillons anticycloniques de 100km de diamètre (**Millot, 1985**) associés à des remontées d'eau de fond (upwelling), induisant des zones de forte productivité biologique.

Ce courant crée un courant littoral vers l'Ouest. Les courants de surface entraînent le transport de sédiments fins, tandis que les courants de fonds interviennent dans l'érosion.

- **Les courants côtiers :**

En l'absence de courant permanent ou de marée suffisamment importante, les courants induits par la houle au large ou à la côte, sont, à peu près, les seuls à agir sur la sédimentation actuelle (**Caulet, 1972**).

- Le courant d'entraînement : Il est provoqué par les mouvements des masses d'eaux dans le sens de propagation des houles. Il est à l'origine des apports sédimentaires et participe d'une façon active dans la sédimentation actuelle.

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

- Le courant de la dérive littorale : Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, elle donne naissance à un courant de dérive littoral. La vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60° (**LEM 2001**).

Ce courant parallèle au rivage, qui se manifeste dans la zone de déferlement des vagues. Il assure le transport latéral et la désertion des sables et des graviers de la frange littorale.

Dans la baie de Bou-Ismaïl l'orientation des courants côtiers résultent de l'effet combiné des houles dominantes et de l'orientation de la côte (figure II.14). Ces paramètres permettent d'identifier l'hydrodynamisme côtier dans la zone d'étude.

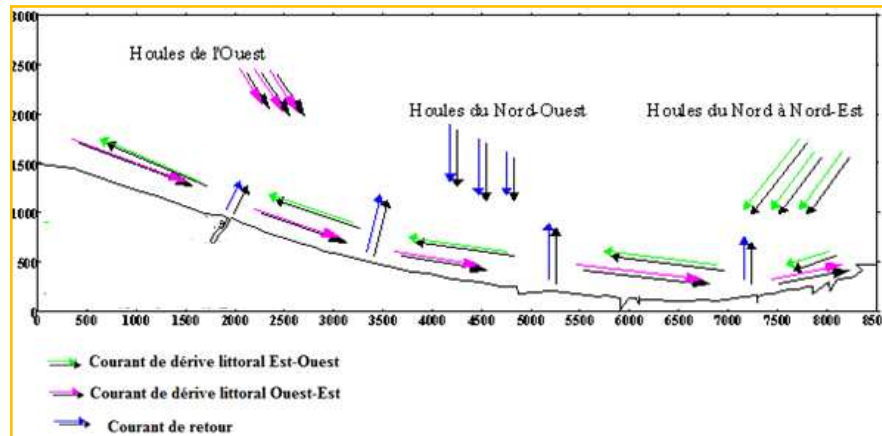


Figure II.14 : Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la baie de Bou Ismail (LEM 2001).

C. La bathymétrie :

L'influence de la bathymétrie est à prendre en compte dans l'hydrodynamique et l'érosion côtière. Elle joue un rôle dans la diffraction, la réfraction et le déferlement de la houle.

La bathymétrie est un facteur prédominant dans l'implantation et le dimensionnement des ouvrages.

Le LEM a utilisé une bathymétrie pour cette étude de réfraction issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3030 intitulée « côte septentrionale d'Afrique, partie comprise entre Alger et Cherchell, échelle : 1/100720 ». Ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée en Janvier 2010 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage du site de Fouka marine.

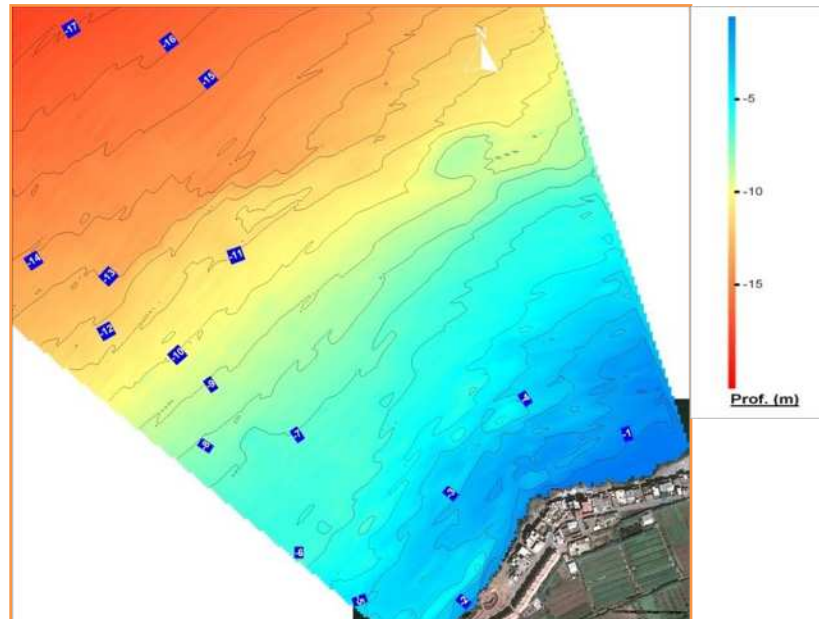


Figure II.15 : Bathymétrie de Fouka Marine, côté falaise (LEM, 2D).

La zone côtière Ouest est caractérisée par des isobathes en pointe (serrés), la houle se converge vers le rivage, provoquant une concentration de l'énergie à ce niveau qui se traduit par une forte érosion.

Par contre la zone côtière Est présente des isobathes de fond de baie ou d'échancrures plus au moins profondes et moins serrées. Il se produit alors une divergence de la houle provoquant une dissipation de l'énergie. Cette Zone se caractérise par la présence d'un platier rocheux qui contribue à la dissipation de cette énergie de la houle.

D. Les houles :

La houle est une oscillation ondulatoire de la surface de la mer, produite par des perturbations atmosphériques. Théoriquement c'est une agitation assez régulière, à longue crête, dont l'amplitude et la période sont lentement variables dans le temps. Il n'y a pas de déplacement de l'eau.

Elle se produit dans les zones profondes, donc distantes du trait de côte. Mais lorsqu'elle arrive à proximité du rivage, là où la profondeur est faible, elle se transforme en vague. On assiste alors à un mouvement des masses d'eaux qui s'étalent sur des distances plus ou moins longues, en venant à l'assaut du trait de côtes et en se retirant vers le large. L'énergie déployée par ce déplacement remanie et déplace les sédiments, d'où son rôle dans la morphologie côtière.

Les problèmes principaux liés à la houle concernent les modifications qu'elle subit à l'arrivée dans les zones peu profondes.

Les houles par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte suivant l'obliquité de leur attaque vis à vis du rivage, provoquent soit des transits perpendiculaires, soit des transits parallèles à la plage.

Si une alimentation ne vient pas compenser le transit littoral, celui-ci va, par des quantités importantes de matériaux mis en mouvement, entraîner un déficit sédimentaire et une érosion du littoral.

- **La houle au large :**

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur les observations faites à bord d'un navire. Les données sont reprises à partir du document de l'US Naval weather command intitulé summery of synoptic meterological observations (S.S.M.O Tome II. Zone algérienne). Pour une période de 8 ans (1963 à 1970), à partir des côtes algériennes situées entre le méridien 2° et 5° Est et les parallèles 36,5° et 38° Nord.

Tableau II.1 : Fréquences mensuelles des houles selon les directions au large d'Alger.

Direction	Nord	Nord-est	Est	Sud-est	Sud	Sud-ouest	Ouest	Nord-Ouest
Mois								
Janvier	8,6	12,7	18,1	5	6,4	13,3	28,7	7,3
Février	8,5	10,1	12,4	3,9	5,8	16,7	35,3	5,8
Mars	11,1	12,3	15,7	3,4	4,5	12,2	30,3	8
Avril	11,4	15,3	15,7	1,9	4,2	13,7	26,6	10
Mai	8,1	26,1	31,9	3,1	3,3	7,1	12,9	6,2
Juin	9	29	29,6	1,8	1,4	8	16,3	4,2
Juillet	5,7	32,4	35	1,5	0,9	5,9	16,2	2
Août	8,9	27,9	37,4	1,9	1,1	5,4	13,5	4,9
Septembre	6,5	26,2	40,3	1,9	2,2	4,5	13,6	2,2
Octobre	7,8	14,1	20,3	3,2	4,3	15	29,5	6,9
Novembre	5,4	5,7	9,7	4,7	7,7	15,9	40	9,4
Décembre	10	5,9	9,3	3,7	7,4	13,6	34,8	10,6

(SSMO, d'après U.S.N.W.C -1970).

L'analyse des données du tableau montre que les houles d'Ouest, de Nord Est et Est sont les plus importantes. Les fréquences d'observation sur l'année des houles d'Est et d'Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest.

Les houles hivernales sont de direction Ouest et Nord-Ouest. Elles engendrent des courants de retour dès leurs arrivées perpendiculairement à la côte. Ces derniers causent une érosion importante à la côte.

La vague constitue un agent important dans la dynamique du littoral, il est nécessaire d'établir sa terminologie, de l'adapter et de l'utiliser ensuite à des désignations et des équations bien déterminées. Ce qui est important pour notre travail.

- **La houle à la côte :**

À l'approche du rivage, le fond s'élève régulièrement et lorsque la profondeur est égale à la moitié de la longueur d'onde (λ), l'influence du fond commence à se faire sentir. Les vagues sont freinées dans leur propagation. Des modifications apparaissent sur les caractéristiques de la vague.

Ces modifications sont appelées plus exactement la réfraction. Les vagues perdent de leur célérité et leurs crêtes ont tendance à se disposer parallèlement aux isobathes, en fonction de la topographie.

L'étude de la réfraction de la houle au niveau de Fouka Marine a pour objet l'exploitation des caractéristiques de la houle au large afin de les définir à la côte. Celles-ci serviront de données d'entrée pour les prédimensionnements des ouvrages de protection de la côte de Fouka Marine, qui présente une érosion très avancée.

La propagation de la houle du large vers la côte étudiée et calculée par le LEM avec le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore développé par l'université de DELFT). Le calcul de la propagation est basé sur les données bathymétriques obtenues des cartes nautiques du Service Hydrographique Océanographique de la Marine –SHOM– ainsi que la bathymétrie réalisée sur terrain. Parmi les résultats obtenus par ces calculs, Le coefficient de réfraction (K_r) qui a été calculé comme suit:

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

H_s : Hauteur significative de la houle.

Les résultats sont alors exploités sous deux formes :

- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment la hauteur de houle et la direction changent au cours de la propagation de la houle.
- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points situés sur différentes isobathes -2 -3 -5,-10 et -15m, permettant l'établissement de la statistique locale de la houle à ces profondeurs.

Quatre directions ont été retenues dans le but du pré-dimensionnement :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale.
- Trois directions de part et d'autre de cette perpendiculaire à la côte.

Le choix des périodes a été fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. La période de retour utilisée est la vingtennale (20ans).

Tableau II.2 : Résultats de l'analyse des houles à la côte de Fouka Marine

Direction de la houle au large	Période de pointe Tp(s)	Coefficient de réfraction Kr	Direction d'arriver
N20°	12.72	0.53	296.63°
N270°	14.78	0.53	290.75°
N300°	11.95	0.56	314.08°
360°	12.91	0.56	313.94°

Les cartes de réfraction seront exposées en premier avec une vue de l'ensemble de la zone de Fouka. Ensuite une vue détaillée de cette réfraction pour chaque direction sur la côte de Fouka Marine avec un commentaire pour chacune.

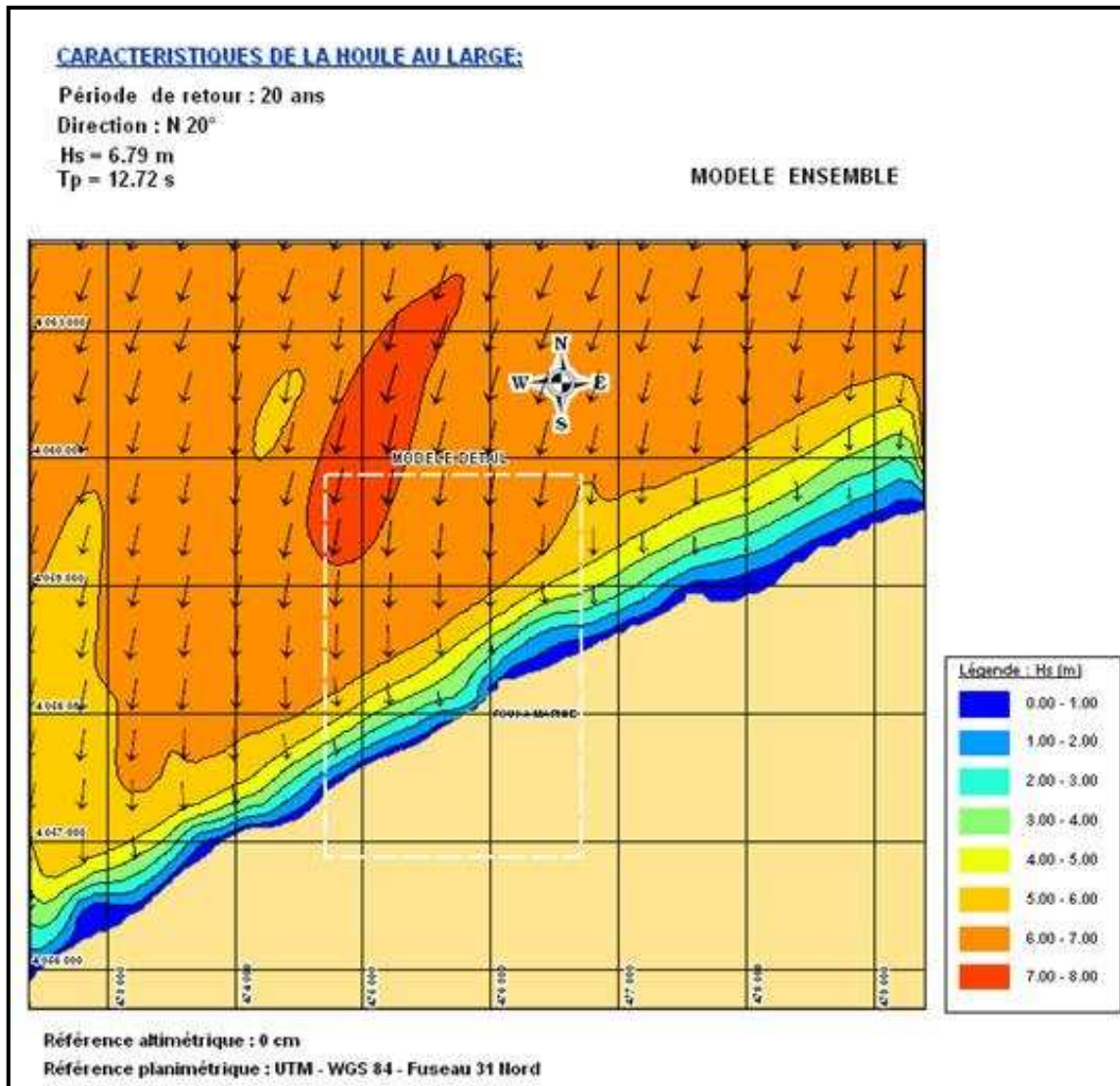


Figure II.16 : Réfraction de la houle, direction N 20°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).

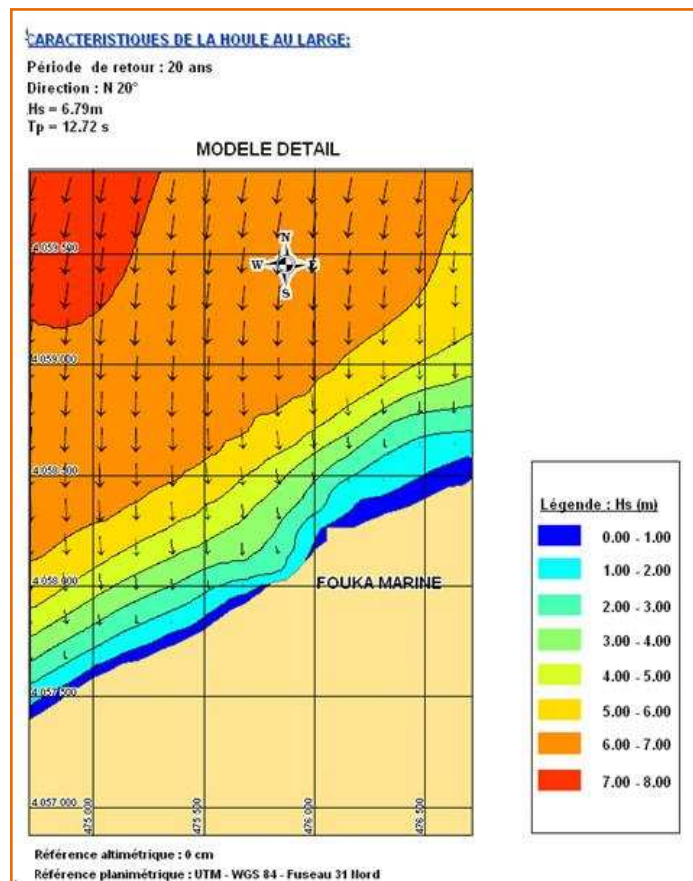


Figure II.17 : Réfraction de la houle, direction N20°,
 Dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).

Les vagues de direction N20° (Nord-est) ont tendance à arriver toutes perpendiculairement à la côte. Les hauteurs des vagues arrivent d'une manière homogène vers la côte sauf au niveau de notre site d'étude où les hauteurs des vagues de 1m à 2m touchent directement la côte. Par contre le reste de la côte reçoit des hauteurs des vagues réduites. Il faut noter que les hauteurs des vagues de 3 à 4m sont très proches de Fouka Marine.

Ces différences de hauteur, sont dues essentiellement à la bathymétrie de la région, qui est assez profonde et les lignes bathymétriques sont assez serrées près du rivage. Ceci Explique l'énergie importante de la houle sur la côte.

Cette répartition de l'énergie s'explique par la morphologie de la côte de Fouka. En effet, les zones soumises à l'énergie importante possèdent des falaises. Par contre, de par et d'autre du site l'énergie se dissipe ce qui favorise une faible sédimentation. A l'Est du site d'étude, on trouve la plage de Fouka Marine qui souffre énormément du phénomène de l'érosion.

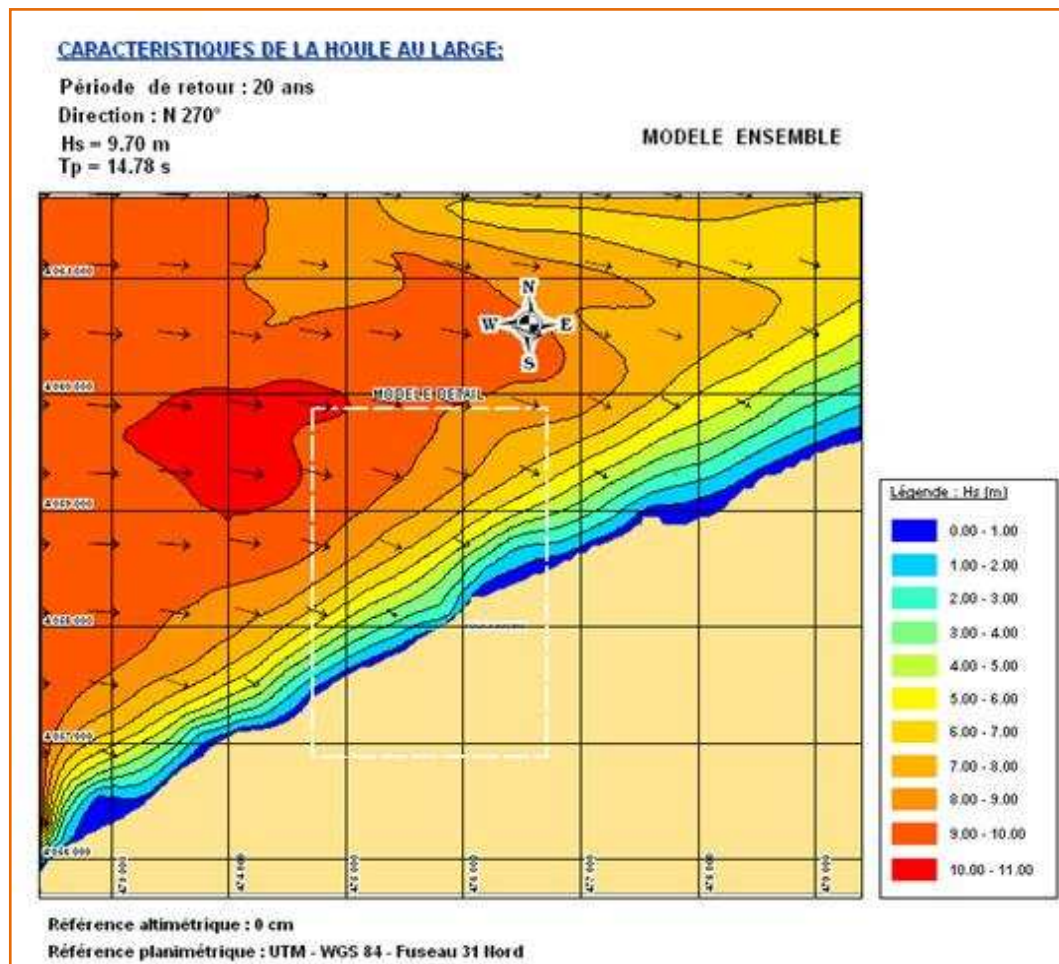


Figure II.7 : Réfraction de la houle, direction N 270°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).

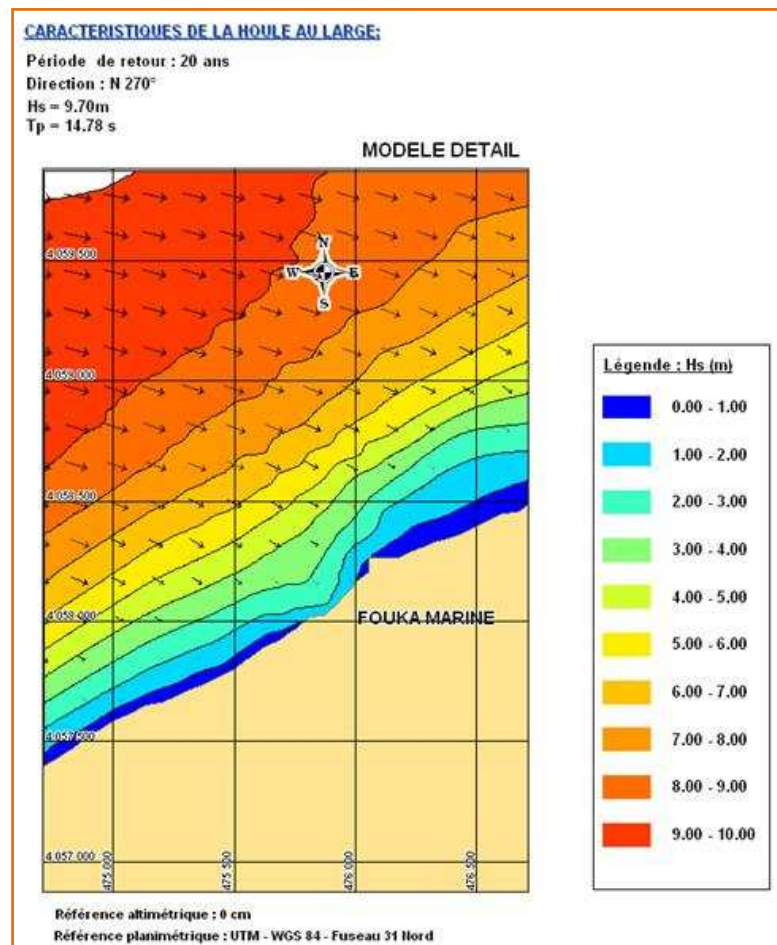


Figure II.8 : Réfraction de la houle, direction N 270°, dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).

