

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT 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



Mémoire de Fin d'Étude en vue de l'Obtention du Diplôme
d'Ingénieur d'État en Sciences de la Mer

OPTION : Aménagement du littoral.

SUJET :

Modélisation numérique des paramètres sédimentologique
et de pollution le long d'une côte
(Cas de Club des Pins).

Présenté par :

- M^{elle} BENALLEL Anissa.
- M^r DERNOUN Djemoui.

Soutenu le 20/09/2015 devant la commission d'examen formée de :

M ^r BELKESSA.R	Professeur (ENSSMAL)	Président
M ^r MEZOUAR.K	Maître de conférences B (ENSSMAL)	Examineur
M ^r OTMANI.H	Chercheur (ENSSMAL)	Examineur
M ^{me} BACHARI-HOUMA.F	Professeur (ENSSMAL)	Promotrice

Promotion : 2014/2015

Remerciements

Au terme de ce travail, Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à Dieu Tout Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donnée fin de réaliser ce mémoire de fin d'études.

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

M^r BELKESSA. R., maître de conférences (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

M^{me} HOUMA-BACHARI. Fmaître de conférences pour avoir acceptée d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements au cours de la réalisation de ce mémoire.

M^r MEZOUAR .K., et **M^r OTMANI .H.**, de nous avoir honoré de leurs présence, et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous somme reconnaissant à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance et un petit fruit de leurs sueurs.

Enfin, nous tenons vivement à remercier toutes les personnels de la bibliothèque, ainsi qu'à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.

Anissa et Djemoui

Dédicaces

A mes chers parents,
A mes aimables frère et sœurs,
A ma grand-mère,
A mon adorable nièce Alaa,
A tous ceux qui me sont chers.

Je dédie ce modeste travail

Benallel Anissa

.....*A mes chers parents.*

.....*A ma famille.*

.....*A mes amis.*

BERNOUN Djemoui.

SOMMAIRE

SOMMAIRE :

Liste des acronymes.
 Liste des figures.
 Liste des photos.
 Liste des tableaux.
 Liste des annexes.

Introduction général.....16

Chapitre 01 : présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique.....	19
1.1.1. Baie d'El Djamila.....	19
1.1.2. Site d'étude.....	19
1.2. Le cadre géologique et géomorphologique.....	20
1.2.1. Géologie régionale.....	20
1.2.2. Cadre géologique et géomorphologique locale.....	22
1.3. Cadre climatologique et hydrologique.....	23
1.3.1. L'étude des vents.....	24
1.3.2. Les précipitations.....	25
1.3.4. Hydrologie continentale.....	26
1.4. Cadre océanographique.....	26
1.4.1. La houle.....	26
1.4.2. Les courants.....	27
1.5. Les facteurs d'érosion les plus prépondérants à Club des Pins	29
1.5.1. Les facteurs naturels.....	29
1.5.2. Les facteurs anthropiques.....	29

Chapitre 02 : Modélisation de la propagation de la houle du large vers la côte (SWAN)

2.1 Étude bathymétrique.....	33
2.1.1. Levée bathymétrique.....	33
2.1.1.1. Mode opératoire.....	33
2.1.2. Exploitation de données récoltées	33
2.1.3. Description du logiciel	34
2.1.4. Manipulation	34
2.1.5. Interprétation des résultats.....	35
2.1.5.1. La morphologie sous-marine.....	35
2.1.5.2. Les profils.....	36
2.2. Le modèle hydrodynamique SWAN.....	40
2.2.1. Description du modèle SWAN	40
2.2.2. Les principales caractéristiques de SWAN	41
2.2.3. Les inconvénients de modèle SWAN	42
2.2.4. Les phénomènes modélisés par le SWAN.....	42
2.2.5. Principales variables utilisées.....	43
2.2.6. Paramètres de sortie de SWAN utilisés	43

sommaire

2.2.7. Principe de calcul réfraction de la houle	44
2.2.8. Donnée de base pour la réalisation de la réfraction	45
2.2.9. Étapes de manipulation	46
2.2.10. Résultats et interprétation.....	47
2.2.11. Conclusion	52

Chapitre 03 : modélisation du transport sédimentaire.

3.1. Étude sédimentologique.....	54
3.1.1. Description et choix des stations de prélèvement.	54
3.1.2. L'analyse granulométrique	55
3.1.3. Méthode d'analyse au laboratoire	55
3.1.3.1. Une phase technique expérimentale	55
3.1.3.2. Une phase d'interprétation des résultats obtenus	55
3.1.4. La fraction fine.....	56
3.1.5. La fraction grossière	56
3.1.5.1. Les paramètre de position.....	56
3.1.5.2. Les indices granulométriques.....	56
3.1.6. L'analyse modale.....	59
3.1.7. Analyse calcimétrique	59
3.1.6.1. Principe de la méthode.....	59
3.1.6.2. Mode opératoire	60
3.1.6.3. Traitement des données.....	60
3.1.7. Résultats et discussion.	60
3.1.8.1. Analyse de la fraction fine	61
3.1.8.2. Analyse de la fraction grossière	62
3.1.8.3. Analyse modale	71
3.1.8.4. Analyse calcimétrique.....	73
3.2. Suivi des transits sédimentaires résiduels par l'analyse spatiale des variations granulométriques : Modèle de Gao et Collins (1991).....	74
3.2.1. Fondements de la méthode.....	74
3.2.2. Protocole de traitement des données.	75
3.2.3. Domaines d'application et fraction sédimentaire concernée	76
3.2.4. Limites de calcul des tendances de transport sédimentaire	77
3.2.5. Application du modèle dans la zone de club des pins	77
3.2.5.1. La préparation des données d'entrées	77
3.2.5.2. Application du GSTA.....	78
3.2.5.3. Exploitation des données de sortie	78
3.2.6. Les résultats de la modélisation du transport sédimentaire	108
3.3. Quantification des transferts sédimentaires longitudinaux (formule LCHF).....	79
3.3.1. Explication sur l'Estimation du transit littoral	79
3.3.1.1. Le bilan énergétique annuel de transport caractérisé par H_s^2 , T , t	79
3.3.1.2. Détermination de l'angle « α » et de la fonction $f(\alpha)$	80
3.3.2. Résultats.....	81
3.3.2.1. Calcul de H_s , t , angle d'arrivée.	81
3.3.2.2. Détermination de l'angle α	82
3.3.3. Estimation du transport sédimentaire	82

sommaire

3.3.4. Interprétation.....	82
3.4. Évolution du trait de côte.	
3.4.1. Évolution du trait de cote de la plage de club des pins depuis 1970 (LEM 1987)	83
3.4.2. Évolution du trait de cotes de la plage de club des pins depuis 2002 à 2015	84
3.4.2.1. Description du logiciel	84
3.4.2.2. Manipulation	84
3.4.2.3. Résultats et interprétation	85

Chapitre 04 : Études de la matière en suspension (MES) dans le domaine côtier.

4.1. Principe	88
4.2. Matériel utilisé	88
4.3. Mode opératoire.	88
4.3.1. Préparation des filtres.....	88
4.3.2. Filtration de l'eau de mer.....	88
4.3.3. Séchage et pesée des filtres.....	89
4.4. Calculs et expression des résultats	89
4.5. Cartographie et interprétation des résultats	90

Conclusion générale	92
----------------------------------	----

Bibliographie.

Annexes.

Liste des acronymes :

AFNOR: Association Française de NORmalisation.

CERC: Coastal Engineering Research Center.

GSTA: Grain-Size Trend Analysis.

GPS: Global Positioning System.

K.N.M.I: Institut Météorologique royal Néerlandais.

L.C.H.F: Laboratoire Central Hydraulique de France

LEM: Laboratoire d'Études Maritimes.

MES: Matière En Suspension.

MNT: Model Numérique de Terrain.

O.N.M: Office Nationale de la Météorologie.

POM: Princeton Ocean Model.

RTK: Real Time Kinematic.

SIG : Système d'Information Géographique.

S.S.M.O: Summury of Synoptic Meteorological Observations.

SWAN: Simulating Waves Near shore.

UTM: Universal Transverse Mercator.

WGS: World Geodetic System (Système Géodésique Mondial).

Liste des figures :

Figure n° 1.1 : Situation géographique de la zone de Club des Pins (Google Earth, 2015).....	19
Figure n° 1.2 : Carte géologique régionale d'après (Bennie., 1983 in Amghar et Sahraoui., 2005).....	21
Figure n° 1.3 : Carte géologique de la région de Club des Pins ; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000°.....	23
Figure n° 1.4 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).	24
Figure n° 1.5 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005).	25
Figure n° 1.6 : Précipitations annuelles en mm (ONM, Dar-El-Beida, 1960-2005).	25
Figure n° 1.7 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer., 2004).....	27
Figure n° 1.8 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer., 2004).	28
Figure n° 2.1 : Carte bathymétrique de la zone de Club des pins en 2D.	35
Figure n° 2.2 : Carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude.	36
Figure n° 2.3 : Profil sous-marin n°1.....	37
Figure n° 2.4 : Profil sous-marin n°2.....	37
Figure n° 2.5 : Profil sous-marin n°3.....	38
Figure n° 2.6 : Profil sous-marin n°4	38
Figure n° 2.7 : Profil sous-marin n°5.....	39
Figure n° 2.8 : Carte bathymétrique de la zone de Club des pins en 3D.....	39
Figure n° 2.9 : choix des directions défavorables pour le site d'étude.....	46
Figure n° 2.10 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s.....	48
Figure n° 2.11 : Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s.....	49
Figure n° 2.12 : Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s.	50
Figure n° 2.13 : Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s.....	51
Figure n° 3.1 : Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2015).....	54
Figure n° 3.2 : Répartition des pérites dans la région de Club des pins.....	61
Figure n° 3.3 : Histogramme unimodales.....	62
Figure n° 3.4 : Courbe unimodales.....	62
Figure n° 3.5 : Histogramme bimodales.....	63
Figure n° 3.6 : Courbe bimodales.	63
Figure n° 3.7 : Courbe plurimodales.	64
Figure n° 3.8 : Histogramme plurimodales.	64
Figure n° 3.9 : Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Club des pins.	65
Figure n° 3.10 : Répartition des déciles supérieurs (D90) dans la région de Club des pins.	66
Figure n° 3.11 : Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Club des pins.....	67
Figure n° 3.12 : Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Club des pins.....	68
Figure n° 3.13 : Répartition des médianes (D50) dans la région de Club des pins.....	69
Figure n° 3.14 : Relation entre l'indice d'asymétrie S_k et la médiane.....	70
Figure n° 3.15 : Relation entre l'indice de classement S_0 et la médiane.	70
Figure n° 3.16 : Relation entre L'indice d'angulosité K et la médiane.....	71
Figure n° 3.17 : Relation entre L'indice d'hydrodynamique FH et la médiane.....	71

Liste des figures

Figure n° 3.18: Fréquences d'apparition modale.	72
Figure n° 3.19 : Répartition du mode 160µm dans Club des Pins.....	72
Figure n° 3.20 : Répartition spatial du % de CaCO ₃	73
Figure n° 3.21: Différentes étapes de la procédure analytique de la méthode de Gao et Collins (1992).....	76
Figure n° 3.22 : La grille d'entrée dans le model GSTA.....	77
Figure n° 3.23 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone du Club des pins.....	78
Figure n° 3.24 : Carte de l'évolution du trait de côte de club des pins entre 2002 et 2015.....	85
Figure n° 4.1 : Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.	89
Figure n° 4.2 : Répartition spatial de la matière en suspension dans la zone d'étude.....	90

