

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEINGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
ECOLE NATIONALE SUPERIEUR DES SCIENCES DE LA MER ET DE
L'AMENAGEMENT DU LITTORAL



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

OPTION : Aménagement du littoral.

SUJET :

Aménagement et protection du rivage de Jijel

Présenté par :

- M^r DAGHBADJ Ahmed
- M^{me} SALEM CHERIF Yousra

Soutenu le 16/06/2015 devant la commission d'examen formée de :

M ^{me} Bachari-Houma.F	Professeur (ENSSMAL)	Présidente
M ^r Mezouar.K	Maitre de conférences B (ENSSMAL)	Examineur
M ^r Bachouche.S	Chercheur (CNRDPA)	Examineur
M ^r Belkessa.R	Professeur (ENSSMAL)	Promoteur
M ^{me} Mouhoubi. N.E.I	Doctorante (ENSSMAL)	Co-promotrice

Promotion : 2014/2015

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements à :

Madame BACHARI F., Professeur à l'ENSSMAL, qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

Nous remercions Monsieur BELKESSA R., Professeur à l'ENSSMAL pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.

Madame MOUHOUBI N.E.I., Doctorante à l'ENSSMAL pour avoir co-encadré ce travail ; pour sa présence et son aide considérable tout au long de ce travail ainsi que tout au long de notre cursus.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à monsieur MEZOUAR K., Maître de conférences B à l'ENSSMAL pour son aide et son soutien et pour avoir accepté et d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à Monsieur BACHOUICHE S., Chercheur au CNRDPA, d'avoir rependu présent pour ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nos profondes reconnaissances à Madame MEHDID S. pour leur aide ; au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur disponibilité et leur accueil, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

Nous adressons un grand merci à nos familles qui sans eux on en serait certainement pas arrivés là, qu'ils trouvent ici nos reconnaissances les plus distinguées et un petit fruit de leurs sueurs.

SOMMAIRE

Liste des acronymes	
Liste des équations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des annexes	
Introduction	13
CHAPITRE I : Collecte de données	
1. Situation géographique.....	16
2. Description du milieu récepteur	17
3. Caractéristiques géographiques de la région	18
4. Agents et processus de l'évolution littorale.....	18
4.1. Hydrographie.....	18
4.2. Données météorologiques.....	19
4.2.1. Le climat et les températures	19
4.2.2. Précipitations.....	19
4.2.3. Vents.....	19
4.3. Données océanographiques	20
4.3.1. Les houles.....	20
4.3.2. La marée.....	21
4.3.3. Les courants.....	21
5. Caractéristiques géologiques	22
5.1. Ensemble métamorphique.....	23
5.2. Ensemble sédimentaire	23
6. Le cadre géomorphologique	24
7. Milieu biologique.....	26
8. Histoire de Jijel.....	26
Conclusion.....	27
CHAPITRE II : Matériels, méthodes et discussion des résultats	
1. Etude bathymétrique.....	29
1.1. Mode opératoire.....	30
1.2. Exploitation de données récoltées.....	30
1.3. Description du logiciel	30
1.4. Manipulation	30
1.5. résultats	32
1.5.1. La morphologie sous-marine.....	32
1.5.2. Les profils.....	33
A. Profils perpendiculaires	34
B. Profils parallèles.....	34
2. Evolution du trait de côte	37
2.1. Description du logiciel.....	37
2.2. Manipulation.....	37
2.3. Résultats.....	38

2.4. Interprétations.....	38
3. La réfraction de la houle.....	40
3.1. Définition de la réfraction.....	40
3.2. But de l'étude.....	40
3.3. Principe de calcul de la réfraction.....	41
3.4. Description et principes des logiciels utilisés.....	41
3.5. Données de la houle vintennale au large.....	42
3.6. Choix des directions	43
3.7. Etapes de manipulation.....	44
3.8. Résultats.....	45
3.9. Interprétation.....	50
4. Etude sédimentologique.....	50
4.1. Echantillonnage.....	50
4.2. Technique d'analyse et paramètres granulométriques	51
4.3. Synthèse des résultats	52
A. Teneur de la fraction fine.....	52
B. Médiane granulométrique	52
C. Analyse modale.....	53
D. Indice de classement de trask.....	55
E. Indice d'asymétrie.....	56
F. Mode de transport des sédiments	57
5. Transit littoral.....	57
5.1. Explication sur l'estimation du transit littoral.....	57
A. Le bilan énergétique annuel du transport.....	57
B. Détermination de l'angle α et de la fonction $f(\alpha)$	58
5.2. Résultats.....	60
5.3. Interprétations.....	62
Conclusion	63
 CHAPITRE III : Dimensionnement	
1. Objectif de l'intervention.....	65
2. Définition des ouvrages de haut de plage.....	65
3. Caractéristiques des différentes parties des ouvrages de protection.....	66
4. Description de l'intervention d'optimisation	68
4.1. variante A : extension du front de mer	68
4.1.1. sous-variante A1.....	68
4.1.2. sous-variante A2.....	70
4.2. variante B : digue à talus	72
5. Estimation des couts de construction	72
6. Comparaison des variantes.....	74
 CONCLUSION GENERALE	 77
Bibliographie	80
Annexes	84

AFNOR: Association Française de NORmalisation

ANRH: Agence Nationale des Ressources Hydrauliques

GPS: Global Positioning System

LCHF: Laboratoire Central Hydraulique de France

LEM: Laboratoire d'Etudes Maritimes

ONM: Office Nationale de la Météo

PDAU: Plan Directeur d'Aménagement Urbain

SIG: System d'Information Géographique

SSMO: Summury of Synoptic Meteorological Observations

SWAN: Simulating WAVes Near shore

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS: World Geodetic System (système géodésique mondial)

1- Calcul du coefficient de réfraction	41
2- Equation de conservation de la densité spectrale.....	42
3- Calcul de la périodicité d'apparition.....	43
4- Indice de classement de TRASK.....	55
5- Indice d'asymétrie	56
6- Formule LCHF.....	58
7- Poids des blocs de carapace, Hudson 1974.....	66
8- Diamètre nominal(D_{n50}).....	66
9- L'épaisseur de la carapace.....	66
10- Nombre d'élément de la carapace.....	66
11- Poids de butée de pied.....	67
12- Poids du noyau.....	67
13- Epaisseur du filtre.....	68

Figure n°1 : Positionnement de la zone d'étude.....	16
Figure n°2 : Photos du front de mer de Jijel (Beaumarchais).....	17
Figure n°3 : Géologie de Jijel (d'après M. E. Ficheur, 1971).....	22
Figure n°4 : Portion de la carte de répartition de la nature de la couverture sédimentaire de la baie de Djidjelli (Leclaire ,1972).....	25
Figure n°5 : Photos du vestige romain présent sur le site.....	27
Figure n°6 : Carte des stations et radiales suivies lors des mesures bathymétriques..	29
Figure n°7 : La carte bathymétrique en 2D de la zone de Beaumarchais (Jijel).....	32
Figure n°8 : La carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude.....	33
Figure n°9 : Profil sous-marin n°1.....	34
Figure n°10 : Profil sous-marin n°2.....	34
Figure n°11 : Profil sous-marin n°3.....	35
Figure n°12 : Profil sous-marin n°4.....	35
Figure n°13 : Profil sous-marin n°5.....	36
Figure n°14 : Carte bathymétrique de la région de Jijel (Rivage du Beaumarchais) en 3D.....	36
Figure n°15 : Evolution du trait de côte entre 2006 et 2015.....	39
Figure n°16 : Schématisation du phénomène de réfraction au-dessus d'une côte comportant des caps et des baies	40
Figure n°17 : Choix des directions défavorables pour le site d'étude.....	44
Figure n°18 : Réfraction de la houle, direction N360°, sur le rivage du front de mer de Jijel.....	47
Figure n°19 : Réfraction de la houle, direction N315°, sur le rivage du front de mer de Jijel	48
Figure n°20 : Réfraction de la houle, direction N45°, sur le rivage du front de mer de Jijel.....	49
Figure n°21 : Répartition spatiale des points d'échantillonnage.....	51
Figure n°22 : Carte de la répartition spatiale des médianes granulométriques (Md en μm).....	53

Figure n°23: Histogramme de fréquences des classes granulométriques.....	54
Figure n°24: Histogramme de fréquence des modes granulométriques.....	54
Figure n°25: Indice de classement de Task (So).....	55
Figure n°26: Indice d'asymétrie S_k	56
Figure n°27: Diagramme de Passega.....	57

Tableau n°01 : Houle annuelle dans la région de Jijel (SSMO ; 1970)	20
Tableau n°2 : Houles extrêmes dans la région de Jijel calculées à partir des houles annuelles (SSMO ; 1970)	43
Tableau n°3 : Récapitulatif du coefficient de réfraction K_r par période et par profondeur pour le secteur $N45^\circ$	45
Tableau n°4 : Récapitulatif du coefficient de réfraction K_r par période et par profondeur pour le secteur $N315^\circ$	46
Tableau n°5 : Récapitulatif du coefficient de réfraction K_r par période et par profondeur pour le secteur $N360^\circ$	46
Tableau n°6 : Pourcentages des teneurs en fraction pélique	52
Tableau n°7 : Les limites de S_0 utilisées	55
Tableau n°8 : Les valeurs adoptées pour le coefficient d'asymétrie SK	56
Tableau n°9 : Moyenne des résultats obtenus par direction et par période	60
Tableau n°10 : Calcul des fréquences d'observation $f(\%)$ et de la durée de la houle t	61
Tableau n°11 : Calcul du bilan énergétique annuel du transport	61
Tableau n°12 : Calcul des angles α et des fonctions $f(\alpha)$ par direction et par période	61
Tableau n°13 : Estimation du transit sédimentaire global	62
Tableau n° 14 : Tableau représentatif de comparaison entre les variantes proposées	74

Annexe I: PDAU de Jijel (Plan Directeur d'Aménagement Urbain de 2009)	84
Annexe II: Fiche de calcul SWAN	85
Annexe III: Les cartes de la réfraction	87
Annexe IV: Tableau récapitulatif des fréquences d'observations	90
Annexe V: Détermination de l'angle α	91
Annexe VI: Tableaux de dimensionnement	92

INTRODUCTION

La zone côtière est un élément très attracteur de la population qu'elle soit à son état naturel ou en étant dotée des commodités nécessaires, le littoral subit de tous les cas plusieurs types de pressions.

La zone côtière étant fragile ; elle est donc vulnérable à tous types de pressions qu'elles soient naturelles mais surtout quand c'est anthropiques dont le degré varie selon le taux de fréquentation (Paskoff, 2004).

Dans notre cas ; le front de mer de Beaumarchais dans la commune de Jijel qui s'étend de près d'un kilomètre représente un paysage littoral à dénudation qui se présente comme une côte assez basse où les bâties sont situées à faible altitude , et séparées de la mer par des ressauts modestes (Pinot ; 1998) ; cette caractéristique en a fait une destination très sollicitée par les habitants de Jijel, les touristes et les estivants ; à cet effet le front de mer est exposé à d'énormes risques: la pression anthropique et la croissance des zones urbaines autour du site.

La Co-influence hydrodynamique et anthropique a engendré l'effondrement de certaines parties du front de mer ainsi que l'érosion au-dessous de ce dernier; c'est ce qui a tiré la sonnette d'alarme auprès des décideurs de la zone de Jijel afin de restaurer et de préserver ce potentiel socio-économique mais aussi culturel par la présence des vestiges romains.

Le problème à soulever aussi dans la zone de Jijel est qu'il est à noter que l'aire portuaire et les fronts de mer ne sont couverts par aucun POS selon les orientations du PDAU (PDAU de Jijel ,2009 ; annexe I)

La Direction des Travaux Publics de la wilaya de Jijel a confié au Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) le projet intitulé « étude et expertise de la protection du rivage du boulevard front de mer de la ville de Jijel».

Afin de comprendre les exigences exactes du site et afin de tracer un plan d'action ; nous allons nous projeter dans le futur tout en ayant une optique prospective qui nous permet de définir des scénarios :

- Scenario tendanciel : le scénario le plus probable est qualifié de tendanciel, il est en principe celui qui correspond à l'extrapolation des tendances, à tous les instants ou le choix s'impose (**Godet, 2008**) ; c'est à dire notre zone d'étude aura tendance à observer une dégradation du reste du front de mer.
- Scenario alternatif: c'est le déroulement des choses pour atteindre un future souhaitable après une intervention d'aménagement et de protection.

A partir des scénarios ; on établit des stratégies qui s'exprime en actions qui doivent être exécutées suivant un plan.

C'est dans la perspective de la protection et de la mise en valeur du rivage du boulevard front de mer de Jijel que ce travail a été établi en suivant le plan ci-dessous :

- Chapitre I : Collecte de données ; on fera une présentation de la zone d'étude, les facteurs naturels et anthropiques qui causent la dégradation du front de mer.
- Chapitre II : Matériels, méthodes et discussions des résultats ; étude topobathymétrique, de réfraction et transit sédimentaire.
- Chapitre III : Solutions proposées, adoption des solutions d'aménagement et de protection.

CHAPITRE I :

COLLECTE DE DONNEES

Dans le chapitre suivant, nous allons présenter les données collectées afin de définir les aspects généraux caractérisant notre zone d'étude.

1. Situation géographique :

La wilaya de Jijel est située au Nord-est du pays à environ 314 km à l'Est d'Alger, à 99 km à l'Est de Bejaia et à 135 km au Nord de Sétif. S'étalant sur une superficie de 2.396,63 km², avec une façade maritime de 120 kms, elle se situe entre la latitude 36° 30' et 37° Nord et la longitude 5°30' et 6°15' Est ; la région appartient au domaine Nord atlasique connu localement sous le nom de la chaîne des Babors.

Elle est adossée au massif montagneux de la petite Kabylie et limitée au Nord par la mer Méditerranée.

La zone d'étude est située immédiatement à l'Ouest du port de Jijel, elle s'étend sur un linéaire de côte d'environ 1 000 m (fig. 1).

Les coordonnées géographiques d'un point central (Mur ancien) situé au niveau du front de mer sont :

- 36°49' 40'' de latitude Nord.
- 05°45' 36'' de longitude Est

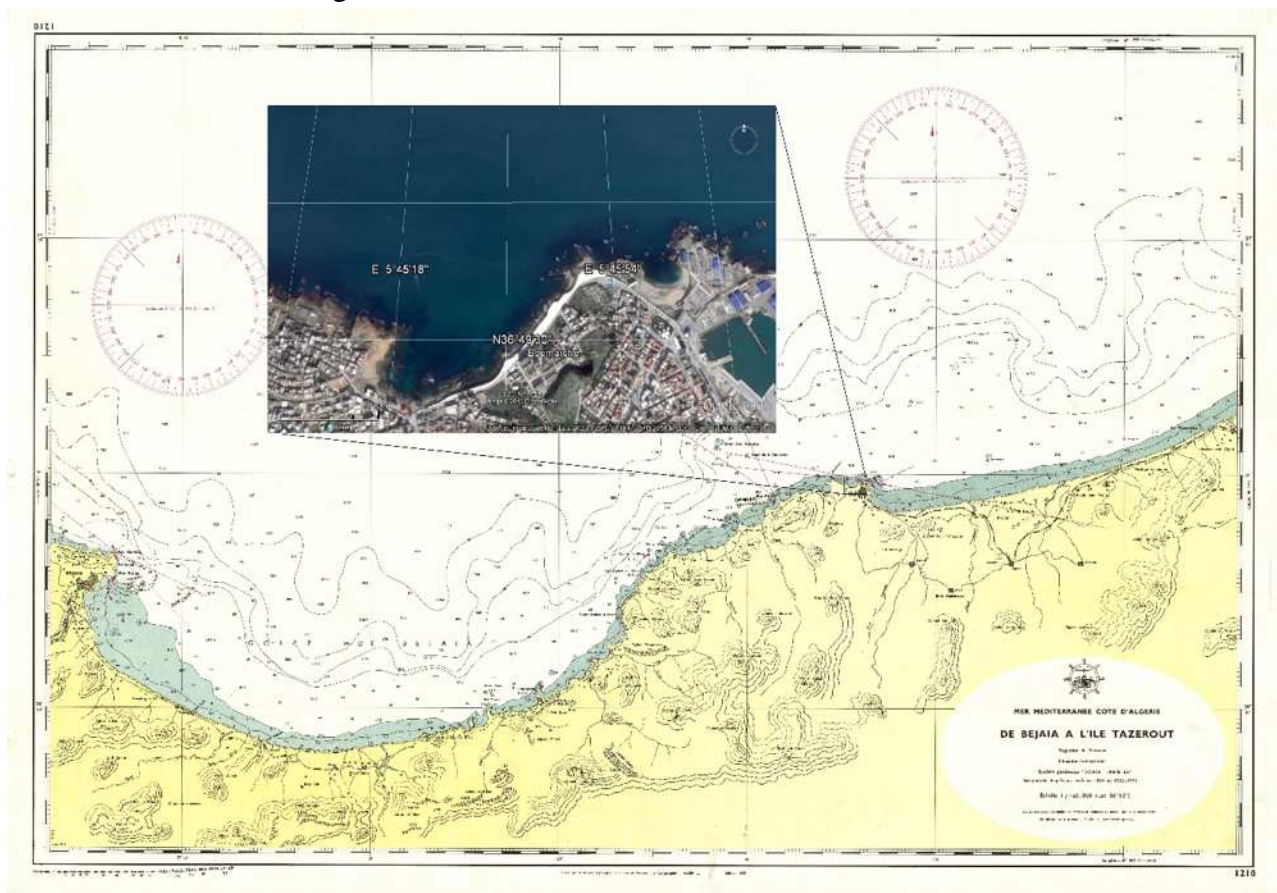


Figure n°1 : Positionnement de la zone d'étude

2. Description du milieu récepteur et type de côte :

Le front de mer de Jijel, nommé communément Beaumarchais ou boulevard Rouibah Houcine (fig. 2) se caractérise par un rivage majoritairement rocheux. Ce dernier se présente sous forme d'une curviligne. Il est dirigé Est – Ouest dans l'extrémité orientale puis il s'engouffre et pivote pour devenir presque Nord-sud dans la partie occidentale.

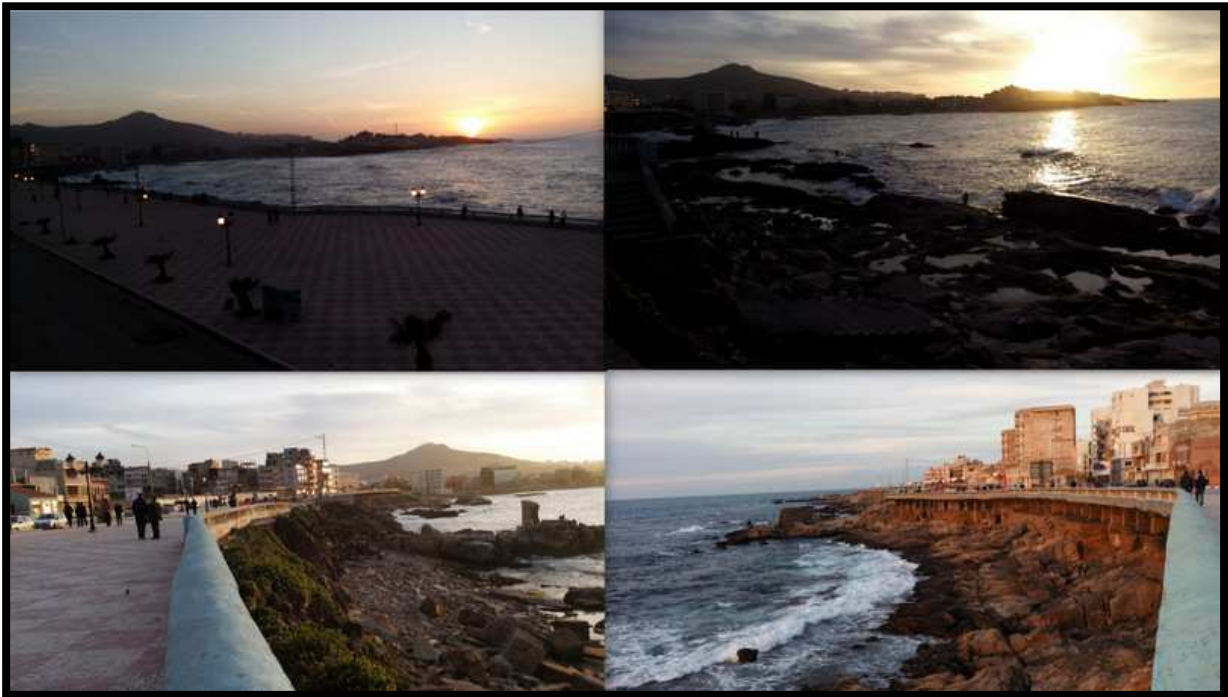


Figure n°2 : Photos du front de mer de Jijel (Beaumarchais)

Cette configuration a permis de créer une zone relativement abritée des agitations venant du secteur Ouest et à moindre degré du secteur Nord favorable pour des accumulations sableuses qui ont créé une petite plage appelée plage Rabta.

Du point de vue topographique la dénivellation de la falaise rocheuse par rapport au niveau de la mer est presque constante de l'ordre de quelques mètres.

Les fonds marins adjacents sont rocheux de pente et de topographie sous-marine irrégulière avec la présence, localement, de gros blocs de roches désagrégés et des platiers rocheux visibles en mer calme.

3. Caractéristiques géographiques de la région de Jijel :

La région de Jijel est essentiellement montagneuse. Son système orographique occupe 82% de sa superficie totale où plusieurs sommets dépassent les 1 500m d'altitude. On y distingue la chaîne numidique au sud et les anciens massifs de la Petite Kabylie au nord.

La chaîne numidique d'orientation sensiblement WSW-ENE, est composée essentiellement des massifs calcaires jurassiques (Djebels M'sid Aicha 1462m; Sidi Driss 1364m, etc...) et les massifs gréseux oligocènes (Djebels Bou Affroun 1352m, Tamesguida 1620m, etc...).

Ces reliefs forment une importante barrière rocheuse qui partage la Petite Kabylie au nord et les hauts plateaux au sud. Les plus hauts sommets de la Wilaya sont : Tamesguida 1620m, Tababour 1990m, Bouazza 1600m, El Korn 1200m et Seddat.

Les massifs anciens de la Petite Kabylie sont formés de terrains métamorphiques, traversés par des roches éruptives. Ces chaînes montagneuses longent directement la mer vers le côté ouest et reculent au sud dans la zone côtière Est où des vallées de plusieurs oueds (Oued El-Kébir, Oued Nil, Oued Djendjen) présentent de vastes dépôts alluviaux. De petites plaines jalonnent également le littoral à l'exemple de celles d'El-Aouana, de oued Z'hour, du bassin de Jijel, et enfin de l'oued Boussiaba à l'intérieur des terres.(LEM ,2006)

4. Agents et processus de l'évolution littorale :

Les cotes évoluent selon le taux d'érosion et de sédimentation ; pour notre cas, l'évolution de notre rivage dépend nécessairement de la vitesse d'érosion vue que c'est un platier rocheux ; ce phénomène est géré par le jeu des vagues et des marées ainsi que par les courants engendrés.

L'espace littoral subit aussi des transformations dues à l'intervention d'agents morphogéniques qui ne lui sont pas propres comme le vent, la température, les eaux de ruissellement et de précipitations qui peuvent avoir des conséquences non négligeables au niveau du rivage.

4.1. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la région de Jijel est connu comme étant très dense. Il est dominé par une direction Sud-Nord et des affluents de directions différentes favorisent l'écoulement des lames d'eau précipitées qui déversent généralement dans la mer. Les plus importants oueds sont:

-Oued El-Kébir: qui prend naissance de la jonction d'Oued Rhumel et Oued Endja, traverse El-Milia et El-Ancer et se jette à la mer dans la région de Beni-Belaid.

-Oued Djen-Djen qui prend sa source au Babors (Erraguene) est constitué de trois étages bioclimatiques (partie supérieure Erraguene barrage, partie centrale Oued Missa+ Taballout et partie maritime Azzaouane à Taher).

Le régime hydrographique de ces oueds se caractérise par un long étiage et des crues d'hivers et de printemps soudaines et rapides (Boudjedjou, 2010).