Les vagues de direction N270°(Ouest) ont tendance à arriver toutes en oblique à la côte. Les hauteurs des vagues arrivent d'une manière homogène vers la côte sauf exactement au niveau de notre site d'étude où les hauteurs de 1m à 2 m touchent directement la côte. Par contre le reste de la côte reçoit des hauteurs réduites.

Il faut noter que les hauteurs de 3m à 4 m sont encore plus proches de Fouka Marine que celles de direction de 20°. Cette direction semble affecter plus le site. A l'Ouest du site l'énergie de la houle est très importante sur la côte. Notamment au niveau des bâtiments construits récemment.

Il y a une concentration de l'énergie le long de notre site d'étude, vu la convergence des orthogonales vers cette zone. Ceci explique l'agressivité des phénomènes hydrodynamique sur la côte. La bathymétrie accidentée proche du rivage, La lithologie des falaises, composées essentiellement de grés, fragilisent de plus en plus cette zone.

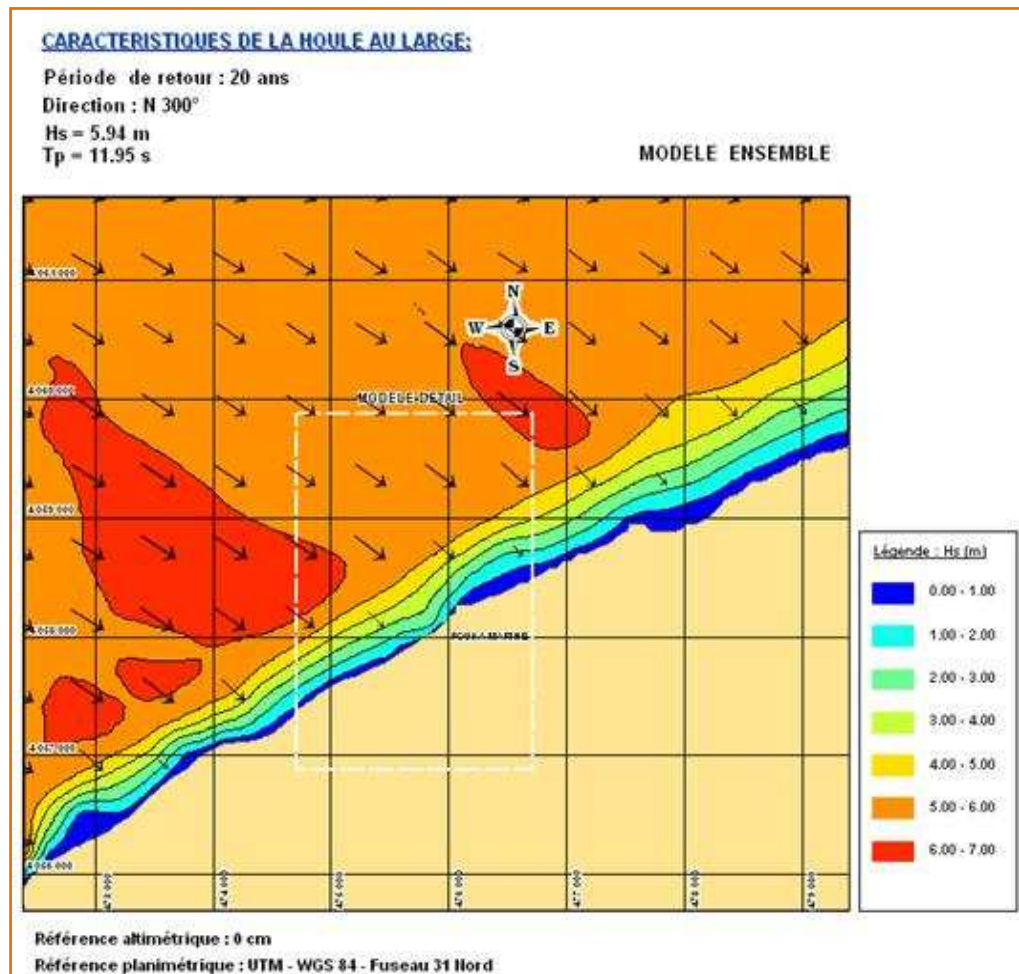


Figure II.20 : Réfraction de la houle, direction N 300°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).

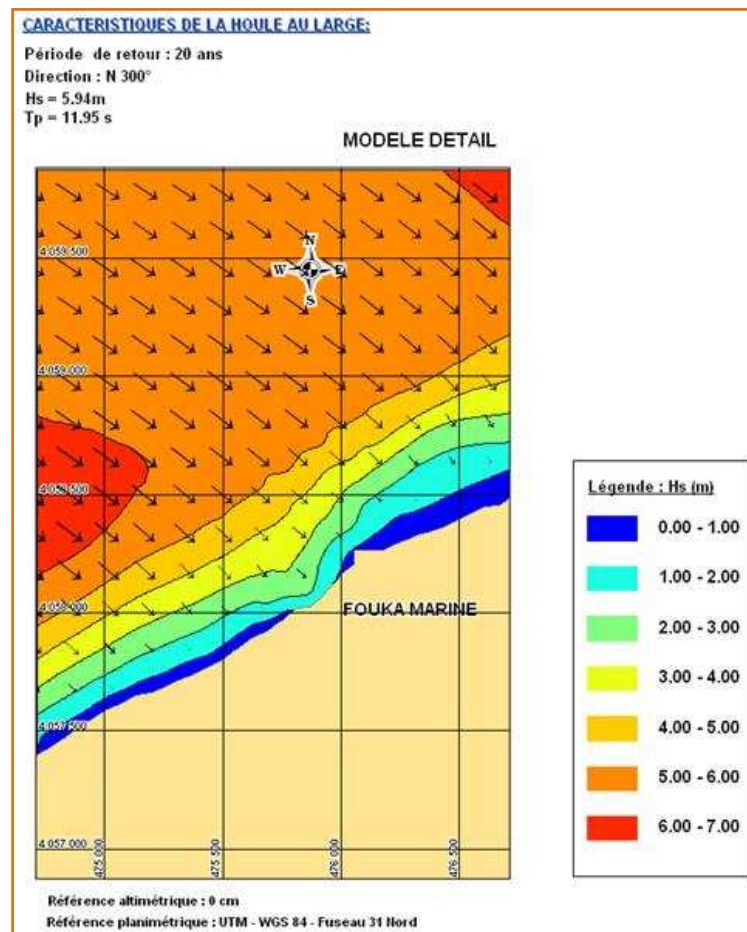


Figure II.21: Réfraction de la houle, direction N300°, dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).

Les vagues d'une direction de N300° (Nord-Ouest) ont tendance à arriver toutes en oblique à la côte. Au niveau de notre site d'étude les hauteurs de 1m à 2 m touchent directement la côte, même si les hauteurs des vagues arrivent d'une manière homogène. Les hauteurs 2m à 3m ne sont pas loin du rivage.

Par contre le reste de la côte reçoit des hauteurs réduites. Il faut noter que les hauteurs de 3 à 4 m sont encore plus proches de Fouka Marine que celles de direction de N20°.

Cette direction semble affecter plus le site comme pour la direction de N270°. Il y a une concentration de l'énergie au niveau de notre site d'étude. Les phénomènes hydrodynamiques sont très importants, alors les habitations près du rivage risquent une inondation marine à court terme

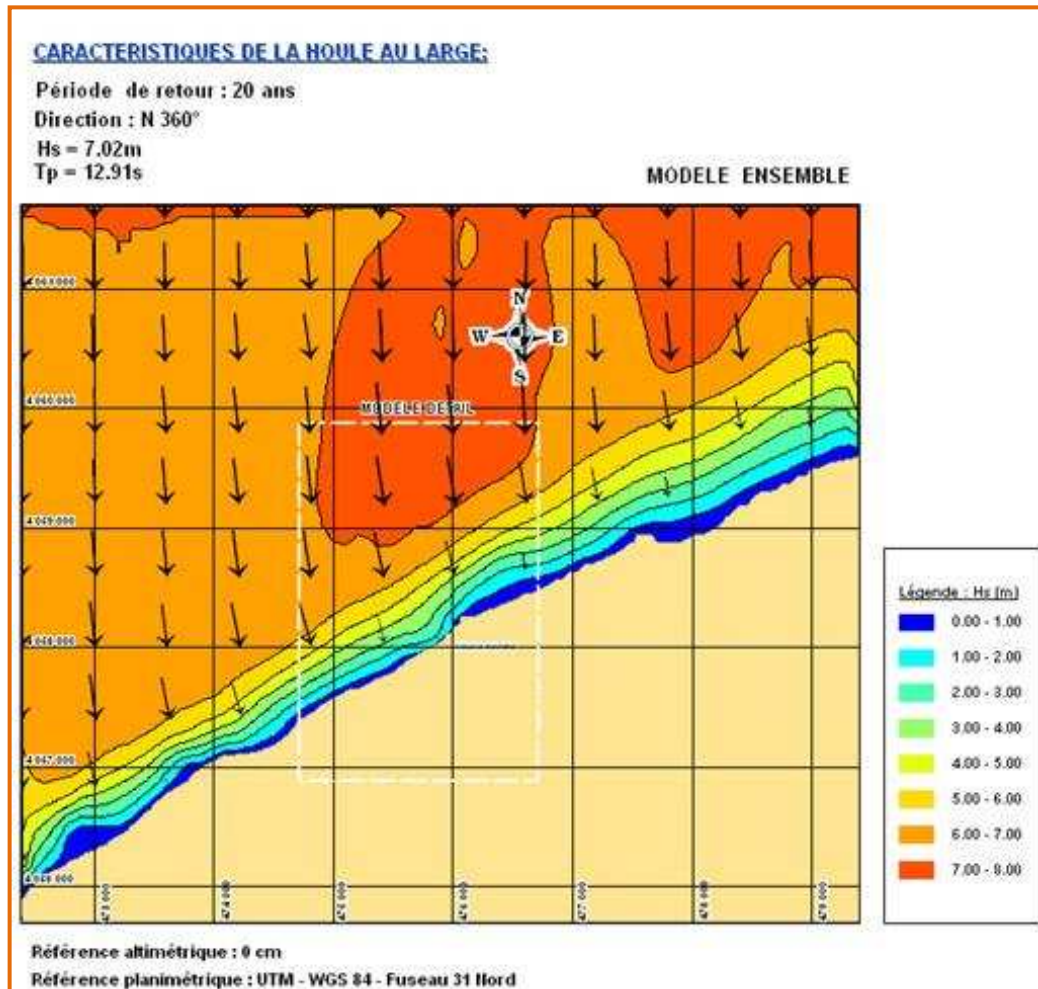


Figure II.22 : Réfraction de la houle, direction N360°(Nord), dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).

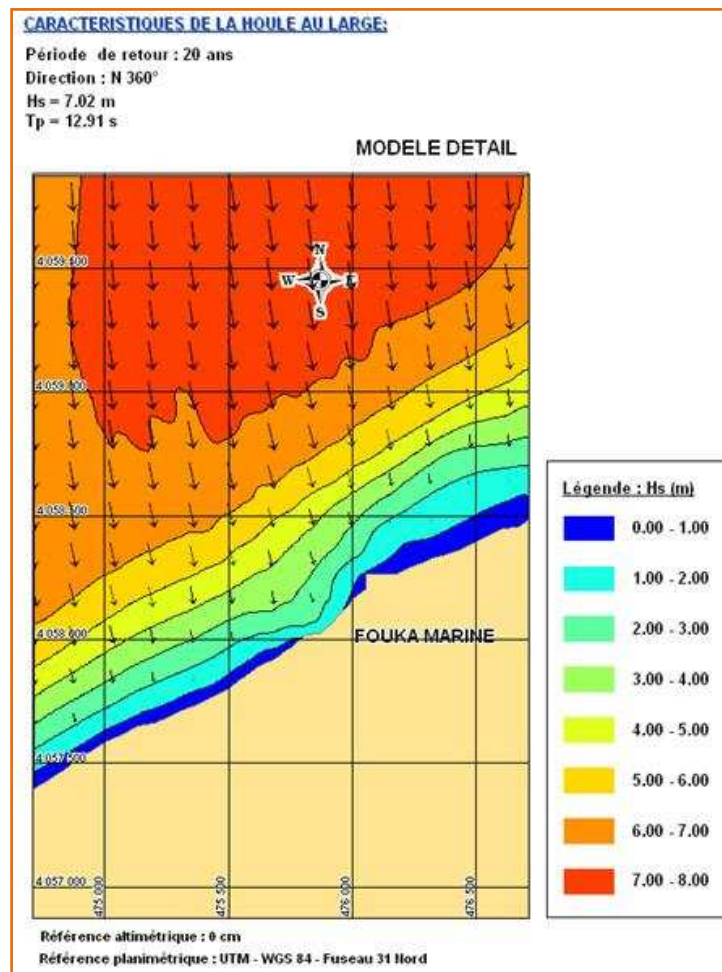


Figure II.23 : Réfraction de la houle, direction N360°(Nord), dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).

Les vagues de direction N360° (Nord) ont tendance à arriver toutes perpendiculairement à la côte. Pratiquement pour toutes les directions la zone de Fouka Marine est très affectée par l'agression du phénomène mécanique de l'eau, qui s'abat sur son rivage.

Ainsi cette attaque frontale cause beaucoup de dégâts sur la côté et sur les habitations. Les vagues arrivent avec des hauteurs de 1m à 2m. Nous notons également que les hauteurs entre 2m et 4m sont très proche du rivage.

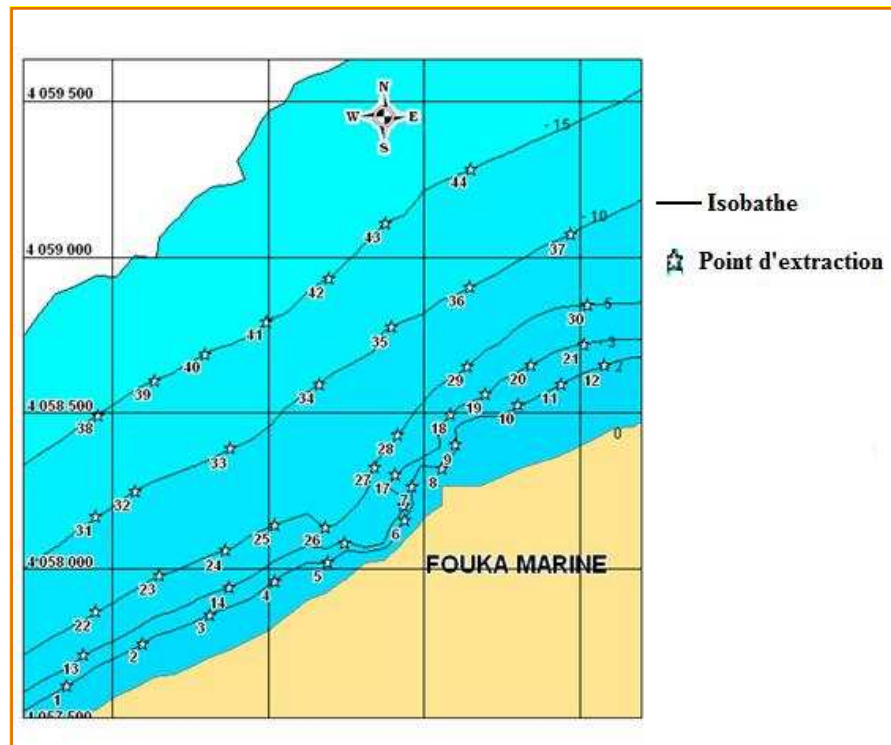
Ces hauteurs très élevées qui atteignent la côte sont favorisées directement par la morphologie sous marine. Ceci est également valable pour les autres directions. Au regard de la forme de cette petite fosse sous marine près de la côte, ce sont surtout les houles de direction Nord Ouest et Nord qui auront un impact sur le littoral.

- **Caractéristiques de la houle aux points considérés :**

La carte suivante, réalisée avec le logiciel SWAN, nous permet la détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points situés sur différentes isobathes -2 -3 -5,-10 et -15m, permettant l'établissement de la statistique locale de la houle à ces profondeurs.

Les résultats des calculs nous donnent la direction d'arrivée de la houle avec le coefficient de réfraction (K_r).

Ils sont présentés sous formes de tableaux (Annexe I).



C. La marée :

La marée sur les côtes algériennes est relativement faible, elle est la conséquence de deux phénomènes distincts

- l'effet barométrique (pression et vent) conduit à une variation de l'ordre de 13.2 mm
- Marée astronomique liée à l'action de la lune et du soleil sur la mer

La variation annuelle moyenne de la pression (de l'ordre de 4mm) conduit à une variation moyenne du plan d'eau de 5.3cm. L'effet du vent est plus important puisque la variation du niveau d'eau peut atteindre 10 à 12cm et plus rarement 20cm.

Il est recommandé de prendre en considération ce marnage, surtout que la zone Est de Fouka Marine est caractérisée par une pente douce ce qui conduit à une amplification des phénomènes des inondations.

E. Cadre météorologique:

- **La pluviométrie :** les précipitations sur le littoral contribuent à leur tour à l'érosion des différentes roches par des ravinements intenses et souvent profonds.

Les données de pluviométrie (pour la période 1995 à 2004) fournies par l'office national de la météorologie, indique que la région d'Alger est caractérisée par une pluviométrie importante. La moyenne des précipitations annuelles de 1970 à 2006 est de 509.25 mm.

Cette pluviométrie est très variable d'une saison à une autre et présente les moyennes, les maxima et les minima suivants :

- Printemps : 37.1 mm < pluviométrie < 324.3 mm, avec une moyenne de 131.51 mm.
- Eté : 0 mm < pluviométrie < 98.5 mm, avec une moyenne de 14.64 mm.
- Automne : 46.9 mm < pluviométrie < 438 mm, avec une moyenne de 155.61 mm.
- Hiver : 57.7 mm < pluviométrie < 454.1 mm, avec une moyenne de 209.13 mm.

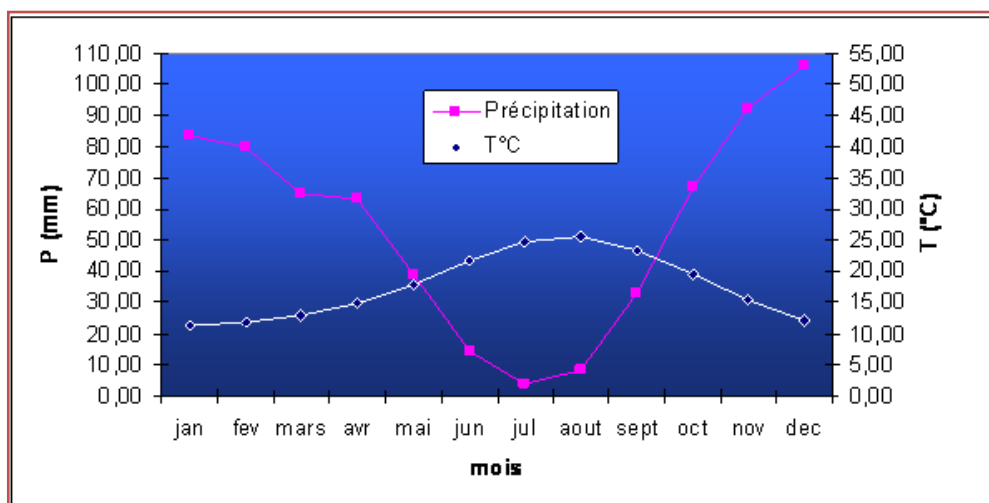


Figure II.90 : Les diagrammes ombrothermique de Gaussen (1994-2004), (Source : ONM 2004).

- Les ruissèlements causés par les eaux de pluies charrient les matériaux des sols, dénudés et les entraînent vers les cours d'eaux, puis ils sont véhiculés vers la mer où ils sont pris dans le sens de la dérive littorale (le manque des réseaux d'accueils des eaux de ruissèlements).
- Les inondations causées par les débordements indirects des eaux qui remontent des nappes alluviales, et des réseaux d'assainissement des eaux pluviales.



Figure II.31 : Cavité sous marine

Il est à noter aussi que la présence de cavités sous marines, témoin de l'action marine accentue le phénomène d'affaissement et d'éboulement de blocs. Les glissements sont dus à la nature hétérogène de terrains capables de fluer en nappe le long des versants. La présence de l'argile fragilise le terrain et le soumet aux intempéries.

Les premières pluies s'engouffrent dans les vides puis les suivantes découpent la couche superficielle qui se transforme en une masse homogène qui va fluer à la base du versant.

Les glissements affectent aussi les marnes Plaisanciennes (collines du Sahel) dans lesquelles nous rencontrons des reptations, des fluages des glissements.

Les principaux facteurs qui sont à l'origine de ces mouvements de terrains sont les eaux et la pente des talus.

Les éboulements est un phénomène rapide et brutal qui mobilise des blocs de roches plus ou moins homogènes. Les éboulements consistent en la chute libre ou le roulement au départ, après rupture, de blocs formés par fragmentation, le mouvement pouvant ensuite se poursuivre par une série de rebonds de hauteur décroissante (dans le cas d'une pente régulière comme c'est le cas de la falaise de Fouka Marine).



Figure II.32: Eboulements des roches à Fouka Marine.

II.2. Facteurs anthropiques :

II.2.1. Urbanisation et exode rurale :

Selon le dernier recensement effectué par l'ONS en 1998, la population de Fouka Marine est passée de 26766 habitants en 1987 à 39 546 habitants. L'évolution s'est faite selon un taux d'accroissement de 3,53% par an, celui-ci étant nettement plus élevé à la moyenne de la wilaya (2,54%). Ce qui donne une densité de population de 2490 habitants /Km².

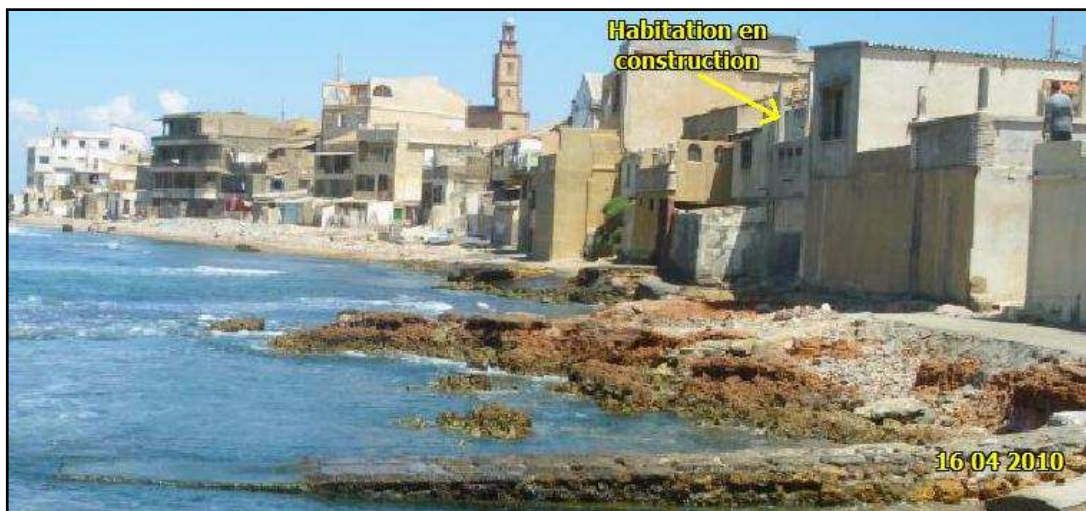


Figure II.33: Construction d'habitations sur le rivage à Fouka Marine.