Liste des photos

Liste des photos :

Photo n° 1.1 : État d'avancement de la mer sur une partie de la plage (vue de la côte).....	30
Photo n° 1.2 : Une embouchure d'eau usée dans la zone.....	30
Photo n° 1.3 : État de recule de la plage.....	30
Photo n° 1.4 : Microfalaise formé sur site.....	30
Photo n° 1.5 : Recouvrement des escaliers par le sable.....	31
Photo n° 1.6 : Granulométrie grossière témoigne de la forte énergie de la houle.....	31

Liste des tableaux

Liste des tableaux :

Tableau n° 1.1 : Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005).....	25
Tableau n° 1.2 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO,1963-1970).....	26
Tableau n° 1.3 : Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO,1963-1970).	27
Tableau n° 2.1 : Les principales caractéristiques de SWAN.	42
Tableau n° 2.2 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude.	45
Tableau n° 2.3 : Coefficient de réfraction Kr 45N - T=10s.....	47
Tableau n° 2.4 : Coefficient de réfraction Kr 360N - T=10s.....	47
Tableau n° 2.5 : Coefficient de réfraction Kr 270N - T=10s.....	47
Tableau n° 2.6 : Coefficient de réfraction Kr 315N - T=10s.....	47
Tableau n° 3.1 : Les valeurs adoptées pour Mz pour l'Indice central.....	57
Tableau n° 3.2 : Les valeurs adoptées pour S ₀ pour le tri.....	57
Tableau n° 3.3 : Les valeurs adoptées pour SK _i pour l'Asymétrie.....	58
Tableau n° 3.4 : Les valeurs adoptées pour KG pour l'Indice d'Angulosité.....	58
Tableau n° 3.5 : Les valeurs adoptées pour FH pour l'Indice Hydrodynamique.....	59
Tableau n° 3.6 : Différents cas obtenus par comparaison entre deux points (a et b) de la combinaison de trois paramètres statistiques (Mz, S ₀ , et SK).	74
Tableau n° 3.7 : Moyenne des résultats obtenus par direction et par période.....	81
Tableau n° 3.8 : Calcul des fréquences d'observation f(%) et de la durée de la houle t.....	81
Tableau n° 3.9 : Calcul du bilan énergétique annuel du transport.....	81
Tableau n° 3.10 : Calcul des angles α et des fonctions f(α) par direction et par période.....	82
Tableau n° 3.11 : Tableau récapitulative des paramètres constants.....	82
Tableau n° 3.12 : Estimation du transit sédimentaire global.	82
Tableau n° 3.13 : Distances et vitesse de recul du trait de côte entre 2002 et 2015 en fonction des Transects	86

Liste des annexes

Annexe A : Coordonnes géographique des stations des prélèvements.

Annexe B : Fiches de calcul SWAN.

Annexe C : Les cartes de la réfraction.

Annexe D : Les courbes granulométriques.

Annexe E : Cartes granulométriques.

Annexe F : Pourcentage de (%) CaCo₃ dans les sédiments.

Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA.

Annexe H : Tableaux récapitulatif des fréquences d'observations.

Annexe I : Détermination de l'angle α .

Annexe J : Évolution de trait de côte.

INTRODUCTION

Introduction général :

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

Le phénomène d'érosion se traduit par un recul du trait de côte, une réduction des plages ; c'est ce qui dégrade le littoral et l'écosystème naturel marin sous plusieurs angles.

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

En plus de l'érosion les zones côtières et le siège d'activités économiques nombreuses et variées, telles que le trafic maritime, les aménagements portuaires, la pêche, la pisciculture, l'exploitation des ressources primaires, le tourisme. Le développement de ces activités s'accompagne d'un accroissement de la population et des rejets anthropiques, ce qui engendre une pollution et une fragilisation de ce milieu et des écosystèmes en particulier. Les matières en suspension (MES) constituent le principal vecteur des polluants transportés par temps de pluie dans le réseau d'assainissement unitaire (Ashley et al., 2005, Chebbo et al., 1995).

L'étude du comportement des (phénomènes physiques côtiers) sédiments marins, que ce soit à des fins de protection de l'environnement naturel ou de préservation des activités économiques, est une connaissance fondamentale à acquérir. Il existe Plusieurs méthodes et outils s'offrent aux scientifiques désireux d'étudier le transport sédimentaire (ce derniers).

Dans son introduction sur le génie civil côtier et la gestion du système littoral Kamphuis (2010) à met en évidence trois approches majeures permettant de comprendre les variations morphologiques d'un système côtier, ainsi que celles liées au transport sédimentaire : 1) les modèles numériques, 2) les modèles physiques et 3) les expérimentations de terrain. Bien qu'un couplage de ces trois approches soit le meilleur moyen de comprendre l'ensemble des mécanismes agissant sur l'hydrodynamique sédimentaire, l'énorme coût que ce genre d'entreprise engendre ne permet en général d'utiliser qu'une seule, voire deux approches au maximum.

Pour cette raison et à cause de la période courte pour traiter le thème de fin d'étude ; on va s'intéresser à la modélisation numérique.

Notre travail consiste à étudier les processus de transport sédimentaire en fonction de la taille et de la forme des grains (paramètres sédimentologique), ainsi que les matières en suspension sur la plage de club des pins, après avoir identifié les causes et les conséquences de l'érosion sur ce site.

Le linéaire côtier de la plage de Club des Pins s'étend sur environ deux kilomètres et représente un exemple type du cas cité, où le phénomène d'érosion est déjà bien visible.

L'évolution de la plage de Club des Pins dénote un recul constant depuis plusieurs années, les constructions ayant été réalisées trop près du bord de l'eau, de sorte que les fluctuations existantes entre l'hiver et l'été ne peuvent se produire naturellement sans atteindre les aménagements et inquiéter les riverains.

La finalité de ce travail a pour objectif de :

- 1) comprendre les processus fondamentaux qui contrôlent le transport sédimentaire sur une plage.
- 2) Déterminer le volume et le comportement de sédiment en mouvement dans la zone proche du déferlement sur une plage à barres.
- 3) déterminer le comportement de la matière en suspension.

Organisation du travail :

Le présent document est composé de quatre chapitres :

Le premier correspond à une revue des connaissances, établie à partir de la bibliographie consultée. Il traite de la géologie du club des pins, ses aspects terrestre, marin et météorologique ;

Le second traite la modélisation numérique de la houle avec le modèle SWAN après avoir déterminé la bathymétrie de la zone d'étude ;

Le troisième est consacré pour l'étude des transports sédimentaire en utilisant un modèle numérique GSTA basé sur les paramètres sédimentologique pour déterminer le sens du transit ainsi la quantification du débit solide et l'évolution de trait de côte ;

Le dernier chapitre est l'objet d'une étude sur l'un des paramètres indicateur de pollution qui est les matières en suspension.

CHAPITRE 01 :
PRESENTATION DE LA ZONE
D'ETUDE

Chapitre 01 : présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique :

1.1.1. Baie d'El Djamila :

La baie d'El Djamila se situe à une vingtaine de kilomètre à l'ouest d'Alger, elle représente le quart oriental de la baie de Bou-Ismaïl, elle est relativement fermée limitée par la presqu'île de Sidi Fredj à l'ouest et par le Ras Acrata à l'est, Elle s'allonge sur une côte de 6 Km dont le rivage est orienté SW-NE, et ses coordonnées Lambert sont :

- 2°50'54''Est et 36°45'43'' (Port de Sidi Fredj) ;
- 2°53'42''Est et 36°48'6'' (Ras Acrata).

1.1.2. Site d'étude :

Le complexe de Club des Pins et l'hôtel Sheraton se trouvent a environ 2 kilomètre vers l'Est du port de Sidi Fredj, qui sont réalisés sur un important massif dunaire.

La zone de Club des Pins, représente une bande littorale d'un linéaire de 2 Km et d'une largeur d'environ 25m (la plage de Club des Pins), il est limité par :

- Au nord par la mer Méditerranée.
- Au sud par la RN°11, doté d'un palais des nations, hôtel Sheraton, et des habitations.
- A l'est par la plage « Les Dunes ».
- A l'ouest par la plage de Moretti.

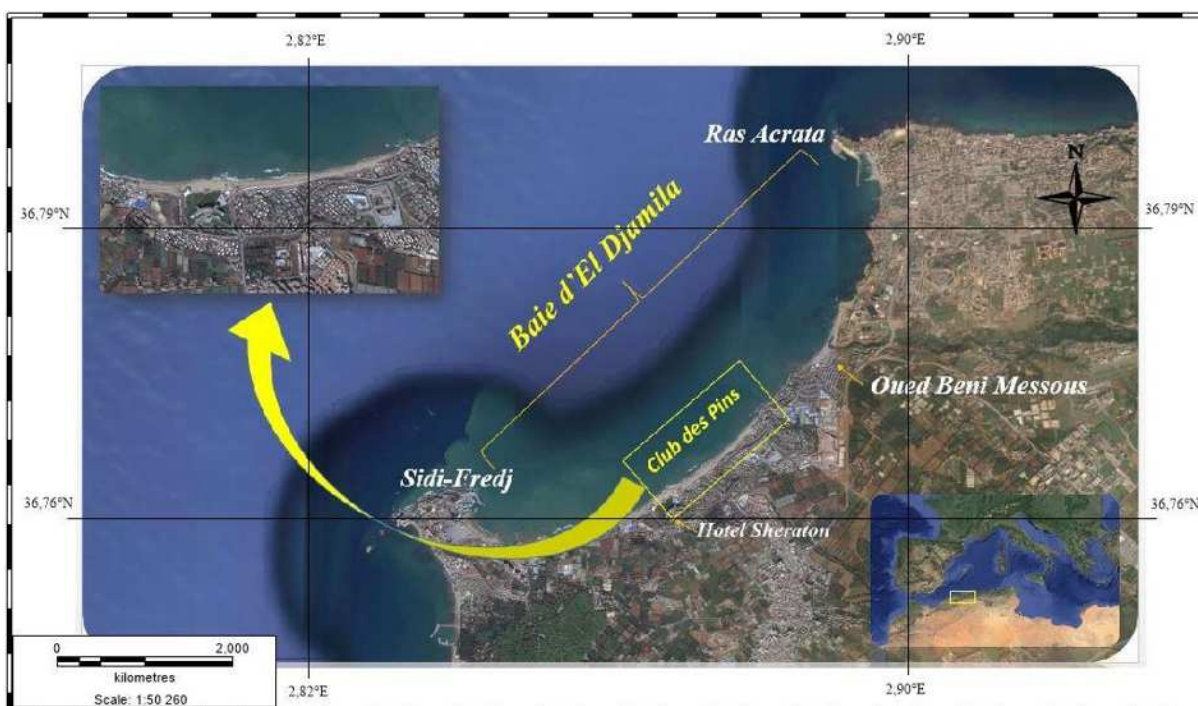


Figure n°1.1 : Situation géographique de la zone de Club des Pins (Google Earth, 2015)

1.2. Le cadre géologique et géomorphologique :

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

En effet, l'aspect géologique et géomorphologique apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier réalisé en vue d'apporter des éléments de réponse sur les différents phénomènes d'érosion susceptibles d'être observés sur la zone.

1.2.1. Géologie régionale :

La région d'Alger est constituée d'un socle métamorphique primaire, le massif d'Alger, bordé de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja (figure n° I.2).