Le total des apports solides des oueds débouchant dans la baie de Jijel, pourraient atteindre 14,6 million de m³. Cependant, il y a lieu de remarquer que ces apports en suspension sont essentiellement constitués de sédiments fins, dont la majeure partie sera entraînée au large. On peut admettre que le dixième seulement de ce volume de sédiments se déposera devant le débouché des oueds : soit environ 1,5 millions m³/an.

4.2. Données Météorologiques (ONM et ANRH; 2014)

4.2.1. Le Climat et les Températures

Comme toutes les régions du littoral Algérien la Wilaya de Jijel bénéficie d'un climat tempéré et humide. La température dans cette région ne dépasse pas 40°C et ne descend pratiquement jamais en dessous de 0°C. Le maximum est de 30 °C sur le littoral et le minimum en Janvier est de 7°C.

4.2.2. Les précipitations

La région de Jijel est l'une des régions les plus pluvieuses de l'Algérie. Sur la base des données d'une étude sur la contribution à l'étude du pin d'Alep en Algérie pour les mesures de pluviométrie et température, le nombre de jours pluvieux par an est de 111 jours et cette précipitation correspond à 1204 mm/an , d'après l'ANRH la moyenne pluviométrique interannuelle (septembre-Mars) est de 883.5mm.

La répartition des pluies dans le cycle annuel est très inégale. Elle est fortement influencée par le facteur saisonnier. Le régime saisonnier des précipitations est comme suit :

-Automne : 31.79%.

-Hiver : 44.08%.

-Printemps : 20.97%.

-Eté : 3.16%.

4.2.3. Les Vents

Les vents sont toujours plus forts aux côtes qu'à l'arrière-pays immédiat. Les vents venant du large ne sont pas freinés par des obstacles ; par leur fréquence et leur vitesse ainsi que par sa direction ils génèrent la houle et les vagues dont il peut accroître la cambrure et des courants superficiels qu'il peut accélérer ou ralentir voir même inverser.

Dans la région de Jijel durant le premier 1^{er} et le 4^{ème} trimestre de l'année, les vents de l'ouest sont dominants (plus de 25% du temps) et une grande partie de ces vents a une vitesse supérieure à 8 m/s. Dans le 2^{ème} et le 3^{ème} trimestre, ce sont les vents du Nord Est et Est qui prédominent (plus de 20% du temps).

4.3. Données Océanographiques

4.3.1. Les houles

« Les houles sont des ondulations de surface qui se propagent vers la cote mais ne déplacent pratiquement pas les masses d'eau. Les particules fluides parcourent des trajectoires en mouvements orbitaux. Au large, ces mouvements sont circulaires et diminuent rapidement avec la profondeur jusqu'à s'annuler avant d'atteindre le fond, et ce d'autant plus que la période est courte. Lorsque la profondeur diminue, les particules fluides sont mises en mouvement sur toute la colonne d'eau et décrivent des trajectoires elliptiques d'autant plus plates qu'elles sont près du fond... » (Le Hir P. et all ; 2001)

Les houles d'Ouest, Nord, Nord-Ouest, Est, et Nord-Est sont les plus observées dans la région de Jijel, les fréquences d'observation sur l'année des houles de directions Ouest et Est sont les plus importantes. On constate que la direction dominante est l'Ouest. La prépondérance de cette direction est plus nette pour le premier, deuxième et quatrième trimestre, par contre, on distingue une légère diminution pendant la période d'été durant laquelle les houles de directions Est et Nord-Est dominant.

Données de houles au large (Données de SSMO) : Les données de la houle au large utilisées pour le calcul de la réfraction sont celles du manuel Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) de l'Us. Naval Weather-Service, consistent en des observations de navire sur la période de 1963 à 1970 - zone centre.

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

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes, ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles. Pour les houles extrêmes la période a été calculée en fonction du **Hs** correspondant.

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

Tableau n°1 : Houle annuelle dans la région de Jijel (SSMO ; 1970)

Période	Direction houle au large (m)		
	Nord	Nord Est	Nord-Ouest
6 s	Hs=1,00m	Hs=1,09m	Hs=1,10m
8 s	Hs=2,67m	Hs=2,56m	Hs=2,64m
10s	Hs=4,92m	Hs=5,05m	Hs=4,53m

4.3.2. La marée

« Les marées sont provoquées par les attractions de la lune et du soleil. Elles se traduisent par une variation de la surface libre qui se propage à travers l'océan en s'amplifiant sur les hauts fonds et près des côtes. Du fait de cette propagation de l'onde de marée des variations périodiques du niveau de l'eau vont se manifester, entraînant des courants importants près des côtes » (Le Hir P. et all ; 2001)

La marée en mer Méditerranée et en particulier sur les côtes Algériennes est relativement faible. Elle est de type semi-diurne avec inégalité entre pleine et basse mer, observées chaque jour. L'amplitude en eau-vive ne dépasse pas 0.40m.

4.3.3. Les courants

« ...Sont des mouvements d'ensemble de l'eau sur des distances de plusieurs dizaines de mètres et bien au-delà ; ces mouvement ont des échelles de temps assez grandes, de quelques heure ou plus » (Le Hir P. et all ; 2001)

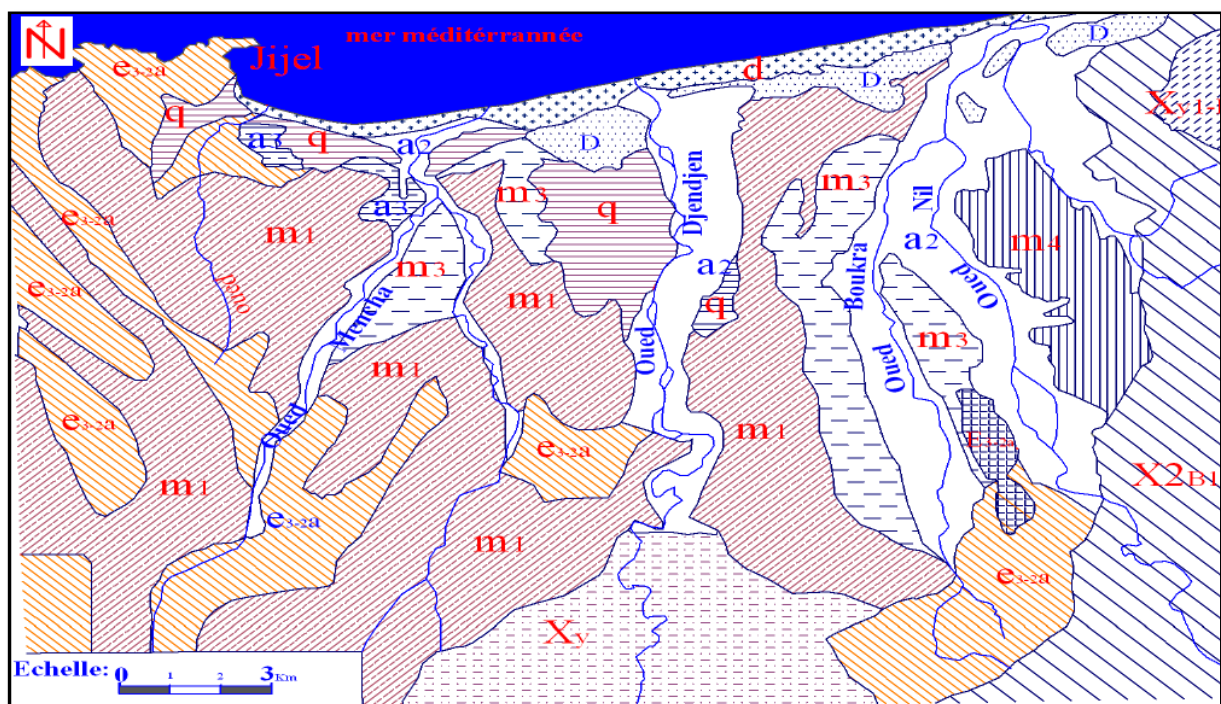
- **Les courants généraux** : La vitesse du courant général des eaux atlantiques, transitant par Gibraltar et se déplaçant vers l'Est, évolue généralement avec une vitesse de 0.5 m/s au large des côtes Algériennes. Ce courant crée dans la plupart des baies, un contre-courant littoral évoluant vers l'ouest.
- **Les courants côtiers** : les phénomènes hydrodynamiques, qui régissent les transferts sédimentaires le long des plages, en milieu maritime et dans la zone ressac, sont nombreux et parfois très complexes. Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui en provoquant la mise en suspension des particules, favorisent leur déplacement.
- **Les courants de retour** : les courants de retour correspondent à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.
- **Les courants de dérive littorale** : lorsque la houle arrive à proximité de la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la mise en suspension et le transport des particules sédimentaires le long de la côte. Dans le cas générale de houle de petite et moyenne amplitudes, les courants ne sont significatifs que dans la zone de déferlement et n'affectent donc que le tri dans la répartition des sables et graviers de la frange littorale (fond -100m). Ils en assurent aussi le transport latéral par dérivé littorale ainsi que la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir en fonction de leur amplitude jusqu'à des fonds pouvant atteindre -40 m à -60m.

5. Caractéristiques Géologiques :

La région Jijelienne fait partie d'une bande structurale et géologique (fig. 3) caractérisant la région nord de l'Algérie. C'est un édifice constitué d'un socle métamorphique qui occupe la partie nord, une chaîne calcaire et un domaine de flysch dans le sens Nord-Sud.

L'échelle stratigraphique de ces terrains se répartit du Quaternaire au Primaire. L'ensemble sédimentaire d'âge Mésozoïque, Cénozoïque et Quaternaire couvre les terrains métamorphiques, donc la couverture tertiaire repose soit sur le socle Kabyle, soit sur les terrains crétacé appartenant à des séries de types flyschs. Elle est constituée de sédiments littoraux, qui se sont déposés dans le bassin de Jijel nettement individualisés durant le Néogène; c'est le bassin Sahélien de Jijel.



	d-dunes actuelles "Sables grossiers parfois consolidés"		m1-birdugalien(miocene inférieur),marnes grises,parfois sableuses,calcaire-mameux
	D-dunes anciennes"sables fins limoneux souent consolidés"		E3-2a-numidien(éocène supérieur-oligocène), alternance d'argiles et grès
	a2-alluvions récentes "sables ,graviers,conglomérats ,galets"		E3-2b-mauritanien(éocène supérieur-oligocène) constituée de grès
	a3-alluvions marécageuses		xy-schistes,philades et quarzophilades
	q-alluvions quaternaires "terrasses anciennes des vallées"		Xy1-4-micaschistes
	m4-sahélien (miocene terminal) essentiellement des marnes bleus"imperméables"		X2-B1-3-schistes et micaschistes granitilisés"gniess"
	m3-pontien(miocene inférieur),dépôts détritiques,cailloutis,galets et argiles d'origine continentales		

Figure n°3 : Carte géologique de Jijel (d'après M. E. Ficheur, 1971)

5.1. Ensembles métamorphique :

Ce sont les terrains primaires constitués de :

- schistes satinés bleus à lentilles de quartz
- phyllades
- Calcaires cristallins et pegmatites
- Séricitoschistes
- Quartzo phyllade chloriteux gneissique

5.2. Ensemble sédimentaire :

- Terrains du secondaire :

- **Le trias** : se présente sous forme d'un complexe gypso-salin bariolé auquel s'ajoutent des conglomérats poudingues ou galets

- **Le crétacé** : constitué essentiellement de calcaire à silex (phtanites)

- Terrains du tertiaire :

- **Le numidien** : qui correspond à l'éocène oligocène terminal, il est constitué de grès intercalés d'argiles

- **Le burdigalien ou miocene inferieur** : il est composé de marnes gris bleus dans lesquelles on trouve parfois des récurrences de grès.

- **Le pontien ou miocene superieur** : il est formé par des cailloutis, galets, argiles et poudingues d'origine continentale

- **Le néogene sahelien ou miocene terminal** : il est constitué de marnes bleueses

- Terrains du quaternaire :

La majorité des terrains quaternaires sont formés d'alluvions et de dunes. Les alluvions les plus anciens forment les terrasses, les vallées et les cônes de déjections. Les alluvions récentes sont creusées par les actuels oueds, elles sont constituées de graviers, galets, conglomérats et de sables.

Les dunes anciennes sont constituées de sables fins souvent consolidés et limoneux. Les dunes actuelles bordent la mer, elles sont formées de sable grossier parfois consolidé.

Le site du Beaumarchais repose exclusivement sur un socle Numidien (Eocène-Oligocène) de type flysch et comporte des alternances de grès et d'argiles, avec une prédominance des argiles, des marnes à la base et des grès au sommet. On distingue de bas en haut la séquence suivante :

- des argiles et de marnes,

- des grès de couleur blanche ou rouge par suite de l'oxydation des sels de fer.

6. Le cadre géomorphologique

La carte de la baie de Djidjelli illustre la variété du site sous-marin de la petite Kabylie. Trois compartiments morphologiques apparaissent nettement (Leclaire, 1972). Pour notre zone d'étude qui se situe à l'Ouest et appelée autre fois El kalaa, le plateau de **Didjelli** accidenté, échancré dans sa partie médiane au niveau du rebord, atteint son maximum d'extension au droit du haut fond du même nom (12 km). La pente continentale qui lui succède vers le large est accore (15°) (Leclaire, 1972).

Face à notre zone d'étude, on retrouve la vallée sous-marine de Djidjelli qui débute à 200m de profondeur.

Du point de vue sédimentologique la répartition ; dans notre zone ; observée sur la carte de Leclaire 1972 est la suivante : (allant de la cote vers le large)

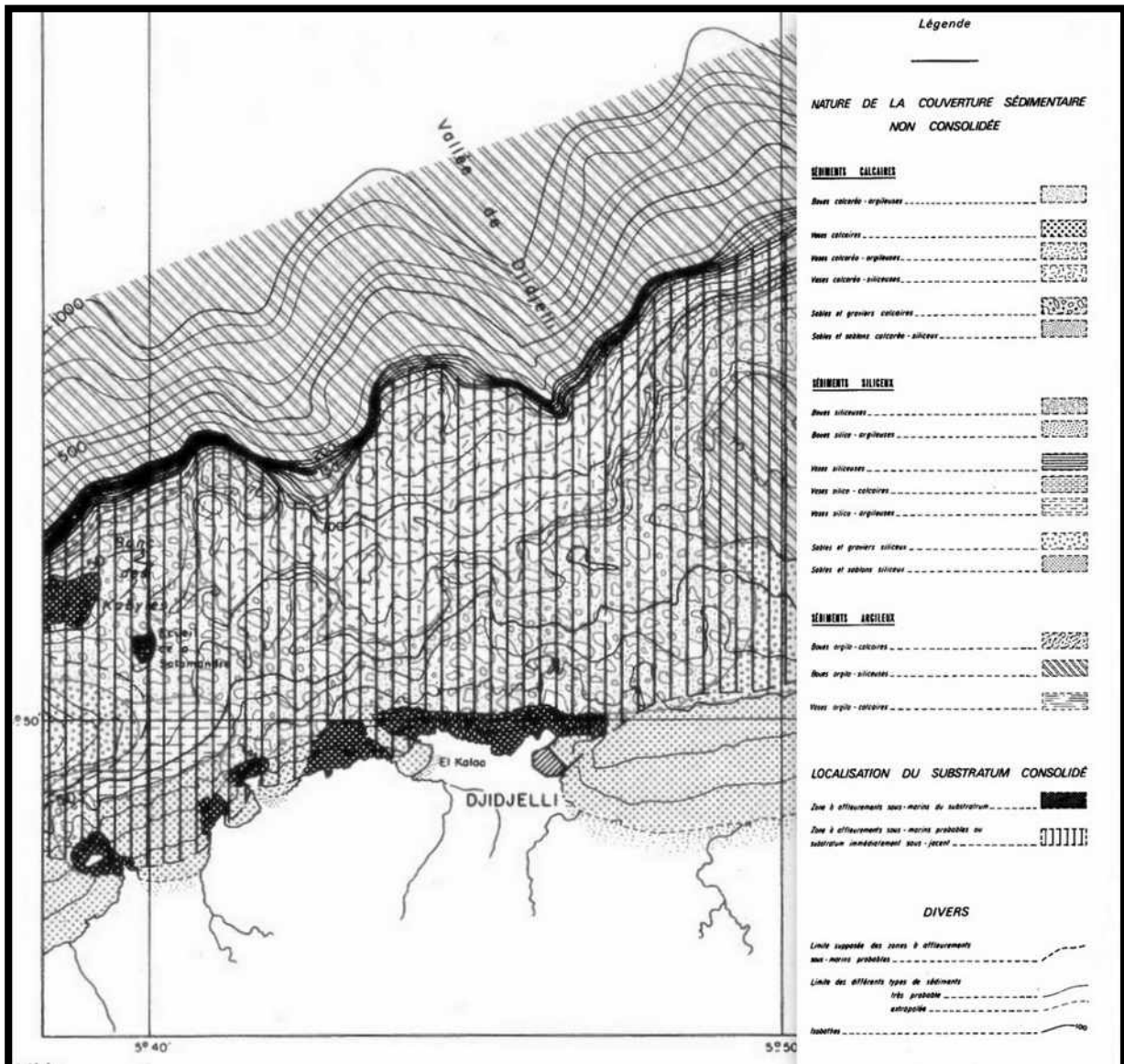


Figure n°4 : Portion de la carte de répartition de la nature de la couverture sédimentaire de la baie de Djidjelli (Leclaire ,1972)

Commentaire de la carte géologique :

- **De la cote vers 25m :** zone d’affleurement sous-marin du substratum.
- **De 25m à 70m :** c’est des sédiments calcaires plus précisément sable et graviers calcaires qui relie le littoral rocheux aux zones élevées du plateau.
- **De 70m a 150 m :** c’est de la vase calcareo- siliceuse
- **Entre 25m et 150m :** zone d’affleurements sous-marins probables ou substratum immédiatement sous-jacent.
- **A partir de 150m :** on retrouve des sédiments argileux (boues argilo-siliceuses)

7. Milieu biologique

Faune aquatique

Le Golfe de Jijel se caractérise par une diversité des crustacés, des amphipodes et les mollusques. Cette situation montre que la région est loin d'être sujette à quelque pollution ou perturbation de son écosystème.

Réserve écologique

Le Parc national de Taza est situé sur la côte méditerranéenne de l'Algérie dans la région de Kabylie orientale, appelée communément Petite Kabylie. Le site naturel est caractérisé par des falaises impressionnantes, des plages, des montagnes et des vallées encaissées et par la présence du singe de Barbarie (*Macacasyvanus*), espèce menacée et seul primate encore existant en Afrique du Nord.

En général, l'écosystème est caractéristique d'une végétation forestière sempervirens et sclérophylle sur des terrains boisés ou dénudé, de type que l'on rencontre dans le littoral méditerranéen.

Cependant, on trouve dans la forêt de Guerrouche, au cœur du parc, l'extension la plus importante du chêne zeen (*Quercus canariensis* Willd) en Algérie, et le seul oiseau rare d'Afrique du Nord découvert depuis 1876, la sittelle Kabyle (*Sitta ledanti*) endémique à la région des Babors et de l'Algérie. Le site attire ces dernières années un nombre de plus en plus important d'étudiants et de chercheurs du monde entier. La chênaie de zeen déborde au-delà du parc de Taza, avantage d'où l'on pourrait au futur dégager d'autres aires d'extension de la réserve.

Les forêts de chêne-liège (*Quercus suber* L) sont également des formations communes, et bien que n'étant pas une espèce rare en Algérie, revêtent une importance socio-économique dans l'économie de la wilaya de Jijel, le liège étant l'un des principaux produits d'exportation et de transformation. (LEM, 2006)

8. L'histoire de Jijel :

La région de Jijel recèle de nombreux vestiges datant de l'époque romaine, et de périodes antiques vraisemblablement plus anciennes. Certains sont connus, d'autres méconnus et inconnus.

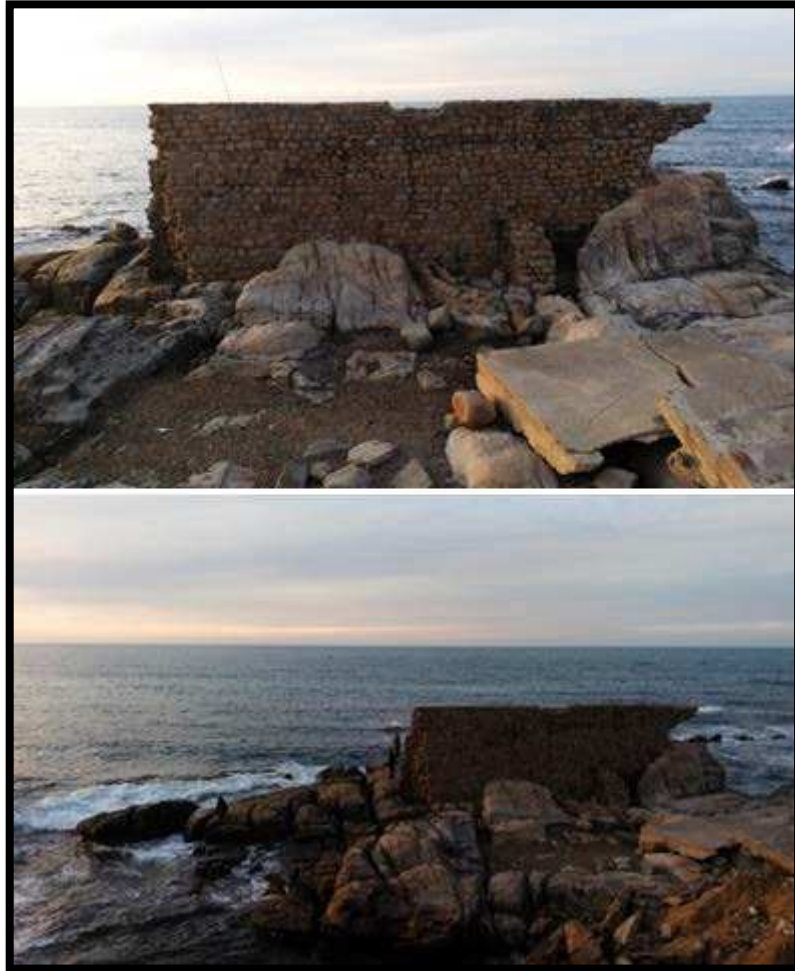


Figure n°5: Photo du vestige romain présent sur le site

La présence de ce mur (fig.5) dans notre site dont la construction remonte à **l'époque romaine** nous y conduits à prendre certaines précautions et considérations lors de l'étude ainsi que pour la proposition des variantes de manière à sauvegarder ce vestige, mais aussi les vestiges enfuis sous l'eau (d'après les plongeurs et habitants de la région)

Conclusion :

Le front de mer de Jijel est un rivage vulnérable par rapport aux attaques hydrodynamiques d'une part et par rapport à la pression anthropique d'autre part. Les données récoltées le concernant nous permettrons de faire une série d'études et d'analyses afin de déterminer le type de protection et d'aménagement approprié pour la sauvegarde et la mise en valeur de notre site.

CHAPITRE II :
MATÉRIELS , MÉTHODES ET
DISCUSSIONS DES RESULTATS

Dans le présent chapitre ; nous nous sommes basés sur les données générales récoltés sur notre zone d'étude afin d'effectuer nos études ; pour les méthodes utilisées nous nous somme référer à ce que nous avons acquis pendant notre cursus ainsi que sur les méthodes utilisées au LEM.

1. Etude bathymétrique :

Les travaux faits par le LEM sur le terrain ont consisté en un levé bathymétrique de la zone d'étude, les mesures ont été exécutées sur 18 radiales allant vers le large et perpendiculaires à la côte ainsi que sur un maillage plus serré au niveau de la côte ; pour les levés topographiques ils ont été réalisés par triangulation basés sur 36 points de mesure in-situ (fig. 6)

Le levé a été réalisé par le LEM au mois d'octobre 2012 dans le cadre de la mission de reconnaissance du site. Ce levé couvre les fonds de la côte jusqu'aux profondeurs dépassants les -16 m.