Située à la périphérie de grands pôles urbains, la ville de Fouka s'est transformée en un véritable réceptacle de l'exode rural fragilisant les sites naturels et engendrant une prolifération de l'habitat précaire et illicite. Cela au détriment des terres agricoles très riches et des sites côtiers, avilissant ainsi le paysage naturel.

Ceci malgré la législation concernant le littoral (Loi n°02-02 du 5 Février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral) qui interdit les constructions près du rivage.

Ce rajout d'habitats n'a pas été accompagné d'équipements collectifs nécessaires au bon fonctionnement d'un groupement d'habitations. Les populations sont livrées à elles-mêmes et elles ont des conditions de vie précaires (Manque d'hygiène, de réseaux d'assainissement, alimentation en eau potable...). Il faut rajouter à cela la déperdition des surfaces utiles agricoles et la dégradation des forêts (forêt de Benoît).



Figure II.34 : Sites naturels de Fouka Marine.

II.2.2. La construction du Barrage de Bou Roumi et l'extraction du sable :

L'implantation du barrage de Bou Roumi au niveau des affluents de l'oued Mazafran a stérilisé l'apport des sédiments, ce qui a entraîné un déséquilibre dans le système externe, et qui a influencé directement le budget sédimentaire et l'alimentation des zones adjacentes. Ce manque de sédiments accentue le phénomène de l'érosion.

Ajouté à cela l'extraction illicite de sable au niveau du lit de l'oued Mazafran et des dunes. D'importantes quantités de sédiments sont utilisés dans la construction urbaine ce qui engendre une réduction du taux des sédiments amenés au rivage par l'oued et accélère l'érosion.



Figure II.35 : Barrage Bou Roumi.

II.2.3. Pollution:

La pollution est un problème préoccupant pour l'environnement, elle constitue un facteur majeur de dégradation du milieu naturel et de destruction des écosystèmes.

La pollution se présente sous plusieurs formes qui convergent toutes vers les mêmes conséquences fâcheuses sur l'environnement, sur la santé et sur l'économie.

Fouka Marine à l'instar de toutes les communes de la wilaya d'Alger connaît plusieurs types de pollution parmi lesquelles : la pollution agricole, la pollution physique, la pollution atmosphérique, la pollution des nappes phréatiques, et la pollution hydrique.

Dans cette dernière nous avons effectué des analyses microbiologiques au laboratoire de microbiologie à l'ENSSMAL, pour déterminer la qualité microbiologique des eaux de la plage de Fouka Marine. Les résultats sont présentés dans ce chapitre.

II.2.3.1. Pollution agricole :

La pollution agricole est développée par la vocation agricole de la commune de Fouka. Les cultures maraîchères demandent beaucoup d'engrais et la nature sablonneuse du sol ne retient que 50% des engrais permettant ainsi le lessivage des sols par les eaux de pluie. Une grande quantité d'engrais et de pesticides est véhiculée par les eaux de ruissellement vers les cours d'eau côtiers qui se déversent en mer.

L'impact des pesticides sur le milieu marin engendre un déséquilibre dans le fonctionnement des écosystèmes, tant au niveau de la faune que de la flore.

II.2.3.2. Pollution physique :

Les déchets solides constituent une source majeure de pollution. La quantité des déchets ménagers produits par la commune de Fouka Marine est de 11.864T/j, calculée

théoriquement à partir d'une population de 39549 habitants (RGPH 1998) et de la production moyenne par habitant estimée à 0,3 kg/hab./j.

Ajoutée à cela les déchets issus des activités industrielles existantes, tels que les déchets de cartons, plastiques et autres Ainsi que les déchets inertes provenant des démolitions qui sont éparpillés dans tout le site, notamment au niveau du domaine des frères Kheidar et du rivage à proximité de l'activité (Groupe Knmine Matelot).

Les déchets ménagers et assimilés une fois collectés sont acheminés vers la décharge de Douaouda. Celle ci est une décharge sauvage située dans la partie Sud de la commune. Elle à été crée en 1988, elle occupe une superficie de 3 000m². Elle était destinée à recevoir uniquement les ordures ménagères et assimilées mais avec le temps elle reçoit tout type de déchets.

L'emplacement de cette décharge en haut d'un talweg favorise le transport des déchets vers la mer et par la pluie et par le vent.

Tableau II.4 Estimations de la production des déchets ménagers :

Année	Population (habitants)	Quantité kg/j
1998	39549	23 729,4
Fin 2005	46310	27 786
2010	51533	30 919,8
2015	57009	34 205,4
2025	60143	36 085,8

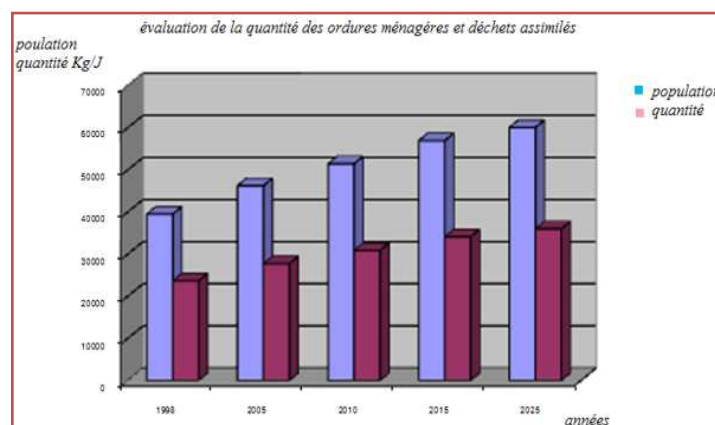


Figure II.36: Evaluation et estimation de la quantité d'ordures ménagères produite.

Les moyens dégagés par les autorités locales dans ce domaine s'avèrent insuffisants. Les déchets jonchent toujours les rues mais sont aussi déversés sur le rivage, et un dépotoir spontané s'est formé dans la forêt Benoit (domaine des frères Khaider).

Cette pollution est accélérée pendant la saison estivale, du fait de la présence d'une population importante sur le littoral qui sera accompagnée de la prolifération de commerces temporaires et d'autres activités balnéaires induisant une production importante de déchets supplémentaires.



Figure II. 37 Déchets sur le rivage de Fouka Marine



Figure II.10 : Décharge publique à Fouka Marine près du littoral.

II.2.3.3. Pollution hydrique :

La pollution hydrique provient des eaux usées collectées par le réseau d'assainissement de la zone urbaine constituée du chef-lieu de Fouka et des deux agglomérations secondaires Fouka Marine et quartier Ben Henni.

Ces collecteurs se déversent directement en mer sans aucune épuration. Il est important de souligner l'existence de plusieurs rejets individuels vers la mer. Ces derniers proviennent des constructions et des habitations sur le rivage en dépit de la loi interdisant ces pratiques.

Tableau II.5 : Distribution des rejets d'eau usée dans la région de Fouka Marine.

Lieu de rejet	Nombre de rejets	Milieu récepteur	Mode de traitement
Rejet chef-lieu	01	Mer	Néant
Rejet (Communal Sud) Quartier Ben Hanni Sud-est du chef-lieu	01	Mer	Néant
Rejet Fouka – Marine	01	Mer	Néant
Rejet Groupe Knmine Matelot	01	Mer	Néant

Le débit des eaux usées rejetées est de 2 357.06 m³/j, estimé sur la base de La population totale de la commune évaluée à 39548 habitants (RGPH 98), mais la charge

de pollution est de 848.304 kg/j. Le réseau d'assainissement est de type unitaire avec un taux de raccordement de 83,57 % (Source : MRE).

Dans Certaines zones les eaux usées sont rejetées à ciel ouvert ou vers le milieu naturel en raison de l'absence des réseaux d'assainissement. Dans les zones éparses sont également dépourvues de réseau d'assainissement, les rejets se font dans des fosses septiques.



Figure II.40 : Rejets d'eaux usées directement en mer.

- **Résultats des analyses microbiologiques :**

La pollution microbiologique est une forme de pollution organique. En particulier la présence des excréments qui contiennent des germes pathogènes (virus, bactéries ou parasites), et sont véhiculés par l'eau. Ces germes peuvent provoquer des maladies aussi graves que le choléra, la typhoïde, la dysenterie.

La contamination peut être directe avec des eaux polluées (baignades) et par la consommation des produits marins infectés.

Les analyses sont effectuées pour quelques éléments indicateurs de pollution microbiologique. Trois points de prélèvement représentatifs ont été choisis initialement pour englober toute la zone d'étude, en prenant en compte les points de rejet.

Tableau II.6 : Les coordonnées géographiques des stations de prélèvements

Coordonnées Station	Longitude	Latitude
1	2°43'57.52"E	36°40'11.71"N
2	2°44'02.75"E	36°40'13.07"N
3	2°44'07.88"E	36°40'15.44"N



Figure II.41 : Emplacement des stations de prélèvements à Fouka Marine

Les protocoles de réalisation des analyses microbiologiques et physico-chimiques sont détaillés en annexes (Annexe II).

a. Evaluation des paramètres physico-chimiques :

Les résultats obtenus des paramètres physico-chimiques sont consignés dans le tableau ci-après.

Tableau II.7: Valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées au niveau des stations In situ.

Stations	T (°C)	PH	S (PSU)	C (ms/cm)	DBO ₅ (mg/l)
1	20	8,46	36,4	49,5	5,4
2	21	8,5	36,2	49,5	-
3	20	7,29	36,6	49,8	-
moyenne	20,33	8,08	36,4	49,6	-

- **Variation de la température :**

La température a été prise à 30cm de la surface de l'eau. Les valeurs relatives de température au niveau de la côte sont incluses dans l'intervalle de (20 – 21°C) avec une moyenne de 20,33°C. Les températures enregistrées restent normales et ne présentent aucune anomalie du fait qu'elles répondent à la moyenne saisonnière.

- **Potentiel d'hydrogène pH :**

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8.2, est principalement fixé par la présence des carbonates, $\text{CO}_2\text{-HCO}_3\text{-CO}_3^{2-}$. Une modification de concentration en CO_2 (respiration, photosynthèse, échanges (Air- océan) ou en CO_3^{2-} (précipitation) entraînera donc une modification du pH. (Aminot.1983).

Les valeurs de pH maximal enregistré sont comprises entre une valeur 8,46, avec une moyenne de 8,08

- **Salinité :**

La salinité conditionne la présence d'une espèce bactérienne par rapport à une autre. En méditerranée, la salinité est comprise entre 37.8 et 39.39 PSU (Pratical

Salinity Unit). Les valeurs obtenues de la salinité sont comprises entre 36,2 et 36,4 PSU. Ces valeurs moyennes restent normales.

- **Demande Biologique en Oxygène(DBO₅):**

La DBO donne une indication sur l'activité microbiologique dans l'eau de mer. Elle est utilisée pour les contrôles de la pollution et dans le traitement des eaux usées (Guiraud, 1998). Faute de matériel, seule une station a fait l'objet de cette analyse et présente une DBO₅ de 5mg/l.

b. L'analyse bactériologique de l'eau et du sédiment :

La flore de contamination fécale est constituée de microorganismes appartenant à la flore intestinale qui est susceptible de croître dans les milieux extérieurs ou d'y persister (entérocoques, entérobactéries).

Pour apprécier les risques de contamination, les contrôles de salubrité de l'eau portent sur la recherche et la numération des témoins nommés germes indicateurs de contamination fécale. Ceux ci sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux, streptocoques du groupe D. Ainsi des germes pathogènes tels que les vibrions et les salmonelles.

L'analyse des germes de l'eau a été faite par la méthode de la membrane filtrante (MF), tandis que pour l'analyse des sédiments c'est la méthode du nombre le plus probable(NPP) qui a été adaptée.

Les résultats des analyses bactériologiques de ces différents indicateurs sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau II.8 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution fécale.

	CT/100ml	CF/100ml	Streptocoques fécaux sur milieu BEA (colonies noires)
Durée d'incubation	48H	48H	48H
Station 1	Colonies indénombrables	225	31
Station 2	354	187	3
Station 3	238	160	2
Observations	Virage du milieu vers le jaune	Virage du milieu vers le jaune	Virage du milieu du marron vers le noir

- **Coliformes totaux :**

La concentration la plus élevée en CT à été observée au niveau de la station 1 les colonies étaient trop confluentes pour être dénombrées ou identifiées, pour les stations 2 et 3 les concentrations sont respectivement 354 et 238 CT/100ml. Ces résultats sont inférieurs à la valeur guide qui est de 500ct/100ml, (Annexe II, Tableau 1).

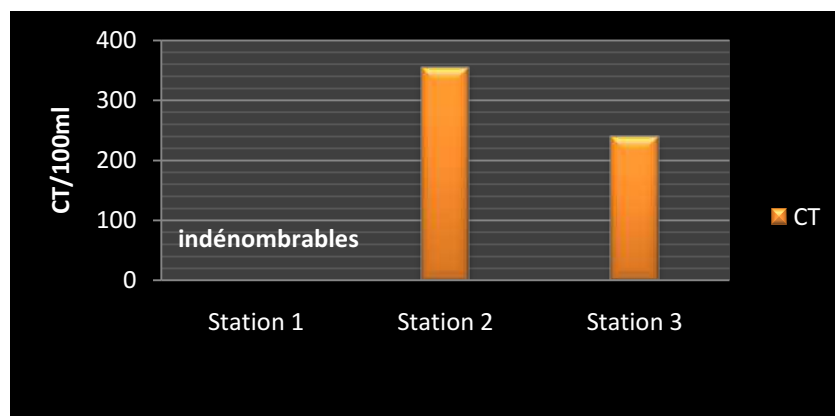


Figure II.42 : Graphe des Résultats des coliformes totaux(CT) recherchés par la méthode MF.

- **Coliformes fécaux :**

Les concentrations moyennes en coliformes fécaux dans les stations S1, S2 et S3, sont respectivement de : 225 CF/100ml, 187 CF/100ml, et 160 CF/100ml, elles sont comprises entre la valeur guide (100 CF/ 100 ml) et la valeur limite (2000 CF/ 100 ml).

L'aspect macroscopique des colonies révèlent des colonies roses métalliques sur milieu Endo-Agar. L'observation microscopique a montré la présence pour les trois stations de courts bacilles à Gram négatif. Le test d'oxydase est négatif (-), ainsi que le test de catalase(-), cela nous indique que ce sont des Entérobactéries.

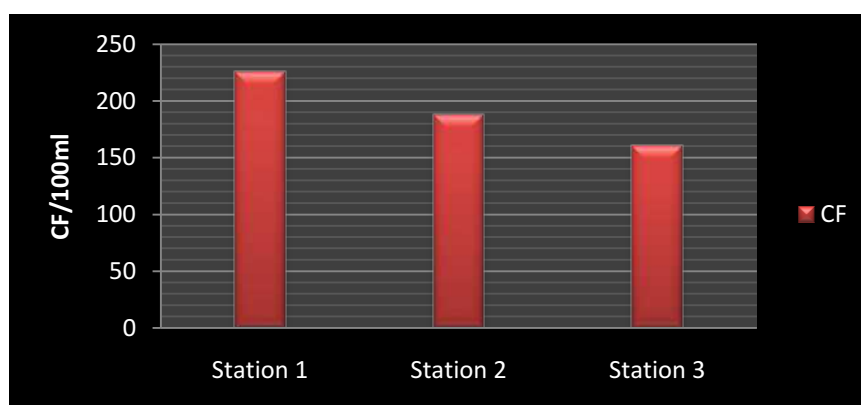


Figure II.43 : Graphe des Résultats des coliformes fécaux(CF) recherchés par la méthode MF.

- **Streptocoques fécaux :**

Les streptocoques sont les meilleurs témoins de la contamination fécale (**Brisou ; 1980**). Les concentrations des streptocoques fécaux obtenues au niveau des trois stations sont comprises entre 2 et 31SF/100ml. Ces résultats sont largement inférieurs à la valeur guide 100 SF/100ml ce qui élimine l'hypothèse d'une contamination fécale (Annexe II, Tableau 2).

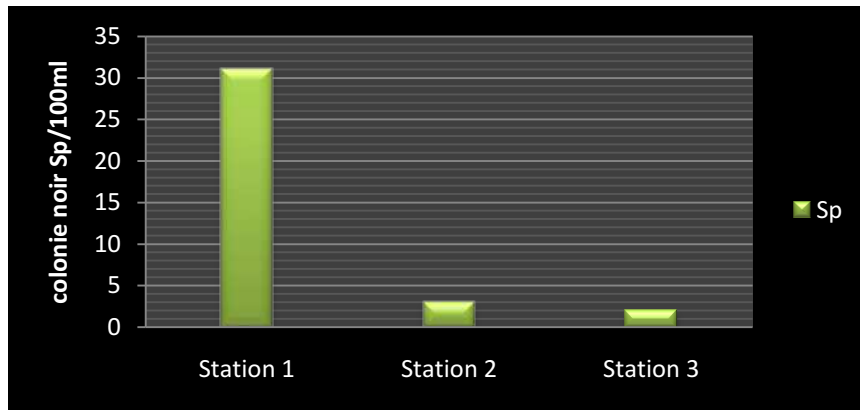


Figure II.44: des Résultats des streptocoques (Sp) recherchés par la méthode MF

c. Résultats de la recherche des vibrions et des salmonelles :

Les colonies suspectes sur TCBS ont été isolées et ont fait l'objet d'une identification. Ce sont des bacilles à Gram négatif mais le test d'oxydase est négatif. Ce qui nous permet de conclure l'absence des vibrions dans ces échantillons.

En ce qui concerne les salmonelles, les colonies roses à centre noire ont été isolées sur SS. Il s'agit de bacilles à Gram négatif, oxydase et catalase négatives. L'identification biochimique par galerie API 20E, a permis de se rapprocher de l'espèce de *Salmonella arizonae*.

d. Résultats des estimations des germes par la technique des NPP :

- Résultats de la numération des coliformes totaux :

Les concentrations moyennes en CT ne sont obtenues que dans les stations S1 et S3. Elles sont respectivement de 4500 et 1100 CT/100ml. Ces valeurs sont comprises entre la valeur guide (500 CT/100ml) et la valeur limite (10000 CT/100ml).

Nous remarquons que la valeur la plus élevée est celle enregistrée au niveau de la station S1 mais elle reste toujours inférieure et ne dépasse pas la valeur limite.

- Résultats de la numération des coliformes thermotolérants (fécaux):

Les concentrations en coliformes fécaux obtenues sont nulles dans les stations S2 et S3. Dans la station S1 le résultat est de 400CF/100ml. il est compris entre la valeur guide (100 CF/ 100 ml) et la valeur limite (2000 CF/ 100 ml).

Cette concentration est inférieure à la concentration des coliformes totaux obtenus dans la même station, chose tout à fait cohérente du fait que les coliformes fécaux sont un sous groupe des coliformes totaux.

- Résultats de la numération des streptocoques fécaux :

La concentration en streptocoques fécaux (SF) dans les stations S1 et S3 est nulle. Dans la station S2 elle est de 400 SF/100 ml. Elle dépasse de 4 fois la valeur guide (100SF/100 ml).

Comme conclusion, des résultats de cette analyse microbiologique nous pouvons dire que toutes les stations ne présentent pas de pollution. Tous les résultats obtenus pour les recherches de contaminants, ne dépassent pas les normes impératives, sauf pour les streptocoques fécaux qui indiquent une contamination d'origine fécale. Ce résultat à été obtenu seulement dans les sédiments en raison de leur granulométrie plus au moins grossière qui joue un rôle dans l'adsorption

Nous rappelons que ces analyses ont été obtenues à partir d'un seul prélèvement effectué dans de bonnes conditions météorologiques, en l'absence de vent et de l'agitation de l'eau.

Afin de déterminer la qualité de l'eau de baignade il faudrait multiplier les analyses ponctuelles tout au long de l'année, surtout pendant la saison estivale.

Dans la commune de Fouka Marine, les stations d'épuration domestiques et industrielles sont inexistantes ou à l'arrêt. Tandis que les réseaux de collecte de déchets et d'eaux usées sont défectueux ce qui fait que ces eaux sont directement rejetées en mer.

- **Impacts de ces différentes pollutions :**

Ces pollutions ont un impact sur l'évolution du trait de côte, sur l'homme mais également sur son environnement notamment la faune et la flore.

Sur la faune marine : Ces zones rocheuses recèlent de nombreuses espèces végétales et animales : des cystoseires à l'aspect épineux et de couleur marron, des padines, des hydrozoaires avec un aspect plumeux, des bryozoaires présentent sous des aspects diversifiés : encroûtant, dentelés ou ramifiés, des mollusques comme les porcelaines, les dattes de mer et les buccins. Des poissons comme les gobies, les rascasses, les serrans, les mérours, les murènes, les sars, les corbs et les labres.

Cette diversité écologique est constamment menacée par ces pollutions. Celles ci peuvent nuire au développement des espèces. Elles peuvent mener parfois à la disparition de certaines en raison de la modification de leur milieu, ou de la prolifération d'espèces invasives.

Sur la flore marine : Les écosystèmes à *Posidonia oceanica* jouent un rôle clé dans les équilibres littoraux, à la fois sur le plan écologique, patrimonial et économique. Ils sont particulièrement vulnérables aux impacts de l'homme. Ils ont régressé de façon préoccupante le long de la côte de Fouka Marine.

Cette régression est due à l'impact des eaux usées, essentiellement, domestiques sur ces écosystèmes en raison de leur sensibilité aux eaux chargées en matériel particulaire organique, qui diminuent les concentrations en oxygène dissous et sédimentent sur les feuilles des herbiers.

Chapitre III

Approche prospective de l'évolution du trait de côte

III.1. Evolution du trait de côte :

La prédiction des tendances de la morphologie côtière et par conséquent l'évaluation de risque associé se concentre sur la compréhension des changements qui se sont produits dans le passé. Historiquement, ceci a été fait par le biais du suivi et de l'enregistrement des données grâce à une variété de bases de données telles la photogrammétrie aérienne ou l'imagerie satellitaire.



Figure III.1 : Evolution du trait de côte de la zone de Fouka Marine entre 1959 et 2009.

L'obtention de l'évolution du trait de côte est réalisée par la superposition de deux photographies aériennes établies sur la base de la carte INCT de 1959 et de 1980 et l'image satellitaire (Google Earth 2009).

L'analyse diachronique de cette évolution nous a permis d'observer l'évolution d'ensemble du trait de côte, avec des particularités ponctuelles. Ce qui nous a conduits à subdiviser la côte de Fouka Marine en quatre zones distinctes.

L'ensemble de ces observations est retranscrit dans le tableau suivant.

Zone	Observations	
	1959-1980	1980-2009
Zone 1	Recul du trait de côte au niveau des habitations avec une vitesse moyenne de 0.58m/an.	Recul du trait de côte avec une vitesse moyenne de 0.34m/an. Le reste du linéaire de la zone 1, est presque stable. Nous constatons une faible diminution du recul mais il est toujours présent.
Zone 2	Recul très important au niveau de cette zone, accentuée avec l'installation des habitations et des infrastructures. la vitesse moyenne est de 0.69m/an.	Un léger recul du trait de côte avec une vitesse moyenne de 0.25m/an. Le recul est très remarquable après l'installation des nouvelles habitations.
Zone 3	Nous remarquons une légère stabilité du trait de côte à l'Ouest de la zone 3. A l'Est le recul est visible avec une vitesse moyenne de 0.57m/an. Il est très important au niveau de la falaise	Pour cette période, on remarque que le taux de recul est légèrement constant, il est de l'ordre de 0.42m/an. Cette zone a toujours subit le même phénomène
Zone 4	Nous constatons un léger avancement, dans quelque partie de la zone 4, du trait de côte avec une vitesse moyenne de 0.44m/an. Mais le recul est aussi présent avec une vitesse moyenne de recul de 0.54m/an.	Le recul ne s'est pas arrêté dans cette partie là, il avance avec une vitesse moyenne de 0.44m/an.