- **Le Primaire :**

Les terrasses primaires forment les massifs d'Ain Benian, de la Bouzareah (massif d'Alger) et ces prolongements vers Sidi Fredj à l'ouest et Bordj El Bahri à l'est. Ces massifs sont constitués de roches cristallophylliennes de nature pélitique et carbonatées (gneiss, schiste, calcaire) recoupées par des épisodes éruptifs d'âge tertiaire (*Glangeaud., 1932, Assassi et Otmani., 2010*).

- **Le Secondaire :**

Il n'affleure pas dans la région d'Alger mais il est connu dans l'atlas Blidéen.

- **Le Tertiaire :**

Marqué par le Miocène et le Pliocène qui recouvrent en discordance les faciès métamorphiques par des grès grossiers sableux et des marnes à lentilles de calcaires (*Benallal&Ourabia., 1989*).

- **Le Quaternaire :**

Il comporte plusieurs faciès lithologiques d'origine marine et continentale (*Glangeau & al., 1952*).

- Formation d'El Harrach (Villafranchien) représentée par des argiles marneuses jaunâtres et quelques lentilles de graviers.
- Formation de la Mitidja (Tensiftien-Soltanien) représentée par des alluvions grossières provenant de l'érosion de l'atlas blidéen.
- Formation de Mazafran et Halloula (Flandrien-rharbien) représentée par des limons, argiles limoneuses et des galets provenant de l'atlas blidéen.
- Les dépôts récents (Rharbien-Actuel) englobent les dépôts marins (lumachelles à pétoncles et des grès coquilliers) et les dépôts dunaires occupant la majeure partie du littoral algérois sous forme de dunes friables à consolidées.

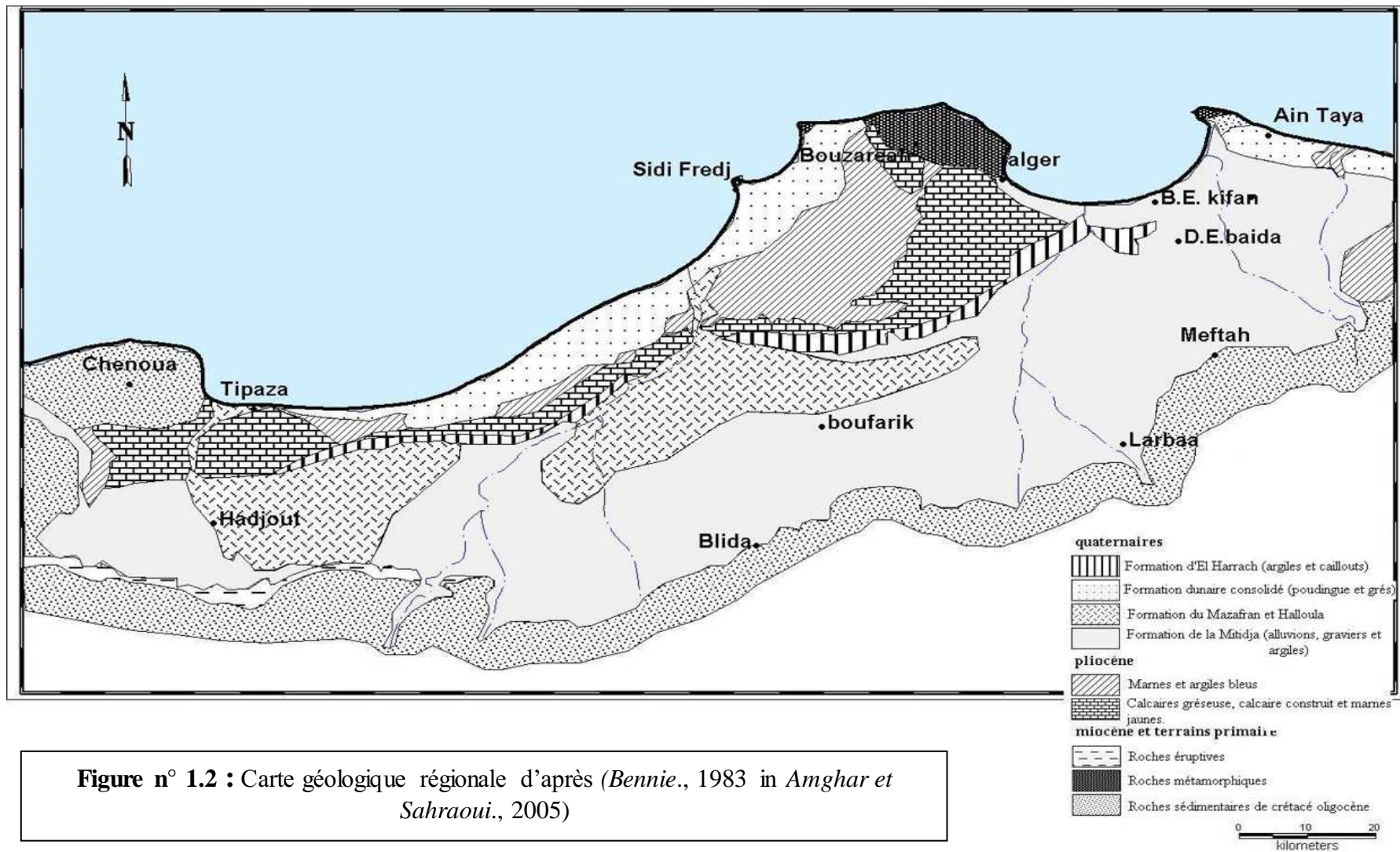


Figure n° 1.2 : Carte géologique régionale d'après (Bennie., 1983 in Amghar et Sahraoui., 2005)

1.2.2. Cadre géologique et géomorphologique locale :

Le littoral de la baie d'El Djamila est caractérisé par une importante accumulation sableuse. Un cordon dunaire de l'ordre de 650 m de largeur maximale est constitué par les dunes littorales de la baie d'El Djamila, de nombreux bands rocheux affleurent au niveau de l'estran et se poursuivent sous l'eau. Au niveau de la plage El Djamila, un platier rocheux parallèle au trait de côte se rencontre à une distance de 150 à 200 m de la ligne du niveau moyen des mers (*Boutiba.*, 1996).

La portion littorale étudiée est formée par des faciès du Quaternaire marin, elle est formée de dunes consolidées en alternance avec des dépôts lacustres, lumachelliques, poudingues et grés. Son littoral est caractérisé par une importante accumulation de dunes actuelles, des alluvions récentes sous forme de sables argileux et graviers. En bordure de la mer, sur la plage des «Dunes" de très faible altitude, on constate la présence d'une formation de sable fin meuble à stratification oblique. A partir de *la carte géologique de la région d'Alger-Chéraga*, à l'échelle 1/50000, on a reporté les formations locales rencontrées au niveau du site d'étude et ses alentours (figure n° 1.3).

Les dépôts actuels (récents) sont représentés par les alluvions récentes de dépôts torrentiels et lacustres observables surtout à l'embouchure et dans le lit de l'oued Beni Messous Cette formation alluviale est constituée de sable fin à grossier graveleux à galets, argileux limoneux vaseux et du tout-venant, en plus des dépôts éoliens dunaires actuels constitués de sables fins meubles.

La géologie et la géomorphologie de la zone étudiée classe le site comme très vulnérable, sans aucune protection et face aux violentes tempêtes ; la plage de Club des Pins pourrait subir des érosions et des submersions très importantes du à son exposition à l'action frontale des vagues, causant des pertes dans le profil et menaçant ainsi les agglomérations et l'hôtel de Sheraton.

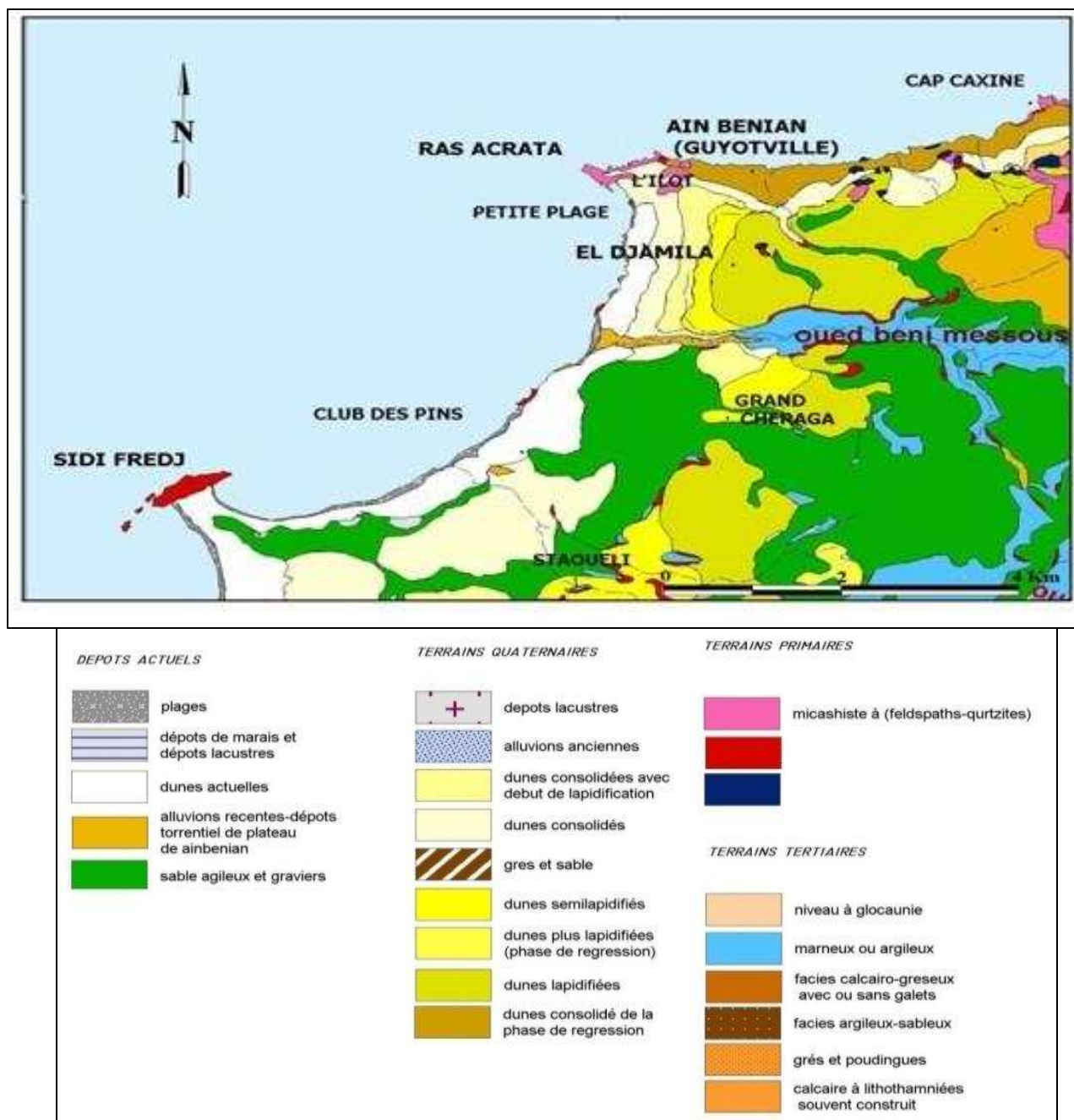


Figure n° 1.3 : Carte géologique de la région de Club des Pins ; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000°.

1.3. Cadre climatologique et hydrologique :

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamique se déployant dans notre zone d'étude et qui sont responsables de toute transformation morpho-sédimentaire.

Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2005.

Station : Alger Dar-El-Beida

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

Pour les données au large, elles sont fournies par U.S Naval Weather Command pour la période de 1963 à 1970.

La baie d'El Djamila comme l'ensemble de la côte algérienne est caractérisée par un climat méditerranéen tempéré ; relativement froid et humide en hiver, chaud en été.

1.3.1. L'étude des vents :

1.3.1.1. Au large :

Les vents sont générateurs de vagues et de courants, leur impact croît avec leur vitesse. Lorsque l'action des vents est continue, elle génère des houles.

Dans la baie d'El Djamila, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le S.S.M.O (Summary of Synoptic Météorological Observations) au large d'Alger confirment l'existence de deux périodes distinctes (figure n° 1.4).

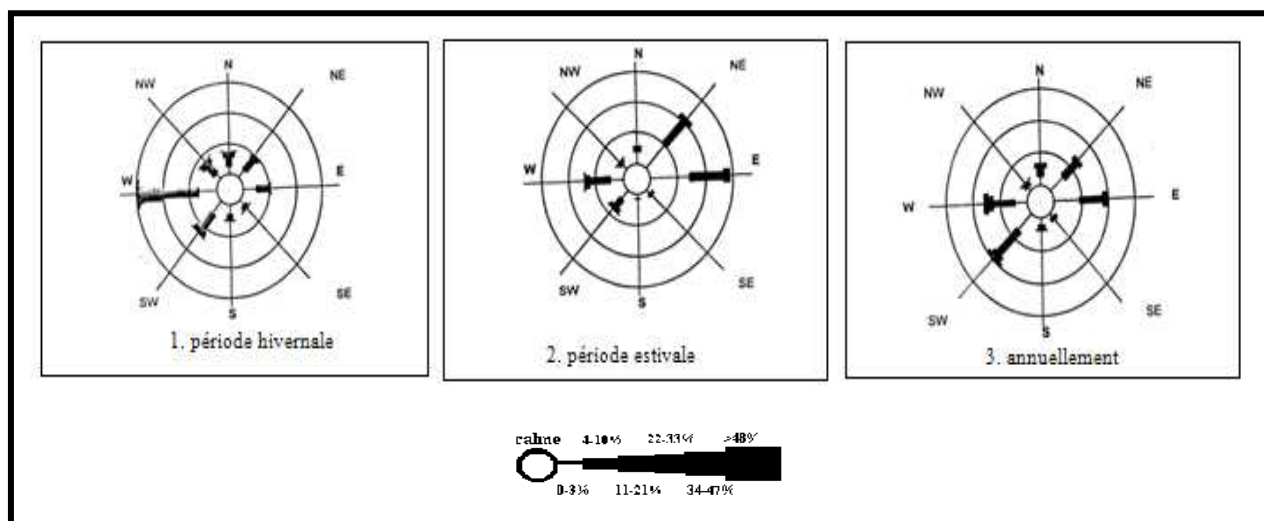


Figure n° 1.4 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970)

Une période hivernale (octobre-Mars) avec des vents dominants de secteur Ouest; avec une fréquence allant de 60 à 80%.

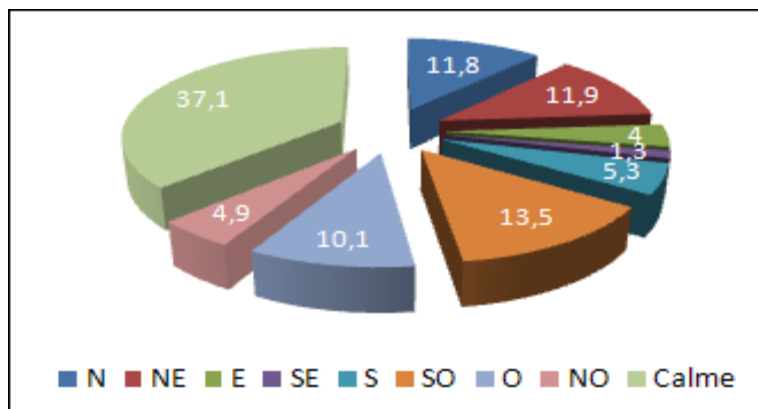
Une période estivale : (Avril-Septembre) les vents dominants sont de secteur Est et Nord Est, avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur Nord Est.

1.3.1.2. Données locales :

Les mesures de vents de station de Dar-El-Beida indiquent que les vents soufflent environ 60 % du temps dans la région. Cependant, les plus importants d'entre eux, de secteur Sud-ouest, ne soufflent que 14 % du temps.

Tableau n° 1.1: Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005).

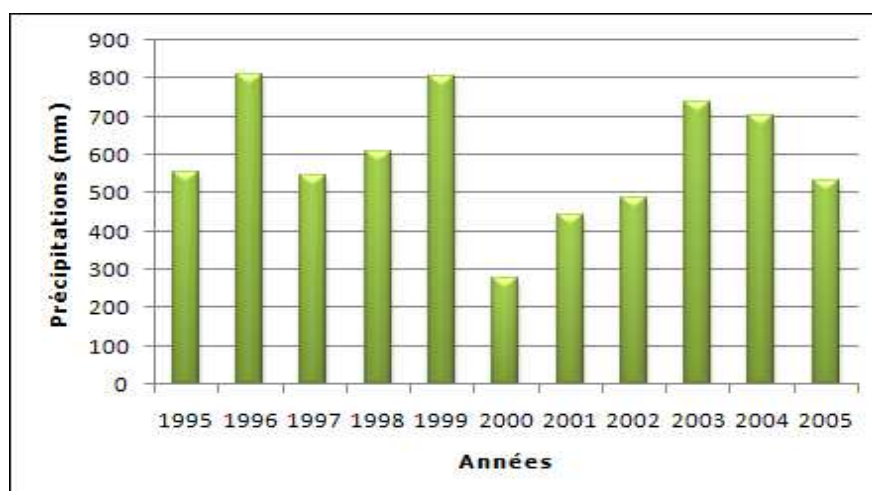
Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Pourcentage par direction	11,8	11,9	4	1,3	5,3	13,5	10,1	4,9	37,1

**Figure n° 1.5 :** Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005)

1.3.2. Les précipitations :

La région d'étude est soumise à un climat méditerranéen, caractérisé par des pluies qui sont fréquentes en automne et en hiver et diminuent dès la fin du printemps et deviennent presque nulles en été.

Deux saisons humides se distinguent : l'une allant du mois de novembre au mois de février où la moyenne mensuelle maximale atteint 93 mm et l'autre plutôt sèche allant du mois de Juin au mois d'octobre avec un minimum de 1,95 mm. Il existe cependant, une période transitoire entre mars et mai où les précipitations moyennes varient entre 45 et 64 mm.

**Figure n° 1.6 :** Précipitations annuelles en mm (ONM, Dar-El-Beida, 1960-2005)

1.3.3. Hydrologie continentale :

La baie d'El Djamila est caractérisée par la présence de l'oued Béni Messous situé à 15 Km à l'Est d'Alger entre El Djamila et Club des pins et alimente la baie d'El Djamila. Il prend source dans le grand Chéraga. Il traverse les communes de Chéraga au Nord, Bouzaréah au niveau d'une agglomération appelée « la tribu » au Nord Est, Dely Brahim à l'Est et Ain Bénian à l'Ouest et débouche sur une plage appelée « les dunes » à environ 2 Km à l'Ouest du port d'El Djamila sur une distance de 11.5 Km. Il regroupe l'Oued Defla et l'Oued Bainem.

1.4. Cadre océanographique :

1.4.1. La houle :

C'est un paramètre hydrodynamique qui dépend directement des vents et qui joue un rôle important dans la zone de déferlement.

On dispose des données de houles de l'U.S. Naval Weather Command intitulé Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO) pour une période s'étalant de 1963-1970, et qui couvrent un secteur qui se situe en longitude Est de 2° à 5° en latitude Nord de 36,5° à 38° (tableau n° 1.2), permettant d'effectuer une analyse statistique de la houle au large de la région d'Alger.

Tableau n° 1.2 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).

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

Les houles de direction Ouest, Sud-Est, Est et le Nord-Est sont les plus fréquemment observées, les fréquences d'apparitions sont plus faibles pour le secteur Nord, Sud et Nord-Ouest.

La direction Nord à une répartition assez régulière au cours de l'année,

Durant l'année, les fréquences correspondant aux directions Est et Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest.

En été les houles d'Est, Nord-Est et Sud-Est prédominent alors qu'en hiver le secteur d'Ouest est privilégié.

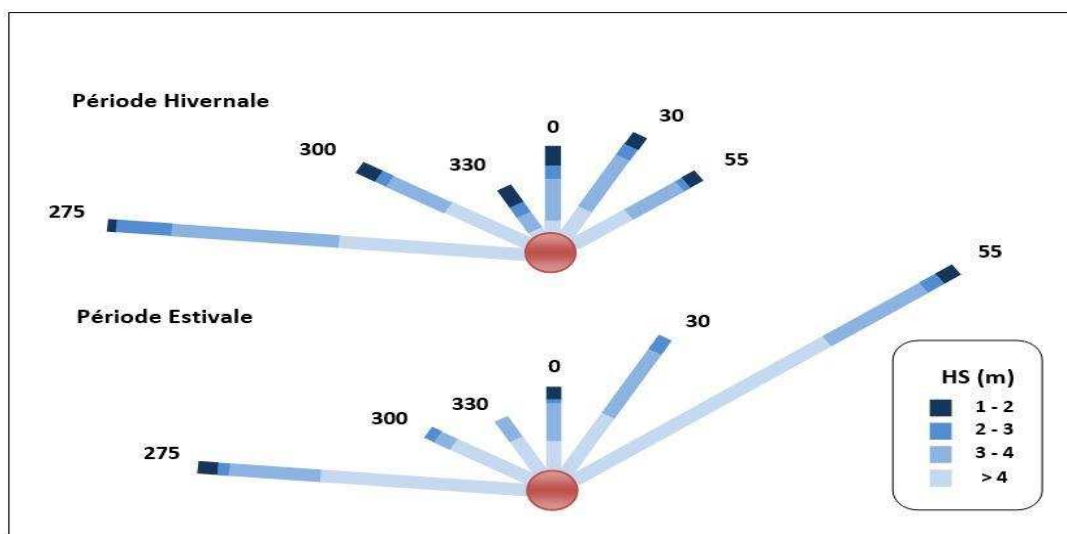


Figure n° 1.7: Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).

On déduit que la répartition des houles est globalement concordante avec le régime des vents.

En hiver : Les houles d'Ouest dominant avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large (Boutiba., 1996).

En été : Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes, elles engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest.