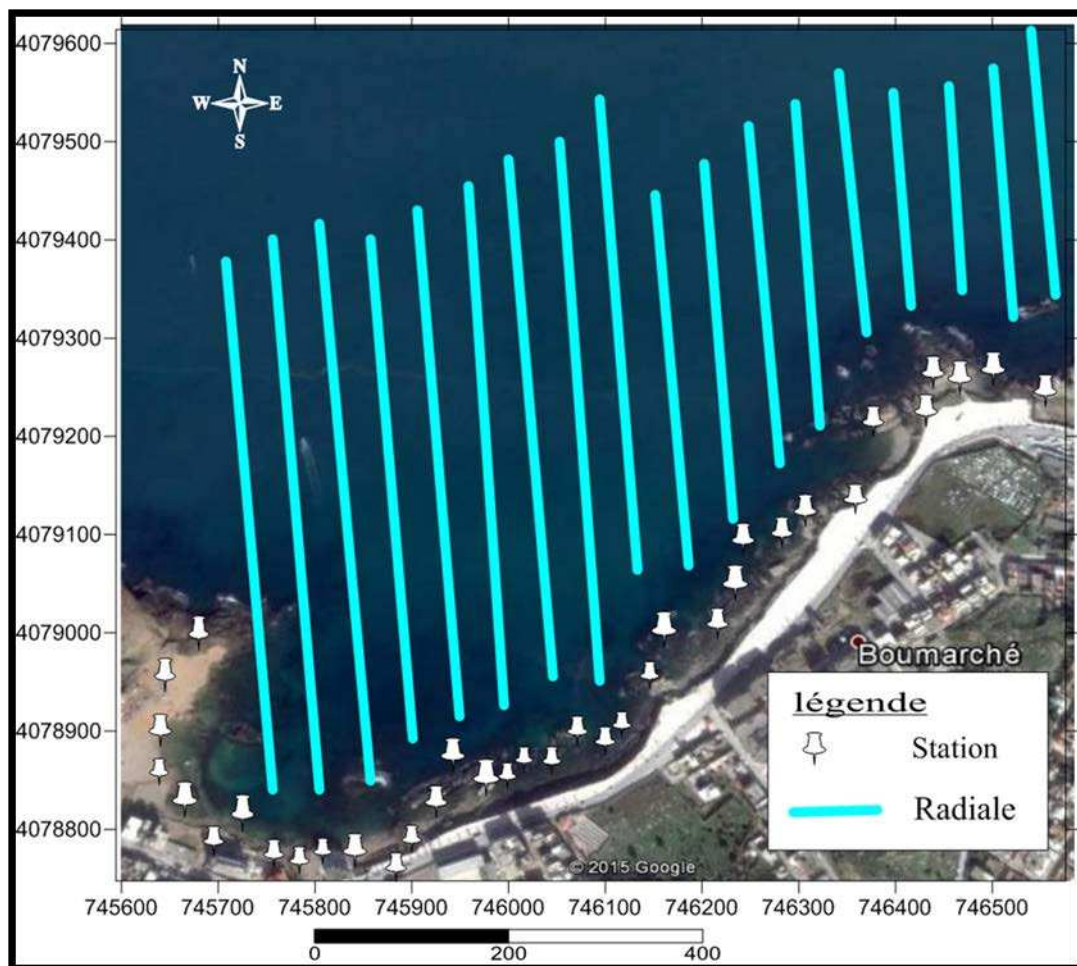


Figure n°6 : Carte des stations et radiales suivis lors des mesures bathymétriques

1.1. Mode opératoire

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

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK ; Real Time Kinematic) permet de mesurer un point à une précision inférieure à cinq centimètres (<5 cm). Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées). Pour la réalisation de cette tâche par GPS, il a été procédé à la mise en place du système suivant :

L'embarcation est équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le côté, qui maintient à la base le transducteur de l'échosondeur et en tête l'antenne GPS

L'échosondeur calcule la profondeur à partir des mesures effectuées par le transducteur, le résultat de ces deux opérations aboutit à la connaissance des coordonnées du point bathymétrique mesuré.

1.2. Exploitation de données récoltées :

Les données fournies par le LEM sont regroupées dans le tableur Excel ; ils regroupent les coordonnées métriques ainsi que la profondeur qui vont être utilisées pour l'élaboration de la carte bathymétrique 2D et 3D ainsi que des profils (de la côte vers la plage sous-marine), ceci à l'aide du logiciel Surfer 11

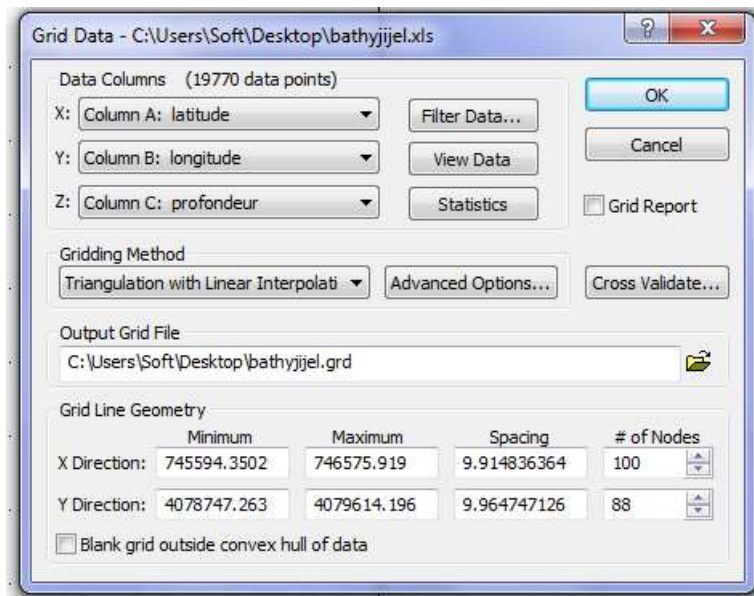
1.3. Description du logiciel :

Surfer : conçu par Golden Software, vous permet de réaliser des modèles numériques de terrain (MNT) issus des données récoltées sur le terrain ou résultantes d'un calcul. Le principe de Surfer est le suivant: le logiciel permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points x,y,z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles qu'on pourra créer plusieurs types de cartes: basemap, contourmap, 3Dsurface, vector et bien d'autres...

1.4. Manipulation :

1- Préparer les données bathymétriques et topographiques dans une feuille d'Excel dans un tableau à 3 colonnes : latitudes, longitudes et profondeurs, respecter les valeurs négatives pour la bathymétrie et positives pour la topographie, ainsi que le format : mettre des virgules non pas des points et surtout s'assurer de la compatibilité entre la version utilisée de l'Excel avec celle du Surfer.

2- Créer une grille en allant dans : Grid => Data et parcourir le fichier Excel puis cliquer sur ok.



NB : le choix des colonnes doit être vérifié, de sorte que le X pour les latitudes, Y pour les longitudes et Z pour la profondeur. On doit aussi vérifier le choix de la méthode d'interpolation.

3- Une fois la grille est créé, aller dans « Toolbar Options »



4- Maintenant pour obtenir les cartes d'isobathes en 2D cliquer sur l'icône en vert et parcourir la grille obtenue en 2 et pour les cartes bathymétriques en 3D cliquer sur l'icône entourée de rouge. Enfin pour localiser les stations de mesure, cliquer sur l'icône en bleu et là on doit parcourir le fichier Excel directement et les stations apparaissent.

NB : Après la création des cartes ; on va choisir le système de projection qui est : l'UTM ainsi que le système de coordonnées (Datum) : le WGS 84

5- Pour tracer les profils ; sur la carte bathymétrique obtenus on fait un clic droit > add > profil ; ensuite on fait glisser le curseur de la côte vers le large en s'assurant que le profil soit perpendiculaire à la côte.

1.5. Résultats

1.5.1. La morphologie sous-marine :

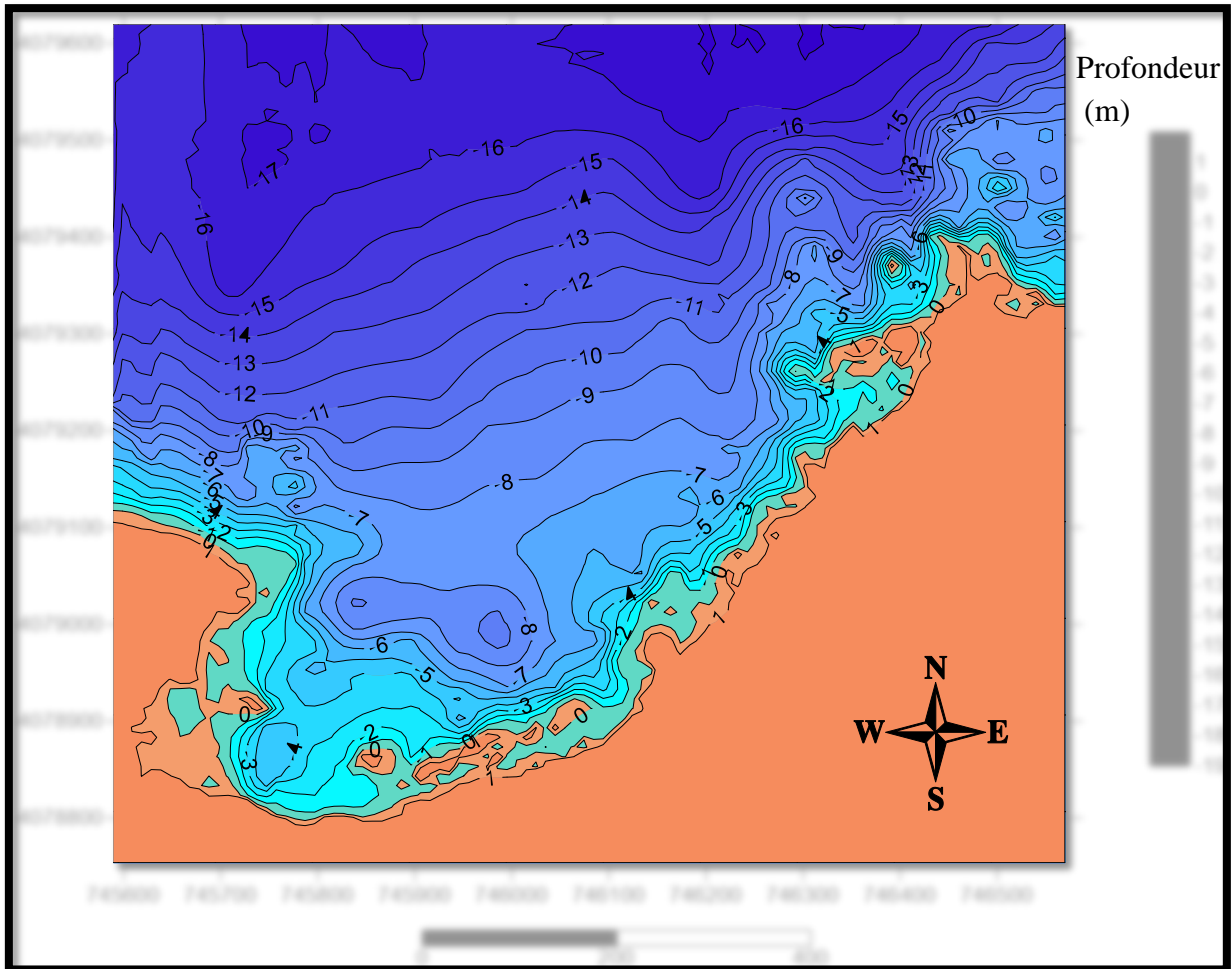


Figure n°7: Carte bathymétrique en 2D de la zone de Beaumarchais (Jijel)

La carte bathymétrique résultante (fig.7) nous permet de voir que notre zone présente une bathymétrie irrégulière, cette irrégularité est caractéristique des fonds rocheux; on remarque que les isobathes du côté Est sont très serrés ce qui définit un profil à pente raide. Dans la partie centre, les isobathes sont serrés jusqu'à -6m et ce n'est qu'à partir de -7m que les équidistances entre les isobathes augmentent et ils deviennent plus réguliers traduisant une pente plus douce. À l'ouest les isobathes se resserrent pour définir une pente un peu plus abrupte qu'au centre et moins raide qu'à l'Est.

1.5.2. Les profils

Pour détailler l'évolution et les caractéristiques morphologiques sous-marines et avoir des données plus concrètes à visualiser nous avons réalisé des profils ; 3 perpendiculaires à la cote et 2 parallèles à cette dernière (fig. 8)

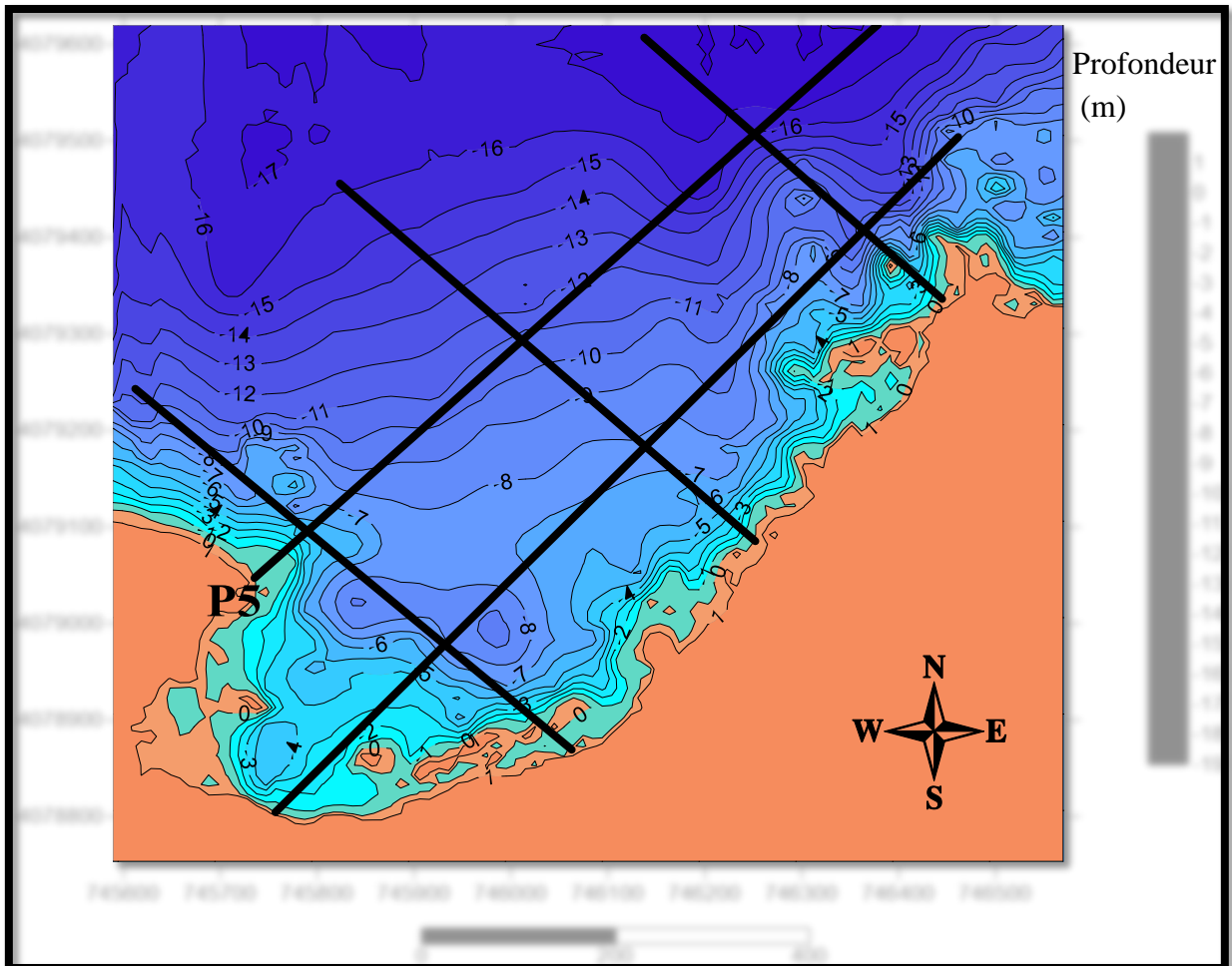


Figure n°8 : Carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude

A. Profils perpendiculaires

Profil 1 :

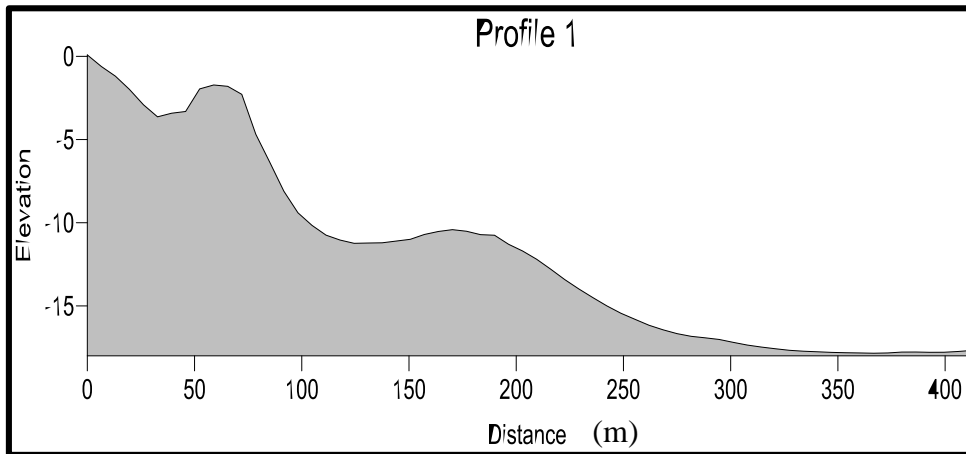


Figure n°9 : Profil sous-marin n°1

Le profil montre des irrégularités sur le fond, on observe une pente très abrupte d'environ 13% allant jusqu'à -4m suivie d'une surélévation qui diminue le tirant d'eau à 2m, la pente en aval va jusqu'à -12 m avec une pente de 30% le fond s'étend de 70m à -12m pour laisser place à une pente plus douce jusqu'à -17m.

Profil 2 :

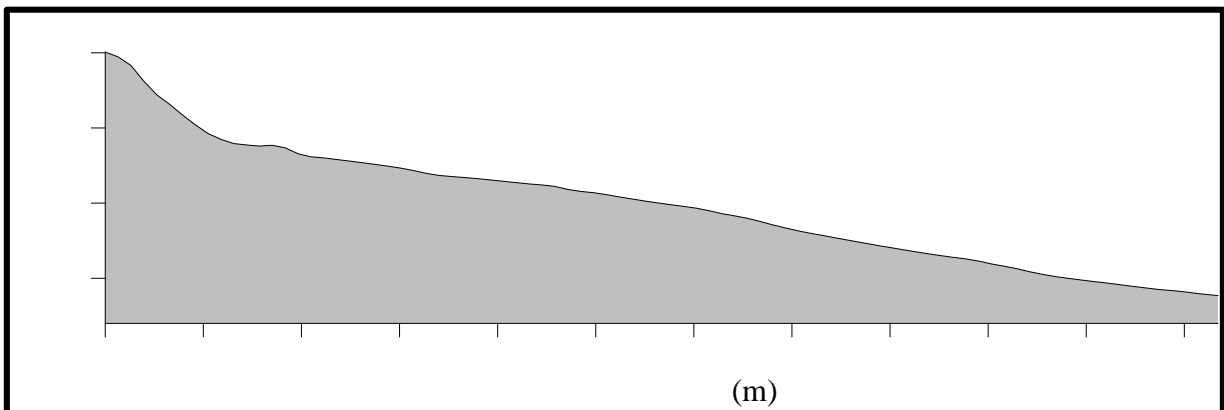


Figure n°10 : Profil sous-marin n°2

Le profil trace un fond très régulier divisé en 2 parties, la 1^{ère} partie près de la côte présente une pente de 10% qui s'arrête au voisinage de 6m de profondeur ; la 2^{ème} partie débute à 50m de la côte avec une pente douce de 2.4%.

Profil 3 :

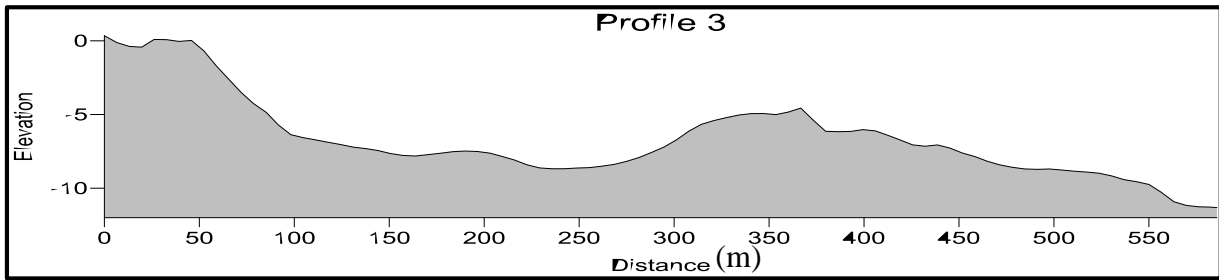


Figure n°11 : Profil sous-marin n°3

Le profil définit un fond irrégulier peu profond avec des surélévations ; on observe qu'au niveau de la cote il existe une petite fausse de 1.5m ; juste derrière la fausse une pente atteignant les 7m de profondeur laisse place à un fond à pente douce qui est suivis d'ondulations donnant naissance à un dôme asymétrique à 320m de la cote d'une hauteur d'environ 3m et qui remonte jusqu' -5m.

B. Profils parallèles

Profil 4 :

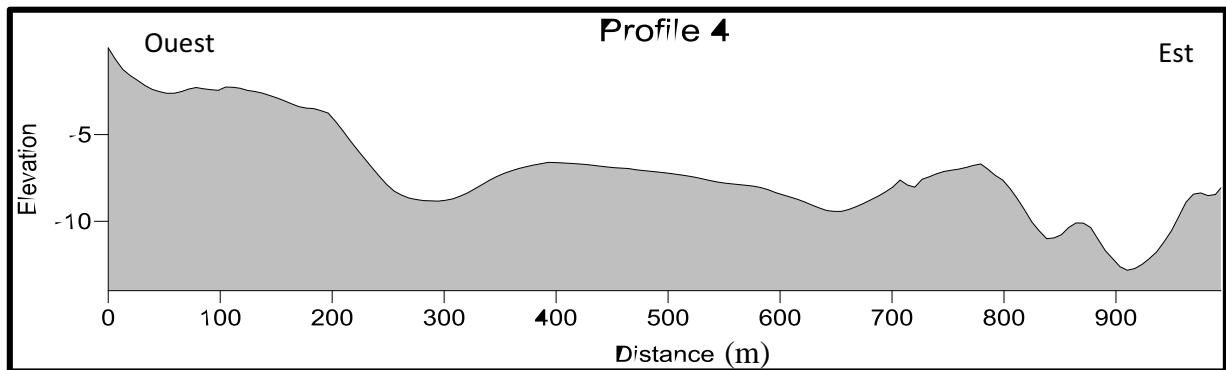


Figure n°12 : Profil sous-marin n°4

Le profil a été tracé à une distance moyenne de 150m ; on remarque que notre zone d'étude présente un fond irrégulier différent de l'ouest vers l'est. On remarque que la partie ouest est caractérisé par un fond pas trop profond d'une largeur moyenne de 220m, il présente une rupture avec la partie centre par une pente raide suivie par un fond relativement plat d'une largeur moyenne de 450m.

Profil 5 :

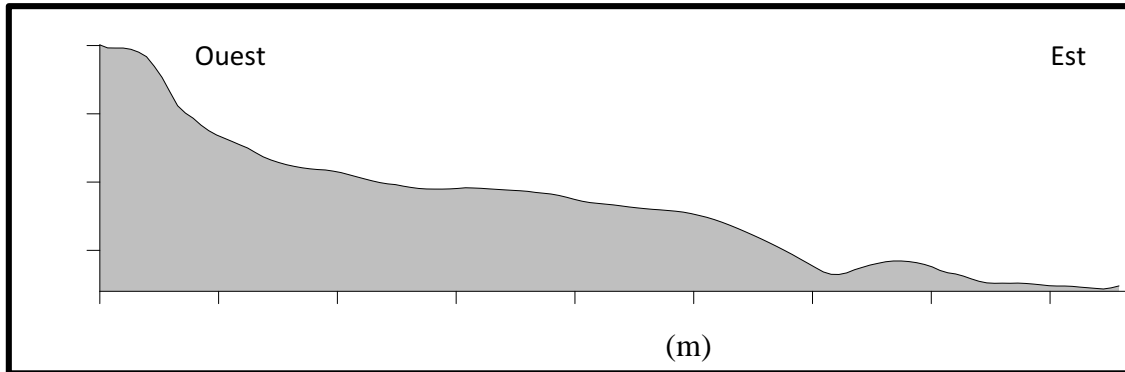


Figure n°13 : profil sous-marin n°5

Le profile 5 a été tracé à une distance moyenne de 310m de la cote ; on remarque que la profondeur s'accroît de l'ouest vers l'est en formant une pente moyennement abrupte.