En analysant ces résultats, nous remarquons que l'implantation des habitations, le long du linéaire côtier de Fouka Marine de 1959 à 2009, a favorisé le déclenchement du phénomène de l'érosion au niveau de ce site.

Le taux de recul du trait de côte est lié directement ou indirectement à l'artificialisation du littoral, à savoir l'urbanisme. Les courbes suivantes illustrent clairement que le recul du trait de côte a tendance à augmenter avec le temps si aucune mesure ne sera prise ralentir le phénomène de l'érosion :

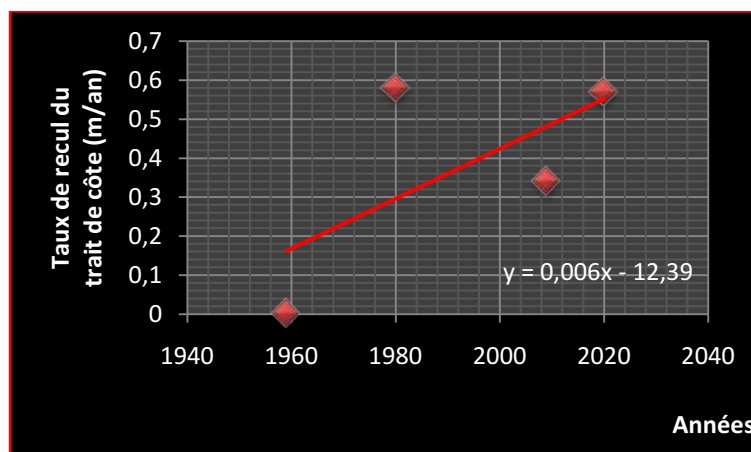


Figure III.2: Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone1).

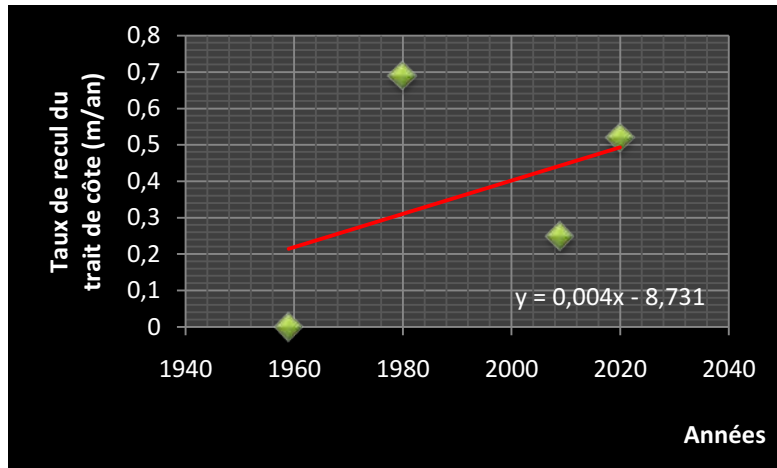


Figure III.11 : Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone2).

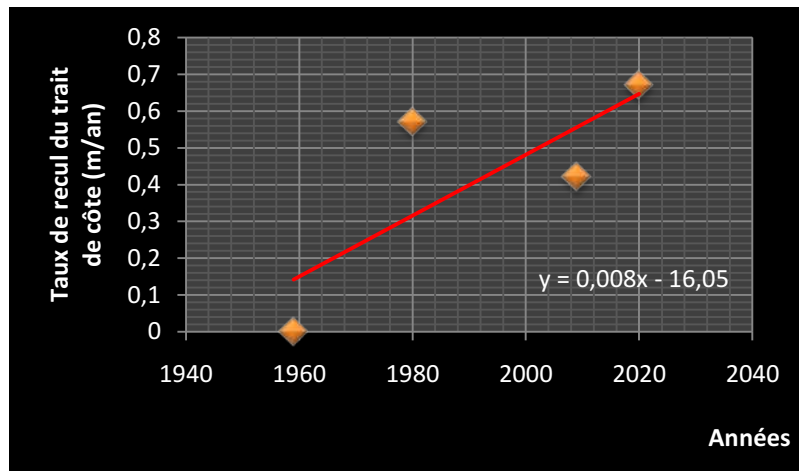


Figure III.12 : Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone3).

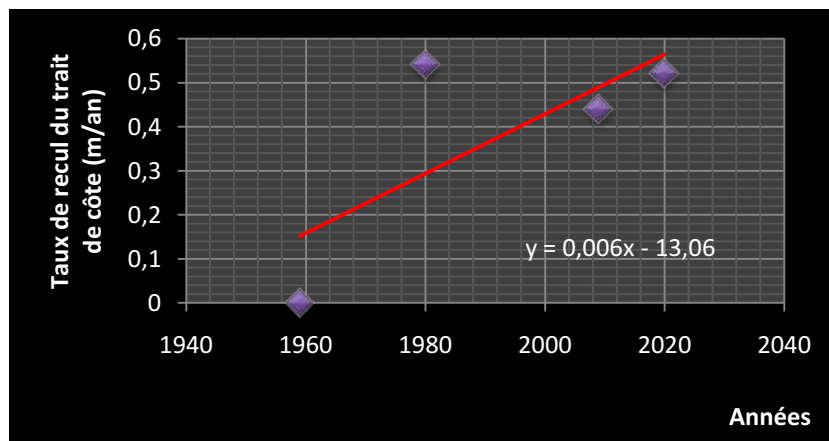


Figure III. 13 : Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone4).

III.2. Estimation des biens à protéger :

Cette érosion qui est devenue un phénomène chronique d'échelle pluriannuelle, son accélération récente a nécessité une intervention en urgence dans la mesure où la valeur des biens menacés est justifiée.



Figure III 6 : Carte des surfaces des aménagements urbains à protéger.

Le recul du trait de côte menace le patrimoine naturel (falaise, plages, faune et flore..), les habitations, les routes, et les terres agricoles sans oublier les activités locales (pêche artisanale).

Si on prend une fourchette du prix du mètre carré sur cette zone entre 50000-80000Da, au totale la somme de : **240 000 000DA(TTC)**, sera nécessaire pour protéger les habitations. Sachant que la moitié de ces habitations sont illicites, leur prix alors diminuera.

En comparant avec le Coût total de la protection qui est de : **568 830 600 DA(TTC)**, nous pouvons dire que dédommager les populations (environ 58% du coût de la protection) et les mettre à l'abri, à l'intérieur du pays, coûterait moins cher que la construction de ces ouvrages. Par contre le coût des travaux de notre proposition serait de **330 000 000 DA(TTC)**. Cette proposition est plus chère de 27.2% par rapport au dédommagement.

En comparant toutes ces propositions nous pouvons choisir entre :

- Laisser la nature suivre son évolution, mais dans ce cas la route et les terres agricoles seront les plus menacées. Une protection légère est nécessaire.
- Placer un ouvrage léger, comme notre proposition, prend beaucoup de temps. Pendant ce temps le recul continu vers l'intérieur.
- Intervenir immédiatement coûtera plus cher mais remédiera efficacement à ce phénomène d'érosion.

Chapitre IV

Impacts socio- économiques de l'évolution du trait de côte

Introduction

L'érosion que vit le littoral de Fouka Marine a des conséquences multiples. Elle affecte les habitations, les infrastructures, les terres agricoles ainsi que l'activité des hommes. Dans ce chapitre nous allons essayer de présenter certains de ces impacts.

IV.1. impact sur les habitations et les infrastructures de base :

Le recul du trait de côte menace fortement les habitations installées aux rivages. Toute solution envisagée pour leur protection ou le dédommagement de leurs occupants restera considérables. Dans les deux cas le rivage sera touché.

IV.2. Agriculture et forêts :

Fouka Marine possède d'énormes potentialités agricoles. Elle est dotée d'une belle forêt (Benoît), menacée par les tissus urbains riverains. L'ensemble couvre une aire totale 1122 ha distribuée comme suit :

- EAI (exploitations agricoles individuelles)
- EAC (exploitations agricoles collectives)
- Terres agricoles relevant du domaine privé
- Et espaces forestiers.

Actuellement les terres agricoles occupent 845 ha. Le mitage des terres agricoles au profit de l'urbanisation est très accentué.

La façade côtière de Fouka Marine connaît une tendance au recul vers les terres. Elle obéit à une logique inverse de progression vers la mer et de fixité du trait de côte.

La conjugaison de forts aléas, recul du trait de côte et enjeux considérables concentrés sur un espace restreint, crée une grande vulnérabilité sur la frange côtière. Aujourd'hui fortement investi, cet espace devient un territoire à risques.

L'urbanisation anarchique a donné naissance à des tissus totalement déstructurés empiétant les terres agricoles d'une part et la forêt péri urbaine d'autre part.

Il apparaît que la problématique essentielle réside dans la maîtrise de la croissance urbaine au profit de la préservation des espaces agricoles. Qui sont menacées et par la croissance urbaine et par le recul du trait de côte. Ce dernier va engendrer une diminution du rendement agricole du fait de la salinisation des sols causée par les intrusions marines.

IV.3. Perte des plages :

Le recul du trait de côte va engendrer la disparition des plages telles que la plage de Fouka Marine, ce qui nous a incité à proposer une alimentation artificielle pour tenter de la récupérer.

Car les plages constituent un patrimoine naturel et économique qui contribue à l'amélioration du rendement économique par l'attrait touristique et la fréquentation des estivants. Même les côtes à falaises seront fragilisées par le recul du trait de côte qui va contribuer à leur érosion et leur déstabilisation, ce qui constitue une menace pour les

habitants d'une part et un obstacle pour la pratique des activités de pêche artisanales d'autre part.

IV.4. Analyse systémique :

La commune de Fouka a connu une évolution massive et rapide de sa population générant une croissance urbaine spontanée et anarchique engendrant la dégradation de son environnement.

Elle souffre de plusieurs problèmes dont l'érosion et la pollution qui constituent les principales causes de dégradation de la zone. D'après le tableau (IV.1) et la carte (IV.1), nous remarquons que la zone de Fouka Marine est située entre plusieurs zones, qui elles aussi souffrent des mêmes problèmes, pour cela il est recommandé de traiter l'ensemble de ces zones en tant qu'unité physiographique.

Il y'a nécessité d'avoir une vue d'ensemble des processus qui agissent sur l'environnement et les effets des activités humaines sur cet environnement, c'est pourquoi l'application d'une Gestion Intégrée des zones côtières (GIZC) est vivement recommandée pour cette zone.

La GIZC est un processus dynamique qui réunit l'Etat, la société civile, la communauté scientifiques, les décideurs ainsi que les intérêts publics et privés en vue de la protection et du développement du littoral et des ressources côtières.

Ce processus vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur utilisation raisonnable et raisonnée (Cicin-Sain Knecht, 1998).

Dans le tableau suivant nous exposerons les pressions exercées sur le littoral, les indicateurs de pressions, et les solutions alternatives des parties qui constitue l'unité physiographiques, à la quelle appartient Fouka Marine.



Figure IV.1 : Carte récapitulative de quelques pressions agissant sur la zone de Fouka Marine.

Tableau IV. 2 : Tableau récapitulatif des pressions de leurs impacts et propositions de quelques solutions.

	Unité	Pressions	Indicateurs de pression	Solutions alternatives
Zone I Bou- Ismail	Station de dessalement	<ul style="list-style-type: none"> - Voie routière parallèle au rivage piétinement/stationnement - Erosion marine. - Disparition de la plage - Rejet d'eau très chaude 	<ul style="list-style-type: none"> - 07 points de rejets vers la mer sans prétraitement. - 2 516.90 m³ /j d'eau usée rejetée en 2003. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mise en place d'une station d'épuration des eaux
	Front de mer Est	<ul style="list-style-type: none"> - Rejets industriels et domestiques polluants - Erosion marine - Risques d'instabilité pour les constructions limitrophes (action hydrodynamique) - Démaigrissement de la plage. - Tonic emballage : fabrication de boites et produits d'emballage. - Sarl Prochima: fabrication de produits d'entretien - Pfizer : fabrication des produits vétérinaires. - Kagclace : fabrication de bouteilles en verre 	<ul style="list-style-type: none"> - Eaux usées contenant des macro déchets (papiers, verre, bois,,) et des produits chimiques ,savon causant des nuisances à l'herbier de posidonie - Tentative d'assainissement et de traitement par le chlore en poudre, qui n'a fait qu'accentuer la pollution chimique - Étalement des nappes rouges et blanches allant des points de rejets vers la mer 	<ul style="list-style-type: none"> - L'accès aux plages polluées doit être interdit. - Traitement des eaux usées - Délocalisation des activités économiques nuisibles à la frange littorale. - Exiger des industries installées sur le littoral un prétraitement des eaux usées qu'elles rejettent. - Soumettre a une étude d'impact sur l'environnement toute activité sur le littoral

Chapitre IV : Impacts socio-économiques de l'évolution du trait de côte

	Front de mer centre	<ul style="list-style-type: none"> - Dégradation du bâti par les embruns marins - Pollution par les eaux et macro déchets - Mauvaise conception des ouvrages de protection (épis et T +mur de soutènement) - Piste carrossable parallèle au rivage 	<ul style="list-style-type: none"> - Recul du trait de côte du front de mer de 1.60m/an - Pollution microbiologique : coliformes fécaux 448ufc/100ml en Février 2008 - Retentions des eaux usées par les épis en T - Dénaturalisation du paysage par le mur de soutènement 	<ul style="list-style-type: none"> - Redimensionnement ou entretien des ouvrages de protection - Application des mesures de traitements, de retraitement et de dépollution des eaux avant les rejets - Application d'un dispositif permettant les échanges entre le large et la côte
	Front de mer Ouest	<ul style="list-style-type: none"> - Rejets d'eau usée en mer - Problèmes d'érosion - Disparition de la plage entre Khmisti et Bou-Ismail 	<ul style="list-style-type: none"> - Extraction illicite de sable (entre 10 et 20% du sable) 	<ul style="list-style-type: none"> - Assainissement des eaux usées afin d'assurer une salubrité des eaux de baignade. - Alimentation artificielle pour récupérer la plage initiale. - Travaux de protection contre l'érosion.

Chapitre IV : Impacts socio-économiques de l'évolution du trait de côte

<p>Zone II</p> <p>Zéralda</p>	<p>–</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Recul du trait de côte depuis 2005, ce recul est bien visible car il cause des dégâts importants dans les fondations du complexe touristique – Erosion de la plage liée aux houles frontales du secteur nord-ouest – Système de défense (3 brises lames et un épi) – Pollution par les macros déchets et les eaux usées – Démolition des maisons, et disparition du coté ouest de la plage – Aménagement de la ZET sur le cordon dunaire. – Deux stations de dessalement d'une capacité de 250 m³ /j chacune. – Usine MIDY peinture : production de peinture et de vernis 	<ul style="list-style-type: none"> – Eau très polluée (contamination par les coliformes fécaux 1148ufc/100ml) et (streptocoques fécaux 752ufc/100ml) en Février 2008. – Recul du trait de cote jusqu'à la fondation du complexe touristique. – Station de traitement non fonctionnelle. – Pollution et risque d'incendie causés par les rejets de graisses résine et liquides inflammables rejetés en mer par l'usine. – 07points de rejets; débits d'eaux rejetée 2215.712 m³ /j. (en 2003). – Dégradation de l'herbier de posidonie 	<ul style="list-style-type: none"> – Traitement et prise en charge immédiate des eaux polluées avec un suivi régulier de la qualité des eaux (surtout en saison estivale). – Révision de l'incidence environnementale causée par la ZET de Zéralda et l'orientation de tous ces projets vers une étude d'impact sur l'environnement – Rechargement artificiel pour la plage. – Contrôler la qualité des rejets de l'usine et du complexe touristique – Création d'aires de plaisance et équipements de sport subaquatique. – Sensibilisation des citoyens et du personnel du complexe touristique des conséquences liées au non respect de l'environnement
-------------------------------	----------	---	--	--

Chapitre IV : Impacts socio-économiques de l'évolution du trait de côte

<p>Zone III Sidi Fredj</p>	<p>Secteur Ouest</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Arasement des dunes pour utilisation dans la construction. - Démaigrissement de la plage militaire - Quasi disparition de la plage de thalassothérapie. - La jetée militaire, a provoqué l'amincissement de la plage située à l'Est de l'épi - Enrochements de protection déposés anarchiquement - Urbanisation avec l'aménagement du Sheraton II 	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution thermique causée par les rejets de thalassothérapie - Des injections de sable ont été effectuées (4 000 à 5 000m³) pour agrandir la largeur de la plage de thalassothérapie - L'épi de la plage de thalasso a provoqué un piégeage de sédiment induisant un dépôt de sable à l'amont et une érosion à l'aval. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rechargement artificiels après étude granulométrique. - Rechargement de la plage Ouest par des agrégats estimé à minimum 720000m³(Annane et Kémila, 2007) - Interdiction de tout type d'aménagement dans la bande des 100m. - Aménagement de voies d'accès et protection des dunes. - Plantation des dunes par des oyats - Élimination des enrochements anarchiques devant la plage militaire et sa protection par un géotube.
<p>- Zone IV Oued Mazafran</p>	<p>-</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pollution marine à l'embouchure de l'oued - Risques d'inondations en période de crue - Rejets industriels et domestiques polluants - Extraction abusive d'agrégats et de sable du lit de l'oued. - Implantation du barrage de Bou Roumi au niveau des affluents de l'oued, causant un déficit sédimentaire pour les zones limitrophes. - Accentuation de l'érosion et risques d'intrusion marine - Réduction de l'engraissement de l'embouchure 	<ul style="list-style-type: none"> - Recul de 0.35 à 1.4 m/an à l'embouchure de l'oued entre 1959 et 1999. - L'embouchure de l'oued constitue un point de rejet en mer (collecteur des eaux résiduaires des agglomérations des willayas : Tipaza, Blida, une partie d'Alger et des industries de Boufarik). - Débit d'eaux usées rejetées en 2005 :132.978 - Pollution importante par les détergents anioniques observée en 2003 à proximité des embouchures de l'oued. - Risque de contamination de la nappe aquifère de l'oued par une pollution chimique due aux eaux de percolation du lixiviat de la décharge (CNERU). 	<ul style="list-style-type: none"> - Nécessité d'installation d'une station d'épuration des eaux et de recyclage des déchets - travaux d'aménagements et de dépollution au niveau du bassin versant de l'oued - application de la loi interdisant l'extraction du sable des lits des oueds et imposition des sanctions sévères. - Interdiction d'installation d'activités ou des habitations anarchiques à la périphérie de l'oued.

<p>Zone V</p> <p>Fouka Marine</p>	<p>–</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Érosion marine causée par, la houle, l'extraction abusive du sable, et la construction près du rivage – Disparition de la plage de Fouka Marine – Démaigrissement de la plage de Gadea Visal. – Invasion du bâti par le déferlement des eaux de mer (habitations pied dans l'eau) – Occupation côtière non contrôlée – Effondrement des pieds des falaises – Rejets d'eaux usées qui se déversent en mer sans traitement préalable. – Existence des rejets individuels venant des fausses septiques. – Décharge sauvage à Douaouda marine recevant tous types de déchets (ménagers, hospitalier, commerciaux, industriels) – Prolifération d'habitations anarchique. – Pollution agricole, atmosphérique, hydrique 	<ul style="list-style-type: none"> – 4.92km de linéaire côtier, 1.64 km linéaire côtier artificialisé soit un taux d'artificialisation de 33.33% – Disparition des dunes dans la plage de Gadea Visal. – Le réseau d'assainissement existant est de type unitaire. – Le taux de raccordement à ce réseau est de 83,57 % (Source : MRE). – Le débit des eaux usées rejeté est égal à 2357.06 m³/j, – La Charge de pollution est de 848.304 kg/j. – Pollution atmosphérique par : Atlas Tabaco (production du tabac et dégagements des odeurs). – Pollution hydrique et par les déchets solides : Groupe Knmine Matelot – Eaux usées issues du lavage de la matière première (Thon et Sardines) – rejet des têtes et des arrêtes mélangées aux eaux usées. Eaux usées caractérisées par une DBO élevée 	<ul style="list-style-type: none"> – Installation d'une station d'épuration est indispensable entre Fouka et Douaouda – Mise en place d'un programme de protection contre l'érosion pour diminuer l'effet destructeur des houles par des brises lames flottant – Interdiction des constructions sur les pentes de plus de 20% – Mise en place d'un système de traitement des déchets par enfouissement et par tassement. – Séchage des fosses septiques – Sensibilisation des citoyens sur les pratiques d'hygiène et du respect de la nature
-----------------------------------	----------	--	---	---

Chapitre IV : Impacts socio-économiques de l'évolution du trait de côte

<p>Zone V</p> <p>Fouka Marine</p>	<p>–</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Érosion marine causée par, la houle, l'extraction abusive du sable, et la construction près du rivage – Disparition de la plage de Fouka Marine – Démaigrissement de la plage de Gadea Visal. – Invasion du bâti par le déferlement des eaux de mer (habitations pied dans l'eau) – Occupation côtière non contrôlée – Effondrement des pieds des falaises – Rejets d'eaux usées qui se déversent en mer sans traitement préalable. – Existence des rejets individuels venant des fausses septiques. – Décharge sauvage à Douaouda marine recevant tous types de déchets (ménagers, hospitalier, commerciaux, industriels) – Prolifération d'habitations anarchique. – Pollution agricole, atmosphérique, hydrique 	<ul style="list-style-type: none"> – 4.92km de linéaire côtier, 1.64 km linéaire côtier artificialisé soit un taux d'artificialisation de 33.33% – Disparition des dunes dans la plage de Gadea Visal. – Le réseau d'assainissement existant est de type unitaire. – Le taux de raccordement à ce réseau est de 83,57 % (Source : MRE). – Le débit des eaux usées rejeté est égal à 2357.06 m³/j, – La Charge de pollution est de 848.304 kg/j. – Pollution atmosphérique par : Atlas Tabaco (production du tabac et dégagements des odeurs). – Pollution hydrique et par les déchets solides : Groupe Knmine Matelot – Eaux usées issues du lavage de la matière première (Thon et Sardines) – rejet des têtes et des arrêtes mélangées aux eaux usées. – Eaux usées caractérisées par une DBO élevée 	<ul style="list-style-type: none"> – Installation d'une station d'épuration est indispensable entre Fouka et Douaouda – Mise en place d'un programme de protection contre l'érosion pour diminuer l'effet destructeur des houles par des brises lames flottant – Interdiction des constructions sur les pentes de plus de 20% – Mise en place d'un système de traitement des déchets par enfouissement et par tassement. – Séchage des fosses septiques – Sensibilisation des citoyens sur les pratiques d'hygiène et du respect de la nature
-----------------------------------	----------	--	--	---

Chapitre IV

Solutions d'aménagement

V.1. solution proposée par le LEM :

L'ouvrage recommandé par le LEM pour protéger le site de Fouka Marine, est une protection frontale. L'optimisation de cette protection a été réalisée à partir de modèle réduit dans un canal à houle. Nous exposerons dans ce qui suit, le principe des essais sur modèle réduit réalisés par le LEM et les étapes de leur réalisation, ainsi que les caractéristiques de la protection optimisée.

En dernier lieu nous exposerons d'autres méthodes de protection, qui pourraient être proposées comme alternatives pour ce site.

Ces ouvrages peuvent être conjugués ou associés ensemble, vue leurs actions complémentaires. Comme un rechargement associé à un brise lames en géotubes, ce qui sera adéquat pour la plage. Un brise lame en enrochement associé à une protection frontale sera plus adéquat pour la protection de la falaise.

V.1.1. Les essais sur les modèles réduits :

V.1.1.1. Principe des essais sur modèles réduits :

Le principe des essais sur modèles réduits physique (E.M.R.P) se base sur l'idée de voir en petit (modèle) ce qui se passe en grand (prototype).