L'analyse des données du S.S.M.O présentées sous forme de (tableau n° 1.3) et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais), (Figure n°1.8) confirment parfaitement cette répartition :

Tableau n° 1.3: Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

Direction	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
période de retour (m)					
Biennale	4.90	4.93	4.12	7.36	4.16
Quinquennale	5.75	5.67	4.70	8.43	4.87
Décennale	6.38	6.23	5.14	9.22	5.40
Vingtennale	7.02	6.79	5.59	10.02	5.94
Cinquantennale	7.87	7.53	6.17	11.08	6.65
Centennale	8.50	8.08	6.62	11.88	7.18

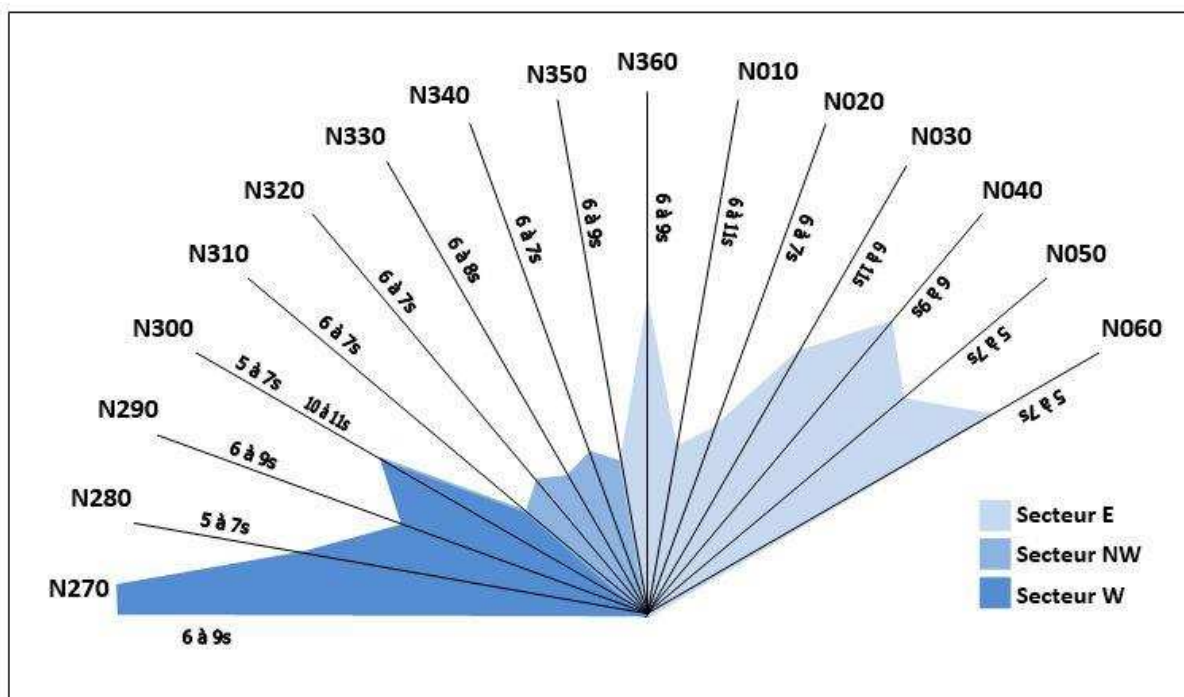


Figure n° 1.8 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer., 2004).

1.4.2. Les courants :

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

- Le courant côtier de retour :

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

- Les courants de la dérive littorale :

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique. Elle donne naissance à un courant de dérive littoral, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°.

Ce courant parallèle au rivage, qui se manifeste dans la zone de déferlement des vagues, joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments le long de la côte et dans l'alimentation des plages en sable et en galet.

L'étude courantologie de la région a porté sur plusieurs missions, effectuées par (L.C.H.F., 1970), enregistre par direction les suivants :

- Les vents du Nord-Est génèrent des courants de direction Ouest, vers le port.
- Les vents du secteur Nord, Nord-Ouest ont révélé les courants de direction Est et Nord-Est à l'opposé du port de sidi Fredj.
-

1.5. Les facteurs d'érosion les plus prépondérants à Club des Pins :

Parmi tous les facteurs naturels et anthropiques, certains d'entre eux sont les plus prépondérants dans notre zone d'étude :

1.5.1. Les facteurs naturels :

Le transport sédimentaire est causé par :

- Les houles :

Par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte et suivant l'obliquité de leurs attaques vis-à-vis le rivage provoquant des transits perpendiculaires à la plage, et puisque aucune alimentation plus ou moins importante ne vient compenser ce transit, celui-ci à, par des quantités importantes de matériaux mises en mouvement, entraîne un déficit sédimentaire et une érosion de la plage, avec formation des microfalaises (photos n° 1.3 et 1.4).

Une visite sur le site révèle la présence d'une granulométrie de grande taille jusqu'à 3 cm témoignant de la forte énergie de la houle, (photo n° 1.6).

1.5.2. Les facteurs anthropiques :

Depuis 1971 le secteur de Sidi Fredj et la Madrague a vu sa population augmenter d'au moins dix fois. Par conséquent, la quantité de rejet en mer a considérablement augmenté.

La construction des complexes touristique de Moretti, Sidi Fredj et Club des Pins n'a fait qu'aggraver le problème, puisque toutes les constructions touristiques et urbaines ne représentent qu'une nouvelle source de rejets de déchets dans la baie (photo n° 1.2). Le ruissellement et l'infiltration des eaux usées déversées au niveau des plages ont accentué le phénomène de l'érosion, il est à noter que la station d'épuration de Béni Messous est très proche (800 à 1000m).

- La pollution :

Dégrade l'herbier dans le secteur; représentant un moyen loin d'être négligeable en protection des fonds par l'absorption de l'énergie du déferlement.

La disparition de la faune, entraîne avec elle la disparition d'une fraction du sédiment organogène, aussi si la faune et la flore sont détruites, certaines zones voient disparaître de 50 à 90% de leurs sédiments.

- La dégradation de l'ensemble dunaire :

En partant de Club des Pins jusqu'à Mazafra, tout au long du littoral, on observait un cordon dunaire assez large qui sépare les zones internes marécageuses de la plage actuelle. Ces grandes étendues sableuses ont été exploitées d'une manière abusive au cours des proches années précédentes par la création de carrière de sable. Des tonnes de sables étaient prélevées chaque jour, cette surexploitation a accéléré le processus d'érosion dans

la région où on voit à présent des terres agricoles détruites par la mer lors des tempêtes. Le processus d'érosion dépasse déjà la plage pour passer à l'intérieur des terres (photo n° 1.5).



Photo n° 1.1 : État d'avancement de la mer sur une partie de la plage (vue de la côte).



Photo n° 1.2 : Une embouchure d'eau usée dans la zone.



Photo n° 1.3 : État de recule de la plage.



Photo n° 1.4 : Microfalaise formé sur site.



Photo n° 1.5 : Recouvrement des escaliers par le sable.



Photo n° 1.6 : Granulométrie grossière témoigne de la forte énergie de la houle.

CHAPITRE 02 :
MODELISATION DE LA
PROPAGATION DE LA HOULE DU
LARGE VERS LA COTE (SWAN)

Chapitre 02 : Modélisation de la propagation de la houle du large vers la côte (SWAN).

2.1. Étude bathymétrique :

La connaissance de la bathymétrie constitue un besoin pour de nombreuses applications parmi ces applications en cite :

- La dynamique des vagues (incluant leur déferlement) ainsi que les courants côtiers.
- La dynamique sédimentaire.

L'amélioration de la connaissance de la bathymétrie est un axe de progrès notable. Ainsi, l'augmentation des capacités des calculateurs utilisés pour la modélisation hydrodynamique par exemple.

Dans le but de notre étude on a réalisé une carte bathymétrique caractéristique de la zone d'étude à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT) en exploitant les données fournies par le LEM.

2.1.1. Levée bathymétrique :

2.1.1.1. 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 :

Les levés bathymétriques sont effectués depuis l'isobathe -2 m jusqu'à l'isobathe -15m à l'aide d'une embarcation équipée d'une caisse métallique et d'un support vertical fixé sur le coté, 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.

Les données fournies par le LEM sont 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.

2.1.2. Exploitation de données récoltées :

Les données fournies par le LEM (2009) sont regroupées dans le tableur Excel ; ils regroupent les coordonnées métriques ainsi que la profondeur qui vont être utilisées pour

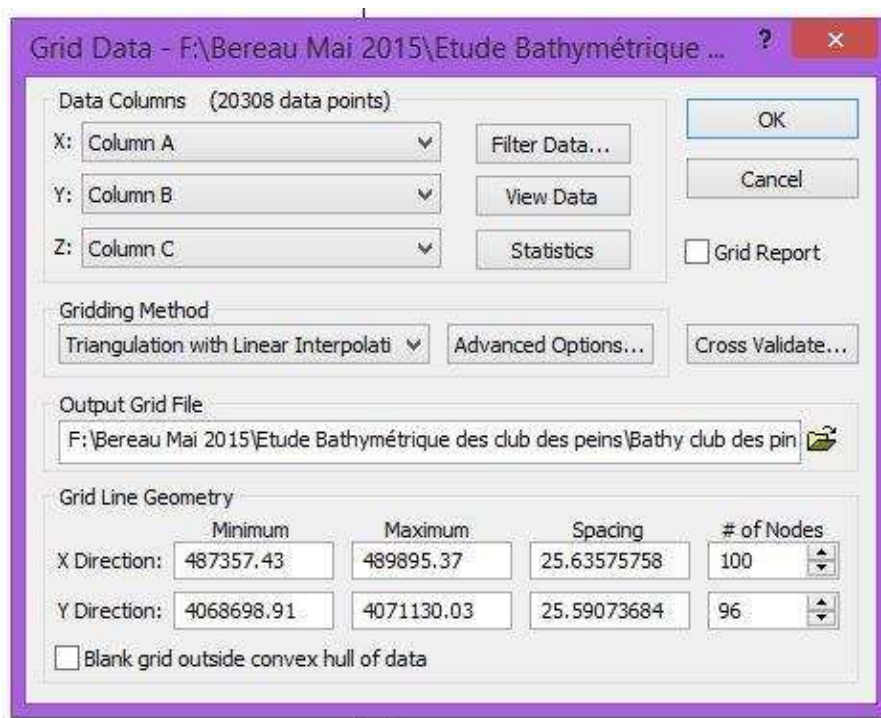
l'élaboration de la carte bathymétrique 2D et 3D ainsi que des profils (de la côte vers la plage sous-marine), ceci à l'aide du logiciel Surfer 11.

2.1.3. 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 : base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres...

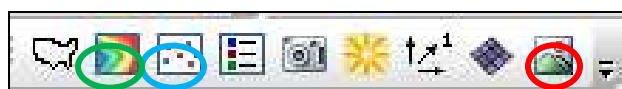
2.1.4. Manipulation :

- 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.