Le model 3D (fig. n°14) nous permet de visualiser et de récapituler les observations et les commentaires fait sur la morphologie sous-marine en nous basant sur la carte en 2D et les profils transversaux et longitudinaux.

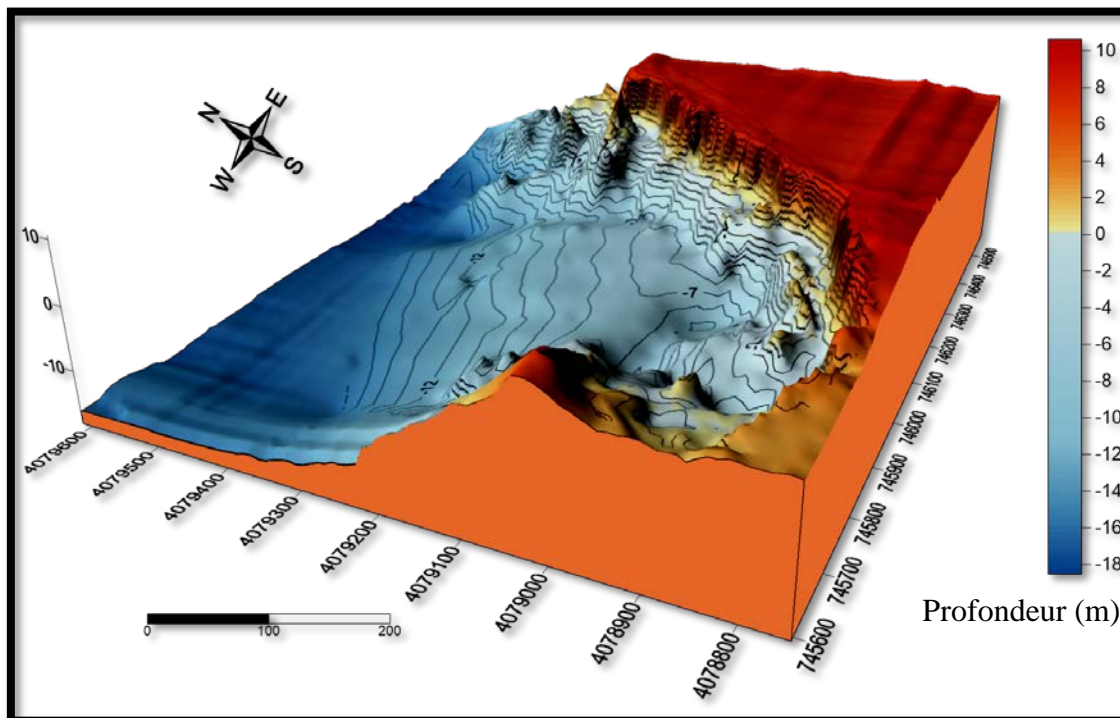


Figure n°14: Carte bathymétrique de la région de Jijel (Rivage du Beaumarchais) en 3D

2. Evolution du trait de côte :

Le trait de côte est une courbe/ligne représentant l'intersection de la terre et de la mer ; il peut être aussi considéré comme étant la limite entre la terre et la mer.

La côte subit l'érosion qui est un phénomène naturel accentué par l'activité anthropique qu'on observe partout dans le monde.

Le trait de côte n'étant régulier ni dans sa forme, ni dans sa structure. Pour son suivi dans notre zone d'étude ; nous avons utilisé des images satellitaire de Google Earth allant de 2006 à 2015 (2006 ; 2007 ; 2008 ; 2011 ; 20013 ; 2014 ; 2015) avec lesquelles on a pu digitalisé la ligne de côte pour les 7 années et ce en utilisant le Mapinfo .

2.1. Description du logiciel :

MapInfo Professional est un SIG crée aux USA. C'est un logiciel qui permet de réaliser des cartes en format numérique. Il est conçu autour d'un moteur d'édition de cartes qui permet la superposition de couches numériques. Il permet de représenter à l'aide d'un système de couches des informations géo-localisées : points, polygones, image raster ... Il incorpore un grand nombre de formats de données, de fonctions cartographiques et de gestion de données... Un système de requêtes cartographiques adapté permet la conception des cartes et bases de données cartographiques.

MapInfo Professional est un logiciel destiné aux chargés d'étude et d'aménagement littoral et territorial, aux chargés d'études d'implantation, de géomarketing, aux analystes des réseaux physiques et commerciaux.

2.2. Manipulation :

- 1- Aller sur google earth cadrer notre zone d'étude en prenant le soin d'élargir un peut les limites.
- 2- Choisir 4 points sur la zone pour lesquels on retiendra les coordonnées métriques
- 3- Fixer l'échelle qui nous arrange
- 4- Aller vers l'historique pour ressortir toutes les images existantes de notre zone d'étude tout en respectant l'échelle de départ
- 5- Enregistrer l'image
- 6- On ouvre le Mapinfo (nous avons travaillé avec le Mapinfo professionnel 11.0)
- 7- Ouvrir>image raster ; on choisit l'image capturé sur Google Earth.
- 8- Une fenêtre apparaitra ou il sera affiché Display/Register. on choisit Register : géo référencier. On définit la projection UTM et le Datum WGS 84 ; on sélectionne les 4 points marqués un a un, pour chacun d'eux on introduit le X et le Y
- 9- Pour digitaliser le trait de côte on va vers >Créer nouvelle table> structurer nouvelle table> introduire x, y et z en type flottant > projection : UTM WGS 84 Zone31 hémisphère nord
- 10- Une fois la table crée ; on va vers l'icône du polygone ; on clique ; puis on commence à digitaliser en suivant le trait de côte.

11- On fait la même manipulation pour chaque année

12- On affiche en dernier l'image satellite de Google Earth la plus récente et on superpose les lignes digitalisées en différentes couleurs afin de les différencier.

On pourra donc avoir une visualisation de l'évolution du trait de côte d'une manière plus concrète.

2.3. Résultats :

Les lignes de côte regroupées nous ont permis d'obtenir le support visuel suivant (fig.15)

2.4. Interprétation :

En superposant les 7 profils on aperçoit que le trait de côte est statique durant ces 9 dernières années ; ce comportement est naturel ; la zone ne connaît pas une érosion ; car la cote étudiée est rocheuse.

Toute fois on remarque que la petite baie présente à l'Est du front de mer a connu ces 3 dernières années une avancé du trait de côte caractérisée par une accumulation ; ceci pourrait être expliqué par le piégeage du sédiment allant de l'est vers l'ouest.

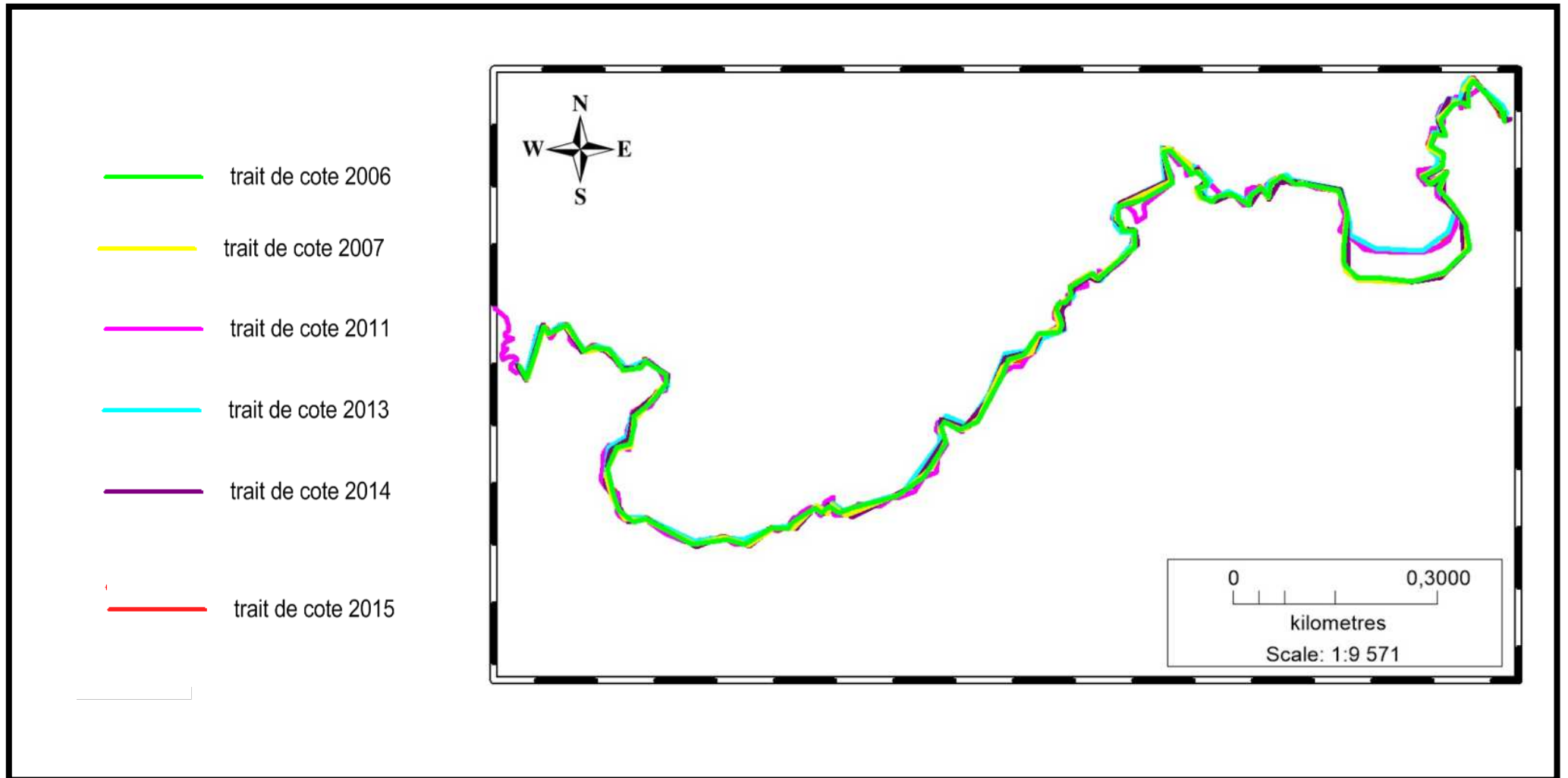


Figure n°15 : Evolution du trait de côte entre 2006 et 2015

3. La réfraction de la houle:

3.1. Définition de la réfraction

La réfraction des vagues est une figure essentielle du comportement de la houle en zone côtière. On peut distinguer deux formes de réfraction : celle induite par les variations du fond marin et celle induite par la présence de courants côtiers.

D'après l'équation $c = (g \cdot h)^{1/2}$, la vitesse de propagation de l'onde diminue avec la profondeur d'eau. Cela se traduit par une évolution de la direction de propagation θ de la houle. Les orthogonales aux crêtes de houles tendent à être parallèles aux isobathes au fur et à mesure que la profondeur d'eau diminue. La Fig.16 montre une schématisation de la propagation de la houle au-dessus d'une bathymétrie présentant une alternance de baies et de caps.

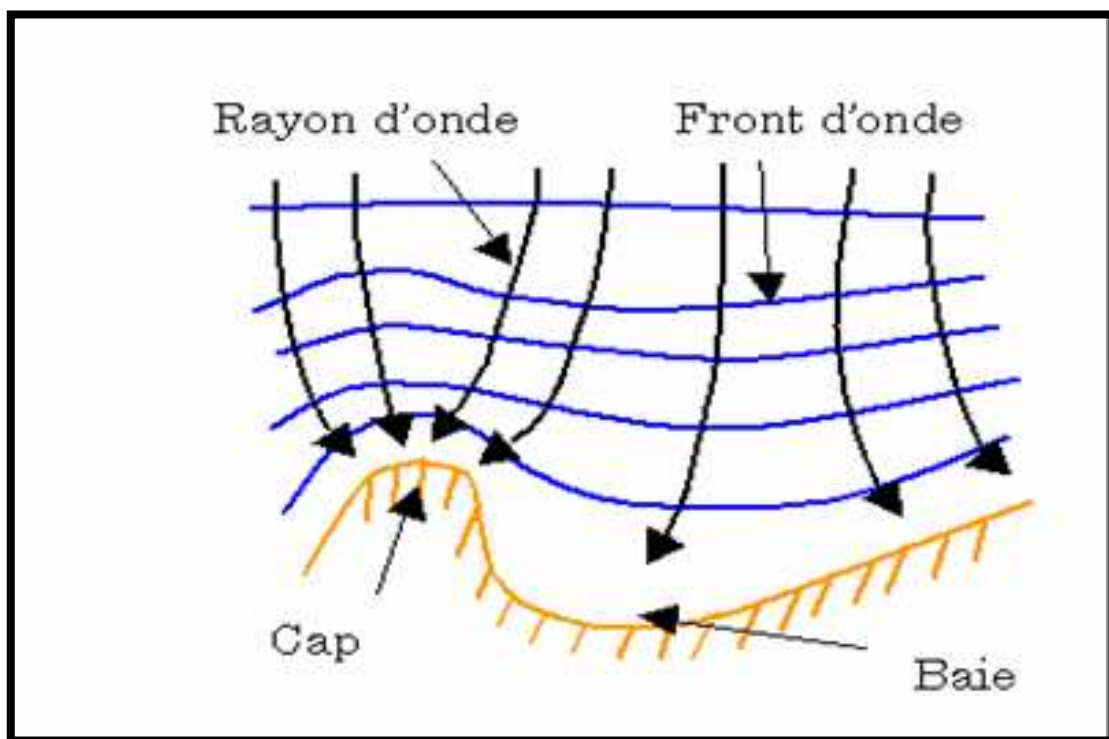


Figure n°16 : Schématisation du phénomène de réfraction au-dessus d'une côte comportant des caps et des baies.

La réfraction commence à être perceptible lorsque la profondeur d'eau locale est inférieure à environ la moitié de la longueur d'onde des vagues.

3.2. But de l'étude

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

Les données de la houle à la côte serviront, entre autres, de données d'entrée pour la conception des ouvrages maritimes ainsi que pour les essais en modèle réduit physique (canal ou bassin à houles).

3.3. Principe de calcul de la réfraction :

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

$$K_r = \frac{H_s \text{ locale}}{H_s \text{ large}} \dots\dots\dots (1)$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore développé par l'université de DELFT) pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

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

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

3.4. Description et principes des logiciels utilisés :

Simulating Waves in the Nearshore « SWAN »: le SWAN est un modèle numérique de 3eme génération développé à l'université de technologie de Delft Hydraulics (Booij et al., 1999); il permet de définir les paramètres de la houle vers la cote; ceci se fait suite à une propagation de la houle du large vers la cote en induisant une réfraction sur les fonds ; il permet donc de prédire l'état de la mer a la cote en connaissant l'état de la mer au large.

SWAN est un code de propagation de houle basé sur l'équation de conservation de la densité spectro-angulaire d'action des vagues $N(\sigma, \theta, x, y, t)$ où σ est la fréquence relative et θ la direction des vagues. La densité d'action des vagues $N(\sigma, \theta, x, y, t)$ est obtenue à partir de la densité d'énergie des vagues $E_s(\sigma, \theta)$:

$$N(\sigma, \theta) = E_s(\sigma, \theta) \sigma$$

L'équation de conservation de la densité spectrale d'action de vagues s'écrit (Hasselmann et al. 1973) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots\dots\dots(2)$$

Où:

$N(\sigma, \theta)$ = densité de l'action des vagues:

T = temps [s]

x = distance dans la direction x [m]

y = distance dans la direction y [m]

σ = fréquence relative [Hz] comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant

θ = direction de la vague [degrés]

c_x, y, σ, θ = vitesses de propagations [m / s] pour respectivement x, y, σ et θ

S = source / puits terme en termes de densité d'énergie (Génération par le vent, dissipation et non-linéaire onde interactions)

La densité de l'action $N(\sigma, \theta)$ est égale à la densité d'énergie divisée par la fréquence relative: $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$.

Dans cette équation le premier terme $\partial N / \partial t$ correspond à la variation temporelle de densité d'action des vagues. Les formulations des différentes vitesses de transfert de densité d'action des vagues (C_x, C_y, C_σ et C_θ) sont issues de la théorie linéaire et de l'équation de conservation du nombre de crêtes (Whitham, 1974; Mei, 1989; Dingemans, 1997). C_x et C_y sont les vitesses de propagation dans l'espace (x,y) de la houle et C_σ traduit le transfert d'énergie en fréquence. C_x, C_y et C_σ résultent de l'action combinée d'un courant moyen \vec{U} et des variations bathymétriques. Le dernier membre de gauche C_θ représente le transfert d'énergie angulaire.

Dans le membre de droite, $S = S(\sigma, \theta, x, y, t)$ correspond à la somme des termes source et termes puits. $S(\sigma, \theta, x, y, t)$ contribue à la dissipation ou à la génération de densité d'action des vagues (déferlement, génération par le vent, interaction entre triplets ou quadruplets de fréquence...).

3.5. Données de la houle vingtennale au large

Elles sont prises du document de l'U.S. Naval Weather Command intitulé « Summary of Synoptic Meteorological Observations » (S.S.M.O tome II, Zone Algiers (1963-1970)). Les données

présentées dans annexe 2, sont structurées par mois et les hauteurs de houle par secteur (en foot) ainsi que par période. Elles sont traitées pour obtenir un tableau contenant : les amplitudes de houle par secteur et par périodicité d'apparition ; en portant les fréquences d'apparition et les hauteurs de houle (en mètre) sur un graphe semi-logarithmique et en utilisant les droites de régression de type : $y = a \ln(x) + b$ où :

x = périodicité d'apparition est égale à :

$$x = Pn = \frac{1}{3 \times 365 \times n} \dots\dots\dots(3)$$

et n= période de retour (annuelle n=1, biannuelle n=2.....).

y = hauteur de houle recherchée.

On obtient les résultats récapitulés dans l'annexe II.

Pour conclure on obtient un tableau donnant les hauteurs de houle extrême par période et ceci pour chaque direction (Tableau n°2), c'est un tableau récapitulatif qui sera utilisé lors du remplissage des fichiers de calculs.

Tableau n°2 : Houles extrêmes dans la région de Jijel calculées à partir des houles annuelles (SSMO ; 1970)

DIRECTION DE HOULE			
	Nord-ouest	Nord	Nord-est
Biennale	Hs=6.80m	Hs=5.20m	Hs=3.80m
	Tp=13,73s	Tp=11,21s	Tp=9,53s
Quinquennale	Hs=7.90m	Hs=6.16m	Hs=4.40m
	Tp=13,60s	Tp=12,16s	Tp=10,30s
Décennale	Hs=8.60m	Hs=7.00m	Hs=4.80m
	Tp=10,09s	Tp=12,90s	Tp=10,77s
Vingtennale	Hs=9.40m	Hs=7.60m	Hs=5.30m
	Tp=14,60s	Tp=13,38s	Tp=11,31s
Cinquantennale	Hs=10.40m	Hs=8.60m	Hs=5.90m
	Tp=15,18s	Tp=14,09s	Tp=11,92s

3.6. Choix des directions :

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

Ainsi trois (03) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (fig.17) :

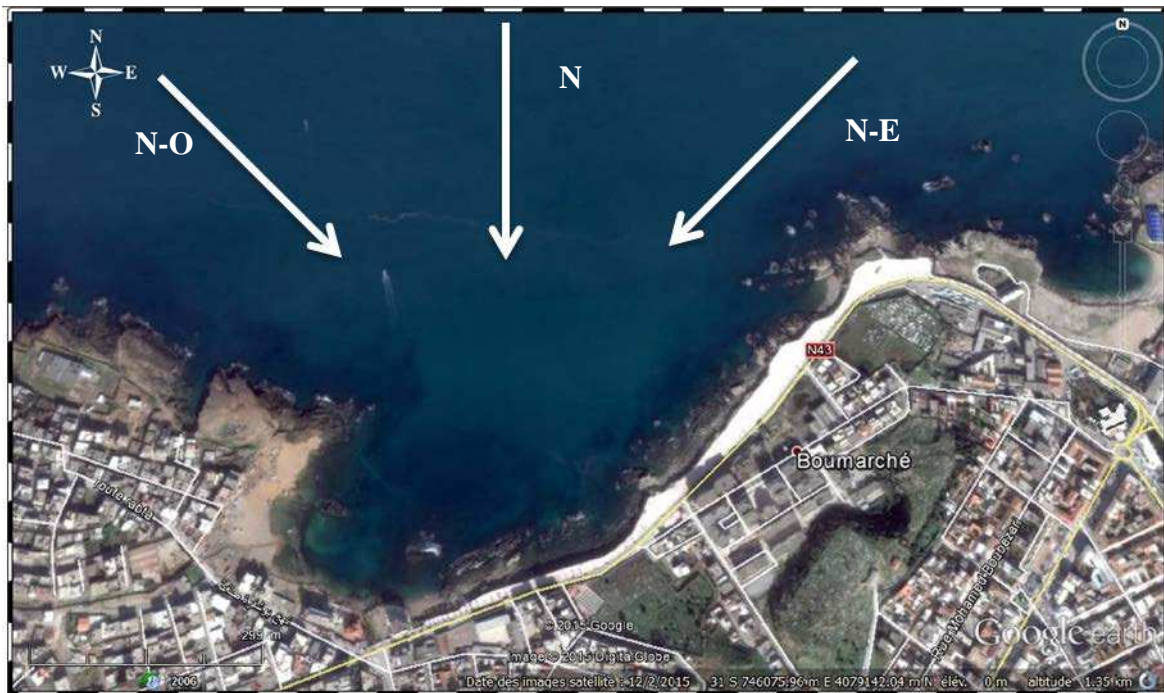


Figure n°17 : Choix des directions défavorables pour le site d'étude

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (360°N)
- Deux directions de houle à incidences obliques (45°N et 315°N)

3.7. Etapes de manipulation :

- 1- Acquisition de la bathymétrie en fichier Excel comprenant les coordonnées métriques ainsi que la profondeur.
- 2- Créer la grille de la bathymétrie sur surfer
- 3- Exporter la bathymétrie à partir de la grille vers le format .DAT
- 4- Extraire la colonne bathymétrie du fichier.DAT par Excel en faisant attention à ce que la bathymétrie soit en négatif et la topographie en positif.
- 5- Réenregistrer en format .txt

6- remplir les fichiers de commande Swan pour chaque direction et pour chaque période annuelle et vingtenale (**AnnexeII**)

7- pour exécuter ; Avec l'invite commande ; on ouvre le dossier → >cd lien du dossier contenant le fichier commande

→>swanrun fichier de commande

8- Ouvrir le fichier crée pour chaque fichier de commande qu'on ouvre en forme .txt

9- Importer vers l'Excel

10- Sélectionner les colonnes dont nous avons besoin (latitude, longitude, Hs, direction, période)

11- Création de la grille pour Hs et pour la direction sur Surfer

12- Aller sur toolbar options > on sélectionne new contour mapper pour représenter Hs >add «2-Grid vector layer » pour représenter la direction

13- Pour la mise en forme on va vers property manager (à gauche de l'écran)

3.8. Résultats :

Les résultats de l'étude de propagation de la houle sont illustrés par :

- La détermination quantitative des conditions de la houle en quelques points (points d'extractions), qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle en ses profondeurs qui sera utilisée pour le pré-dimensionnement des ouvrages de protection ainsi que pour le calcul du transit sédimentaire.
- Les épures de réfraction qui montrent qualitativement comment la hauteur de houle et la direction changent au cours de la propagation de la houle .les figures ci- dessous montre des épures de réfraction pour une houle vingtenale

Tableau n°3 : Récapitulatif du coefficient de réfraction Kr par période et par profondeur pour le secteur N45°