L'étude de la construction d'un ouvrage hydraulique commence par préciser l'ordre de grandeur des dimensions. Ceci en se basant sur les ouvrages déjà existant, et en tenant compte de l'application des formules théoriques ou empiriques de l'hydraulique classique à l'écoulement considéré. Les essais sur modèle réduit offrent la facilité des mesures en laboratoire.

Les essais ont été réalisés dans un canal à houle pour notre site d'étude. Cela pour voir la réaction de l'ouvrage face à une attaque frontale. Les essais peuvent être effectués dans un bassin à houle quand dans le cas où l'ouvrage présente des points fragiles, par exemple les essais pour la stabilité d'un port.

Un problème essentiel se pose : dans quelles mesures et suivant quelles lois les résultats trouvés sur le modèle peuvent être transposés dans l'écoulement naturel en grandeur nature (prototype) ?

Si le modèle est géométriquement semblable au prototype les dimensions linéaires homologues du modèles-prototypes sont dans le rapport λ (échelle du modèle):

$$\lambda = \frac{\text{modèle}}{\text{prototype}}$$

Les modèles réduits hydrauliques doivent satisfaire à une similitude géométrique, cinématique et dynamique. Le but de tels modèles est de reproduire la propagation de l'énergie de la houle et son action sur des obstacles (ouvrages).

Les caractéristiques essentielles pour une telle étude sont : la vitesse, le débit, la pression, les forces et les poids. Ces caractéristiques sont réduites par rapport à celles du prototype suivant des rapports différents :

λ_v : rapport des vitesses

λ_Q : rapport des débits

λ_p : rapport des pressions

λ_f : rapport des forces

Ces 4 rapports doivent être correctement déterminés et constants, pour que les résultats obtenus dans le modèle réduit soient transposables dans la réalité. Ils doivent aussi être connu en fonction de λ .

V.1.1.2. les similitudes :

- **la similitude géométrique :**

C'est le rapport des dimensions linéaires du modèle sur le prototype :

$$\lambda = \frac{L_2}{L_1}$$

Avec : L_1 : distance en nature (prototype)

L_2 : distance en modèle

- **la similitude cinématique :**

Celle-ci exige que les accélérations soient dans un rapport défini λ_v et constant en tout points correspondants des 2 écoulements.

- **la similitude dynamique:**

Les mouvements du liquide dans le modèle et le prototype sont provoqués par des forces.

Afin que les deux systèmes (modèle et prototype), soient dynamiquement semblables, il est nécessaire que toutes les forces agissent dans des points homologues.

Les principales forces qui interviennent en hydraulique sont : les forces d'inertie, de turbulence, de pesanteur, de viscosité, capillarité. Toutes ces forces sont exprimées en fonction de λ .

V.1.1.3. les lois de similitudes utilisées:

Suivant la nature de l'écoulement considéré diverses catégories de forces interviennent d'une manière plus en moins importante. Les forces d'inertie ne peuvent jamais être négligées, puisque la masse d'eau est toujours en mouvement. Les autres forces sont conditionnées par le problème étudié.

Dans les essais pour la protection de la falaise de Fouka Marine, les principaux phénomènes mis en jeu sont : propagation d'une onde de gravité, équilibre de corps solides... Les forces d'accélération (inertie et gravité) sont privilégiées. Pour cela, on s'intéresse à la similitude de Reech Froude. Cette dernière néglige les forces de viscosité par rapport aux forces d'inertie, de pesanteur, et de turbulence.

La similitude de Froude impose que les rapports des forces non négligées soient les mêmes. On utilisera pour cela le nombre de Froude (sans unité), qui est le même sur le modèle et le prototype.

La condition de similitude revient donc à réaliser un écoulement possédant le même nombre de Froude, en modèle et en nature.

Le nombre de Froude Fr:

$$Fr = \frac{V_2}{\sqrt{gL_2}} = \frac{V_1}{\sqrt{gL_1}}$$

Avec : V_1 : vitesse de la particule en nature.

V_2 : vitesse de la particule en modèle.

Il existe d'autres similitudes, comme la similitude de Reynolds. Dans celle-ci c'est la pesanteur qui est négligée. La condition imposée par cette similitude est que tous les rapports de turbulence, d'inertie, de viscosité soient les mêmes.

Pour des raisons de simplicité pratique, pour les essais des ouvrages de protection de la falaise de Fouka Marine, seule la similitude de Froude a été prise en considération. Il en résulte quelques distorsions sur certains phénomènes généralement secondaires pour la dynamique du modèle.

V .1.1.4. Les distorsions :

- **Distorsion due à la viscosité :**

Pour que la représentation des forces de viscosité soit correcte, il est théoriquement nécessaire que la similitude adoptée laisse invariant le nombre de

$$Re = \frac{L_1 V_1}{\mu_1} = \frac{L_2 V_2}{\mu_2}$$

Reynolds Re:

Avec : μ_1 : viscosité cinématique du fluide dans la nature.

μ_2 : viscosité cinématique du fluide dans le modèle.

- **Distorsion due à la densité de l'eau :**

L'eau utilisée dans le modèle est douce ($\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3$) alors qu'elle est salée réellement, donc plus dense, dans la réalité ($\gamma_w = 1025 \text{ kg/m}^3$). La masse spécifique de l'eau intervient directement dans les forces de nature inertielle, proportionnelles aux volumes et aux accélérations, ainsi que dans les poussées d'Archimède.

En fait, cette caractéristique intervient globalement sur la stabilité suivant une relation empirique, la formule de stabilité d'Hudson, qui traduit les conditions d'apparition d'un certain degré de dommage.

$$W = \frac{\gamma_r H_s^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \alpha}, \quad S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_w}$$

Avec :

W : poids des blocs(en béton ou enrochement) en tonnes.

H_s : Hauteur significative des vagues incidentes

γ_r : Masse spécifique du matériau constituant les blocs.

γ_w : Masse spécifique de l'eau (masse volumique).

K_D : Coefficient empirique de la stabilité propre du bloc.

α: Angle du talus de la digue avec l'horizontale.

Pour compenser de manière simple la distorsion qu'entraîne l'emploi de l'eau douce, il suffit donc d'adopter pour les modèles de blocs (réduits à l'échelle) un matériau de densité inférieure à celle des blocs du prototype de manière à ce que le groupement soit le même dans le modèle et le prototype :

$$\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1$$

Ainsi, avec γ_r (1025 kg/m³) pour le prototype. Et γ_w (1000 kg/m³) pour le modèle, les valeurs de la masse spécifique des matériaux à utiliser, pour représenter les blocs artificiels de béton, sont : 2 341 Kg/m³ au lieu de 2 400 Kg/m³, pour les enrochements naturels, un facteur de correction égal à 0,87 intervient directement sur leur poids.

V.1.1.5. Construction du modèle réduit :

- **Description du canal à houle :**

Les essais sont réalisés dans un canal à houle dont les dimensions principales sont : une largeur de 0.6m, une longueur de 40m, une profondeur de 1.10m. Il est équipé d'un générateur de houle régulière et aléatoire, constitué :

- D'un volet plan
- Un vérin hydraulique asservi en position sur un signal de commande continu
- Un générateur électronique qui élabore le signal de commande lié à un programme de génération à l'aide d'un ordinateur, représentant un train de houle réel enregistré en nature en converti en train de houle. Dans le cas d'une houle aléatoire, comme celle utilisée pour l'étude de la protection de Fouka Marine, le signal est effectivement aléatoire suivant une durée de tempête préalablement fixée.
- Deux grandes baies vitrées de 6m de longueur permettent l'observation directe des essais.
- Une conduite met en communication la partie du canal (située à l'arrière de la maquette de l'ouvrage) et la partie profonde où se trouve l'ouvrage pour éviter une surélévation du plan d'eau causée par les franchissements répétés.

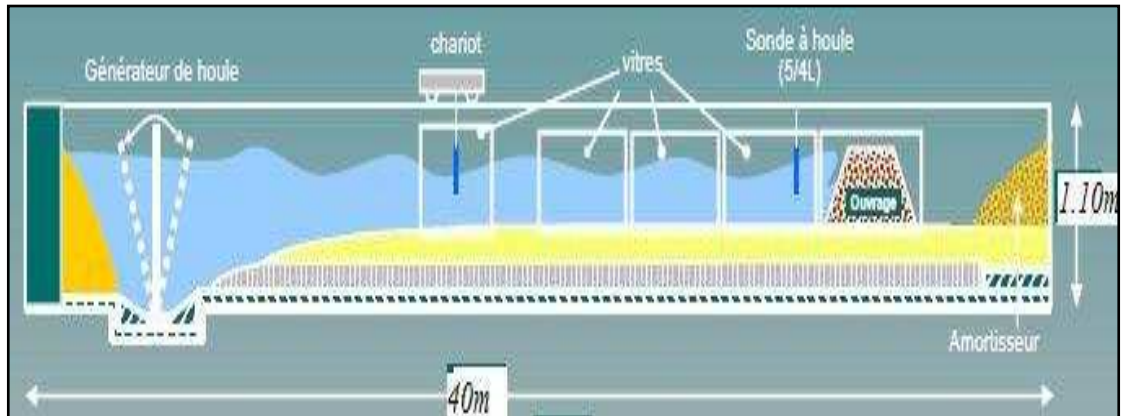


Figure V.1 : Schéma type d'un canal à houle

V.1.1.6. les moyens d'essai :

- **Génération de la houle :**

La houle appliquée sur la maquette est générée par un batteur fonctionnant dans un plan horizontal, dont le placement est comparable à un piston. Le déplacement du volet est assuré par un vérin lui même actionné par un groupe de puissance hydraulique à 110 bars.

Le tout est piloté par un générateur électronique qui est lié à un programme de génération à l'aide d'un ordinateur représentant un train de houle réel enregistré en nature et converti en train de houle en modèle.

Les périodes et amplitudes simulées en modèle sont obtenues respectivement par variation de la vitesse et par amplification du signal de puissance (Out - Put) du générateur électronique.



Figure V.2: Cabine de pilotage des essais

- **Mesure de la houle :**

Détermination de Hs : c'est l'amplitude significative de la houle qui est égale à la moyenne de 1/3 des plus grandes vagues (H1/3).

Définition de Tp : C'est la période de pointe dans un train de houle caractérisant le maximum d'énergie du spectre. Généralement celle utilisée c'est la période de pointe du spectre de John Swap.

$$T_p = \frac{2\pi}{0.25 + \frac{1.8}{H_s + 0.6}}$$

La houle générée dans le modèle est enregistrée par des capteurs de houle (sondes) basés sur le principe de conductance électrique entre deux électrodes.

Les signaux des capteurs de houle sont enregistrés en continu et analysés par un microprocesseur préprogrammé " Multi Channel Wave Analyser " qui peut traiter jusqu'à 32 canaux.

V .1.1.7. Moyens mis en œuvre et observations effectuées:

- Observations hydrauliques: Pour chaque configuration d'essai sont notés: les franchissements (nature, localisation, importance) et les déferlements. Ces observations sont ensuite corrélées avec les dégâts pour une analyse complète.
- Observations des dégâts: L'observation des dégâts est principalement faite dans trois zones sensibles de l'ouvrage. Dans ce cas d'étude c'est la carapace. L'observation est faite aussi sur la stabilité des enrochements et estimation des dégâts. Ces observations sont faites pendant le déroulement des essais (mode de dégradation) et à la fin des essais, après vidange (évaluation des dégâts).
- Moyens mis en œuvre pour les observations : Pour conserver les résultats de ces observations, trois supports ont été utilisés un support écrit, un support photographique, et un support vidéo. La confrontation de ces trois modes d'observations permet une analyse objective de l'essai.

V.1.1.8. Condition des essais:

- Niveau d'eau : Afin d'étudier les conditions de houles les plus défavorable, deux niveaux d'eau ont été retenus soit : $\pm 0,00$ ZH, la série d'essais sera pour des hauteurs de mer de $0,00$ ZH. et le $+0.50$ ZH pour l'essai d'endurance, Appliquer une série progressive à partir de $0,5$ m ZH. (ZH: étant le zéro hydrographique).
- Les houles : Pour les essais hydrauliques en canal à houle, la direction de houle à prendre en considération est la direction frontale à l'ouvrage en étude, qui est dans ce cas la direction N270°.

Tableau V.1 : Caractéristiques de la houle à -5m

Période de retour /Direction	Nord 270°
Biennale (2ans)	3.18 m
Décennale (10ans)	3.43 m
Vingtennale (20ans)	3.46 m
Cinquantennale (50ans)	3.55 m

V.1.1.9. Conduite des essais :

Chaque essai est exécuté avec une houle augmentant par palier progressif. Un palier de houle est caractérisé par un couple : hauteur significative (Hs) et une période de pointe (Tp).

La durée de chaque test est de 15 minutes en modèle ce qui correspond à une tempête de 1h 30min en nature, la durée de la série d'endurance est de 2 h en modèle correspondant à une tempête de 12h environ en nature.

Avant d'appliquer les houles exceptionnelles, l'ouvrage est soumis à des houles dites de tassement, qui ont pour but de réaliser l'imbrication naturelle des blocs de la carapace.

V.1.1.10. Calibration : (réglage hydraulique du modèle) :

Après la construction des fonds, il faut procéder à la calibration du modèle. Ce réglage a pour but d'une part de procéder à la mise au point de l'appareillage, et d'autre part d'ajuster les conditions expérimentales de manière à ce que l'ensemble des paramètres hydrauliques soit reproduit conformément à la nature.

V.1.1 .11.Caractéristique de la protection frontale optimisée en canal à houle:

La falaise concernée par cette protection se localise dans la partie Ouest du site, d'une longueur totale de l'ordre de 500 m linéaire. le tronçon de cette falaise est divisé en deux (02) segments :

- Segment Ouest présente une falaise variant entre 14m et 5m de hauteur ;
- Segment Est présente une falaise moins élevée variant entre 5 et 3m.

Les résultats des essais d'optimisation de chaque variante proposée dans la phase APS (Avant Projet Sommaire)) sont résumés dans les deux tableaux suivants :

Tableau V .2 : Résultats des essais des variantes testées en modèle réduit physique.

Variantes du segment Ouest	Observations	Conclusions
<p>Variante 1 : Le profil de la variante 1 est constitué comme suit :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un noyau en T.V.C prolongé par une assise arasée à la côte -2.60m suivant une pente de 2/1. • Une sous couche en enrochements de (1-2) t arasé à la cote +6.00 m suivant une pente de 2/1. • Une carapace en BCR de 5t arasé à la côte +5.00 m suivant une pente de 2/1. 	<ul style="list-style-type: none"> • La houle déferle avant l'ouvrage. • Très légers embruns sur l'ouvrage pendant l'essai de la houle vingtennale. • Rocking d'un BCR de 5 t pendant l'essai de la houle Cinquantennale. • Franchissements atteignent la berme de la carapace en BCR de 5t mais ne dépassent pas la sous couche en enrochement de (1-2)t pendant l'essai d'endurance. 	Profil stable
<p>Variante 2 : le profil de la variante 2 se caractérise par le remplacement des BCR de 5t par des enrochements de (3-6) arasé à la cote +5.00 m.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La houle déferle avant l'ouvrage. • Embruns importants atteignant la berme de la carapace en enrochements de (3-6) t pendant l'essai de la houle vingtennale. • Rocking de 2 enrochements de (3-6) t pendant l'essai d'endurance. • Franchissements atteignant la berme de la carapace en enrochements de (3-6) t mais ne dépassent pas la sous couche en enrochement de (1-2) t pendant l'essai d'endurance. 	Profil stable

Le résultat obtenu par cette modélisation, consiste en la réalisation d'une protection de type digue à talus en enrochements naturels et en blocs cubique, avec une côte d'arase plus importante puisque elle sera réalisée au niveau du segment Ouest caractérisé par des altitudes plus importantes.

Elle est constituée par :

- Un noyau en TVC (1-500Kg) d'une hauteur équivalente à celle de la falaise.
- Une couche en enrochements de catégorie (1 - 2 t) avec une épaisseur de 1.68m arasée à +8m.
- Une carapace en blocs cubiques de catégorie (5T) avec une largeur de 2,80 m arasée à +5m.
- La pente du talus est de 2 pour 1.

Le profil type de cette variante optimisée est illustré dans la figure suivante :

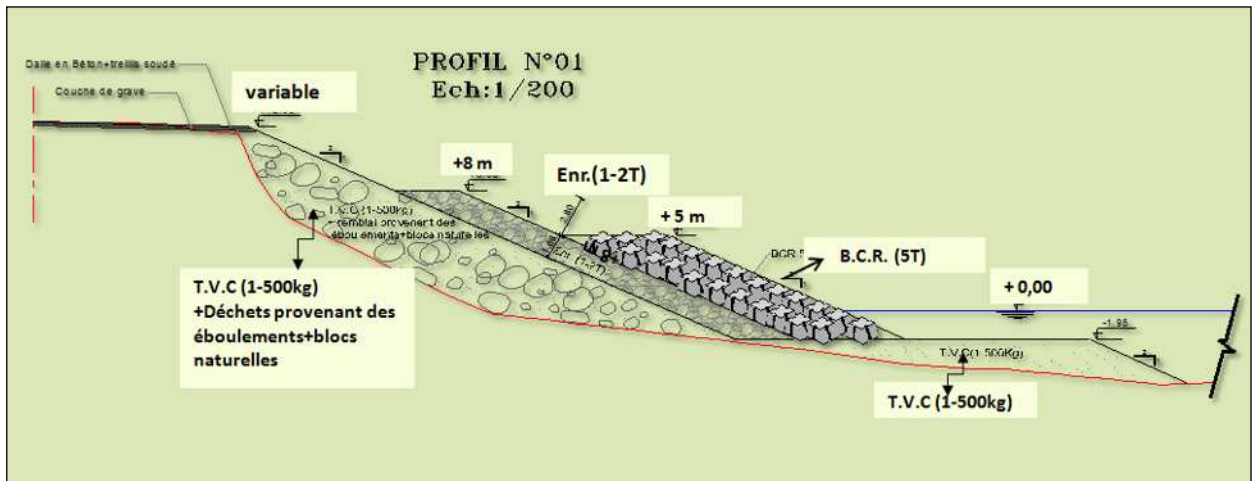


Figure V.3 : Profil de la variante retenue par le LEM (segment Ouest)

Tableau V.3 : Résultats des essais des variantes testées en modèle réduit physique.

Variantes du segment Est	Observations	Conclusions
<p>Variante 1 :</p> <p>Le profil de la variante 1 est constitué :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un noyau en T.V.C prolongé par une assise arasée à la côte -1.60m suivant une pente de 2/1. • Une carapace en enrochements de (0.5-1)t arasée à la côte +3.75 m suivant une pente de 2/1. • Une contre butée en enrochements de (1-3)t arasée à la côte +0.50m suivant une pente de 3/2. • Un muret de 0.75cm arasée à la côte +3.75m. 	<ul style="list-style-type: none"> • La houle déferle avant l'ouvrage. • Déplacement de 2 enrochements de (1-3) sur la berme en enrochements de (0.5-1)t pendant la houle biennale. • Franchissements importants sur l'ouvrage • Glissement de 3 enrochements de (1-3) t de la contre butée sur l'assise en T.V.C.pendant l'essai de la houle Cinquantennale. • Arrêt des essais à cause des franchissements observés sur l'ouvrage. 	<p>Profil stable</p>
<p>Variante 2 : Le profil de la variante 2 se caractérise par l'élargissement de la berme la carapace en enrochements de (0.5-1)t de 3.75m soit 6 m de largeur .</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La houle déferle avant l'ouvrage. • Déplacement de 3 enrochements de (0.5-1) t de la berme de la carapace. • Des embruns importants sur l'ouvrage pendant l'essai de la houle vingtennale . • Projection de 8 enrochements de (0.5-1)t de la berme de la carapace sur la dalle en T.V.C pendant l'essai d'endurance. 	<p>Profil stable</p>

<p>Variante 3 : le profil de la variante 3 se caractérise par l'élévation du muret de 0.45 cm soit un mur de 1.20 m.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La houle déferle avant l'ouvrage. • Glissement d'un enrochement de (0.5-1) t de la carapace sur la berme pendant l'essai de la houle biennale. • Un franchissement important sur l'ouvrage pendant l'essai de la houle Cinquantennale. • Quelques Franchissements importants sur l'ouvrage pendant l'essai d'endurance. • Le taux de franchissement est de 0.49% pendant l'essai. 	<p>Profil stable</p>
--	---	----------------------

Pour le résultat d'optimisation effectué sur la variante de protection de segment Est, consiste en la réalisation d'un talus à berme en enrochements naturels. Cet ouvrage est constitué par :

- Un noyau en TVC (1-500Kg) ;
- Une carapace en enrochements de catégorie (0.5-1 t) avec une épaisseur de 1.50m ;
- Une berme en enrochements naturelles de catégorie (1- 3 t), d'une épaisseur de 2.20m, arasée à + 0,5 m ;
- Un mur de couronnement d'une hauteur de 0.75 à 1m environ.

La coupe de cette protection est illustrée dans la figure suivante :

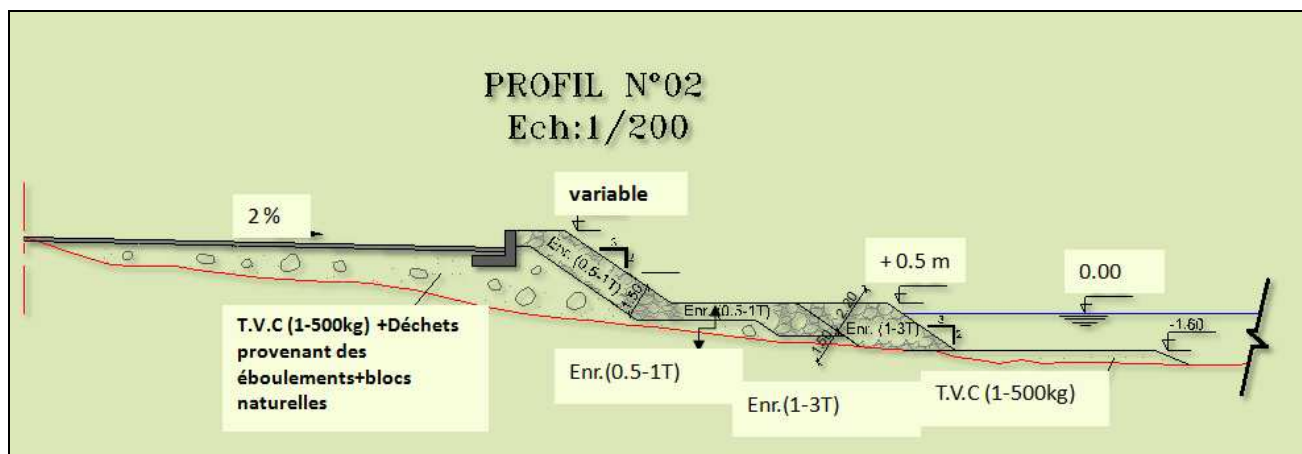


Figure V.4 : profil de la variante de protection type « Talus à berme »

V.2. Solutions proposées par notre étude :

Dans cette partie nous présentons nos propositions de protection de la zone de Fouka Marine, pour la partie plage et falaise (voir figure 5.3). Cette protection consiste à implanter un ouvrage mixte composé de:

- Partie plage : batterie constituée de deux brises lames en géotube immergés accompagnée en arrière avec un rechargement artificiel.

- Partie falaise : batterie constituée de deux brises lames immergés en enrochements associés à une protection frontale du type digue à talus en enrochements. Cette protection sera aménagée de façon à respecter l'aspect paysager et touristique du site.