2.1.5. Résultats et interprétation :

2.1.5.1. La morphologie sous-marine :

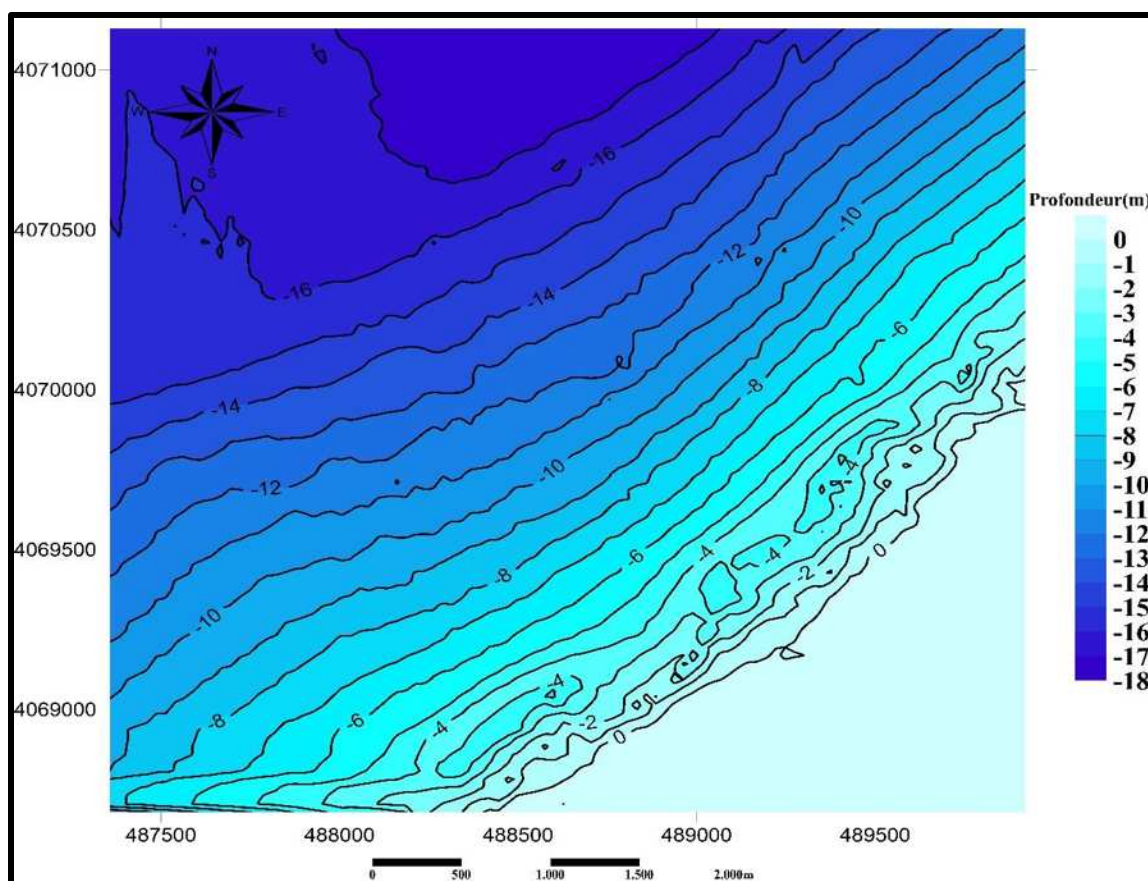


Figure n° 2.1 : Carte bathymétrique de la zone de Club des pins en 2D (LEM 2009)

Commentaire :

La carte bathymétrique qu'on a obtenue montre des isobathes plus ou moins régulières. Cette régularité de la morphologie sous marine de notre zone d'étude est bien remarquable jusqu'à l'arrivée à l'isobathe (-4m), ou en remarque entre les deux isobathe (isobathes -4m

et -2m) la présence des barres régressives disposées parallèlement à la côte et des fosses de lévigation (des creux).

Ces barres sableuses parallèles à la côte, apparaissent à des distances qui varient entre 300 et 700 mètres à partir de la ligne de rivage à des profondeurs entre -3 m et -5 m.

En général une barre est une accumulation sableuse qui se construit dans une zone de convergence sédimentaire, donc sont le résultat des mouvements sédimentaires à proximité du fond, dans la zone de déferlement de la houle. Ces barres, selon (*Clifton et al.*, 1971 in *Boutiba.*, 2006), naissent et se déplacent en fonction de la force et de la direction des houles.

2.1.5.2. Les profils :

Afin de mieux comprendre et avoir des données concrètes à visualiser concernant les caractéristiques morphologiques sous-marines de notre zone d'étude on a tracé des profils répartie comme suite : 3 perpendiculaires à la cote et 2 parallèles à cette dernière. (Figure n° 2.2)

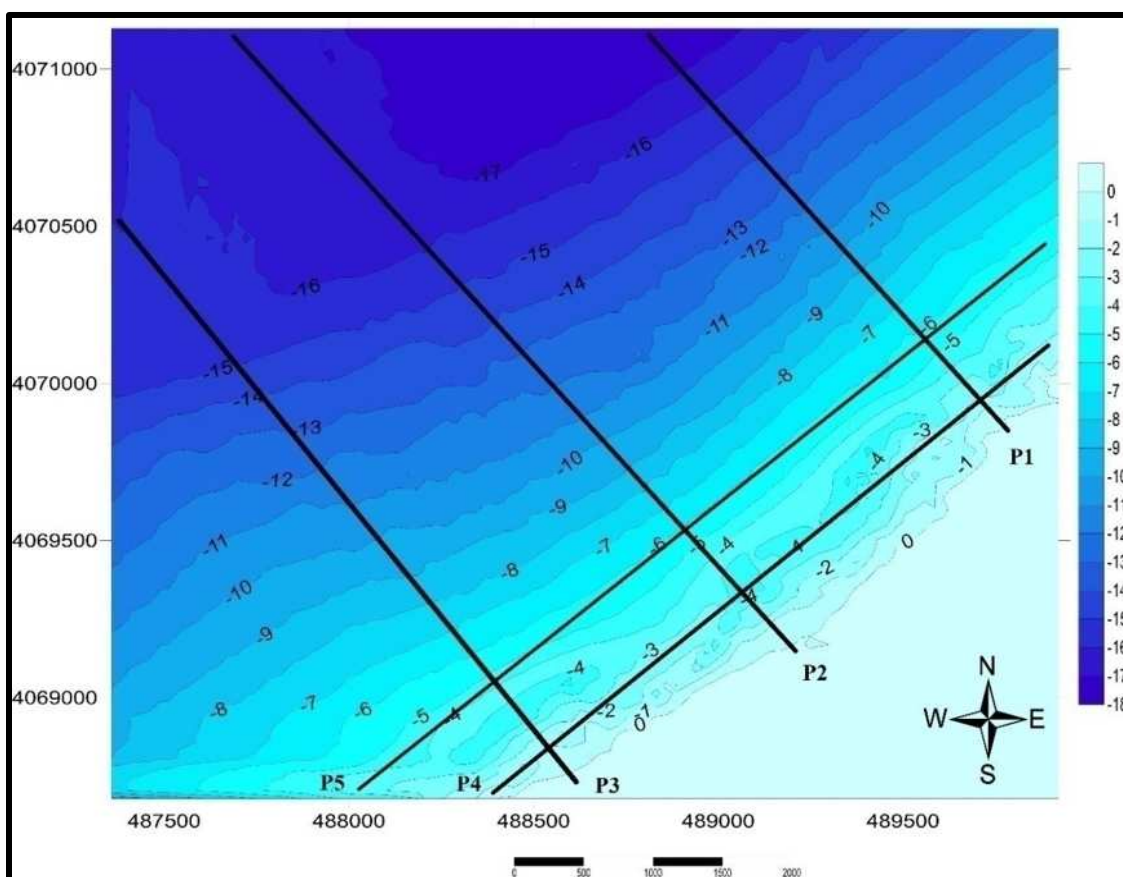


Figure n° 2.2 : Carte bathymétrique et le tracé des profils dans la zone d'étude (*Benallel & Dernoun 2015*).

2.1.5.2.1. Les profils perpendiculaire a la cote :

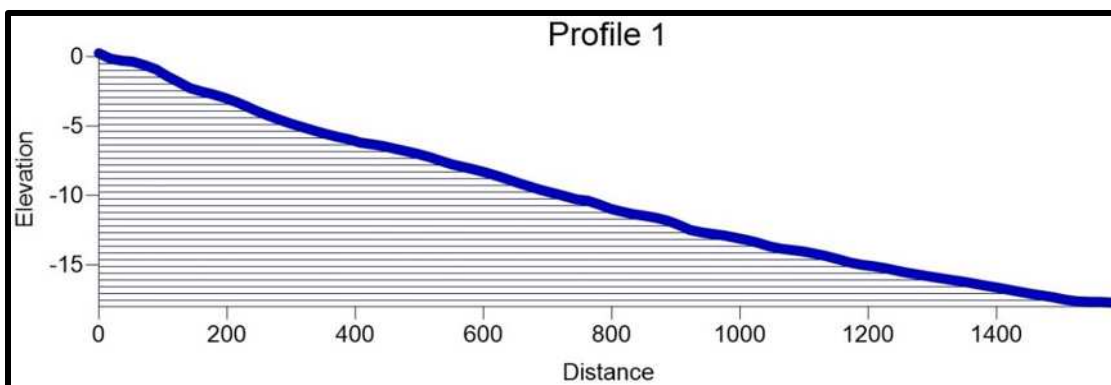
Profile 01 :

Figure n° 2.3: Profil sous-marin n°1.

Commentaire :

Le profil descend en pente raide et s'accroît entre -2 m et -3 m de profondeur, il descend en pente douce vers le large; on remarque aucune morphologie sous marine particulière. la pente moyenne est d'environ 0.90%.

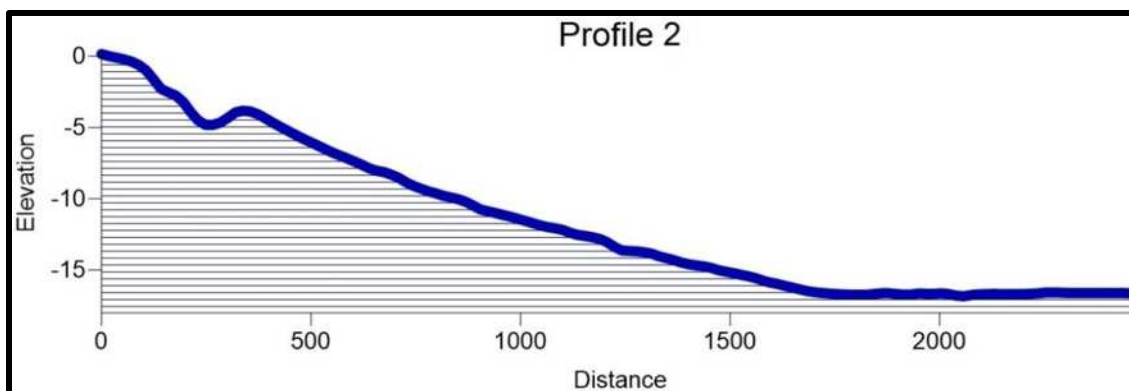
Profil 02 :

Figure n° 2.4: Profil sous-marin n°2.

Commentaire :

Le profil évolue en pente douce et s'accroît entre -2 m et -3 m suivi par une chute abrupte jusqu'à -5 m de profondeur pour former une fosse de lévigation; ensuite on remarque une élévation du profil pour former une barre de déferlement. Après le profil descend en pente raide jusqu'à environ -17 m, où l'on remarque un aplatissement du profil vers le large avec une pente presque nulle dès les 1700 m du rivage.

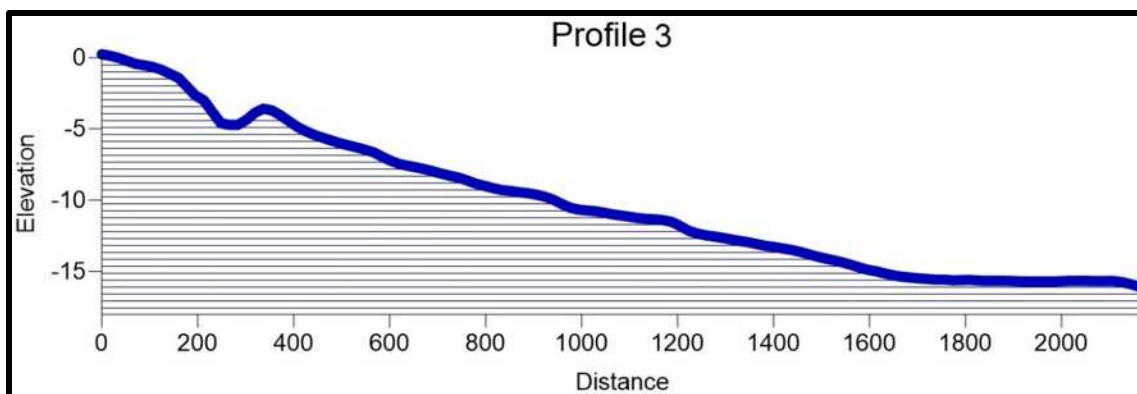
Profil 03 :

Figure n° 2.5: Profil sous-marin n°3.