N45				
Prof	6	8	10	VINGTENNAL
2	0,42	0,44	0,38	0,40
3	0,52	0,55	0,43	0,47
4	0,61	0,61	0,55	0,50
5	0,64	0,61	0,58	0,57
10	0,81	0,81	0,76	0,79

Tableau n°4 : Récapitulatif du coefficient de réfraction Kr par période et par profondeur pour le secteur N315°

N 315				
Prof	6	8	10	VINGTENNAL
2	0,65	0,52	0,44	0,26
3	0,65	0,63	0,47	0,30
4	0,73	0,66	0,51	0,33
5	0,93	0,77	0,62	0,37
10	0,95	0,96	0,95	0,67

Tableau n°5 : Récapitulatif du coefficient de réfraction Kr par période et par profondeur pour le secteur N360°

N 360				
Prof	6	8	10	VINGTENNAL
2	0,63	0,59	0,42	0,31
3	0,65	0,68	0,47	0,37
4	0,67	0,76	0,54	0,43
5	0,68	0,81	0,62	0,46
10	0,85	0,97	0,93	0,78

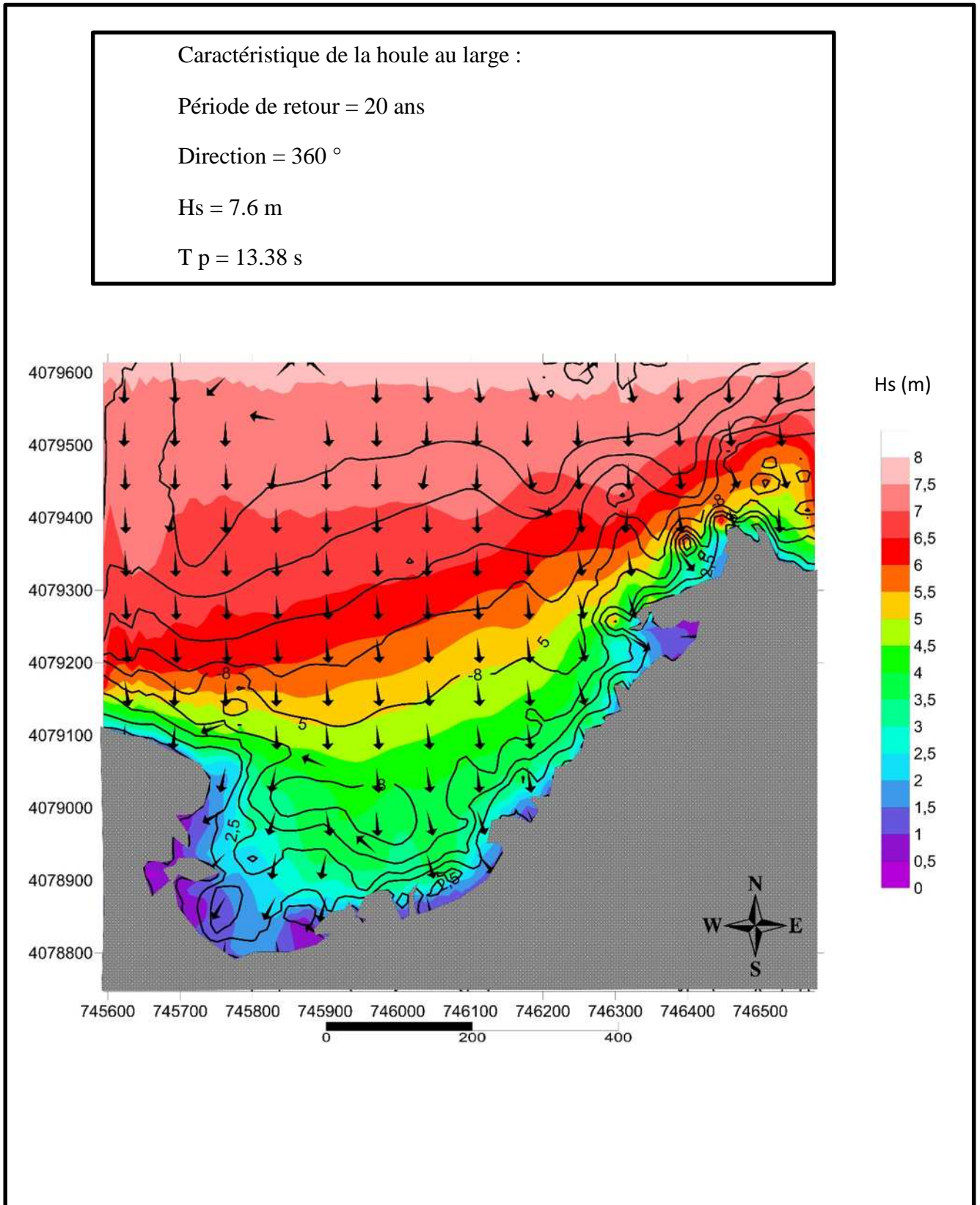


Figure n°18 Réfraction de la houle, direction N360°, sur le rivage du front de mer de Jijel

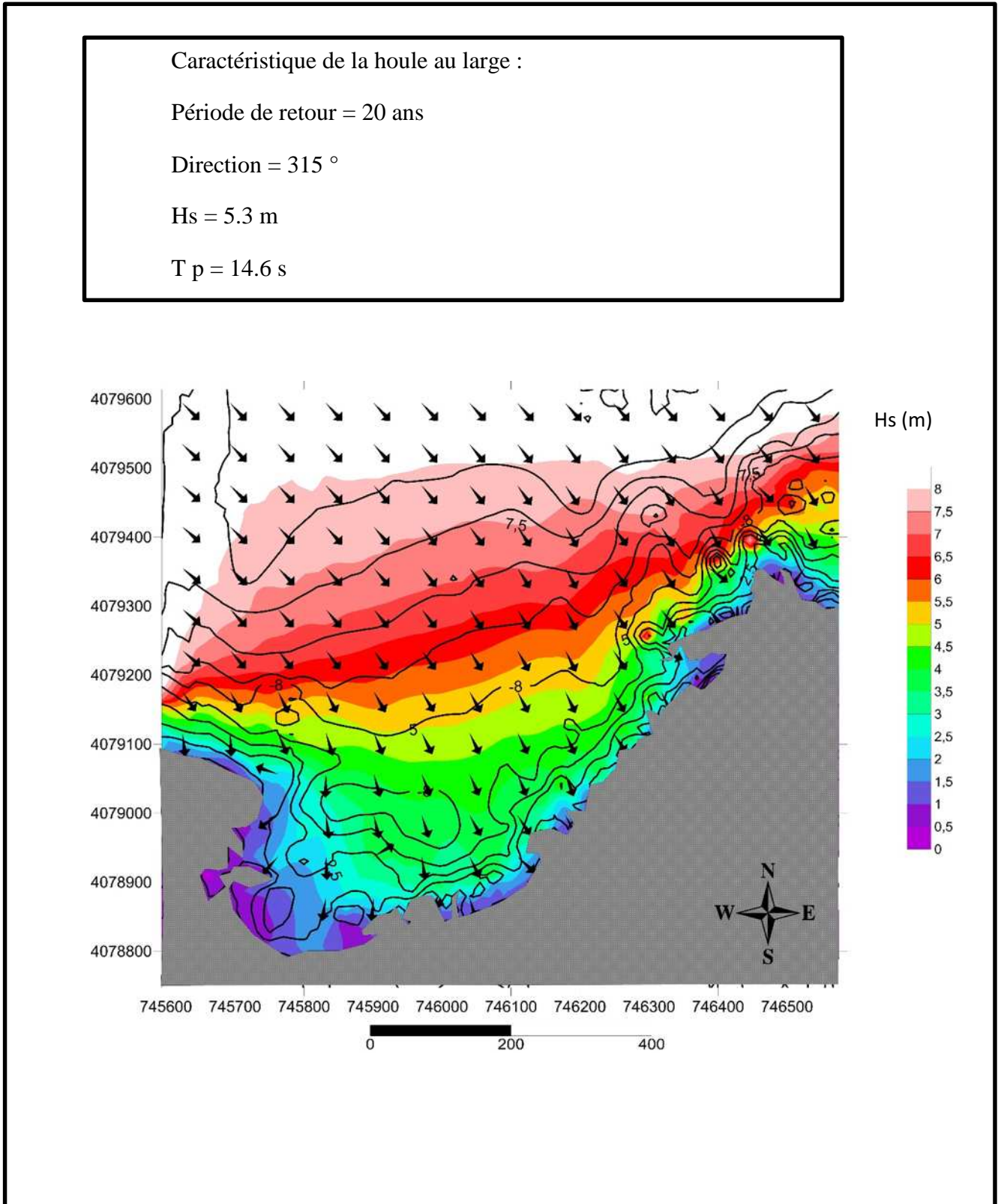


Figure n°19: Réfraction de la houle, direction N315°, sur le rivage du front de mer de Jijel

Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 20 ans

Direction = 45 °

Hs = 5.3 m

$T_p = 11.31$ s

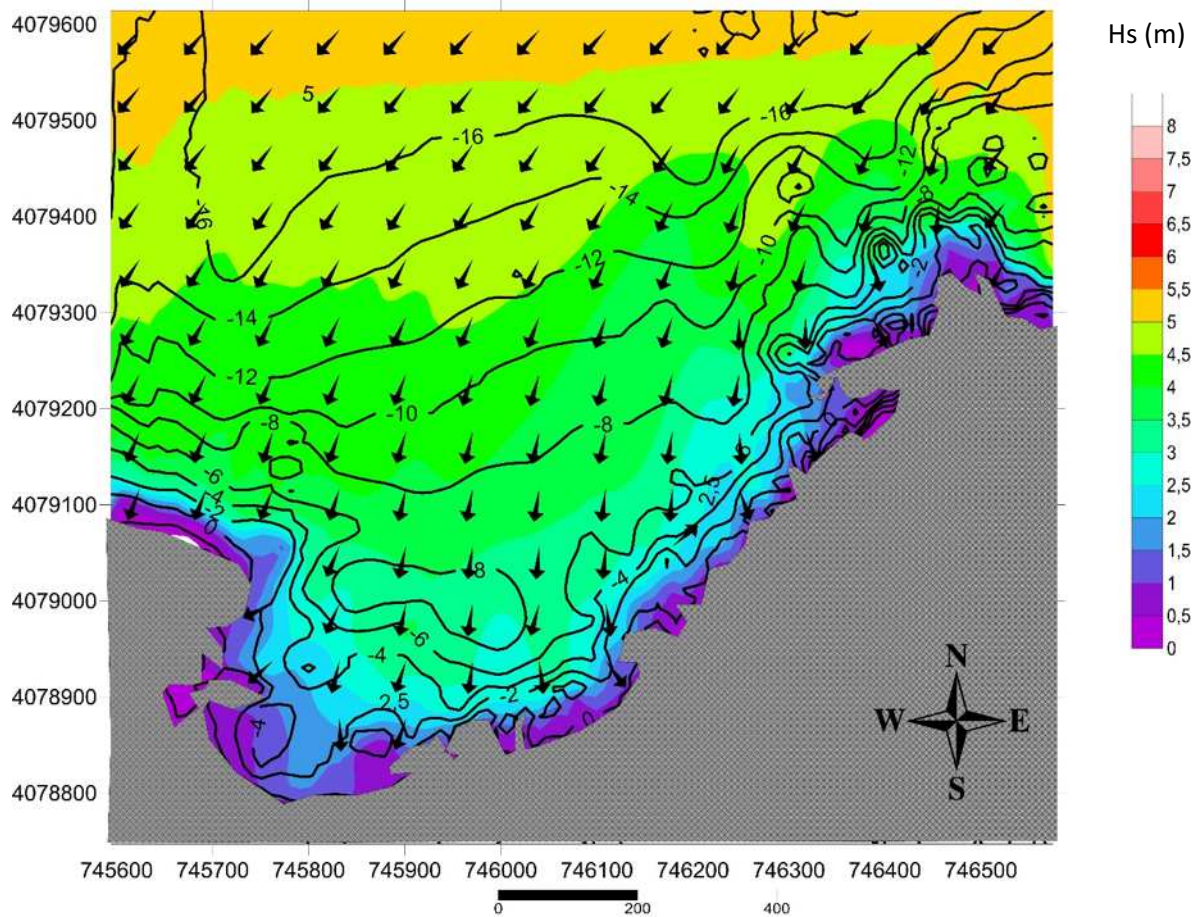


Figure n°20 : Réfraction de la houle, direction N45°, sur le rivage du front de mer de Jijel

NB : les épures du reste des résultats de la réfraction sont représentés dans l'Annexe III

3.9. Interprétations :

Les houles aux amplitudes les plus importantes au large sont celles du secteur Nord. Le coefficient de réfraction calculé (tableau n°3,4 ,5) montre que pour les 3 directions à 10m de profondeur les houles perdent très peu de leur énergie ($K_r=0.96$ pour N360) et sont donc très peu réfractés. A 3m de profondeur la réfraction est plus importante ; on remarque que la réfraction reste plus importante pour le secteur nord.

En nous basant sur les figures 18, 19 et 20 on remarque une dissipation de l'énergie à l'encontre du front de mer ce qui induit une réfraction par pivotement des orthogonales en direction Nord et Nord-Nord-Ouest pour le secteur N360 et N315. Pour le secteur N45, le pivotement des orthogonales se fait en direction Nord et Nord-Nord-Est.

On observe que les orthogonales divergent dans la partie centrale due à une dissipation d'énergie, et que les orthogonales convergent aux 2 extrémités due à l'accumulation d'énergie. L'accumulation et la dissipation dépendent de la morphologie sous-marine ; dans une pente douce la réfraction se fait lentement ce qui permet une dissipation de l'énergie de la houle contrairement à une pente abrupte où la réfraction se fait brutalement ce qui procure à la houle la caractéristique de garder son énergie.

L'incidence frontale de la houle pourrait être à l'origine de l'effritement (le creusement) et le déchaussement des pieux sous le front de mer ; c'est ce qui le rend vulnérable et sujet à l'effondrement.

4. Étude sédimentologique (LEM 2012)

L'étude des sédiments superficiels a pour objectifs la caractérisation des matériaux meubles pour permettre d'apporter des indications sur la répartition spatiale de ces sédiments et les conditions de leur dépôt qui est défini comme l'ensemble des relations qui s'établissent entre les agents susceptibles d'entraîner la mise en place des particules (agents du transport et du dépôt : houles, courants).

4.1. Echantillonnage

Au total ; l'équipe chargée de l'étude au LEM a effectué vingt-deux (22) points de prélèvement d'échantillons de sédiments marins et qui ont été retenus et répartis sur l'ensemble de la zone d'étude. Ces points de prélèvement se situent principalement en mer dans la zone allant de la plage jusqu'à des profondeurs avoisinant les -10m (fig.21).

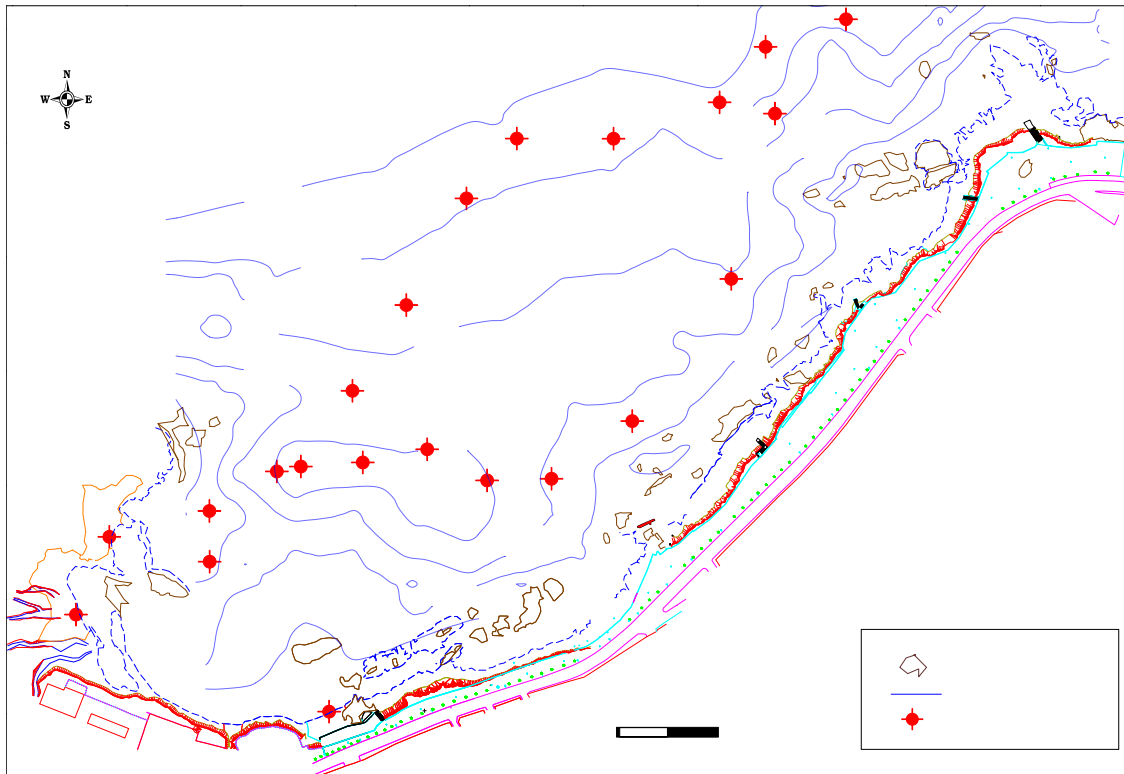


Figure n°21 : Répartition spatiale des points d'échantillonnage dans la zone de Jijel (front de mer de Jijel)

4.2. Technique d'analyse et paramètres granulométriques

L'étude des matériaux est réalisée par granulométrie sur une colonne de tamis AFNOR. La granulométrie est définie sur le matériel brut simplement débarrassé, par tamisage à $63\ \mu\text{m}$ sous l'eau de la fraction pélitique. Cette dernière opération conduit à caractériser chaque sédiment par un indice de teneur en fraction inférieure à $63\ \mu\text{m}$ (pélite ou lutite) : l'indice pélitique. Par complémentarité à 100 %, on peut par cet indice, connaître la teneur en sable (fraction supérieure à $63\ \mu\text{m}$) : l'indice arénique.

Il sera ensuite procédé à un tamisage à sec de la fraction grossière ($> 63\ \mu\text{m}$) sur une série de tamis de type « AFNOR ». Les diamètres du tamis varient entre $63\ \mu\text{m}$ et 8mm .

Pour chaque échantillon, il est établi une courbe granulométrique sur un diagramme semi-logarithmique dans lequel l'ordonnée représente le pourcentage cumulé de refus et l'abscisse le diamètre correspondant. A partir de cette représentation graphique de l'échantillon, il est possible de déterminer différents paramètres et indices dont; le D_{25} , D_{50} (médiane granulométrique), D_{75} , D_{90} et le D_{99} . Ces derniers serviront aussi pour le calcul de l'indice de classement de Trask (Sorting index : S_o) et l'indice d'asymétrie S_k .

4.3. Synthèse des résultats

Les résultats sont présentés sous forme de cartes ou de graphes de répartition donnant la nature des sédiments et leurs caractères granulométriques : tableau des teneurs en fraction fine (tab.6), carte des médianes granulométrique Md ou D₅₀ (fig. 22), fréquence et modes sédimentaires (fig. 23 et 24) distribution de l'indice de classement So (fig. 25), indice d'asymétrie Sk (fig.26) et mode de transport sédimentaire (fig.27).

A. Teneur de la fraction fine

La considération de la teneur en fraction fine ou pélites (<63 µm) est importante car elle peut mettre en évidence des aires préférentielles de dépôt.

La lecture du tableau n°6 ci-après permet de relever que les teneurs en fraction fine sur le site prospecté sont nulles ou très faibles ne dépassant pas 3% de la masse totale de chaque échantillon et ce aussi bien proche du rivage qu'au large.

Tableau n°6 : Pourcentages des teneurs en fraction pélitique

<i>échantillon n°</i>	<i>fraction <63µm</i>	<i>échantillon n°</i>	<i>fraction <63µm</i>	<i>échantillon n°</i>	<i>fraction <63µm</i>
1	1%	9	3%	17	1%
2	0%	10	2%	18	2%
3	1%	11	1%	19	1%
4	1%	12	0%	20	0%
5	1%	13	1%	21	0%
6	1%	14	1%	22	0%
7	1%	15	1%		
8	1%	16	0%		

L'action hydrodynamique en est la principale raison de la quasi inexistence de cette fraction fine (<63µm). En effet, le remaniement incessamment de ces particules favorise le transport en suspension des plus fines en dehors de la zone agitée.

B. Médiane granulométrique (Md)

La médiane granulométrique correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment. Elle fournit une idée approximative de la taille moyenne des grains du sédiment.

La carte de la répartition spatiale de la médiane granulométrique (fig.22) montre que le faciès sédimentaire de la plage sous-marine prospectée est dominé essentiellement par des sables grossiers à très grossiers (500µm <D₅₀ <2000µm)

Des sables moyens (250µm <D₅₀ <500µm) font une apparition et forme une bande plus au large à partir de l'isobathe -8 et ce en totale conformité avec le concept du grano-classement décroissant

de la côte vers le large qui est lié au gradient hydrodynamique lui aussi décroissant de la côte vers le large.

La moyenne des médianes granulométriques de tous les échantillons analysés est de 740 μm (soit 0.74 mm)

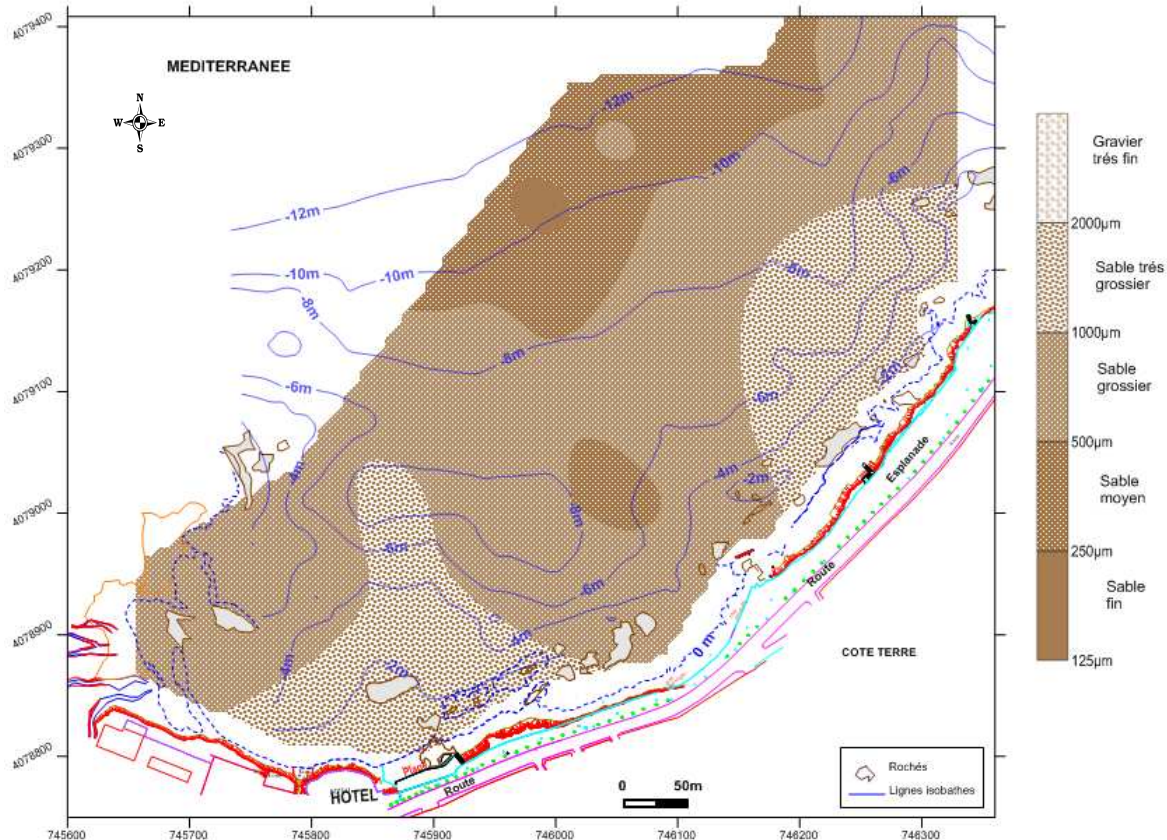


Figure n°22 : Répartition spatiale des médianes granulométriques (Md en μm) dans la région de Jijel (Front de mer de Beaumarchais)

C. Analyse modale

Les histogrammes de fréquences fourniront des indications sur le mode où diamètre le plus fréquent des grains et éventuellement sur le mélange de deux stocks sédimentaires différents si plusieurs modes apparaissent dans l'histogramme de fréquence.