Toutes ces propositions sont détaillées dans ce qui suit :

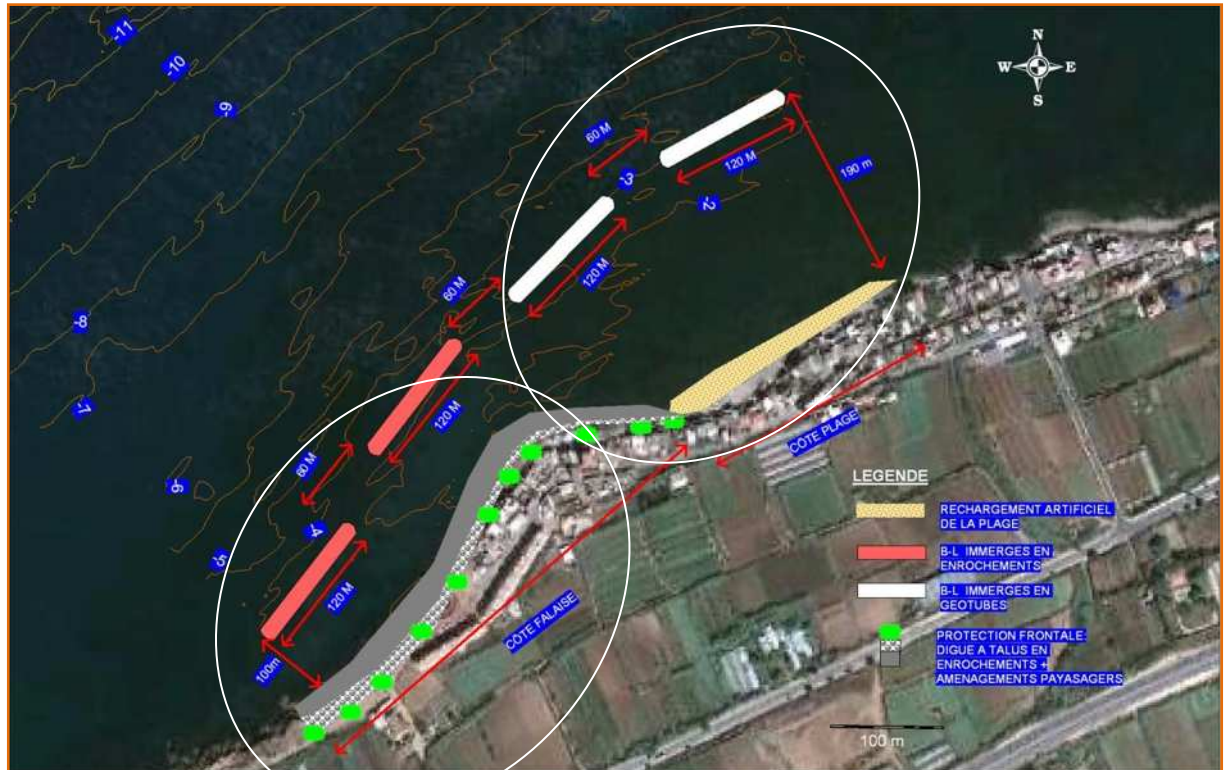


Figure V.5 : plan de masse de la variante de protection de zone Fouka Marine

V.2 .1 Partie plage :

V.2.1.1 Rechargement de la plage avec brises lames en géotubes.

Le rechargement constitue une solution de protection douce du littoral. Son intérêt principal est de recharger la zone érodée pour élargir le haut estran afin de créer une plage «sèche», c'est à dire non recouverte par les pleines mers, plus étendue. Ceci dans le but :

- De veiller à la sécurité des aménagements de bordure de mer et de rendre à la plage son rôle de défense contre la mer.
- D'augmenter la superficie de la plage en retrouvant la ligne de côte telle qu'elle était en 1959 et de limiter l'énergie de la houle en haut de plage.
- D'augmenter en conséquence la fréquentation touristique de la plage.

Cette protection est constituée par :

- **Rechargement artificiel** : Ce type d'ouvrage consiste en la mise en place :
 - D'un rechargement en sédiments de carrière du grain moyen > 630 um ;
 - Longueur de la plage : L=250m.

- Largeur de la plage: $e=30\text{m}$.
- Hauteur de la plage : $H=1\text{m}$.

Le schéma suivant illustre bien la géométrie de profil de la plage à envisager :

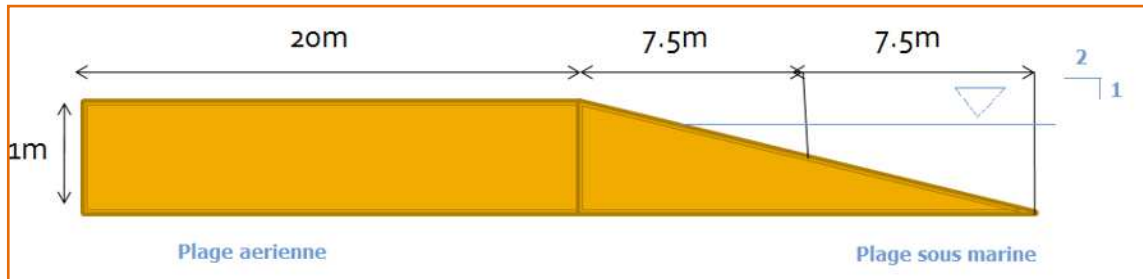


Figure V.6 : Profil en travers de rechargement artificiel de la plage

▪ Brises lames en géotubes:

Cette variante de protection à pour but :

- De dissiper une partie de l'énergie de la houle provenant surtout du secteur Ouest ;
- De donner un plan d'eau relativement calme dans la zone d'ombre du brise lames en empêchant la déperdition vers le large des sédiments d'alimentation de la plage.

La description de cet ouvrage consiste à indiquer les paramètres d'implantation de l'ouvrage ainsi que les paramètres de la structure de celui ci

▪ Paramètres d'implantation de l'ouvrage :

- Deux brises lames d'une longueur de 120 m du linéaire pour chacun ;
- Une profondeur moyenne d'implantation de -3.00m NGA ;
- Une distance moyenne d'implantation de 190m par rapport au niveau du trait de côte ;
- Une zone couverte de 250 m du linéaire environ ;
- Un espacement de 60 m.

Le profil en travers de cette protection est illustré dans la figure suivante :

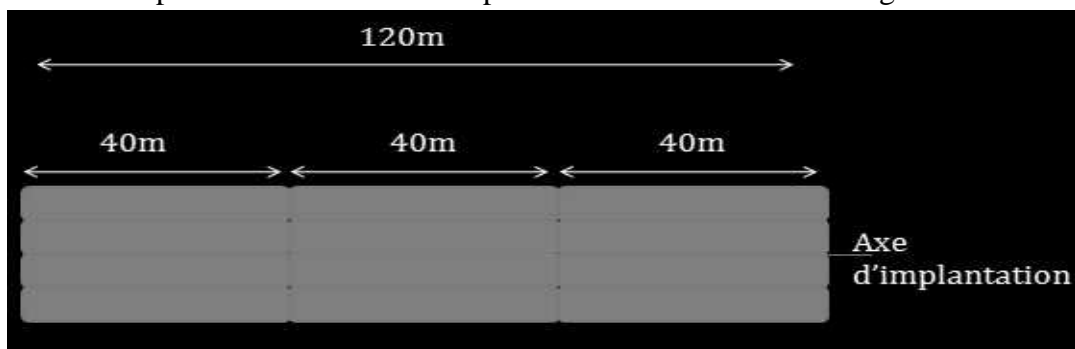


Figure V.7 : Plan horizontal de brise lames en géotubes proposés pour protéger la plage.

▪

▪ **Paramètres de la structure de l'ouvrage:**

- Une côte d'arase de -1 m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur en crête de 16.80m pour quatre (04) tubes posés côte à côte. La hauteur après remplissage de chacun est de 2.00m ;
- Un tapis de réglage constitué de TVC de (0 – 200 Kg) en vue de parvenir à la profondeur de -3.00 m et d'avoir en conséquence une assise régulière.

Le profil en travers de cette protection est illustré dans la figure suivante :

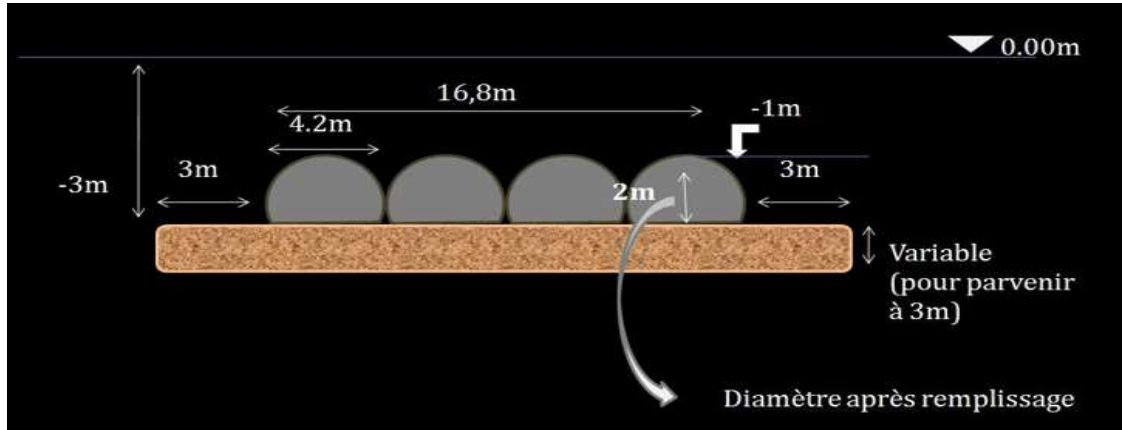


Figure V.8 : Profil en travers de brise lames en géotubes proposés pour protéger la plage

V.2.2 Coté falaises :

V.2.2.1 Brise- lames immergés avec une protection frontale de type digue à talus

L'état d'érosion avancée et la fragilité de la falaise de Fouka Marine côté Ouest nécessite la mise en place de brise-lames immergés associés à une protection frontale de la falaise de type digue à talus en enrochements.

Le profil de cette protection est illustré dans la figure suivante :

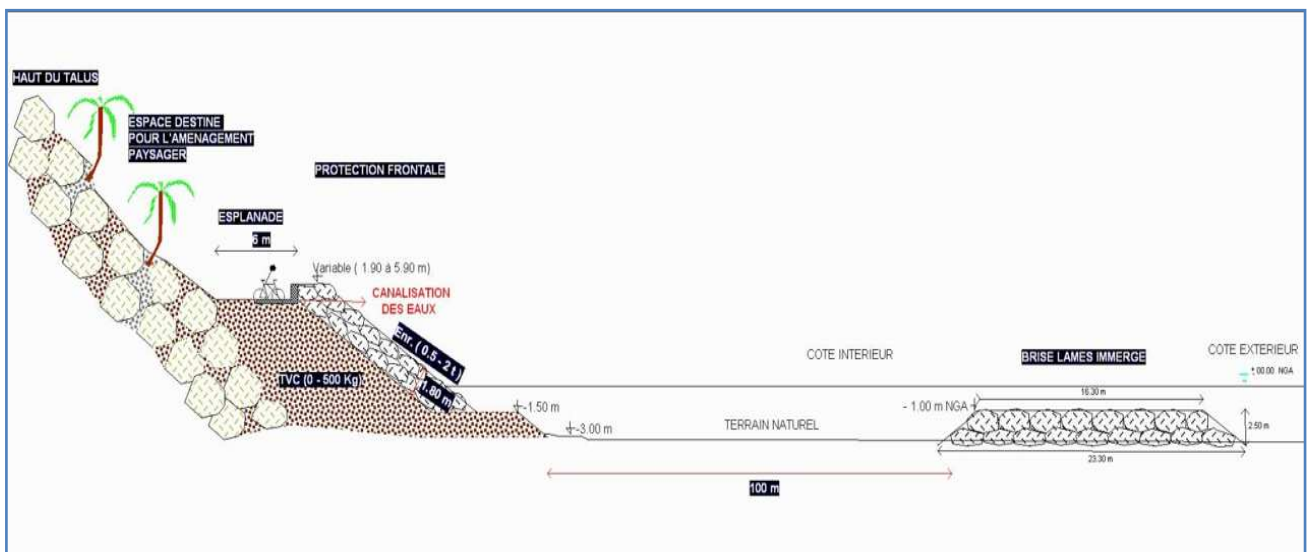


Figure V.9: profil en travers de la protection mixte de type brises lames+ digue à talus

▪ **Brises lames immergés en enrochements :**

Les caractéristiques optimales d'un ouvrage tels que les brise-lames, conçu contre l'érosion de la côte dépendent de plusieurs paramètres dont principalement la hauteur, la longueur d'onde et la pente des fonds.

Cette variante de protection a un double objectif :

- Elle dissipe une partie de l'énergie de la houle provenant surtout de l'Ouest en diminuant la hauteur des houles arrivant aux falaises ;
- Elle constitue un récif artificiel pour la biocénose.

La description de cet ouvrage nous donne :

- **Paramètres d'implantation de l'ouvrage :**

- Deux Brises lames de 120ml de longueur (L_1) pour chacun, avec une orientation face à la houle de secteur Ouest;
- Une profondeur moyenne d'implantation (hs) de - 3.50m NGA ;
- Une distance moyenne d'implantation (L_2) de 100m par rapport au trait de côte ;
- Une zone couverte de 300 ml environ ;
- Un espacement (D) de 60 m.

- **Paramètres de la structure de l'ouvrage:**

Ces deux Brises lames immergés d'une forme trapézoïdale, caractérisés par :

- Une seule catégorie d'enrochement (2-5t) ;
- Une côte d'arase de -1 m N.G.A par rapport au niveau 0 de la mer;
- Une largeur de la berme de 16.30 m ;
- Une pente de 3/2 aux extrémités de la digue.

▪ **Digue à talus en enrochement :**

La protection est caractérisée par :

- Un noyau en TVC de catégorie (0-500kg), dont la côte d'arase allant de +5 à +1m d'Ouest vers l'Est.
- Une carapace constituée de deux couches en enrochements de catégories (0.5-2t), avec une épaisseur de 1.8m et une pente de 3/2. Elle est arasée à +5.90m du côté Ouest jusqu'à 1.90m à l'Est (jusqu'à la plage).
- Une butée constituée en TVC de catégorie (0-500kg), avec une largeur de berme de 3m arasée à -1.5m. Elle permet d'offrir une sécurité supplémentaire vis-à-vis des affouillements en pied d'ouvrage qui opère un calage inférieur de carapace limitant par là les risques de glissement de cette dernière.

Au dessus de la digue, la mise en place d'une esplanade, de 6m de largeur, permettra l'accès aux habitants, à travers des escaliers ou par le coté plage, et sera délimitée par un mur de garde de 0.90m de hauteur.

Cette esplanade va relier le coté des falaises à la plage et formera un front de mer. Dans la partie non protégée de la falaise qui se trouve en haut, les blocs seront colmatés avec du béton spécifiques en lissant quelque endroit pour l'implantation de plantes (halophiles) qui joueront un rôle dans le coté esthétique et environnementale du site.

V.2 .3.Pré dimensionnement des ouvrages :

V.2 .3.1.Les brises lames immergés :

La dimension des brises lames à savoir, leurs profondeurs d'implantation, leurs espacements et leurs hauteurs dépendent de la bathymétrie de la zone et des caractéristiques de la houle (hauteur, période, longueur d'onde). Pour notre site, la direction N270° des vagues semble affecter le plus la côte.

▪ Calcul de la largeur de la berme :

La largeur de la berme est calculée à l'aide de la formule suivante appliquée aux ouvrages immergés (A. Van Der Mer). qui donne le coefficient de transmission (Ct) proposé à 0.5, c'est-à-dire que 50%de l'énergie de la houle au large est atténuée par le brise lame immergé:

$$Ct = -0.4 \left(\frac{Rc}{Hs} \right) + 0.64 \left(\frac{B}{Hs} \right)^{-0.31} (1 - e^{(-0.5 \varepsilon p)}) \dots\dots\dots(1)$$

$$\varepsilon p = \frac{\text{tang } \alpha}{\sqrt{Sp}} \dots\dots(2) \quad \text{avec} \quad Sp = \frac{Hs}{Lp} \dots\dots\dots(3)$$

Avec :

Hs : Houle incidente au pied de l'ouvrage : 3.25m pour brise lames en enrochement, 2.80 pour Brise lames en géotubes ;
 Rc : Cote d'arase de l'ouvrage :-1m ;
 Ct : Coefficient de transmission : 50% ;
 Tang(α) : 2/3 pour les brise lames en enrochements, 1/2 pour les brise lames en géotubes.
 L₀ : la longueur d'onde de pic au large.

Les résultats de calcul sont comme suit:

(3)... Sp (la cambrure réelle) = 0.01 pour le brise lames en enrochements et 0.0082 pour les brises lames en géotubes.

(2) . εp la paramètre de déferlement = 6.66 pour le brise lames en enrochements et 5.55 pour les brise lames en géotubes.

(1)...(B) la largeur de la berme = 16.3 m pour le brise lames en enrochements et 18 m pour les brises lames en géotubes.

▪ **Calcul la largeur « L » de boudin pour le brise lames en géotubes :**

Pour déterminer la largeur de boudin à utiliser pour le brise lames en géotubes, on applique la formule N°4 :

$$\frac{H_s}{\Delta L} < 1 \quad \text{ou} \quad \frac{H_s}{\Delta E} < 1 \quad \dots\dots\dots(4)$$

Avec : Δ c'est la densité relative du matériel

$$\Delta = (1 - n) * \left(\frac{\rho_g - \rho}{\rho} \right) \quad \dots\dots\dots(5)$$

Les données nécessaires pour dimensionner les géotubes sont :

H_s : Hauteur significative	3m
n : Porosité du grain	0,4
ρ_g : Densité du grain	2.20
ρ : Densité de l'eau	1.028

Le calcul donne : une largeur de boudin : **L= 4.20m**

▪ **Calcul du poids des blocs de la carapace pour le brise lames en enrochements :**

Ce calcul se fait à l'aide de la formule de Hudson. C'est une formule usuelle et non méthodologique de dimensionnement des enrochements pour les ouvrages de protection contre la houle. Elle prend en considération les exigences hydrauliques.

$$W = \frac{\delta_s \cdot H_d^3}{K_d \cdot \left(\frac{\delta_s}{\delta_w} - 1 \right)^3 \cdot \text{ctg} \alpha} \quad \dots\dots\dots (6)$$

δ_s : Masse volumique de l'eau de mer : 1.028t/m³

δ_w : Masse volumique des enrochements naturels : 2.65 t/m³

K_d : coefficient adimensionnel de forme, il est en fonction de la nature de la houle (K_d :3.5 pour une houle déferlante).

H_d : Houle de projet : 3.25m

α : Angle du talus avec l'horizontale ; $\text{cotg} \alpha = 3/ 2$.

- **Calcul de H_d :**

La houle de projet à été obtenue à partir de la moyenne de la hauteur significative pour les profondeurs entre 3.5m et 5pour la direction N 270°.

Calcul des poids de la carapace : en utilisant la formule N° 6, le poids de l'enrochement pour la carapace sera de :

$$W = \frac{2.65 \cdot (3.25)^3}{3.5 \cdot \left(\frac{2.65}{1.028} - 1\right)^3 \cdot 3/2} \quad w = 4.41t$$

Nous appliquons une réduction de 20% du poids de la carapace extérieure suite à la diminution de l'énergie de la houle en allant vers la profondeur, d'où le poids de la carapace extérieure W_c .

$W_c = W - 20\%$ alors, $W_c = 3.5t$ appartenant à la catégorie de roches (2-5t)

- Calcul de l'épaisseur de la carapace :

- L'épaisseur e de la carapace et des sous-couches est déterminée par la formule suivante :

$$e = n \cdot c \cdot K_t \cdot Dn_{50} \quad (7)$$

$$Dn_{50} = \sqrt[3]{w / \delta s} \quad (8)$$

n : nombre de couches.

K_t : coefficient dépendant de la forme des blocs ; enrochements $k_t = 1,15$,

Dn_{50} : diamètre nominal en mètre.

L'épaisseur de la carapace est :

$$e = 2 \cdot 1,15 \cdot \sqrt[3]{(3.5/2.65)}$$

$$e = 2.5m, \text{ avec un } Dn_{50} = 1.25m$$

N : nombre de blocs utilisés

$$N = 16.30 / 0.5e \quad N = 13 \text{ blocs}$$

V.2.3.2. La protection frontale de Type digue à talus :

▪ Calcul du poids des blocs de la carapace de la digue en enrochements :

Pour $C_t = 0.5$. La hauteur de la houle est réduite de 50% .la houle de projet H_b qui était à 3,25m avant l'ouvrage devient 1.62m à l'aval du brise lames ($H_b/2$).

En utilisant la formule N°6, le calcul du poids de la carapace de la digue en enrochements sera :

$$W = \frac{2.65 \cdot (1.62)^3}{3.5 \cdot \left(\frac{2.65}{1.028} - 1\right)^3 \cdot 1.5}$$

W=0.54t catégorie des enrochements **(0.5-2t)**

▪ **Épaisseur de la carapace** : En appliquant la formule N° 7, l'épaisseur de la carapace sera :

$$e = 2 \cdot 1.15 \cdot \sqrt[3]{(1.25/2.65)} \quad e = 1.8 \text{ m}$$

▪ **Butée** :

Pour :

Hd : hauteur de projet=1.62m.

ht : cote d'arasé de la butée=-1.5m

hs : profondeur d'implantation=-3m

$$\text{On à } \begin{cases} ht/hs \geq 0.5 \\ hs \geq 1.3Hd \end{cases}$$

Dans ce cas on choisira de préférence pour cette partie des matériaux identiques au noyau autrement dit, la butée sera composée de TVC de catégorie (0-500kg) d'une épaisseur de 1.5m et sera arasée à -1.5m. la largeur de sa berme aura 3m.

Les résultats des calculs de prédimensionnement des ouvrages sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau V.4 : Tableau récapitulatif des résultats des dimensionnements.

	Parties	Formule de calcul	Résultat
Brise lames	Poids de la Carapace extérieur	$W = \frac{\delta s \cdot Hd^3}{Kd \cdot \left(\frac{\delta s}{\delta w} - 1\right)^3 \cdot ctg}$	Wc=3.5t catégorie (2-5t)
	Épaisseur de la carapace	$e = n \cdot c \cdot K_t \cdot Dn_{50}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{w / \delta s}$	e=2.5m Dn ₅₀ =1.09m
	Largeur de la berme	$Ct = -0.4 \left(\frac{Rc}{Hs}\right) + 0.64 \left(\frac{B}{Hs}\right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\psi})$	B=16.30 m
	Nombre des blocs	N=B/0,5e	N=13 blocs
Protection frontale	Poids de la carapace extérieur	$W = \frac{\delta s \cdot Hd^3}{Kd \cdot \left(\frac{\delta s}{\delta w} - 1\right)^3 \cdot ctg}$	W=0.54t catégorie (0.5-2t)
	Épaisseur de la carapace extérieure	$e = n \cdot c \cdot K_t \cdot Dn_{50}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{w / \delta s}$	Dn ₅₀ =0.77m e=1.8 m
	Largeur de la butée	-	B=3m
	Poids de la butée	-	(0-500kg)

Conclusion

Conclusion

Fouka Marine se trouve dans une zone géographique stratégiquement importante, avec un paysage particulier qui conjugue plage et falaise.

On a constaté que l'érosion côtière dans cette zone est la résultante de la combinaison de plusieurs facteurs à la fois d'origines naturelles et anthropiques. Ces facteurs opèrent sur plusieurs échelles du temps et de l'espace.

Les caractéristiques du point de vue géologique et géomorphologique du littoral de cette zone montrent la fragilité du site.