Commentaire :

Le profil évolue en pente douce jusqu'à environ 3 m de profondeur où il chute de façon brutale pour former une fosse de lévigation suivi par une barre de déferlement vers le large à environ de 300 m par rapport à la ligne de rivage ; le profil continue à descendre en pente douce vers le large avec une moyenne de 0.99%.

2.1.5.2.2. Les Profils parallèles à la cote :

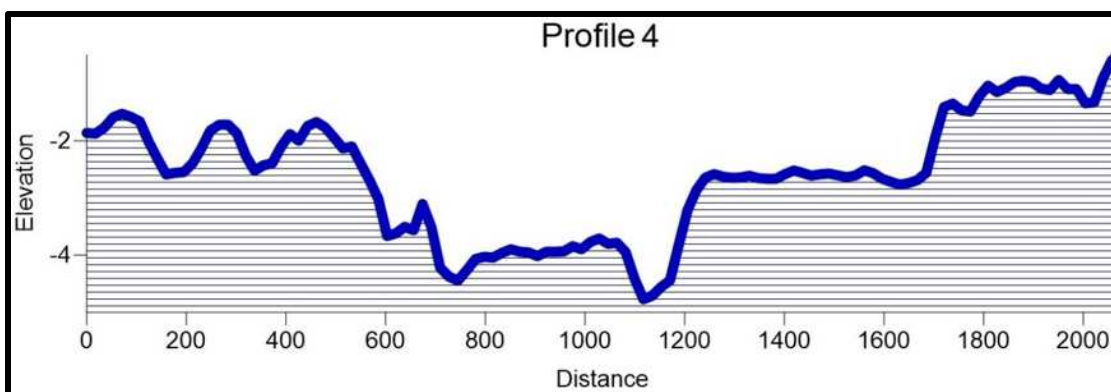
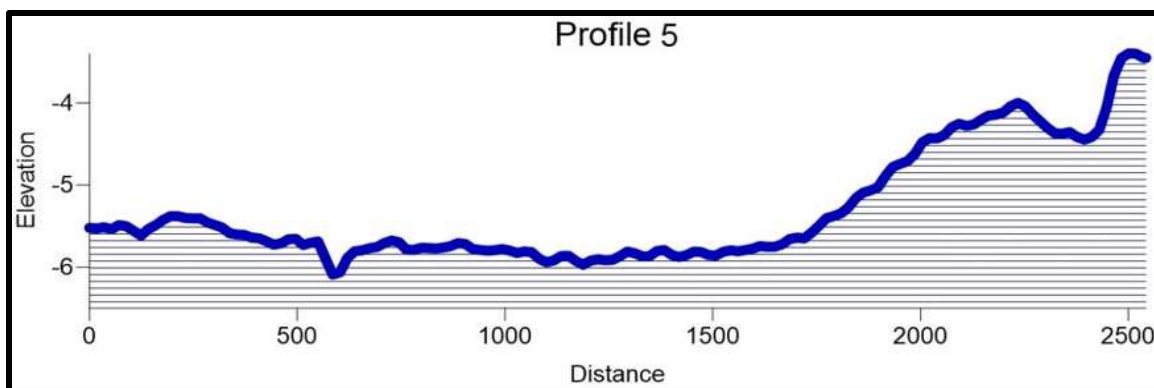
Profil 04 :

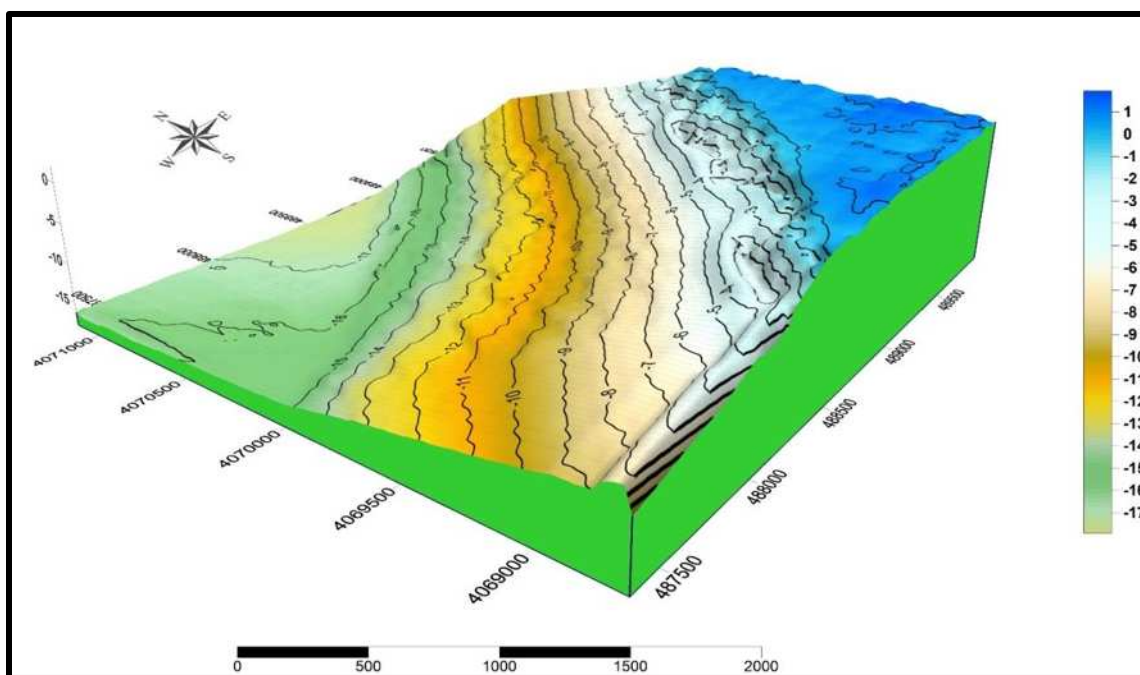
Figure n° 2.6: Profil sous-marin n°4.

Commentaire

Le profil a été tracé à une distance moyenne de 110 m par rapport à la ligne de rivage, on remarque que notre zone d'étude présente un fond irrégulier de l'ouest vers l'est, dont la partie OUEST qui s'étale à environ 460 m est caractérisé par un fond accidenté moins profond variant entre -1 m et -3m. Ensuite dans la partie CENTRE qui se prolonge sur une largeur d'environ 740 m, on remarque une diminution de la profondeur jusqu'au -4 m et parfois elle peut atteindre -5 m. Enfin la profondeur varie entre -3 m et -1m dans la partie EST qui s'étale à environ 850 m.

Profile 5 :**Figure n° 2.7:** Profil sous-marin n°5.**Commentaire :**

Dans le profil présenté ci dessus qui à été tracer a une distance moyenne de 900 m par rapport à la ligne de rivage. On remarque que la profondeur s'accroit de l'OUEST vers l'EST, formant une pente moyennement abrupte. La partie ouest caractérisée par un fond pas trop profond d'une largeur moyenne de 600 m, avec présence d'une rupture à pente abrupte qui atteint 4.5 m de profondeur, la partie EST moyennement profond (maximum -6 m) peu accidenté.

**Figure n° 2.8:** Carte bathymétrique de la zone de Club des pins en 3D
(Benallel & Dernoun 2015)

2.2. Le modèle hydrodynamique SWAN:

Les principales forces qui entrent en jeu dans l'hydrodynamique côtiers sont celles causées par les vagues, les glaces, les pressions des sols et les forces d'impact. La première étape devrait permettre d'obtenir le maximum d'informations sur les conditions de houle au large.

Les conditions de vagues aux larges sont soit issues d'observations ou déduites des mesures de vent disponibles. Lorsque ces ondes se propagent vers la côte elles sont sujettes à une atténuation suite à des effets de profondeur et de frottement ainsi qu'aux phénomènes de réfraction, de diffraction et de réflexion. De plus, lors du dimensionnement d'une structure, il faut considérer la condition limite donnée par le déferlement des vagues. Établir une évaluation scientifique de l'énergie (force), de l'intensité et de la fréquence d'occurrence des vagues à un site donné est un aspect critique dans la majorité des projets.

2.2.1. Description du modèle SWAN :

SWAN (Simulating Waves Near shore) est un modèle de troisième génération développé à Delft Hydrauliques (*Booij et al., 1999*), permettant de décrire la génération et la propagation des vagues quand les phénomènes de réflexion sont négligeables.

SWAN est un code de propagation de houle fondé sur l'équation de conservation d'action des vagues. C'est un modèle spectral donnant les valeurs statistiques comme :

- La hauteur significative,
- La direction moyenne de la houle.

Étant fondé sur les principes de conservation d'énergie, il ne permet pas en revanche de calculer les positions des crêtes des vagues. Il est, de ce fait, adapté à l'étude de propagation de houle sur de très grandes étendues.

Dans SWAN les vagues sont décrites selon un spectre de densité des vagues en 2 dimensions, même quand les phénomènes non-linéaires dominent (particulièrement dans la zone de surf). La raison vient du fait qu'utiliser le spectre dans des conditions de fortes non-linéarités. Le spectre considéré dans SWAN est le spectre de densité d'action des vagues $N(\sigma, \beta)$, plutôt que le spectre de densité d'énergie $E(\sigma, \beta)$ du fait qu'en présence de courant, la densité d'action est conservée alors que la densité d'énergie ne l'est pas.

- σ correspond à la fréquence relative (comme observé dans un référentiel se déplaçant sous l'action de la vitesse de propagation) ;
- β la direction des vagues (la direction normale aux crêtes des vagues de chaque composante spectrale).

La densité d'action des vagues $N(\sigma, \beta)$ est telle que par:

$$N(\sigma, \beta) = \frac{E(\sigma, \beta)}{\sigma} \dots\dots\dots(2.1)$$

L'équation de conservation de la densité spectrale d'action des vagues s'écrit en coordonnées cartésiennes (*Hasselmann et al., 1973*):

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(C N)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y N)}{\gamma} + \frac{\partial(c_\sigma N)}{\sigma} + \frac{\partial(c_\theta N)}{\beta} = \frac{S_{sp}}{\sigma} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dans cette équation le premier terme $\frac{\partial N}{\partial t}$ correspond à la variation temporelle de densité d'action des vagues. Les formulations des différentes vitesses de transfert de densité

d'action des vagues ($C_x, C_y, C_\sigma, C_\beta$) sont issues de la théorie linéaire et de l'équation de conservation du nombre de crêtes. C_x et C_y sont les vitesses de propagation dans l'espace (x, y) de la houle et \vec{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 U et des variations bathymétriques. Le dernier membre de gauche C_β représente le transfert d'énergie angulaire.

Dans le membre de droite, $S_{sp} = S_{sp}(\sigma, \beta)$ correspond à la somme des termes source et termes puits. Il contribue à la dissipation ou à la génération de densité d'action des vagues (déferlement, génération par le vent, frottement sur le fond, interaction entre triplets ou quadruplets de fréquence...).

$$S_{sp}(\sigma, \beta) = S_{Génération}(\sigma, \beta) + S_{Whitcapp}(\sigma, \beta) + S_{Deferl}(\sigma, \beta) + S_{Fond}(\sigma, \beta) + S_{Triplet}(\sigma, \beta) + S_{Quad}(\sigma, \beta) \dots \dots \dots (2.3)$$

2.2.2. Les principales caractéristiques de SWAN :

Les principales caractéristiques de SWAN sont synthétisées dans le tableau ci-après :

Tableau n° 2.1: les principales caractéristiques de SWAN.