L'analyse des histogrammes de fréquences sur lesquels les pourcentages pondéraux des particules de chaque classe granulométrique montre dans l'ensemble la présence d'un seul mode granulométrique prépondérant comme en indiquent l'échantillon témoin n°09 ci-contre.

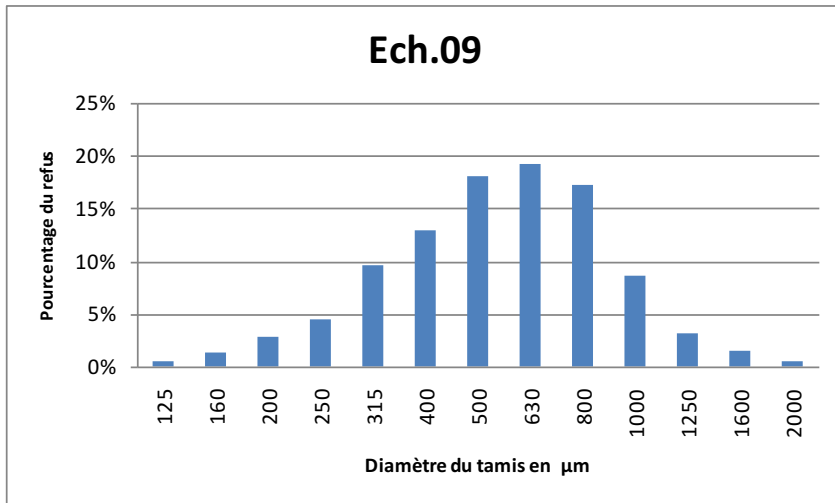


Figure n°23 : Histogramme de fréquences des classes granulométriques

L'historgramme de fréquence d'apparitions dimensionnelles des classes granulométriques de l'ensemble des échantillons analysés (fig.24) montre la présence d'une large gamme comprise entre 160 et 1600 μm avec une dominance du mode 800 μm avec 37% de fréquence d'apparition suivi du mode le 1000 μm et 630 μm avec successivement 18% et 14% de fréquence d'apparition.

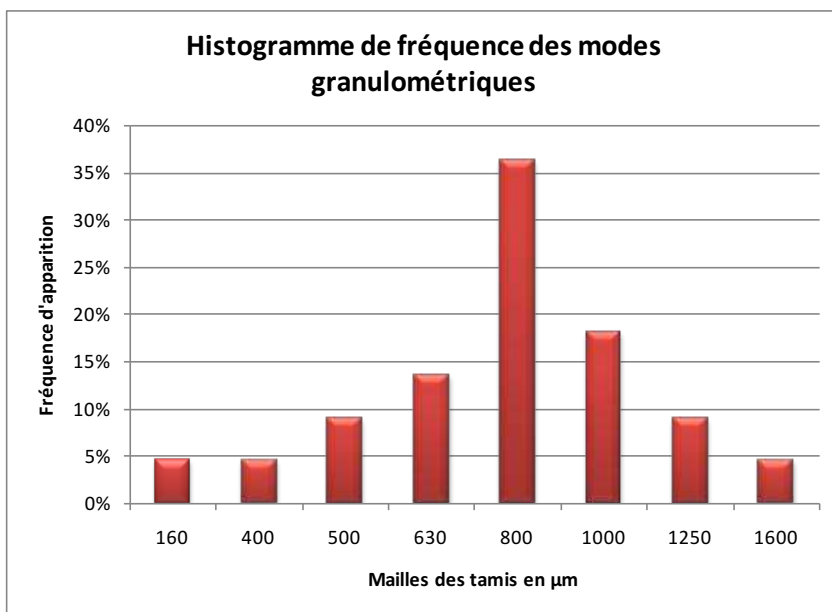


Figure n°24 : Histogramme de fréquence des modes granulométriques

D. Indice de classement de Trask (So)

L'indice de classement (ou hétérométrie) "sorting index" de TRASK, S_o complète l'image du sédiment donnée par la médiane granulométrique en fournissant une mesure de la dispersion des tailles des grains autour de la valeur centrale.

Le classement permet de séparer le sédiment en quatre classes, de mal à très bien classé; un bon classement est le reflet d'un sédiment dont la taille des grains est très homogène, un mauvais classement est celui d'un sédiment hétérogène.

Ces classes sont intéressantes car elles constituent un indice d'hydrodynamisme fort lorsque le classement est bon et définissent des aires de décharge ou de dépôt lorsqu'il est mauvais.

La formule utilisée est :

$$S_o = \sqrt{\frac{Q75}{Q25}} \dots\dots\dots(4)$$

Tableau n°7 : Les limites de S_o utilisées

Valeur	Classement	Interprétation (courant)
$1.00 < S_o < 1.20$	sédiment très bien classé (homogène)	très régulier
$1.20 < S_o < 1.60$	sédiment bien classé	régulier
$1.60 < S_o < 2.00$	sédiment moyennement classé	peu régulier
$S_o > 2.00$	sédiment mal classé (hétérogène)	irrégulier

Le calcul de cet indice (fig.25) montre que presque toutes les valeurs se situent entre 1.20 et 1.60 reflétant ainsi des sédiments bien classés.

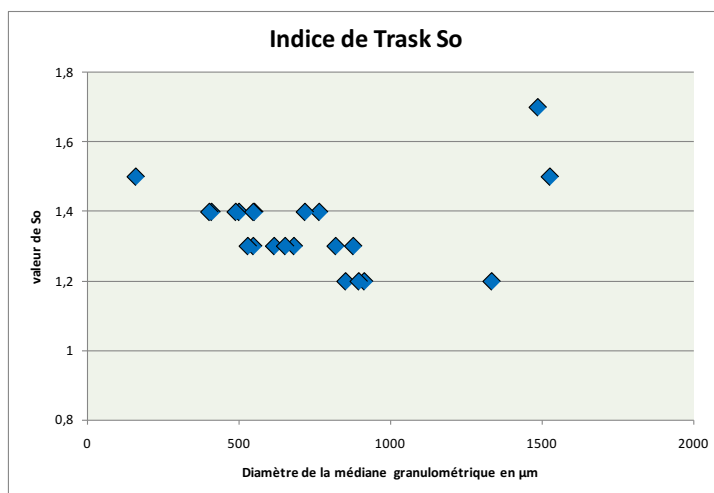


Figure n°25: Indice de classement de Task (So)

E. Indice d'asymétrie (Sk)

L'indice d'asymétrie Sk caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane. Il indique la prépondérance, ou non, des particules fines ou grossières par rapport à la moyenne de l'échantillon.

On le calcul avec :

$$SK = \frac{Q25 * Q75}{(D50)^2} \dots\dots\dots(5)$$

Tableau n°8 : les valeurs adoptées pour le coefficient d'asymétrie SK

Valeur	Asymétrie	Signification	Interprétation (courant)
SK = 1	nulle	courbe à tendance symétrique	
SK < 1	positive	décalage et classement maximum vers les particules grossières.	courant fort
SK > 1	négative	décalage et classement maximum vers les particules fines.	courant faible

Les valeurs de cet indice sont pour la majorité égale ou proche de 1 (fig.26) indiquant une symétrie du classement entre les particules fines et les particules grossières. Toutefois on note 2 valeurs de Sk (n°10 et n°16) relativement élevées (décalage et classement maximum vers les particules fines).

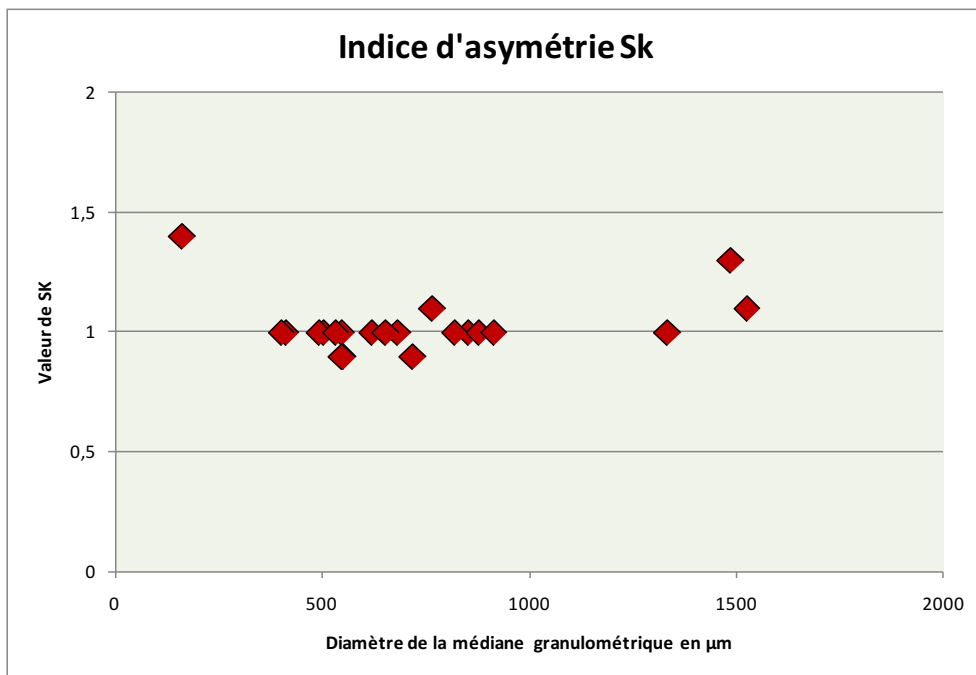


Figure n°26: Indice d'asymétrie Sk

F. Mode de transport des sédiments

Le diagramme de **Passega (1957)** permet de déterminer le mode de transport des sédiments. Il porte en abscisse la taille du grain médian ($D_{50\%}$) et en ordonnée les valeurs du $D_{99\%}$ (percentile supérieur). Il comporte un ensemble de segments appelés patterns qui représentent différents types de transport :

- Le segment SR représente les sédiments transportés en suspension homogène (uniforme).
- Le segment RQ représente les sédiments transportés en suspension gradée.
- Le segment QP représente les sédiments transportés par saltation
- Le segment PO représente les sédiments transportés essentiellement par charriage.
- Le segment ON représente les sédiments transportés par roulement.

La représentation, sur le diagramme de Passega de la position des points représentatifs des sédiments superficiels prélevés dans le site, montre que les valeurs du percentile supérieur $D_{99\%}$ varient entre $1240\mu\text{m}$ et $7180\mu\text{m}$ environ et les valeurs de la médiane $D_{50\%}$ se situent entre $160\mu\text{m}$ et $1500\mu\text{m}$. Cette représentation a permis de supposer des modes de transport illustrés dans la fig. n°27 ci-après.

Le diagramme montre que la majorité des sédiments superficiels prélevés sont proches des segments PO et ON. Cette présentation indique que le mode de transport des sédiments se fait essentiellement par charriage ou par roulement.

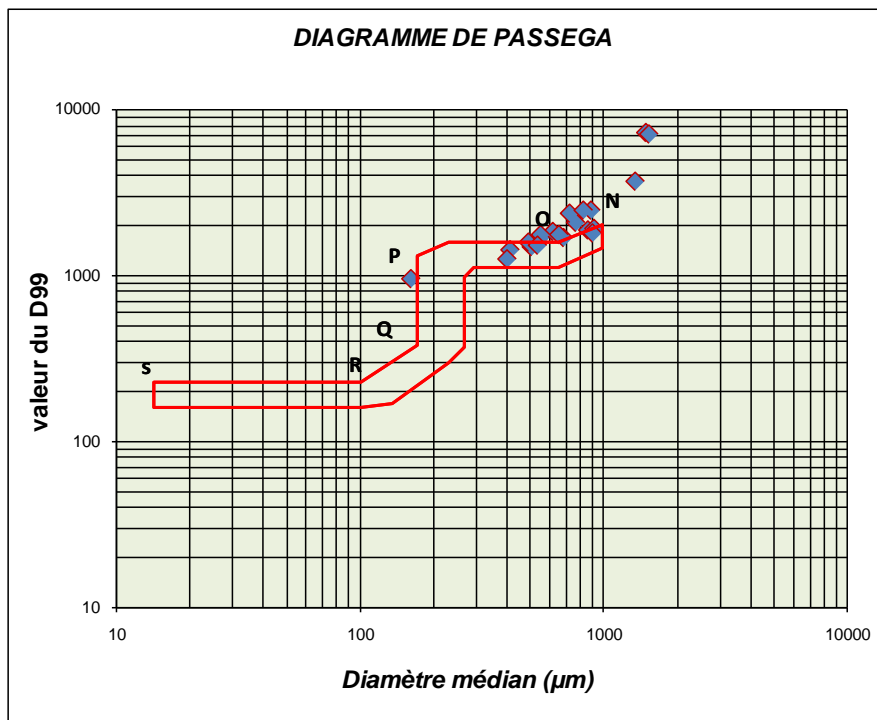


Figure n°27: Diagramme de Passega

5. Transit littoral :

L'étude du transit littoral a pour objectif d'estimer le volume des sédiments déplacés résultant des différents phénomènes hydrodynamiques qui agissent en synergie, cette étude permet aussi de déterminer la direction dont lequel le transit s'effectue.

Il est donc très important pour une cote donnée, si l'on veut comprendre son évolution et si l'on a l'intention de l'aménager, de connaître à la fois le volume des sédiments ainsi véhiculés et la direction résultante du transport à l'échelle de l'année (Paskoff R. 2004)

5.1. Explication sur l'Estimation du transit littoral

Les ordres de grandeur du volume déplacé des sédiments parallèlement à la côte (transit littoral) peuvent être évalués à partir de différentes formules dont la plus utilisée est la formule(6) de Sauvage de Saint-Marc et de Vincent « LCHF » :

$$Q = K/C g H_s^2 T. t f(\alpha) \dots\dots\dots(6)$$

Dont les paramètres sont :

Q : volume de sable transporté (en m³)

K : coefficient de transport du sable (2.5x10⁻⁶)

g : accélération de la pesanteur (en m/s²).

C : cambrure.

H_s : amplitude significative de la houle (en m)

T : période de la houle (en seconde).

t : durée d'action de la houle (en seconde).

f(α) : Fonction de l'obliquité "α" de la crête de la houle avec la côte.

L'utilisation de cette formule conduit à déterminer d'abord :

A. Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par : H_s². T.t,

On aura alors à suivre les étapes suivantes pour définir les paramètres H_s, T et t

a. Détermination des amplitudes H_s :

H_s a la cote est calculé à partir des résultats de la réfraction avec le SWAN ; elle est déterminé comme étant la moyenne du tiers supérieur de l'amplitude a 10m de profondeur. Le calcul se fait pour chaque direction et chaque période.

b. T représente la période, puisqu'on calcule le transit annuel, donc on utilisera les périodes calculés à partir des résultats de la réfraction ou pour chaque direction et pour chaque période nous avons calculé la moyenne de T a -10m. Ce qui fait que pour chaque direction, trois périodes sont utilisés.

c. Détermination de la durée t :

i. La détermination de la fréquence d'apparition « f_{ri} » de la houle par période et par direction est donnée par la formule suivante :

$$f_{ri} = \text{nombre de cas d'apparition (par direction et par période)} / 8870$$

En effet : la valeur 8870 correspond au nombre total d'apparition des houles, pour toute direction et période confondu. f_{ri} n'a pas d'unité, elle représente un nombre.

NB : Les résultats de calcul sont dans l'annexe IV

ii. Détermination des fréquences d'observation F :

Elle est déterminée en utilisant la formule suivante :

$$F \% = \sum (\text{nombre de cas pour chaque période} / 8870) \times 100.$$

F est exprimé en pourcentage.

iii. Calcul de la durée t :

La durée d'action de la houle d'un secteur donné est obtenue en utilisant la formule suivante :

$$t = (365j \times 24h \times 3600s / 100) \times F\%.$$

Elle est exprimée en secondes.

B. Détermination de l'angle « α » et de la fonction $f(\alpha)$:

La fonction $f(\alpha)$ liée à la l'obliquité de la houle $f(\alpha) = \text{Sin } 7/4 (\alpha)$.

Pour déterminer théoriquement le transit le long de la côte qui est directement lié à la direction de la houle au large, il est nécessaire d'évaluer l'angle (α) et la fonction $f(\alpha)$ qui en découle. Cette obliquité de la houle avec la ligne de rivage étant supposée mesurée par profondeur de 15 à 20 m, dans notre étude α a été déterminée pour la profondeur de 10 m.

L'angle α est déterminé par la méthode suivante :

- On définit la ligne moyenne parallèle à la côte
- On trace le nord
- Ensuite on trace l'orthogonale qui se croise au même point que le nord sur la ligne de côte, la partie gauche a l'orthogonale est négative (-) et la partie droite est positive (+)

- On représente les angles moyens d'arrivé pour chaque direction et pour chaque période : N45T6, N45T8, N45T10, N315T6, N315T8, N315T10, N360T6, N360T8, N360T10 ; et ce par rapport au Nord
 - Pour chaque direction; On trace la perpendiculaire qui se croise avec la ligne de cote en formant l'angle α
 - α = angle crête de la houle - côte = $180^\circ - (90^\circ + \beta)$.
 - β = angle orthogonale - côte.
 - σ = angle orthogonale - Nord.
- NB : l'angle α est déterminé manuellement (**Annexe V**)

5.2. Résultats :

A partir des résultats obtenus lors de la réfraction ; on a sélectionné Hs ; la direction et la période au niveau de la profondeur de 10 m pour chaque grandeur on a fait la moyenne. Et ce pour chaque direction et pour chaque période.

5.2.1. Calcul de Hs, t, angle d'arrivée :

Tableau n°9 : Moyenne des résultats obtenus par direction et par période

Direction	N360			N45			N315		
	période (s)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)
6	0,96	4,97	352,26	0,97	4,92	28,16	1,05	4,98	319,81
8	2,67	6,70	353,52	1,94	6,62	23,62	2,61	6,70	321,92
10	4,86	8,53	350,87	4,28	8,45	19,30	4,50	8,49	323,33

En utilisant le tableau du document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « summary of Synoptique Meteorological observation » SSMO tomeII, Zone Algiers(1963-1970) qui correspond a la Zone 31 selon la projection Mercator, on détermine les fréquences d'apparitions f_i en traitant les données classées de la houle à savoir l'amplitude au large , les périodes, le nombre d'apparition et ceci par direction .

Tableau n°10: Calcul des fréquences d'observation f(%) et de la durée de la houle t

Direction	N360		N45		N315	
	f(%)	t (s)	f(%)	t (s)	f(%)	t (s)
6	5,13	1 618 575,42	11,58	3 651 349,72	4,30	1 356 367,98
8	0,50	157 324,46	0,57	180 434,27	1,49	469 306,88
10	0,02	6 518,15	0,03	6 518,15	0,01	1 777,68

Tableau n°11 : Calcul du bilan énergétique annuel du transport

Direction	N360	N45	N315
Période	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)
6	7 468 655,11	16 815 513,59	7 483 952,13
8	7 487 525,77	4 474 391,23	21 390 275,78
10	1 311 631,19	1 008 906,88	305 215,41
Total	16 267 812,06	22 298 811,70	29 179 443,32
Total Général =67 746 067,08 m².s²			

5.2.2. Détermination de l'angle α :

L'angle a été déterminé manuellement, l'illustration est représentée dans l'annexe les angles obtenus ainsi que leurs fonctions sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau n°12 : Calcul des angles α et des fonctions f(α) par direction et par période

Direction	N360		N45		N315	
	α°	f(α)	α°	f(α)	α°	f(α)
6	16	0,469	53	0,999	-16	-0,469
8	18	0,522	48	0,995	-14	-0,415
10	15	0,442	43	0,967	-12,6	-0,375

Les paramètres constants		
Coefficient de transport du sable	K	0,0000025
Accélération de la pesanteur	g	9,81
Cambrure	C	0,03

5.2.3. Estimation du transport sédimentaire :

Après que tous les paramètres composant la formule LCHF soient calculés, l'estimation du transit littoral global peut être donc estimée ; les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau n°13: Estimation du transit sédimentaire global

Direction	N360	N45	N315
période	Q (m ³ /an)	Q (m ³ /an)	Q (m ³ /an)
6	2866,42	13730,85	-2872,29
8	3198,24	3637,78	-7251,55
10	474,25	797,60	-93,67
T/direct	6538,91	18166,23	-10217,51
Quantité totale transporté = 34922,65 m³/an			
Le volume résultant = 14 487,62 m³/an			

5.3. interprétation:

Le transit littoral a été estimé à 14 487,62 m³/an, allant de l'est vers l'ouest, cette quantité pourrait englober les sédiments se trouvant en mer mais aussi le sédiment issu de l'effritement du platier rocheux sur lequel repose le front de mer, en effet cette dérive qui est due à la prédominance des vents de secteur nord-Ouest induit des courants de retour assez puissants, sur tout pour une côte rocheuse, qui arrachent les sédiments de la plage.

NB : pour l'étude de la réfraction ainsi que l'étude du transit littoral ; nos résultats ont été comparés avec ceux du LEM et ces derniers concordent.

Conclusion :

Les résultats obtenus dans ce présent chapitre nous confirment l'exposition de notre site aux attaques hydrodynamiques en plus de la pression anthropique qui est exercée sur le front de mer. Les résultats des études faites serviront de données input pour le dimensionnement de ouvrages qu'on va proposer.

CHAPITRE III :

DIMENSIONNEMENTS

Avant d'entreprendre un projet de stabilisation et /ou de protection ; il convient de déterminer la cause des problèmes relevés au niveau du front de mer , pour savoir établir le niveau de protection requis et savoir utiliser la technique appropriée, il faut tenir compte des informations propre du site .Ce n'est donc qu'à partir des résultats obtenus dans le chapitre précédant qu'on pourra concevoir les ouvrages de sorte à ce qu'ils résistent aux conditions prépondérantes.

1. Objectif de l'intervention :

- Assurer la pérennité du front de mer ainsi que la zone terrestre située derrière en s'opposant aux attaques frontales de la houle et à l'action des courants
- Viser une meilleure intégration à la vocation récréotouristique et donner un accès à la mer

Pour notre zone d'étude nous allons utiliser des ouvrages de protection de haut de plage ; nous avons opté pour 2 types d'aménagements (1 et 2), comportant chacun 2 sous aménagements (A1, B1 et A2, B2).

2. Définition des ouvrages de haut de plage

Ces défenses de haut de plage ont pour caractéristiques communes de n'apporter de protection qu'aux terrains situés immédiatement derrière elles. Bien que les ouvrages soient destinés à assurer une protection contre la mer, leurs modes d'action sont différents et certains d'entre eux peuvent également remplir d'autres rôles. On distingue 3 types d'utilisation :

- **Les ouvrages de défense** : Leur rôle essentiel est de s'opposer à l'attaque de la mer en recevant directement le choc des lames (murs brise mer), en dissipant leur énergie sur un talus d'enrochements (digue a talus), en laissant monter les lames sur une pente douce (digue en pente douce a revêtement lisse).
- **Les ouvrages de soutènement** : Bien qu'ils assurent une protection contre la mer leur rôle est également de maintenir les terres situées en arrière. Il peut s'agir de digue de « front de mer ».
- **Les revêtements.** Ce type d'ouvrage est place sur la partie du haut de plage à protéger, pour interposer entre les lames et le sable un placage susceptible de mieux résister a leur action et permettant en général également de raidir les pentes. De tels revêtements peuvent être rigides ou souples.

La règle essentielle de dimensionnement est de limiter les réflexions sur un tel ouvrage, en n'adoptant pas, dans la mesure du possible, de pente supérieure à 1/3. Aux Pays-Bas, en France et dans le Nord de la France ont été adoptées des pentes de 1/4 à 1/7.