L'étude hydrodynamique de cette zone nous donne une explication de l'une des causes de l'érosion. A savoir la concentration de la houle sur un segment de la zone coté falaise exposé fortement à la direction Nord, Nord Ouest.

Le coté plage est moins exposé que le coté falaise. Il est sollicité par les houles de direction Nord.

Un recul du trait de côte est ressenti entre 1959 et 2009. Son évolution est due à plusieurs facteurs. Elle a une tendance d'ensemble du trait de côte avec des particularités ponctuelles.

Le recul du trait de côte a engendré de ce fait un impact sur les différentes activités socio-économiques de cette zone :

- Perte des terres et des forêts ;
- Disparition des plages et des falaises ;
- Pollution de l'eau et de l'environnement ;
- Perte des activités locales (pêches, de tourisme...);
- Menace sur les infrastructures de base ;
- Augmentation des risques sur les biens et les personnes.

Située entre plusieurs zones touchées par les mêmes phénomènes, Fouka Marine souffre des mêmes problèmes. Pour cela il est recommandé de traiter l'ensemble de ces zones en tant qu'unité physiographique.

C'est pourquoi l'application d'une Gestion Intégrée des zones côtières (GIZC) est vivement recommandée pour une implication de l'ensemble des acteurs du milieu (l'Etat, la société civile, la communauté scientifiques, les décideurs ainsi que les intérêts publics et privés). En vue de la protection et du développement du littoral et des ressources côtières.

Le processus de la (GIZC) vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur utilisation raisonnable et raisonnée (Cicin-Sain Knecht, 1998).

Le choix et les caractéristiques du type des ouvrages de protection, qui vont contribuer à mettre à l'abri les habitations et préserver la plage et la falaise des effets de la houle frontale sont basés sur des critères technico-économiques, et l'optimisation de son profil par le model réduit physique.

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

Après analyses de toutes les propositions exposées dans notre mémoire trois choix s'imposent:

- Laisser la nature suivre son évolution, mais dans ce cas la route et les terres agricoles seront les plus menacées.
- Placer un ouvrage léger, comme notre proposition, prend beaucoup de temps. Pendant ce temps le recul continu vers l'intérieur.
- Intervenir immédiatement coutera plus cher mais remédiera efficacement à ce phénomène d'érosion.

Dans notre cas d'étude nous estimons pour les raisons précitées, que l'intervention immédiate est la plus judicieuse.

Il faut souligner qu'une bonne gestion et un contrôle soutenu de tous les facteurs et les phénomènes agissant sur l'environnement de ce site, permettrait d'avoir une action préventive efficace en termes de protection de l'environnement et du littoral.

Annexes

Annexe I

Les tableaux suivant nous donnent les caractéristiques de la houle aux points considérés pour toutes les 04 directions :

N20° au large - Tpic = 12,72s - Hmo = 6,79m							
N° Points	X (m)	Y(m)	Hs(m)	Cote(m)	Tp(S)	Direction d'arrivée (°)	Kr
1	474851	4057625	1,89	-2,05	12,48	351,72	0,28
2	475095	4057761	1,88	-2,04	12,48	352,66	0,28
3	475311	4057854	1,84	-1,99	12,48	355,10	0,27
4	475518	4057960	1,83	-1,99	12,48	352,65	0,27
5	475688	4058021	1,88	-1,97	12,48	357,44	0,28
6	475938	4058160	1,72	-2,05	12,48	335,17	0,25
7	475959	4058266	1,75	-2,03	12,48	345,58	0,26
8	476058	4058322	1,61	-1,90	12,48	345,05	0,24
9	476100	4058399	1,65	-2,08	12,48	341,98	0,24
10	476300	4058527	1,68	-2,06	12,48	353,44	0,25
11	476438	4058593	1,63	-2,02	12,48	355,91	0,24
12	476576	4058654	1,68	-2,00	12,48	359,77	0,25
13	474906	4057726	2,55	-3,13	12,48	352,20	0,38
14	475372	4057942	2,40	-3,05	12,48	355,36	0,35
15	475744	4058085	2,46	-2,92	12,48	351,43	0,36
16	475933	4058202	1,80	-3,17	12,48	338,32	0,26
17	475906	4058306	2,60	-3,17	12,48	345,91	0,38
18	476084	4058497	2,54	-3,06	12,48	350,10	0,37
19	476193	4058561	2,42	-3,04	12,48	351,14	0,36
20	476342	4058657	2,34	-3,03	12,48	353,67	0,34
21	476510	4058721	2,35	-2,97	12,48	360,19	0,35
22	474944	4057865	3,62	-5,11	12,48	352,67	0,53
23	475148	4057979	3,57	-5,09	12,48	355,61	0,53
24	475361	4058061	3,44	-5,02	12,48	355,21	0,51
25	475521	4058144	3,54	-5,03	12,48	354,12	0,52
26	475683	4058136	3,12	-4,96	12,48	357,59	0,46
27	475840	4058327	3,26	-4,93	12,48	346,68	0,48
28	475914	4058431	3,35	-5,03	12,48	349,28	0,49
29	476138	4058652	3,66	-5,02	12,48	352,73	0,54
30	476523	4058848	3,58	-5,03	12,48	359,40	0,53
31	474946	4058168	5,66	-10,06	12,48	354,91	0,83
32	475071	4058250	5,74	-10,02	12,48	356,35	0,85
33	475377	4058388	5,57	-10,07	12,48	355,75	0,82
34	475662	4058596	5,63	-10,06	12,48	354,25	0,83
35	475893	4058779	5,80	-10,08	12,48	355,37	0,85
36	476146	4058907	5,51	-10,01	12,48	358,32	0,81
37	476467	4059075	5,31	-9,99	12,48	359,58	0,78
38	474952	4058495	6,57	-15,03	12,48	-0,20	0,97
39	475135	4058604	6,60	-14,98	12,48	0,29	0,97
40	475297	4058692	6,56	-15,03	12,48	0,75	0,97
41	475494	4058795	6,54	-14,95	12,48	0,63	0,96
42	475694	4058934	6,43	-15,00	12,48	0,12	0,95
43	475874	4059112	6,64	-14,99	12,48	1,97	0,98
44	476148	4059285	6,58	-15,00	12,48	5,69	0,97

N270° au large - Tpic =14,78s - Hmo = 9,70m							
N° Points	X (m)	Y(m)	Hs(m)	Cote(m)	Tp(sec)	Direction d'arrivée (°)	K _r
1	474851	4057625	1,90	-2,05	15,47	308,45	0,28
2	475095	4057761	1,88	-2,04	15,47	310,42	0,28
3	475311	4057854	1,82	-1,99	15,47	314,10	0,27
4	475518	4057960	1,88	-1,99	15,47	313,86	0,27
5	475688	4058021	1,90	-1,97	15,47	325,45	0,28
6	475938	4058160	1,92	-2,05	15,47	302,22	0,25
7	475959	4058266	1,96	-2,03	15,47	301,85	0,26
8	476058	4058322	1,67	-1,90	15,47	311,42	0,24
9	476100	4058399	1,91	-2,08	15,47	295,24	0,24
10	476300	4058527	1,68	-2,06	15,47	308,81	0,25
11	476438	4058593	1,63	-2,02	15,47	310,31	0,24
12	476576	4058654	1,69	-2,00	15,47	319,17	0,25
13	474906	4057726	2,54	-3,13	15,47	306,58	0,38
14	475372	4057942	2,39	-3,05	15,47	313,74	0,35
15	475744	4058085	2,41	-2,92	15,47	319,37	0,36
16	475933	4058202	2,00	-3,17	15,47	296,95	0,26
17	475906	4058306	2,82	-3,17	15,47	302,12	0,38
18	476084	4058497	2,65	-3,06	15,47	302,64	0,37
19	476193	4058561	2,47	-3,04	15,47	306,72	0,36
20	476342	4058657	2,34	-3,03	15,47	306,45	0,34
21	476510	4058721	2,28	-2,97	15,47	315,04	0,35
22	474944	4057865	3,57	-5,11	15,47	302,59	0,53
23	475148	4057979	3,53	-5,09	15,47	304,46	0,53
24	475361	4058061	3,42	-5,02	15,47	308,63	0,51
25	475521	4058144	3,48	-5,03	15,47	310,02	0,52
26	475683	4058136	2,96	-4,96	15,47	315,61	0,46
27	475840	4058327	3,51	-4,93	15,47	300,75	0,48
28	475914	4058431	3,56	-5,03	15,47	300,13	0,49
29	476138	4058652	3,69	-5,02	15,47	303,24	0,54
30	476523	4058848	3,46	-5,03	15,47	309,34	0,53
31	474946	4058168	6,03	-10,06	15,47	294,77	0,83
32	475071	4058250	6,01	-10,02	15,47	296,08	0,85
33	475377	4058388	5,84	-10,07	15,47	299,34	0,82
34	475662	4058596	6,04	-10,06	15,47	297,22	0,83
35	475893	4058779	6,23	-10,08	15,47	295,08	0,85
36	476146	4058907	5,85	-10,01	15,47	294,74	0,81
37	476467	4059075	5,79	-9,99	15,47	298,19	0,78
38	474952	4058495	7,90	-15,03	15,47	290,12	0,97
39	475135	4058604	7,83	-14,98	15,47	291,08	0,97
40	475297	4058692	7,74	-15,03	15,47	291,17	0,97
41	475494	4058795	7,66	-14,95	15,47	291,28	0,96
42	475694	4058934	7,73	-15,00	15,47	290,51	0,95
43	475874	4059112	7,83	-14,99	15,47	290,06	0,98
44	476148	4059285	7,76	-15,00	15,47	290,75	0,97

N300° au large - Tpic =11,95s - Hmo =5,94 m							
N° Points	X (m)	Y(m)	Hs(m)	Cote(m)	Tp(sec)	Direction d'arrivée (°)	Kr
1	474851	4057625	1,77	-2,05	12,48	317,88	0,30
2	475095	4057761	1,76	-2,04	12,48	317,72	0,30
3	475311	4057854	1,71	-1,99	12,48	320,77	0,29
4	475518	4057960	1,73	-1,99	12,48	319,93	0,29
5	475688	4058021	1,76	-1,97	12,48	330,22	0,30
6	475938	4058160	1,75	-2,05	12,48	307,67	0,29
7	475959	4058266	1,77	-2,03	12,48	309,60	0,30
8	476058	4058322	1,56	-1,90	12,48	317,06	0,26
9	476100	4058399	1,72	-2,08	12,48	303,77	0,29
10	476300	4058527	1,57	-2,06	12,48	316,88	0,26
11	476438	4058593	1,52	-2,02	12,48	318,83	0,26
12	476576	4058654	1,57	-2,00	12,48	327,45	0,26
13	474906	4057726	2,36	-3,13	12,48	316,21	0,40
14	475372	4057942	2,24	-3,05	12,48	321,14	0,38
15	475744	4058085	2,26	-2,92	12,48	323,88	0,38
16	475933	4058202	1,84	-3,17	12,48	303,77	0,31
17	475906	4058306	2,56	-3,17	12,48	310,18	0,43
18	476084	4058497	2,43	-3,06	12,48	313,04	0,41
19	476193	4058561	2,28	-3,04	12,48	316,02	0,38
20	476342	4058657	2,17	-3,03	12,48	315,68	0,36
21	476510	4058721	2,13	-2,97	12,48	324,09	0,36
22	474944	4057865	3,35	-5,11	12,48	313,40	0,56
23	475148	4057979	3,31	-5,09	12,48	314,64	0,56
24	475361	4058061	3,22	-5,02	12,48	317,83	0,54
25	475521	4058144	3,25	-5,03	12,48	318,18	0,55
26	475683	4058136	2,81	-4,96	12,48	322,45	0,47
27	475840	4058327	3,24	-4,93	12,48	309,66	0,54
28	475914	4058431	3,28	-5,03	12,48	310,28	0,55
29	476138	4058652	3,38	-5,02	12,48	314,10	0,57
30	476523	4058848	3,25	-5,03	12,48	320,18	0,55
31	474946	4058168	5,45	-10,06	12,48	308,85	0,92
32	475071	4058250	5,41	-10,02	12,48	309,43	0,91
33	475377	4058388	5,22	-10,07	12,48	311,46	0,88
34	475662	4058596	5,19	-10,06	12,48	310,43	0,87
35	475893	4058779	5,30	-10,08	12,48	309,05	0,89
36	476146	4058907	5,10	-10,01	12,48	309,91	0,86
37	476467	4059075	5,12	-9,99	12,48	312,82	0,86
38	474952	4058495	6,22	-15,03	12,48	306,26	1,05
39	475135	4058604	6,04	-14,98	12,48	306,77	1,02
40	475297	4058692	5,83	-15,03	12,48	306,88	0,98
41	475494	4058795	5,71	-14,95	12,48	307,70	0,96
42	475694	4058934	5,67	-15,00	12,48	307,13	0,95
43	475874	4059112	5,63	-14,99	12,48	306,39	0,95
44	476148	4059285	5,83	-15,00	12,48	308,15	0,98

N360° au large - Tpic =12,91 s - Hmo =7,02m							
N° Points	X (m)	Y(m)	Hs(m)	Cote(m)	Tp(sec)	Direction d'arrivée (°)	Kr
1	474851	4057625	1,88	-2,05	12,48	347,62	0,27
2	475095	4057761	1,87	-2,04	12,48	349,35	0,27
3	475311	4057854	1,84	-1,99	12,48	352,59	0,26
4	475518	4057960	1,82	-1,99	12,48	349,79	0,26
5	475688	4058021	1,86	-1,97	12,48	354,63	0,26
6	475938	4058160	1,76	-2,05	12,48	330,96	0,25
7	475959	4058266	1,78	-2,03	12,48	341,94	0,25
8	476058	4058322	1,62	-1,90	12,48	342,60	0,23
9	476100	4058399	1,67	-2,08	12,48	338,62	0,24
10	476300	4058527	1,69	-2,06	12,48	351,19	0,24
11	476438	4058593	1,65	-2,02	12,48	353,80	0,24
12	476576	4058654	1,71	-2,00	12,48	358,14	0,24
13	474906	4057726	2,54	-3,13	12,48	346,93	0,36
14	475372	4057942	2,40	-3,05	12,48	352,07	0,34
15	475744	4058085	2,43	-2,92	12,48	346,34	0,35
16	475933	4058202	1,85	-3,17	12,48	333,21	0,26
17	475906	4058306	2,63	-3,17	12,48	341,00	0,38
18	476084	4058497	2,58	-3,06	12,48	346,61	0,37
19	476193	4058561	2,44	-3,04	12,48	348,05	0,35
20	476342	4058657	2,37	-3,03	12,48	350,58	0,34
21	476510	4058721	2,39	-2,97	12,48	357,03	0,34
22	474944	4057865	3,61	-5,11	12,48	345,83	0,51
23	475148	4057979	3,57	-5,09	12,48	349,00	0,51
24	475361	4058061	3,49	-5,02	12,48	350,35	0,50
25	475521	4058144	3,51	-5,03	12,48	348,77	0,50
26	475683	4058136	3,09	-4,96	12,48	352,45	0,44
27	475840	4058327	3,28	-4,93	12,48	340,23	0,47
28	475914	4058431	3,41	-5,03	12,48	343,71	0,49
29	476138	4058652	3,73	-5,02	12,48	347,95	0,53
30	476523	4058848	3,65	-5,03	12,48	354,00	0,52
31	474946	4058168	5,74	-10,06	12,48	345,92	0,82
32	475071	4058250	5,75	-10,02	12,48	347,13	0,82
33	475377	4058388	5,73	-10,07	12,48	347,33	0,82
34	475662	4058596	5,78	-10,06	12,48	345,13	0,82
35	475893	4058779	6,02	-10,08	12,48	345,52	0,86
36	476146	4058907	5,81	-10,01	12,48	348,74	0,83
37	476467	4059075	5,67	-9,99	12,48	349,99	0,81
38	474952	4058495	6,73	-15,03	12,48	349,05	0,96
39	475135	4058604	6,78	-14,98	12,48	349,01	0,97
40	475297	4058692	6,76	-15,03	12,48	348,16	0,96
41	475494	4058795	6,97	-14,95	12,48	349,04	0,99
42	475694	4058934	6,90	-15,00	12,48	347,66	0,98
43	475874	4059112	7,13	-14,99	12,48	347,99	1,02
44	476148	4059285	7,02	-15,00	12,48	351,98	1,00

.’analyse physico-chimique de l’eau de mer :

La température :

La mesure de la température a été effectuée « in situ » à l’aide d’une valise du pH mètre de marque : Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW ».

Le potentiel d’hydrogène pH :

La mesure du pH a été effectuée « in situ » par le pH mètre portable de marque Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW », qui mesure le pH par la méthode électrochimique avec électrode de verre.

La salinité :

La salinité a été mesurée « in situ » par un salinomètre de marque Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW » après étalonnage de l’appareil. L’étalonnage a été effectué à partir d’eau de mer que l’on introduit après l’avoir amené à la température ambiante dans la cellule de mesure.

Le salinomètre est réglé pour donner la conductivité correspondante à la chlorinité de l’eau de mer normale. Les résultats ont été exprimés en PSU (unité pratique de salinité).

La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La DBO représente la quantité d’oxygène qu’il faut fournir à un échantillon d’eau pour minéraliser par voie biochimique (oxydation bactérienne) la matière organique biodégradable contenue dans les eaux des rejets domestiques, industrielles et rejets agricoles.

La mesure de la DBO₅ a été effectuée à l’aide d’un DBOmètre de marque *Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW »*, C’est une méthode manométrique avec un appareil de marque Oxi Top à affichage numérique qui se fixe directement sur le flacon de DBO après 5 jours.

Un volume de 250 ml d’échantillon est introduit dans des flacons bruns en verre avec agitation magnétique. La consommation d’oxygène induit une production de CO₂ absorbé par un piège à soude créant ainsi une dépression enregistrée par le manomètre.

Cette dépression est liée par corrélation à la DBO en fonction du volume de l’échantillon. La température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C.



Figure : Bouteille de mesure de la DBO₅

Après 5 jours d’incubation, on procède à la lecture de la valeur (X) édictée par le DBOmètre, mais la valeur réelle de la DBO₅ se calcule comme suit :

$$DBO_5 = X * F$$

F : Facteur variant en fonction du volume d’eau utilisé.

Dans notre cas le volume d'eau utilisé est 250 ml ce qui correspond à un facteur F= 5 (lu à partir du catalogue).

L'analyse bactériologique de l'eau et du sédiment :

La flore de contamination fécale est constituée de microorganismes appartenant à la flore intestinale qui est susceptible de croître dans les milieux extérieurs ou d'y persister (entérocoques, entérobactéries).

Pour apprécier le risque, les contrôles de salubrité de l'eau portent sur la recherche et la numération des témoins nommés germes indicateurs de contamination fécale (Figarella et al, 2001). Les germes test recherchés sont les coliformes totaux, les coliformes fécaux, streptocoques du groupe D, les vibrions et les salmonelles.

Le choix de ces indicateurs doit répondre à certaines exigences (Larpent et Gourgaud 1997).

- Être présent quand les pathogènes le sont.
- Etre toujours présent en plus grandes concentrations que les germes pathogènes à surveiller.
- Etre incapable de se multiplier dans le milieu marin.
- Etre plus résistant que les germes pathogènes dans l'environnement aquatique et aux désinfectants.
- Mis en évidence, dénombrés et identifié à l'aide de techniques simples.

La raison de ce choix tient essentiellement au fait que la numération de ces bactéries est beaucoup plus simple et rapide entre 24 à 48 heures, que celle des germes pathogènes, généralement plusieurs jours avec nécessité d'identification sérologique (Gauthier et Piertri, 1989). La présence simultanée des coliformes et des entérobactéries suffit à confirmer qu'il ya pollution.

Les germes indicateurs de pollution d'origine fécale :

Les coliformes totaux :

Les coliformes totaux regroupent plusieurs espèces bactériennes de la famille des entérobactéries qui sont des aérobies facultatives, Gram négatif, oxydase négative, en forme de bâtonnets, capables de croître en présence de sels biliaires. Ils fermentent le lactose en produisant de l'acide et du gaz en 48 heures à des températures de 35 à 37°C (Rodier et al.. 2005).

Les Coliformes totaux constituent un groupe de bactéries très hétérogènes, le plus souvent présentes en grand nombre dans les excréments animaux et humains mais dont certaines espèces ne sont pas nécessairement liées à la flore intestinale humaine ou animale et peuvent proliférer dans les sols ou dans les milieux aquatiques (CEAEQ, 2005).

Les coliformes fécaux« thermotolérants » :

Ils appartiennent à la famille des entérobactéries, et sont un sous-groupe des coliformes totaux. Ils comportent plusieurs genres : *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, *Enterobacter* capables de fermenter le lactose à une température de 44°C avec production de gaz.

L'espèce fréquemment associée à ce groupe est *Escherichia-coli* et dans une moindre mesure, certaines espèces des genres *Citrobacter*, *Enterobacter* et *klebsiella*. Les coliformes fécaux thermotolérants sont considérés d'origine humaine (Gaujous, 1995).

Leur présence dénote une pollution fécale récente car ils ne se propagent pas dans le milieu marin, les coliformes fécaux répondent aux critères de bons indicateurs. La principale difficulté qui s'attache à leur emploi, est la survie relativement courte en eau de mer, ce qui peut exiger un recourt à d'autres indicateurs supplémentaires (PNUE/OMS, 1977).

Les streptocoques fécaux :

Les Streptocoques fécaux sont témoins d'une contamination fécale. Ils résistent dans le milieu marin et cela grâce à leurs caractéristiques physiologiques qui leur confèrent une meilleure adaptation

par rapport aux autres germes indicateurs (OMS, 2002). Ils regroupent toutes les bactéries à Gram positif, de forme cocci sphérique légèrement ovale, catalase négative (PNUE/OMS, 1977).

Ils se disposent souvent en chaînettes ou diplocoques (Leclerc et al, 1995) et peuvent se multiplier dans les milieux présentant des pH allant jusqu'à 9, par conséquent on peut les utiliser comme indicateurs d'organismes pathogènes qui ont une résistance au pH élevé (PNUE /OMS, 1977).

les germes pathogènes:

. Les salmonelles:

Elles appartiennent au groupe des entérobactéries, elles sont en formes de bâtonnets, Gram négatif anaérobies facultatives, les salmonelles sont pathogènes pour l'homme et peuvent causer des fièvres entériques, des gastroentérites et des septicémies (CEAEQ, 2005).

Dans le milieu marin, les rejets d'eaux usées constituent la principale source de pollution par les Salmonelles (LECLERC, et al, 1995).

Les vibrions :

C'est une famille qui comprend des bacilles à Gram négatif, aéro-anaérobies facultatifs. La plupart des vibrions sont d'origine marine, ils ne se multiplient qu'en présence de NaCl (FAO, 1996).

On distingue une trentaine d'espèces différentes, les plus importantes qui sont réputées pathogènes pour l'homme sont *V. parahaemolyticus*, *V. cholerae* et *V. vulnificus*.

Les méthodes de dénombrements :

Il existe plusieurs méthodes pour dénombrer les bactéries dans les eaux de mer et le sédiment. La plus part sont basées sur la mise en culture des échantillons dans ou sur des milieux nutritifs sélectifs.

Dans cette étude, on utilisera la méthode de filtration sur membrane pour l'eau de mer afin d'avoir une estimation plus exacte sur la charge bactérienne. Tandis que pour les sédiments, on utilisera la méthode du nombre le plus probable (NPP)

La technique de filtration sur membrane MF :

La méthode à été mise au point en 1929 par Cholodny. L'avantage de cette méthode est sa simplicité, sa rapidité, sa rentabilité et son économie de temps (BRISOU et DENIS, 1980).