Les pentes « rugueuses » en enrochements dissipent et absorbent efficacement l'énergie des houles, réduisent l'ascension et le franchissement des lames ainsi que l'affouillement.

3. Caractéristiques des différentes parties des ouvrages de protection :

a- Carapace

Parmi l'ensemble des différentes parties composant une digue à talus maritime, la carapace représente l'élément clé de la stabilité de la structure. Elle se compose soit d'enrochements naturels soit de blocs artificiels en béton. C'est la partie de l'ouvrage qui reçoit directement l'attaque de la houle et que l'on caractérise par le poids unitaire W des blocs naturels ou artificiels qui la composent.

- **Poids des blocs de carapace, Hudson (1974)**

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

$$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_s * H_b^3}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha} \dots \dots \dots (7)$$

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

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

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

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

H_b : Hauteur de la houle de dimensionnement (ici, $H_b=2.58\text{m}$)

- **Le diamètre nominal (D_{nB})**

$$D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_B}} \dots \dots \dots (8)$$

- **L'épaisseur de la carapace**

$$E = n * K_t * D_{n50} \dots \dots \dots (9)$$

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

n : nombre de couche

- **Nombre d'élément de la carapace :**

Par 1m² le nombre de bloc N_r est donné par :

$$N_r = \frac{\text{nombre de bloc}}{\text{unité de surface}} = \frac{N}{S} = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left(1 - \frac{P}{100} \right) \cdot \left(\frac{\gamma_s}{w} \right)^{2/3} \dots \dots \dots (10)$$

Ou P est la porosité moyenne

b- La butée de pied

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

- **Poids de butée de pied**

$$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}} \dots\dots\dots (11)$$

c- Le soubassement

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

d- Le Noyau

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

$$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}} \dots\dots\dots (12)$$

- L'imperméabilité doit être telle que la houle ne soit pas transmise ; cette imperméabilité ne sera bonne que si le matériau a une granulométrie étendue, l'indice du vide sera faible.
- Un angle interne de frottement suffisant pour la stabilité d'ensemble, on doit alors éviter un pourcentage élevé de fine.
- Une capacité naturelle et une granulométrie entendue telles que les tassements à long termes restent limités.

e- Le Filtre

Entre les blocs de la carapace et le noyau sont interposées une ou plusieurs couches intermédiaires d'engrègements leur rôle est :

- De créer un ou plusieurs filtres entre les matériaux fins du noyau et les blocs de la carapace de grande dimension.
- De protéger le noyau pendant la phase de construction contre les tempêtes.

Son poids WR est tel que : $0.1W > WR > 0.04W$

Les épaisseurs à donner aux sous-couches (au nombre de 2 au minimum) est donné par :

$$e = n k_{\Delta} (V)^{1/3} \dots\dots\dots(13)$$

Ou :

- n : nombre de couches (égale à 2 au moins)
- k_{Δ} : 1.02 pour les enrochements lisses et 1.10 pour les enrochements rugueux
- V : volume moyen du bloc ($\approx W/\gamma_s$)

NB : les détails de pré-dimensionnement des ouvrages est en Annexe VII

4. Description de l'intervention et optimisation

4.1. Variante A : extension du front de mer

La protection longitudinales en enrochements disposées sur des pentes voisines à 3/2 sont fréquemment retenues en raison de leur facilité de mise en œuvre

L'aménagement recommandé consiste en une extension du front de mer à deux niveaux ; il vise aussi à le protéger. Sa réalisation consiste en une mise en place mécanique des matériaux, pierres de carapace de calibre variant entre 1 et 2t reposant sur une couche composée de matériaux de 0 à 500 kg, une clé de protection à la base de protection contre l'affouillement sera installé sur le fond.

Cette variante se décrit comme suit :

En ce basent sur le critère lithologie, la zone est divisé en deux parties :

- Partie ouest : elle se caractérise par une terre végétale et s'étend sur 57 ml.
- Partie est : elle se caractérise par un socle rocheux qui s'étend vers la mer se forme de rocher avec une 892 ml.

Notre variante se désintègre alors en deux sous variantes :

- Variante A1 pour la partie Est
- Variante A2 pour la partie Ouest

4.1.1. Sous- Variante A1 :

- elle s'étend sur 892 ml de longueur.
- elle s'étend sur 70 ml de largeur.
- une superficie 63000 m².
- une profondeur d'implantation de -1 m.

La réalisation du front de mer commence par un renforcement en dessous de la partie déjà existante avec un remblai renforcé qui sera prolongé à 50 m de largeur ce remblai sera

maintenu par une digue d'une pente de 3/2 ; le remblai va être nivelé en pente sur une largeur linière de 23 m sur lequel va se déposer soit :

- Des escaliers préfabriqués qui serviront des points d'accès au deuxième niveau
- OU
- Du gabion qui sera déposé entre chaque point d'accès

Paramètres de stabilité de l'ouvrage :

Cet aménagement est dimensionné avec un $K_D=4$ et $H_s = 2.4m$; il est implanté jusqu'à -1m NGA

- Une carapace de catégorie 2 à 3t avec une épaisseur de 2m avec une pente de 2/1
- Un filtre de catégorie 200a 500 Kg d'une épaisseur de 0.93m
- Un noyau en TVC

4.1.2. Variante A2 :

- Elle s'étend sur 57 ml de longueur
- Elle a une largeur de 26 ml
- Une superficie 1500 m²

La réalisation de cette partie débutera par une extraction afin de reprofiler la pente du talus, le sol reprofilé sera couvert d'un géotextile on ajoutera une couche de terre végétale qui sera planté. Au pied du talus crée ; on installera un bac à fleur qui servira de stabilisateur ainsi qu'un enjoliveur.

Objectif recherché :

L'objectif de cet aménagement est de stabiliser le front de mer et de le protéger des effets nuisibles de la mer tout en assurant son utilité récréotouristique

Avantage :

- Eloigner l'effet néfaste de la mer sur le front de mer principale
- La berme extérieure du talus permettra de dissiper l'énergie de la houle avant qu'elle atteigne le platier rocheux et les constructions en haut de ce dernier
- L'avancement sur la mer créera une largeur de sécurité supplémentaire. Qui peut favoriser l'installation des équipements de loisir et de sport, et améliorer les activités touristiques
- Offrir aux promeneurs une ouverture visuelle sur la mer

Inconvénients :

Le seul inconvénient de cette variante est que lors des houles exceptionnelles avec lesquelles on n'a pas dimensionné, il risque d'y avoir une inondation

4.2. Variante B : Digue à talus

- Elle s'étend sur 950 ml de longueur
- Elle a une largeur de 38.5 ml
- Une superficie 36600 m²

L'ouvrage vétuste en béton d'une longueur de 300 ml est de ce fait démoli et enseveli sous un remblai d'apport en TVC. Le tracé de la ligne de côte a subi une modification sur environ 550 ml. L'objectif est le gain d'espace en crête.

La protection du front de mer est assurée par une digue frontale en enrochements de catégorie variable arasée à des cotes variables.

Pour cette variante, l'élargissement est accompli au même niveau altimétrique que l'actuel promenade à savoir une moyenne de +8 m par rapport au niveau de la mer.

Paramètres de stabilité de l'ouvrage :

Cet aménagement est dimensionné avec un $K_D=4$ et $H_s = 2.4m$; il est implanté à 0m NGA

- Une carapace de catégorie 1 à 2t avec une épaisseur de 2.19m avec une pente de 3/2
- Un filtre de catégorie 200a 500 kg d'une épaisseur de 1m
- Un noyau en TVC

Avantage :

- Repousser l'effet néfaste de la mer sur le front de mer principale
- Elargissement du front de mer ce qui augmentera le taux de fréquentation
- Mise en place facile

Inconvénient :

- Cout très élevé
- Il peut favoriser la rétention de certains déchets amenés par le vent, la mer ou rejeté par les touristes
- Agresse la vue et dénature l'environnement
- Il consomme beaucoup de place c'est ce qui va supprimer l'accès à la mer

5. Estimation des coûts de construction :

L'estimation des couts de construction des variantes est basée sur des prix unitaires récents pratiqués par les entreprises de réalisation nationales .ces couts, détaillés dans les devis présentés ci-après, sont les suivants :

- Variante d'aménagement n°1 : 609 002000DA
- Variante d'aménagement n°2 : 896 040 000DA

6. Comparaison des variantes :

Il est important de rappeler que les deux variantes diffèrent uniquement par la nature de la structure de protection frontale ; la comparaison s'est faite sur la base des critères suivants :

- Réalisation
- Coût de réalisation
- Entretien esthétique
- Impact

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

Tableau n°14: Comparaison entre les variantes proposées

	Variante A	Variante B
Critère	Extension du front de mer à double niveau	Digue à talus de haut de plage
Réalisation (délai, difficultés, etc...)	B	A
Coût de réalisation	A	B
Entretien	A	A
Esthétique	A	C
Impact	B	B
Total	3A+2B	2A+2B+C

- **La réalisation :**

La différence réside dans le fait que la variante A se compose de 2 sous variantes la sous variante A1 est réalisé sur 2 niveau c'est ce qui nécessite une quantité de remblais renforcé plus importante, la réalisation de la variante A nécessite une technicité plus importante.

- **Le coût de réalisation :**

Le cout de réalisation de la variante B est plus élevé que celui de la variante

- **L'entretien :**

Les 2 variantes sont plus ou moins facile à entretenir vu leur relation directe avec la terre.

- **L'esthétique :**

L'extension du front de mer à double niveau assure une vue et une ambiance agréable avec un tronçon en terre végétale qui sur plan la plage , l'ensemble donne accès à la mer.

- **L'impact :**

Il est certain que toute artificialisation a un impact sur l'environnement, la différence réside dans le taux, les 2 ouvrages proposés sont peu impactant du fait qu'ils soient reliés à la terre.

Recommandation :

Sur la base de l'analyse multicritère ci-avant, nous avons recommandé de réalisation de la variante A qui reste favorite de par son impact positif sur le touriste et le développement de l'économie, son esthétique quelle va engendrer en donnant à la ville un espace plus large qui peut accueillir un nombre plus important de promeneur et qui donne à tous le privilège d'être près de la mer.

CONCLUSION

Le but de ce travail est l'étude et la protection du rivage de Jijel. En vue de diagnostiquer le rivage de Beaumarchais (Jijel) qui a fait l'objet du site à protéger, une étude plus ou moins poussée a été entreprise dans ce contexte, et qui a débuté par la collecte de données relatives au milieu dynamique dans les différents domaines (géomorphologie, géologie, climatologie, océanographie...) afin de bien caractériser le lieu étudié. La collecte de données a été faite à partir des données de terrain du LEM mais aussi à travers la recherche bibliographique.

L'étape suivante est d'exploiter les données acquises. Pour commencer, on a défini le levé topographique et bathymétrique nécessaire pour l'étude de la réfraction de la houle réalisée au moyen d'outils informatiques dont SWAN qui représente le logiciel de base en la matière en plus de l'étude du transit littoral.

En parallèle ; pour chaque résultat obtenu sur la réfraction de la houle, l'étude bathymétrique, et l'estimation des transits sédimentaires une interprétation a été effectuée.

La dernière étape a consisté en la mise en place d'un plan de protection à travers le dimensionnement des variantes, tout en présentant à chaque cas de figure des avantages et des inconvénients de l'ouvrage dimensionné, afin de proposer la solution la plus efficace dans l'espace et dans le temps.

En effet, le rivage de Jijel connaît une dégradation dont les causes à court-terme sont difficiles à identifier. La préoccupation du LEM de ce cas aggravant a fait l'objectif de ce projet qui nous a permis comme étant futurs Aménagistes de collaborer avec ce Laboratoire afin d'envisager une solution durable et réalisable ; Cette collaboration nous a permis d'enrichir nos connaissances dans le domaine de l'aménagement et de protection de telle envergure.

En effet, la dénudation des platiers rocheux du rivage de la zone d'étude est tout d'abord un phénomène naturel lié aux effets météorologiques et hydrodynamiques, mais qui peut toutefois être aggravé par les actions de l'homme entreprises au niveau du rivage.

Dans ce contexte, notre étude nous a permis de constater que l'effondrement du front de mer résulte de la conjonction de plusieurs facteurs à la fois d'origine marine (naturelle) et humaine (de l'arrière-pays), opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace. Ce sont les tempêtes, les courants littoraux, les variations du niveau de la mer, l'anthropisation qui seraient à l'origine de cette détérioration.

Les caractéristiques géologiques et géomorphologiques de la zone en question confirment que la côte est basse et dénudée de nature grès numidien .

L'étude bathymétrique révèle une morphologie particulière caractérisée par des fonds marins relativement irréguliers.

La modélisation numérique de la réfraction de la houle au niveau de cette zone confirme aussi l'impact de l'hydrodynamisme sur la zone d'étude qui se trouve exposée aux houles de secteur Nord.

L'étude du transport sédimentaire indique que le transit littoral a pour direction principale Est – Ouest, mais un débit sédimentaire faible.

Notre choix d'aménagement pourrait couvrir le vide présent sur le PDAU ; car il pourrait être un attrait très important qui assurera un développement socioéconomique à la ville de Jijel toute en gardant son patrimoine historique et culturel. Pour que cela puisse se réaliser il doit y avoir une dynamique intersectorielle pour la gestion du front de mer (gestion des réseaux d'assainissement ; maintenance ; collecte des eaux pluviales).

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

BIBLIOGRAPHIE

- Aouar, S. et Serghema, A. (2000).** Etude des caractères sédimentologies et géotechniques des sédiments superficiels de la baie de Jijel. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL*
- Aoudj, C. (2014).** Évolution morpho dynamique du trait de côte du littoral Est de Bejaïa. *Mémoire de Master. ENSSMAL.*
- Assassi, C. et Otmani, H. (2010).** Etude de protection de la zone de club des pins. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL.*
- Bokreta, A. et Ghouti, M. A. (2012).** Etude de protection du rivage de Ain ta gourait. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL.*
- Belloulou, B. et Gana, A. (2012).** Etude de protection du rivage de Hadjret-En-Nous. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL.*
- Booij, N. et Ris, R. C. et Holthuijsen, L. (1999).** A third-generation wave model for coastal regions *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*. VOL. 104, NO. C4. pp. 7649–7666.
- Boucenna, F. (2011).** Cartographie par les différentes méthodes de vulnérabilité a la pollution d'une nappe côtière cas de la plaine alluviale de l'oued Djendjen (Jijel, nord-est algérien). *Mémoire de magister. Université Badji Mokhtar Annaba.*
- Boudjedjou, L. (2010).** Etude de la flore adventice des cultures de la région de Jijel. *Mémoire de magistère. Université Ferhat Abbas –Sétif- Faculté des Sciences département de Biologie.*
- Boulouata, S. et Gasmi, O. (2013).** Etude de protection du rivage maritime de STORA Skikda. *Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL.*
- Boutiba, M. (2006).** Géomorphologie dynamique et mouvements des sédiments le long de la cote sableuse Jijelienne (Est Algérie). *Thèse de doctorat. Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene. Faculté des Sciences de la terre, de Géographie et Aménagement du territoire.*
- Bouttes, F. et Ropert, F. (1997).** Conception et dimensionnement des digues a talus, centre d'étude techniques maritime et fluvial.
- Castelle, B. (2004).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : application à la côte aquitaine.
- Centre d'étude techniques maritime et fluvial, (2009).** Recommandations pour la conception et la réalisation des aménagements de défense du littoral contre l'action de la mer. pp. III-9-V.

CERC (2006). Us Army Corps of Engineers. Part II, chapter7, Harbor Hydrodynamics, p19-22.

CERC (2006). Us Army Corps of Engineers. Part VI, Chapter 2, Types and functions of coastal structures, p1-50.

CERC (2006). Us Army Corps of Engineers. Part V, Chapter 3, Shore protection projects, p. 37-110.

Clus-Auby, C. et Paskoff, R. (2007). L'érosion des plages les causes, les remèdes. Paris : *Institut océanographique*. 257 p.

Collet, J. (1972). Les sédiments organogènes du pré continent algérien .Paris : *mémoire de muséum national d'histoire naturelle*. 289 p.

Ficheur, M. E. (1971). Carte géologique de la région de Jijel

Guebabi, I. et Salem, W. (2012). Etude de protection du rivage de Fouka marine. *Mémoire d'ingénieur*. ENSSMAL. 50 p.

Godet, M. (2008). Manuel de prospective stratégique: l'art et la méthode. France : *Dunod*. 424p.

Laassilia, O. (2013). Approche multidisciplinaire de suivi de la dynamique marine du littoral de Mohammedia. *Mémoire de stage de fin d'étude. Master Sciences et Techniques Eau et Environnement. Université Cadi Ayyad, Faculté des Sciences et Techniques Marrakech Département des Sciences de la Terre*.

Le hir, P. et ALL, (2001). Courants, vagues et marées : les mouvements de l'eau. France : IFREMER.

Leclaire, L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré continent algérien). *Mémoire de muséum national d'histoire naturelle* Paris. 391p.

LEM, (2006). Etude d'impact sur l'environnement de la réalisation d'un port de pêche et de plaisance à el-Aouna (Wilaya de Jijel).

Mezzouar, K. (2009). Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algériens et roumains. *Thèse de doctorat. Université Technique de Construction de Bucarest Faculté de Hydrotechnique, Département de Géotechnique et Fondations*.

Mouhoubi, N. et Ouabel, K. (2012). Etude d'une solution de protection pour la plage centre de Sidi Ghiles. *Mémoire d'ingénieur*. ENSSMAL.

Otmani, H. (2014). Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de cap Djinet. *Mémoire de magistère*. ENSSMAL.

Ouabel, K. (2012). Réfraction de la houle sur le littoral de Sidi-Ghiles par modélisation SWAN. *Mémoire master*. ENSSMAL.

Paskoff, R. (2004). Côtes en danger. Paris : *L'Harmattan*. 250 p.

Paskoff, R. (2010). Les littoraux impacts des aménagements sur leur évolution. *France : Armand colin.* 257p.

PDAU (2009) Plan directeur de l'aménagement urbain de Jijel.

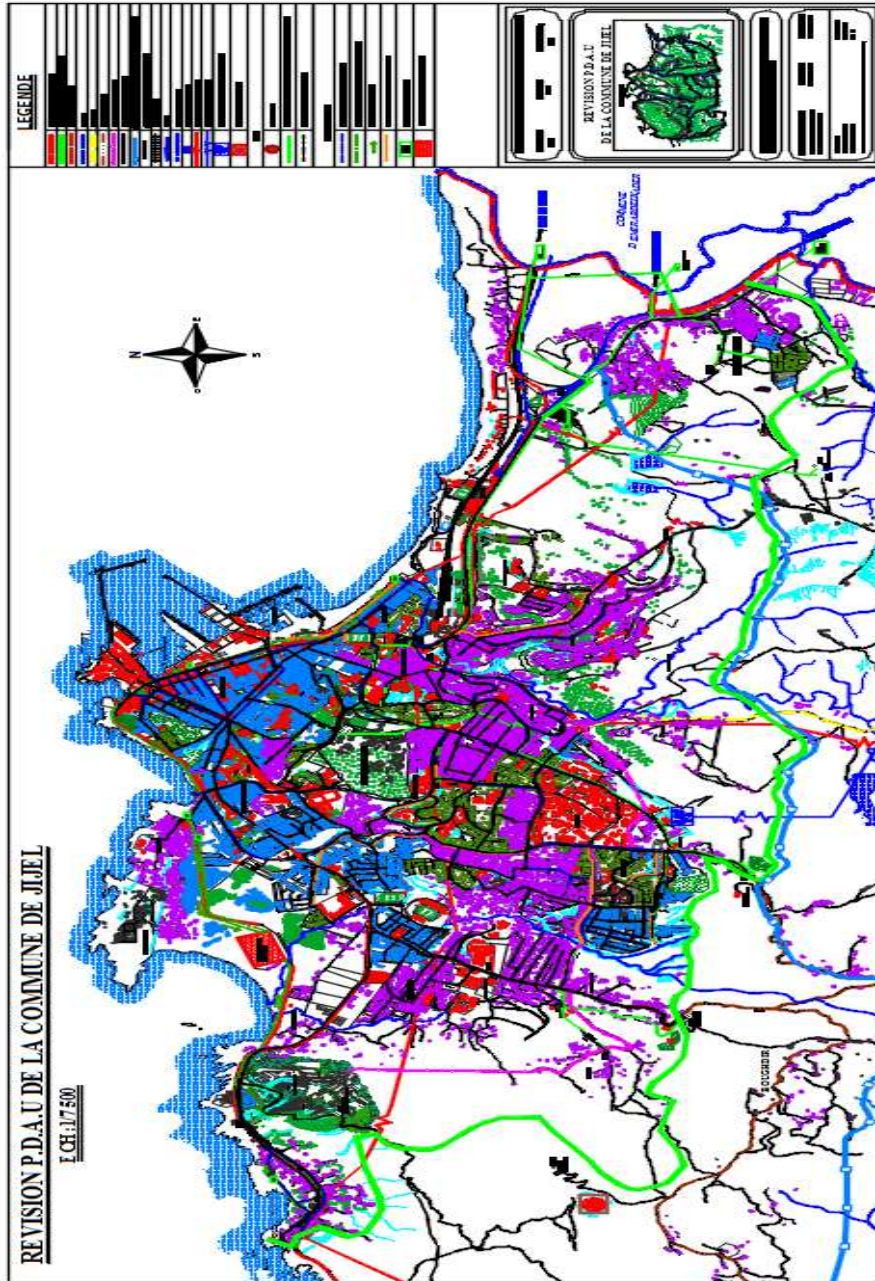
Pinot, J. P. (1998). La gestion du littoral : tome I- littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses .Paris : *institut océanographique.* 399 p.

Safri, S. (2008). Renouveau urbain d'un centre ancien en déclin cas du centre-ville de Jijel. *Mémoire de magistère. Université Mentouri de Constantine faculté des sciences de la terre, de géographie et de l'aménagement du territoire.*

Samat, O. (2007). Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages micro tidales. Le cas du Languedoc et du delta du Rhône. *Université Aix-Marseille I-Université de Provence.* U.F.R des Sciences Géographiques et de l'Aménagement Centre Européen de Recherches et d'Enseignement en Géosciences de l'Environnement (UMR 6635-CNRS).

S.S.M.O. (1963-1970). Summary of synoptique meteorological observations. US Naval Weather Service command.Mediterranean marine areas. Vol. 2.

ANNEXES



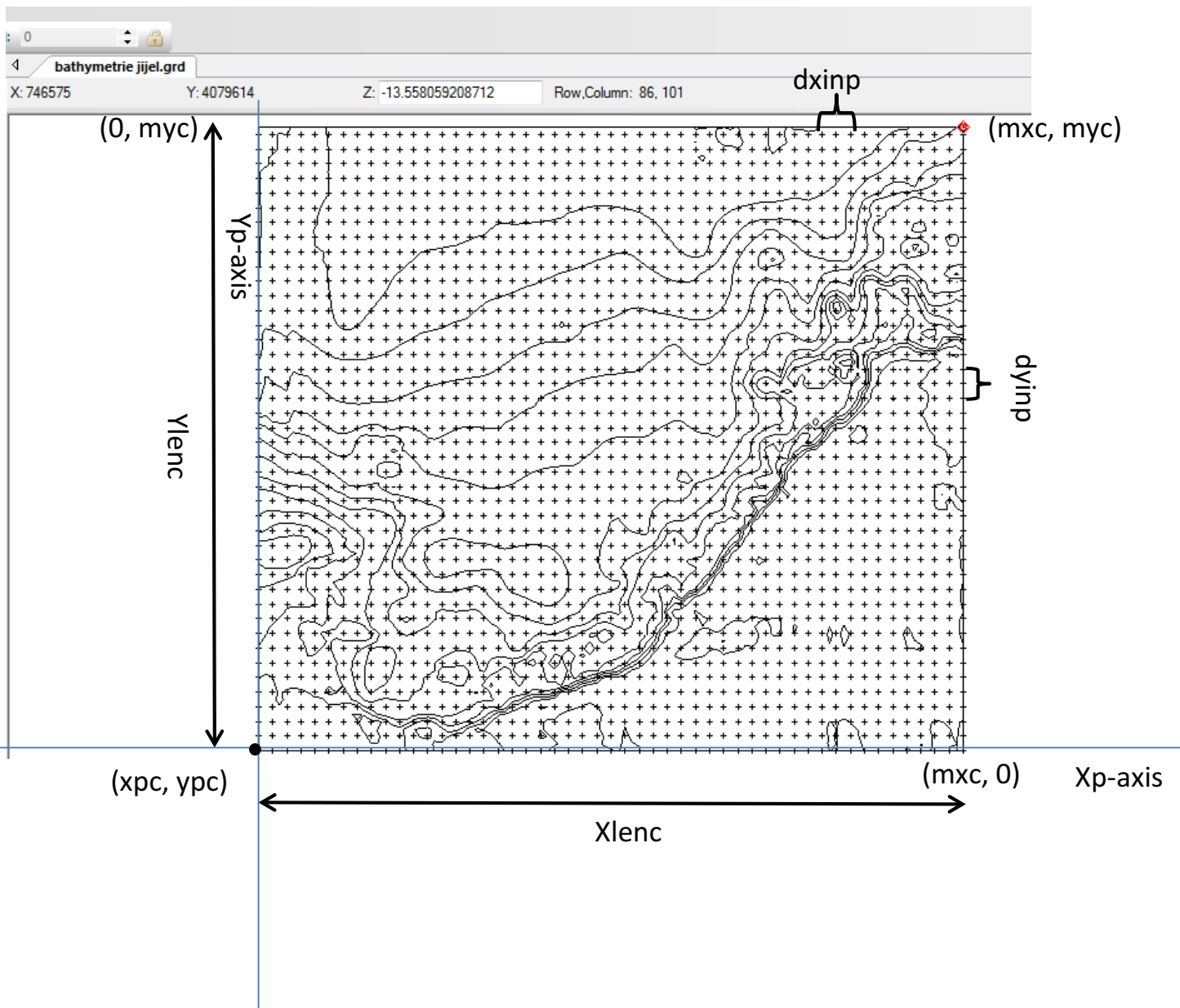
```

N45T6H110.swn - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
PROJ 'grille' '001'
$
MODE STAT
MODE STATIONary TwODimensional
COORDINATES CART
SET level=0.5 NAUTICAL
$
CGRID Regular [xpc] [ypc] [alpc] [xlenc] [ylenc] [mxc] [myc] CIR 36 0.03 0.3 24
$
INPGRID BOTTOM REG [xpinp] [ypinp] [alpinp] [mxinp] [myinp] [dxinp] [dyinp] EXCVAL -
999.0000
READINP BOTTOM 1.0 'bathyjijel.txt' 3 0 FREE
$
BOUN SHAPE JONSWAP 3.30 PEAK DSPR DEGREES
Boundspec -> SIDE N|NW|W|SW|S|SE|E|NE | PAR [hs] [per] [dir] [dd]
$WIND 19.2 45
OFF QUAD
$OFF WCAP
GEN2
breaking con 1.0 0.68
num accur 0.03 0.03 0.03 97 12
FRICTION JONSWAP 0.067
SETUP 0.
$
$***** OUTPUT REQUEST*****
$
frame 'R1' 745594 4078747 0 981 867 100 85
table 'R1' head 'N45T6H110' xp yp hs dir dep vel tdir force transp steepness wlen ubot per
$
TEST 0,0
COMPUTE
STOP

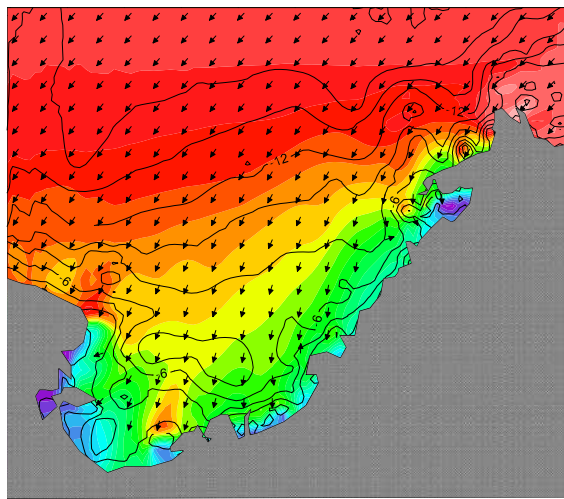
```

Paramètre de la grille

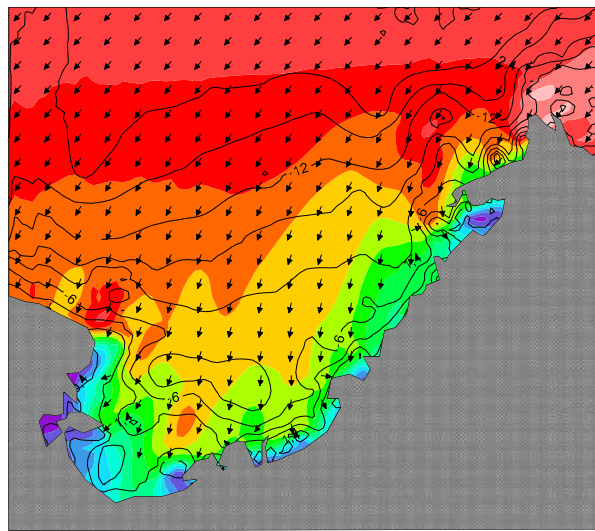
Paramètre de la houle



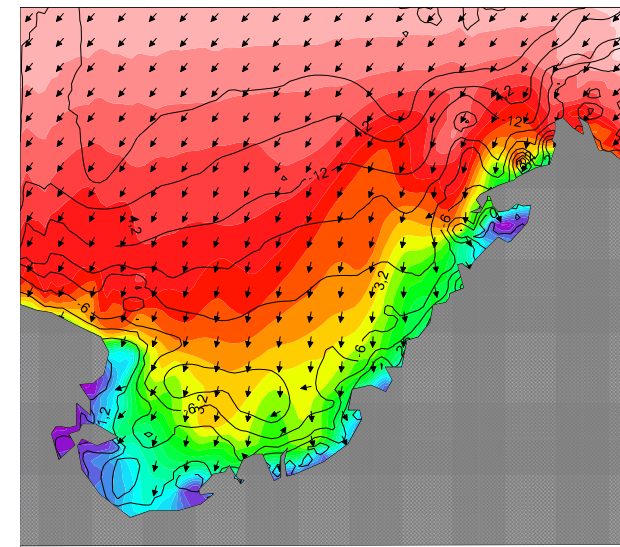
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 45°
Hs = 1.10 m
T p = 6s



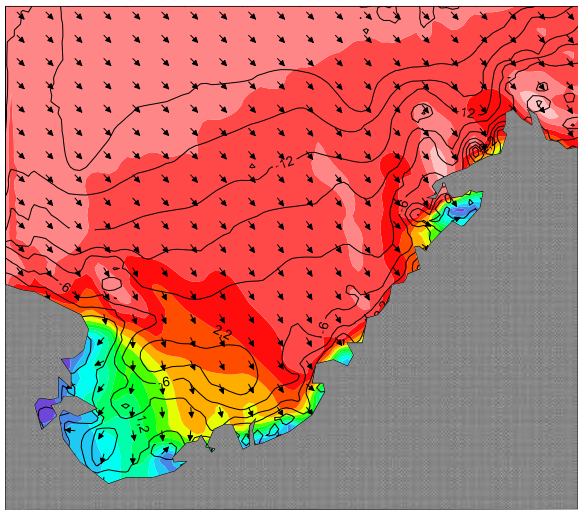
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 45°
Hs = 2.56 m
T p = 8 s



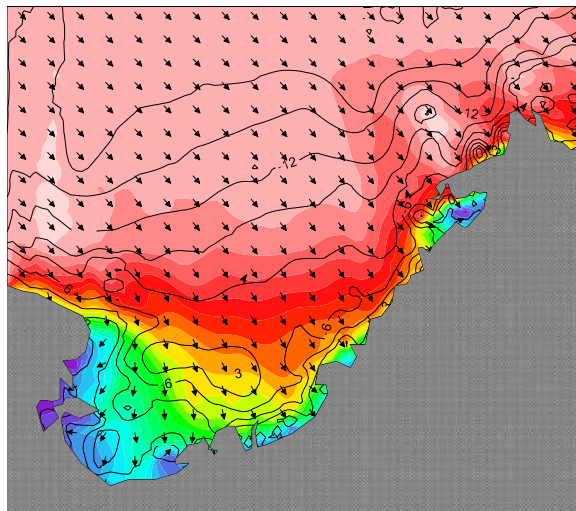
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 45°
Hs = 5.05 m
T p = 10 s



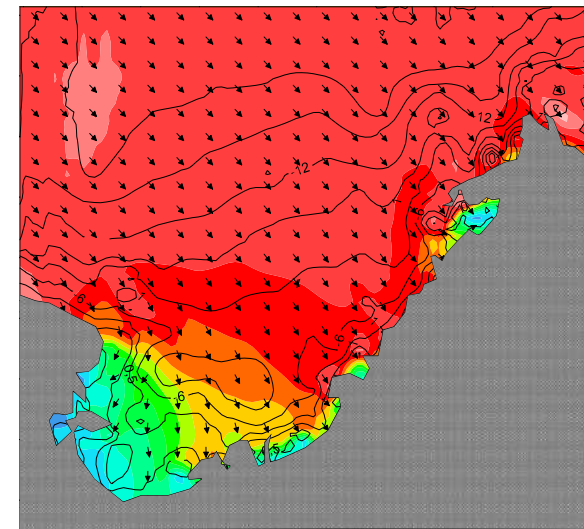
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 315°
Hs = 1.10 m
T_p = 6s



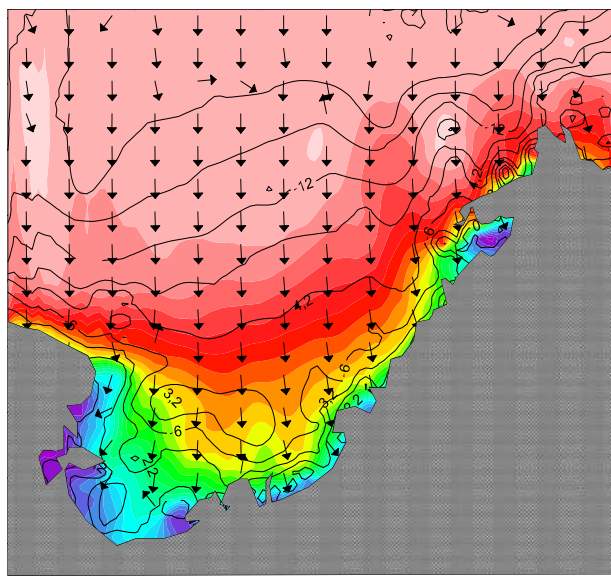
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 315°
Hs = 2.64 m
T_p = 8s



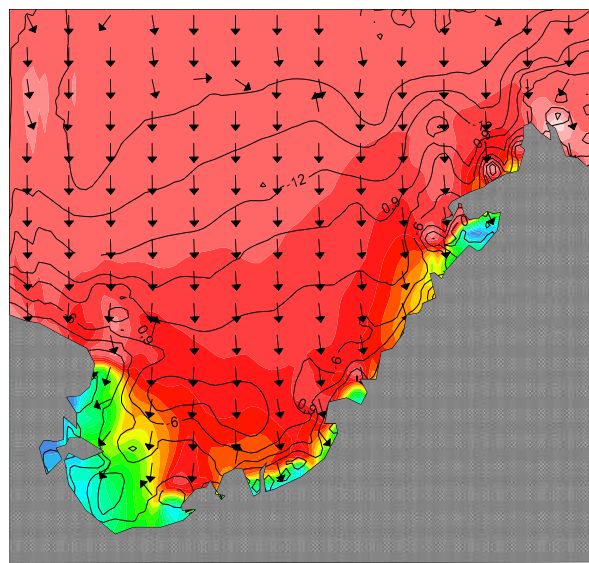
Caractéristique de la houle au large :
Période de retour = 01 an
Direction = 315°
Hs = 4.53 m
T_p = 10s



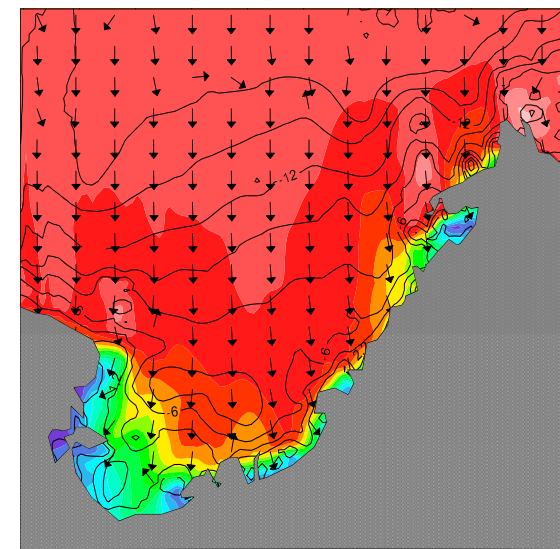
Caractéristique de la houle au large :
 Période de retour = 01 an
 Direction = 360°
 Hs = 1 m
 T p = 6 s



Caractéristique de la houle au large :
 Période de retour = 01 an
 Direction = 360°
 Hs = 2.67 m
 T p = 8 s

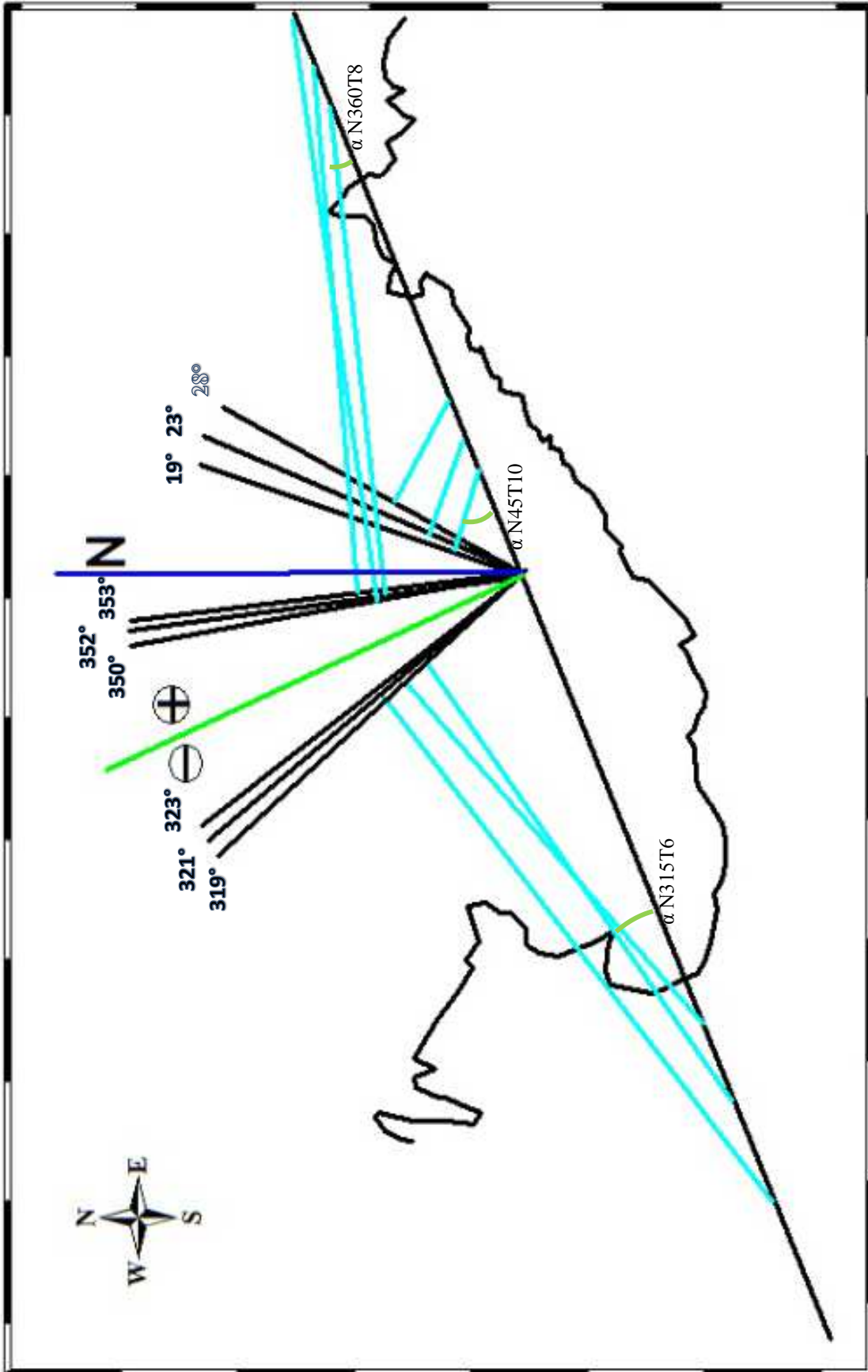


Caractéristique de la houle au large :
 Période de retour = 01 an
 Direction = 360°
 Hs = 4.94 m
 T p = 10 s



Annexe IV : Tableau récapitulatif des fréquences d'observations

périodes	classes	Hs	N	NE	NO		nombre d'observation >Hs			fri -frequence d'observation		
							N 360	N 45	N 315	N 360	N 45	N 315
6	0	ind	0	0	0	Hs observée	N 360	N 45	N 315	N 360	N 45	N 315
	0,5	0 à 0,5	179	236	97	0	758	1627	582	0,085	0,183	0,066
	1	0,5 à 1	263	615	182	0,25	579	1391	485	0,065	0,157	0,055
	1,5	1 à 1,5	148	462	147	0,75	316	776	303	0,036	0,087	0,034
	2	1,5 à 2	77	197	81	1,25	168	314	156	0,019	0,035	0,018
8	2,5	2 à 2,5	41	69	41	1,75	91	117	75	0,010	0,013	0,008
	3	2,5 à 3	25	25	19	2,25	50	48	34	0,006	0,005	0,004
	3,5	3 à 3,5	14	8	7	2,75	25	23	15	0,003	0,003	0,002
	4	3,5 à 4	3	5	5	3,25	11	15	8	0,001	0,002	0,001
10	5	4 à 5	5	5	3	3,75	8	10	3	0,001	0,001	0,000
	6	5 à 6	3	5	0	4,25	3	5	0	0,000	0,001	0,000
	7	6 à 7	0	0	0	4,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	9	7 à 9	0	0	0	5,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	11	9 à 11	0	0	0	5,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
	13,5	11 à 13,5	0	0	0	6,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000
total			758	1627	582							



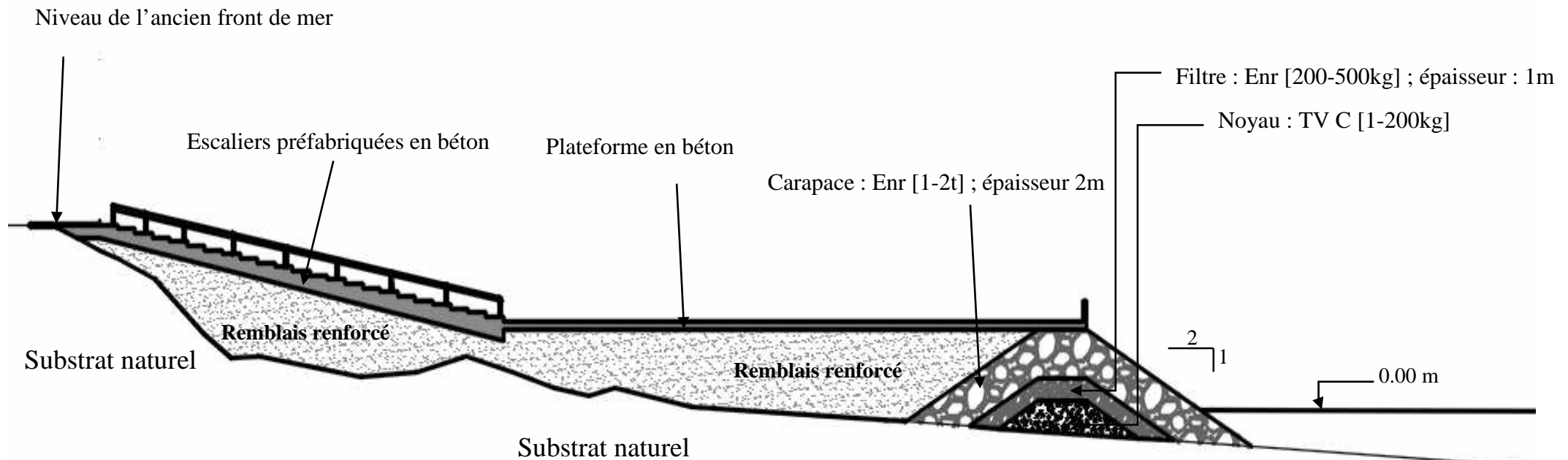
Variante A1: Extension du front de mer

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w * Hd^3}{Kd \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma s}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 2,4^3}{4 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 2}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{1,73}{2,65}}$ $E = 2 * 1,15 * 0,86$	W= 1,73t Dn ₅₀ = 0,86m E=2,00m	[1-2t]
Butée de pied Filtre	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma r}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} * 1,73$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,173}{2,65}}$ $E = 2 * 1,15 * 0,40$	W= 173Kg Dn _B =0,40m E=0,93m	[200-500kg]
Le noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{200} 0,173$	W _{noyau} = 8.6Kg	[1-200kg]

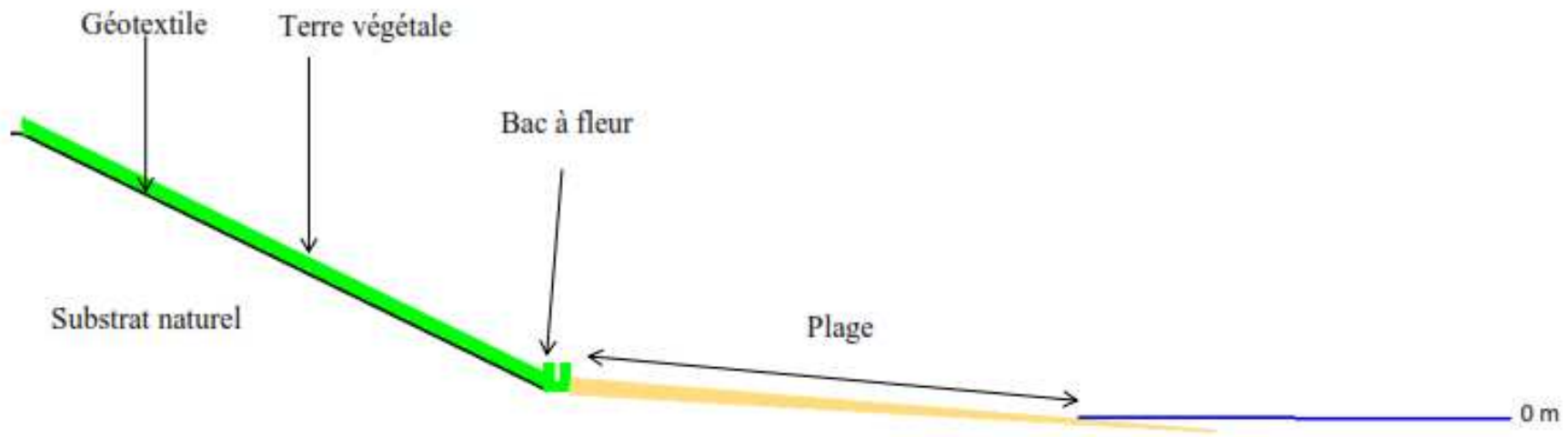
Variante B : Digue à talus

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w * Hd^3}{Kd \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 * \cot \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma s}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 * 2,4^3}{4 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 * 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{2,3}{2,65}}$ $E = 2 * 1,15 * 0,94$	W= 2,3t Dn ₅₀ = 0,95m E=2,19m	[2-3t]
Butée de pied Filtre	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma r}}$ $E = n * K_t * Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} * 2,3$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,22}{2,65}}$ $E = 2 * 1,15 * 0,44$	W= 230Kg Dn _B =0,44m E=1m	[200-500kg]
Le noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{200} * 2,3$	W _{noyau} = 11Kg	[1-200kg]

Profil transversal de la variante A1 : Extension du front de mer en double niveaux



Profil transversal de la variante A2 : partie plage



Profil transversal de la variante B : digue à talus