D'autre part, elle permet d'avoir une estimation sur la charge bactérienne dans la zone d'étude. Cette technique consiste à filtrer un volume d'eau (échantillon) sur des membranes stériles montées dans un appareil à filtration. Ces dernières sont reprises et déposées sur des milieux sélectifs selon le germe recherché. Après incubation, les colonies développées seront dénombrées et éventuellement isolées pour des tests de confirmation et d'identification.

Matériels :

- L'appareil est un système de filtration de marque «Sartorius » (photo n°5) fonctionnant sous pression réduite (pompe à vide). Il contient un support à filtre qui reçoit la membrane de filtration et un flacon pour récupérer l'eau filtrée.
- Bec bunsen pour la stérilisation du matériel et de la zone de travail.
- Boîtes de Pétri chacune contenant le milieu de culture spécifique a chaque germe recherché.
- Membranes stériles de marque millipores de porosité 0,45µm.
- Etuve.
- Pompe à vide.
- Pincettes stériles et pipettes.



Figure 18 : Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.
(Rampe de filtration)

- 1 : Fliole de récupération.
- 2 : bouchon.
- 3 : pompe à vide.
- 4 : plaque poreuse.
- 5 : robinet, 6 et 7: entonnoir

Mode opératoire :

La réalisation de la technique de filtration sur membrane, a été faite, devant un bec-bunsen et sur une paillasse javellisée, selon les recommandations suivantes :

- Lavage et stérilisation de l'équipement de filtration par flambage.
- Mise en place de la pompe à vide.
- Prendre une membrane filtrante, stérile d'un diamètre de 0.45 μm , près du bord à l'aide d'une pince stérilisée par flambage et la déposer sur le support du filtre.
- Placer l'entonnoir sur le support et le fixer fermement.
- Verser dans chaque entonnoir un volume 100 ml d'échantillon bien homogénéisé.
- Faire le vide jusqu' à filtration totale de l'échantillon.
- Retirer l'entonnoir et déposer la membrane filtrante à l'aide d'une pince stérile sur un milieu adapté à bactérie recherchée.

- Déposer la membrane en la déroulant pour tenir un contact étroit avec la gélose (la présence de bulles d'air est signalée par des taches blanches).
- Inscrire sur la boîte de Pétri le numéro de l'échantillon et le volume filtré.
- Placer les boîtes de Pétri en position inverse et les incuber à une température donnée et pendant une durée spécifique pour chaque germe.
- Flambage du dispositif par le bec-benzène après chaque échantillon filtré, afin d'éviter toute contamination possible.

Dénombrements des coliformes totaux et fécaux :

• Test présomptif :

le volume d'échantillon filtré est de 100ml, la membrane est déposée sur un milieu gélosé sélectif Tergitol-TTC .l'opération est répétée deux fois. L'une des boîtes est incubée à 37°C pendant 24h-48h pour la recherche des coliformes totaux, et l'autre à 44°C pour la recherche des coliformes thermotolerants.

La sélectivité augmente par la présence d'heptadécylsulfate de sodium (Tergitol 7) et du 2, 3, 5-triphenylterazoliumchloride (TTC) qui inhibe la plupart des bactéries Gram positive. La réduction du TTC par les bactéries lactose (-) négative produit des colonies rouge foncé. (CEAE, 2005a).

- **Lecture :**

Pour les coliformes totaux ; après 24heures les boites de Pétri sont retirées de l'étuve à 37°C, et sur une paillasse javellisée devant un bec bunsen on compte les colonies rouges et jaunes. Pour les coliformes fécaux ; après 24heures les boites de Pétri sont retirées de l'étuve à 44°C, et sur une paillasse javellisée devant un bec bunsen on compte les colonies jaunes.

- **Test confirmatif :**

Une colonie jaune est prélevée et ensemencée sur le milieu Endo Agar ,puis incubée à 37°C pendant 24heures.

- **Test de l'oxydase :**

Mettre les disques d'oxydase sur une lame, les mouiller avec de l'eau distillée puis prélever la colonie et la déposer sur le disque et observer s'il ya virage du disque vers le violet, dans ce cas ça confirme que c'est oxydase positive.

- **Test de la catalase :**

Le test de catalase consiste essentiellement à ajouter du peroxyde d'hydrogène à des bactéries, la présence de catalase donne lieu à l'apparition de bulles d'oxygène, sur une lame propre et séchée, on dépose une goutte d'eau oxygénée à 10volumes.

A l'aide d'une pipette Pasteur, ajouter un fragment d'une colonie bactérienne isolée puis observer immédiatement s'il y a apparition de bulles, et dégagement gazeux de dioxygènes, cela indique une catalase positive(+), dans le cas contraire cela indique une catalase négative(-).

- **Coloration de Gram :**

Une coloration de Gram à été réalisée pour les colonies et consiste à réaliser un frottis et le fixer à la chaleur. Colorer le frottis pendant une minute avec une solution de violet de gentiane. Rincer rapidement avec une solution iodo-ioduré de Lugol pendant quelques secondes. Le frottis est ensuite décoloré avec l'alcool à 95 % puis rincé immédiatement avec l'eau du robinet.

Le frottis est ensuite coloré avec une solution de fushine, puis rincé rapidement a l'eau et séché. Après ce traitement, les cellules à Gram négatif apparaissent roses et les cellules à Gram positif apparaissent sous une couleur violette (**SINGLETON et SAINSBURY, 1984**).

Le principe de cette coloration est que le violet de gentiane se fixe sur des composants cytoplasmiques et après ce temps de coloration, toutes les bactéries sont violettes. Chez les bactéries à Gram négatif, la paroi, riche en lipides, laisse passer l'alcool qui décolore le cytoplasme et adopte la couleur rosâtre de la fushine, alors que chez les bactéries à Gram positif, la paroi constitue une barrière imperméable à l'alcool et le cytoplasme demeure coloré en violet (**PELMONT, 1993**).

- **énombrement des streptocoques fécaux :**

- **Test présomptif :**

La réalisation de la technique de filtration est identique à la précédente. Un volume de 100ml d'eau de mer a été filtré. La membrane est déposée sur le milieu gélosé Slanetz et incubée à 37°C pendant 24h-48h.

Cette gélose lactosée contient de l'Azide de sodium (un inhibiteur des Gram -) et du TTC qui lors de sa réduction donne une coloration des bactéries en rouge (**CEAE, 2005b**).

- **Test confirmatif :** A partir des boites de cultures précédentes, les membranes filtrantes sont retirées et déposées stérilement sur un autre milieu gélose BEA (Bile et Esculine Azide), incubation environ 20 minutes devant le (**CEAE, 2005a**) à température ambiante.

- **Lecture :** L'apparition des colonies avec un halo noir confirme la présence des Streptocoques.

III.1.5. Détermination des germes pathogènes :

La recherche des salmonelles et des vibrions s'effectue par la méthode qualitative réalisée en trois étapes : enrichissement, isolement et identification (**RODIER, 2005**).

Les salmonelles :

• Enrichissement :

Le milieu d'enrichissement des salmonelles est le bouillon au sélénite de sodium(SFB),qui favorise leur développement ; la méthode consiste à filtrer un volume d'eau de mer de 500ml d'échantillon sur membrane filtrante, puis la membrane est récupérée et mis dans 100ml de bouillon SFB en ajoutant des additifs SFB sous forme de disque . Cette étape constitue un premier enrichissement qui sera incubée à 37° C pendant 24 heures.

• Isolement :

L'isolement se fait par ensemencement sur milieu sélectif SS (gélose salmonelle, shigelles), à partir du bouillon d'enrichissement SFB puis incubation à 37°C pendant 24 heures.

• Lecture :

La présence des salmonelles se traduit soit par des colonies incolores à centre noir ou bien par des colonies incolores transparentes.

L'identification des colonies présumées se fait comme suit :

- Coloration de Gram
- Recherche de l'oxydase
- Compléter par d'autres tests biochimiques à l'aide de la galerie API 20E

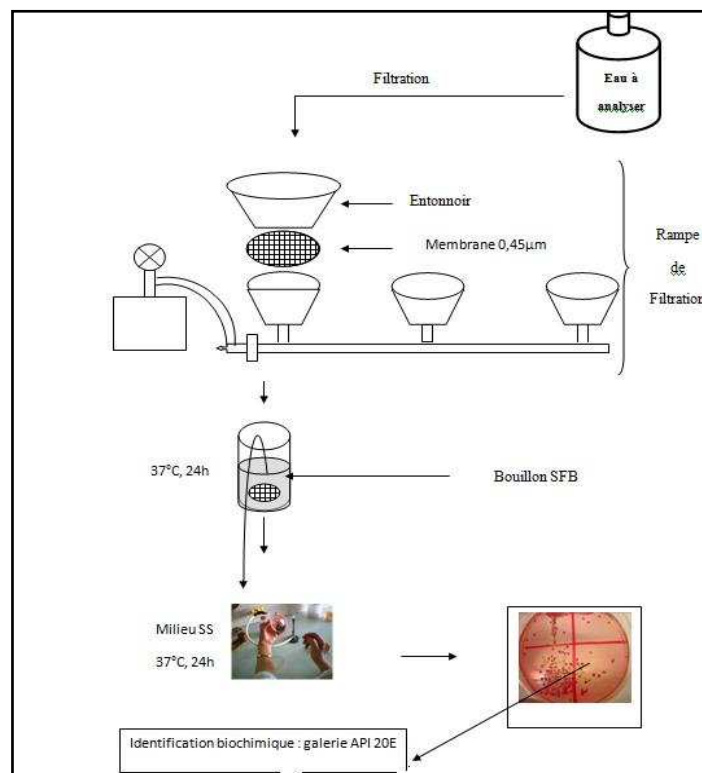


Figure 19 : Recherche des Salmonelles par la méthode de filtration sur membrane

Les vibrions :

• Enrichissement :

Le milieu d'enrichissement des vibrions est l'eau peptonée alcaline (EPA). Dans un flacon de 500ml mettre 50ml d'EPA à laquelle on ajoute 450ml d'échantillon d'eau de mer qu'on incube à 37°C pendant 24 heures.

- **Isolement :**

A partir du milieu d'enrichissement, on procède à l'étalement d'une goutte prélevée à la surface du flacon d'EPA sur milieu thiosulfate, citrate, saccharose (TCBS), puis l'incubation à 37°C pendant 24 heures.

- **lecture :**

On remarque s'il ya virage du milieu, et on dénombre les colonies qui apparaissent en,

- Petites colonies vertes claires
- Colonies incolores avec centre vert
- Colonies orange bombées.
- Pour la confirmation, on procède à la coloration de Gram, au test de l'oxydase et à l'identification par galeries biochimiques.

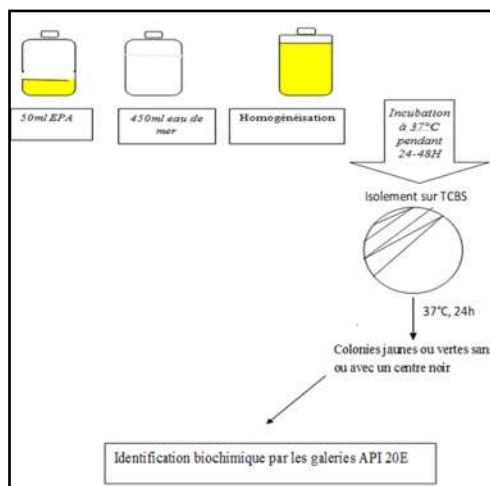


Figure 140 : Recherche des vibrions

La méthode des NPP :

Pour le traitement des sédiments, nous avons utilisé la méthode de numération en tubes multiples, appelée aussi méthode du nombre le plus probable (NPP), avec mise en culture sur milieu sélectif.

Cette méthode est une estimation statistique du nombre des microorganismes supposés distribués dans l'eau d'une manière aléatoire (loi de poisson), Son application nécessite plusieurs dilutions pour chaque échantillon à analyser, plusieurs tubes sont ensemencés (généralement de 3à5). Dans notre étude nous avons ensemencé 3 tubes.

La répliation des microorganismes est remarquée par la production de gaz et la turbidité du milieu, le nombre de tubes positifs est compté pour chaque dilution, la Table de Mac Grady (tableau II.2) permet d'estimer le nombre de bactéries présentes dans le milieu.

Mode opératoire :

Pour l'analyse des sédiments, nous avons utilisé la méthode de numération en tubes multiples avec mise en culture sur milieu sélectif

- Dans un flacon stérile de 250ml, mettre 225ml d'eau physiologique stérile et 25g de sédiment, bien agiter cette suspension qui constitue la solution mère (10^{-1}).
- Préparer des dilutions jusqu'à 10^{-3} à partir de la solution mère.
- A partir de chaque dilution, prélever 1ml et ensemencer 9ml du milieu sélectif, répéter l'opération trois fois. c'est la série des trois tubes.

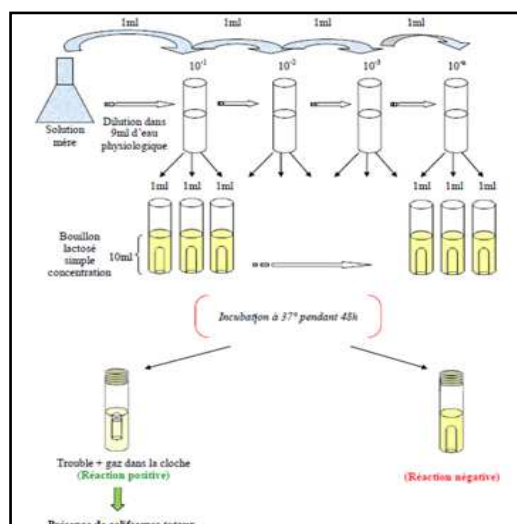


Figure 21 : Technique de dénombrement des Coliformes dans l'eau.

Dénombrement des coliformes totaux et coliformes fécaux :

Les coliformes ont été dénombrés par ensemencement sur bouillon lactose au vert brillant (VBL), avec cloche de Durham, puis incubés à 37°C pendant 48 heures pour les coliformes totaux et à 44°C pour coliformes fécaux.

Les cultures positifs (les tubes qui présentent un trouble et la formation de gaz 1/10^{ème} de la cloche) sont indiqués dans un tableau par un signe (+), les tubes négatifs sont notés par un signe (-).

Dénombrement des streptocoques fécaux:

La numération des streptocoques fécaux à été réalisée sur milieu Rothe (test présomptif). Les tubes positifs (ceux qui présentent un trouble du milieu) ont été mis en culture sur le milieu d'Eva – Litsky et incubés à 37°C pendant 24 heures.

Tableau. II. 2 : Normes de salubrité des eaux de baignade, (Extrait de l'annexe 1 du décret n°93-164 du 10 Juillet 1993)

Paramètres microbiologiques	Unités	Valeurs guide	Valeur impérative
Coliformes totaux	/100ml	500	10000
<i>Escherichia coli</i>	/100mL	100	2000
Streptocoques fécaux /100ml	/100ml	100	-
Salmonelles	11	-	0
Vibron cholérique	/450ml	-	0

- Valeur guide : caractérise une bonne qualité pour la baignade.
- Valeurs limites : constitue la limite supérieure au –delà de laquelle l'eau est considérée de mauvaise qualité (baignade interdite).
- Les eaux dont les concentrations sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue

Tableau :II. 3 : Table de Mac Grady (3tubes/dilution)

Nombre caractéristique	Nombre de microbes	Nombre caractéristique	Nombre de microbes	Nombre caractéristique	Nombre de microbes
000	0.0	201	1.4	302	6.5
001	0.3	202	2.0	310	4.5
010	0.3	210	1.5	311	7.5
011	0.6	211	2.0	312	11.5
020	0.6	212	3.0	313	16.0
100	0.4	220	2.0	320	9.5
101	0.7	221	3.0	321	15.0
102	1.1	222	3.5	322	20.0
110	0.7	223	4.0	323	30.0
111	1.1	230	3.0	330	25.0
120	1.1	231	3.5	331	45.0
121	1.5	232	4.0	332	110.0
130	1.6	300	2.5	333	140.0
200	0.9	301	4.0		

(Brisou, 1980)

Liste des tableaux et figures

- Figure I.15 : Limites administratives de la commune de Fouka.
Figure I.16 : Situation géographique de Fouka marine (Google earth).
Figure I.17 : Carte Géomorphologique de la baie de Bou Ismail (LEM, 1999).
Figure I.18 : Topographie de la baie de Bou-Ismaïl (Leclaire, 1972).
Figure I.19 : Sédimentologie de la baie de Bou Ismail (PAC, 2005).
Figure I.20 : Réseau hydrographique dans la baie de Bou Ismail.
Figure : II.21 : Extrait de carte géologique de Koléa pour la délimitation de la région .de Fouka, 1 / 50 000^{ème}.
Figure II.22 : Coupe de Fouka Marine Ouest (in Rahal 1988)
Figure II.23 : Partie de la falaise montrant l'érosion différentielle causée par les limons rouges
Figure II.24 : Coupe de Fouka Marine Est (in Rahal1988).
Figure II.25 : Partie montrant le limon rouge.
Figure II.26 : Côte rocheuse à l'Est de Fouka Marine
Figure II.27 : Falaise Ouest de Fouka Marine
Figure II.28 : Plage de Fouka Marine
Figure II.29 : Plage Gadea visal
Figure II.30 : Aspect topographique du site d'étude.
Figure II. 31 : Présence d'encoche au niveau des falaises de Fouka Marine
Figure II.32 : Chute de blocs de la falaise
Figure II.33 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).
Figure II.34 : Schéma préalable de l'hydrodynamisme dans la baie de Bou Ismail (Source LEM 2001).
Figure II.35 : Bathymétrie de Fouka Marine, côté falaise (LEM, 2D).
Figure II.16: Réfraction de la houle, direction N 20°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).
Figure II.36 : Réfraction de la houle, direction N20°, Dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).
Figure II.37 : Réfraction de la houle, direction N 270°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).
Figure II.19 : Réfraction de la houle, direction N 270°, dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).
Figure II.38 : Réfraction de la houle, direction N 300°, dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).
Figure II.39 : Réfraction de la houle, direction N300°, dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).
Figure II.40 : Réfraction de la houle, direction N360°5 Nord), dans la région de Fouka Marine (vue d'ensemble).
Figure 23 : Réfraction de la houle, direction N360°(Nord), dans la région de Fouka Marine (vue détaillée).
Figure II.41 : Carte des points d'extractions
Figure II.25: Schéma structural à partir de l'image Landsat (tectonique satellite)
- Figure II.26: Carte des isoséistes du séisme de Larhat-Gouraya du 15 janvier 1891 (CNERU)
Figure II.27 : Carte des intensités du séisme de Tipaza du 09 février 1990 (CNERU)
Figure II. 28 : Carte de la distribution des intensités observées suite au séisme d'Alger du 04 septembre 1996. Le triangle indique l'épicentre macrosismique (Ain Benian); L'intensité maximale observée est de I0=7 - (CNERU).
Figure II.42 : Carte de la distribution des intensités observées suite au séisme d'Alger – Boumerdès du 21 Mai 2003

Figure II.30: Les diagrammes ombrothermique de Gaussen (1994-2004), (Source : ONM 2004).

Figure II.31 : Cavité sous marine.

Figure II.43 : Eboulements par fragilisation de la zone côtière.

Figure II.44 : Construction d'habitations sur le rivage à Fouka Marine.

Figure II.45 : Sites naturels de Fouka Marine fragilisés par l'exode rurale.

Figure II.46 : Barrage Bou Roumi.

Figure II.47 : Evaluation et estimation de la quantité d'ordures ménagères produite.

Figure II.48 Déchets sur le rivage de Fouka Marine

Figure II.38: Décharge publique à Fouka Marine près du littoral.

Figure II.39 : Fabrique sur la falaise de Fouka Marine.

Figure II.49 : Rejets d'eaux usées directement en mer.

Figure II.50 : Emplacement des stations de prélèvements à Fouka Marine

Figure II.51 : Graphe des Résultats des coliformes totaux(CT) recherchés par la méthode MF

Figure II.43: Graphe des Résultats des coliformes fécaux(CF) recherchés par la méthode MF.

Figure II.52 : des Résultats des streptocoques (Sp) recherchés par la méthode MF.

Figure III.1 : évolution du trait de côte de la zone de Fouka Marine entre 1959 et 2009.

Figure III.53: Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone1).

Figure III.54 : Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone2).

Figure : III.4: Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone3).

Figure : III. 5 : Courbe de la tendance de l'évolution du trait de côte de Fouka Marine (zone4).

Figure : III.6 : Carte des surfaces des aménagements urbains à protéger.

Figure IV.1 : Carte récapitulative de quelques pressions agissant sur Fouka Marine.

Figure V.1 : Schéma type d'un canal à houle.

Figure V.2: Cabine de pilotage des essais.

Figure V.3 : Profil de la variante retenue par le LEM (segment Ouest).

Figure V.4 : profil de la variante de protection type « Talus à berme ».

Figure V.5 : plan de masse de la variante de protection de zone Fouka Marine.

Figure V.6 : Profil en travers de rechargement artificiel de la plage.

Figure V.7: plan horizontal de brise lames en géotubes proposés pour protéger la plage.

Figure V.8 : Profil en travers de brise lames en géotubes proposés pour protéger la plage.

Figure : V.9: profil en travers de la protection mixte de type brises lames+ digue à talus.

Liste des tableaux :

Tableau II.4 : Fréquence mensuelle des houles selon les directions au large d'Alger.

Tableau II.5 : Résultats de l'analyse des houles à la côte de Fouka Marine

Tableau II.6: Les températures mensuelles moyennes de la baie de Bou-Ismaïl durant la période 1976 – 2005 (Source : ONM, 2007).

Tableau II.4 Estimations de la production des déchets ménagers

Tableau. II.5 : Distribution des rejets d'eau usée dans la région de Fouka Marine.

Tableau.II. 6: Les coordonnées géographiques des stations de prélèvements

Tableau II.7: Valeurs des paramètres physico-chimiques enregistrées au niveau des stations In situ.

Tableau II.8 : Résultats des paramètres indicateurs de pollution fécale.

Tableau IV. 1: Tableau récapitulatif des pressions, impacts et proposition de quelques solutions.

Tableau V.1 : Caractéristiques de la houle à -5m

Tableau V .2 : Résultats des essais des variantes testées en modèle réduit physique.

Tableau V.3 : Résultats des essais des variantes testées en modèle réduit physique.

Tableau V.4 : Tableau récapitulatif des résultats des dimensionnements.

Liste des acronymes

APS : Avant Projet Sommaire.

BEA : Gélose Bile-esculine.

CERC : Cellules Economiques Régionales de la Construction.

CF : Coliformes Fécaux

CNERU Centre National des Etudes et des Recherches en Urbanisme

CT : Coliformes totaux

DBO: Demande Biologique en Oxygène

EMPR : Essai sur Models Réduit Physique.

GIZC : Gestion Intégrée de la Zone Côtière.

ISMAL : Institut national des Sciences de la Mer et d'Aménagement du Littoral.

LCHF: Laboratoire Central d'Hydraulique de France.

LEM : Laboratoire d'Etude Maritime.

MRE :Ministère des Ressources en Eau

NGA : Nivèlement Général Algérien.

NPP: Nombre le Plus Probable.

ONA : Office National de l'Assainissement.

ONM : Office National de Météorologie.

ONS : Office National des Statistiques.

PAC : Plan d'Aménagement Côtier.

POS : Plan d'Occupation du Sol.

PSU : Unité Pratique Salinité.

RGPH : Recensements Généraux de la Population et de l'Habitat.

SF : Streptocoques fécaux

SSMO: Summary of Synoptique Meteorological Observation

TCBS : Thiosulfate-citrate-sels biliaires-sucrose.

USNWC: U.S. Naval Weather Service

VBL: Bouillon lactosé au Vert brillant.

WTW: Wissenschaftlich technische Werkstätten.

ZET: Zone Economique Touristique.