Propriétés des modèles	SWAN
Base des formulations	Conservation de l'action de la houle
Domaine de propagation	360°
Théorie de la houle	Linéaire
Stationnaire ou transitoire	Stationnaire/Transitoire
Caractéristiques maillage	Différences finies, cartésien, sphérique, rectangulaire, Curviligne
Dépendance de la qualité des résultats/densité maillage	Faible
Réfraction	Oui
Diffraction	Oui
Réflexion	Non
Gonflement	Oui
Déferlement	Battjes et Janssen (1978)
Interaction houle-courant	Oui
Interactions vague-vague	Triplet, quadruplet
génération de la houle (Vent)	Modèles de Phillips, Miles/champs de vent homogènes ou hétérogènes
Dissipation énergie par frottements au Fond	Modèle de Hasselman et al. (1973), Collins (1972), Madsen et al. (1988)
Dissipation énergie par moutonnement	Oui
Calcul de la surcote (set-up)	Oui (profil et zone)
Prise en compte d'obstacles	Modèle de Seelig

2.2.3. Les inconvénients de modèle SWAN :

- La propagation des ondes est limitée à un secteur directionnel de moins de 120 ° (donc forte réfraction ne peut être installée)
- La grille de calcul doit être orientée dans la direction de la vague moyenne, ce qui est peu pratique sur le plan opérationnel
- Il est paramétrique de la fréquence de telle sorte que les champs d'ondes multimodal ne peut pas être simulé et ;
- La modification et l'ajout de processus physiques est assez difficile à cause des formulations hautement paramétrables qui sont utilisés. Ces limitations sont dans une large mesure à surmonter par le nouveau modèle SWAN.

2.2.4. Les phénomènes modélisés par le SWAN :

- ***Processus de génération et de dissipation des vagues :***

- génération par le vent
- dissipation par les frictions sur le fond marin
- dissipation par l'écume (white-capping)
- dissipation par le déferlement des vagues (dû à la bathymétrie)
- interactions entre vagues (interactions triples en zone côtière et quadruples au large).

• ***Processus de propagation des vagues :***

- propagation des vagues dans l'espace
- réfraction et 'shoaling' dus aux variations spatiales des courants et du fond marin
- blocage et réflexion par des courants opposés
- transmission, réfraction et arrêt sur des obstacles

• ***Repère de coordonnées :***

La modélisation peut s'effectuer en coordonnées cartésiennes (utilisation la plus fréquente) ou sphériques dans le cas d'étude sur une grande échelle.

2.2.5. Principales variables utilisées :

- Les variables que l'on souhaite connaître dans l'étude des vagues sont :
 - la hauteur d'eau.
 - la période des vagues.
 - leur direction.
 - leur énergie.

SWAN propose différentes formules pour chacune de ces variables, il convient de choisir les plus judicieuses selon les particularités du cas traité. Pour simplifier, on peut distinguer deux grandes familles de formules :

a) Celles ne prenant pas en compte la présence des courants :

Dans ce cas, on connaîtra par exemple la période des vagues telle qu'elle est mesurée en un point fixe du domaine. Cette période ressentie correspond à la période propre de la vague à laquelle s'ajoute un Effet Doppler induit par le courant.

b) Celles prenant en compte la présence des courants :

Ici on connaîtra à l'inverse la période des vagues "globalement" et indépendamment des courants.

2.2.6. Paramètres de sortie de SWAN utilisés :

Les paramètres moyens de vagues utilisés pour calculer les termes de forçage de notre modèle de courants moyens sont :

La hauteur significative H_s :

$$H_s = 4 \sqrt{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \dots \dots \dots (2.4)$$

La direction moyenne des vagues θ_m :

$$\theta_m = \arctan \left(\frac{\int \sin(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int \cos(\theta) E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right) \dots \dots \dots (2.5)$$

La longueur d'onde moyenne λ_m :

$$\lambda_m = 2\pi \left(\frac{\int k E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\int E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right)^{-1} \dots \dots \dots (2.6)$$

La période moyenne T_m :

$$T_m = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta}{\iint E(\sigma, \theta) d\sigma d\theta} \right)^{-1} = 2\pi \left(\frac{\iint \omega E(\omega, \theta) d\omega d\theta}{\iint E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \right)^{-1} \dots \dots \dots (2.7)$$

2.2.7. Principe de calcul réfraction de la houle :

L'étude de la réfraction nous donne une estimation sur la quantité et le sens du transit littoral. L'étude se base sur la théorie irrotationnelle de stocks de 1^{er} ordre.

La théorie de stocks n'est appréciable que si le paramètre dit "URSELL" est vérifié pour chaque orthogonale de chaque direction et période.

$$U = \frac{L*H}{d} > 1.5 \dots \dots \dots (2.8)$$

- Où : L : longueur d'onde de la houle.
- H : l'amplitude de la houle.
- d : la profondeur au point associé.

La valeur calculée sur le programme est une valeur relative à H/H₀

- H : hauteur de la houle au point considéré.
- H₀ : hauteur de la houle au large.

H/H₀ est le produit de trois paramètres, auxquelles les calculs aboutissent.

Premier paramètre :

Coefficient de réfraction pure, tenant compte du fait que les courbes bathymétriques ne sont pas rectilignes et non parallèles entre-elles ; le paramètre est noté **K_R**.

Deuxième paramètre :

Coefficient de SHOALLING, tenant compte de la variation de la profondeur durant la propagation de la houle entre le large et la côte; le paramètre est noté **K_s**.

Troisième paramètre :

Coefficient de frottement, tenant compte de la rugosité du fond, dont l'effet est de diminuer la vitesse de propagation et la longueur d'onde, le paramètre est noté K_F . Ainsi, la hauteur de la houle obtenue par réfraction est :

$$H/H_0 = K_R * K_S * K_F = K \dots\dots\dots (2.9)$$

K_R : Coefficient de réfraction pure, où $K_R = \sqrt{\frac{B_0}{B}} \dots\dots\dots (2.10)$

B_0 : Espacement de deux orthogonales au large.

B : Espacement de deux orthogonales au point considéré.

K_S : Coefficient de SHOALLING, où $K_S = \sqrt{\frac{C_0}{2MC}} \dots\dots\dots (2.11)$

Avec:

$$M = \frac{1}{2} \left[\frac{\frac{4\pi d}{L}}{Sh\left(\frac{4\pi d}{L}\right)} \right] \dots\dots\dots (2.12)$$

C_0 : Célérité de la houle au large.

C : Célérité de la houle au point considéré.

d : Profondeur.

L : Longueur d'onde de la houle.

2.2.8. Donnée de base pour la réalisation de la réfraction :

2.2.8.1. Données bathymétriques :

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de juillet 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage du Club des Pins.

2.2.8.2. Données de houles au large :

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

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

Tableau n° 2.2 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude :

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

2.2.8.3. Choix du secteur angulaire :

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

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (tableau n° 2.2) :

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

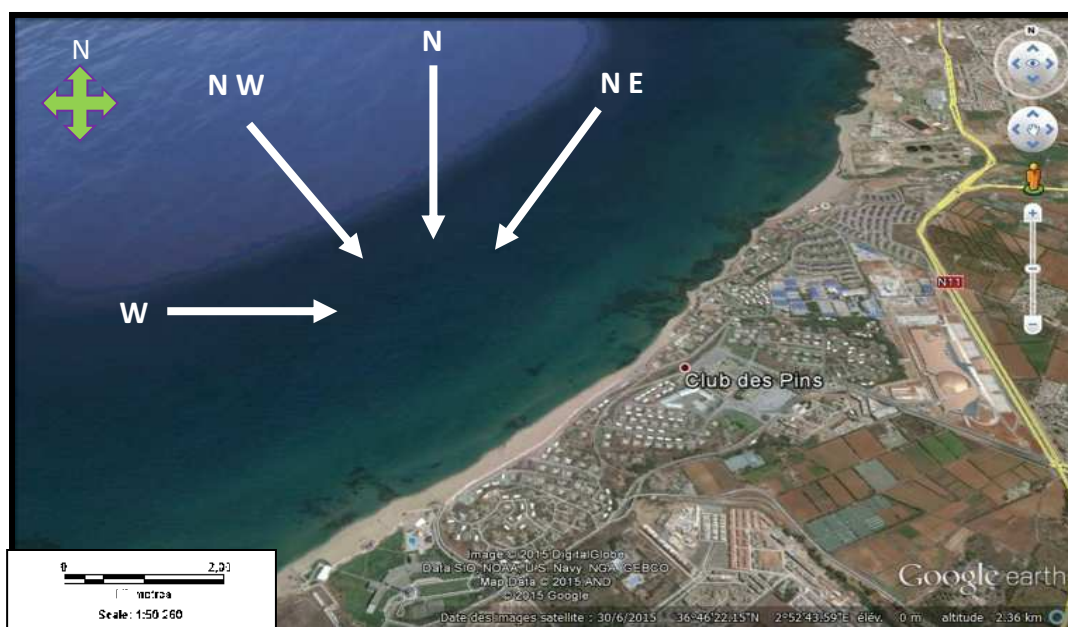


Figure n° 2.9 : choix des directions défavorables pour le site d'étude (Google, 2015).

2.2.9. Étapes 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 (voir Annexe B) ;
7. pour exécuter ; Avec l'invite commande ; on ouvre le dossier →>cd lien du dossier contenant le fichier commande ;

→>swanrunfichier 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).

2.2.10. Résultats et interprétation :

Tableaux récapitulatif du coefficient k par période et par profondeur pour les 4 secteurs Nord, Nord-Est, Nord-Ouest et Ouest :

Tableau n° 2.3 : Coefficient K pour 45N - T=10s

Profondeur (m)	K à T = 10s	Hs (m)
15	0,947361055	4,67049
12	0,906172414	4,46743
10	0,85378499	4,20916
9	0,736679513	3,63183
8	0,708166329	3,49126
7	0,656805274	3,23805
6	0,568778905	2,80408
5	0,521931034	2,57312
4	0,428657201	2,11328
3	0,295032454	1,45451
2	0,26589858	1,31088
1	0,075290061	0,37118

Tableau n° 2.4 : Coefficient K pour 360N - T=10s

Profondeur (m)	Kà T = 10s	Hs (m)
15	0,830180198	4,19241
12	0,739451485	3,73423
10	0,671207921	3,3896
9	0,620320792	3,13262
8	0,614936634	3,10543
7	0,569443564	2,87569
6	0,52129505	2,63254
5	0,369136634	1,86414
4	0,398178218	2,0108
3	0,302693069	1,5286
2	0,272192079	1,37457
1	0,098861386	0,49925

Tableau n° 2.5 : Coefficient K pour 270N - T=10s.

Profondeur (m)	Kr à T = 10s	Hs (m)
15	0,901234657	4,99284
12	0,814395307	4,51175
10	0,74498556	4,12722
9	0,666749097	3,69379
8	0,605902527	3,3567
7	0,539516245	2,98892
6	0,510413357	2,82769
5	0,3493213	1,93524
4	0,322218412	1,78509
3	0,272552347	1,50994
2	0,208718412	1,1563
1	0,054451264	0,30166

Tableau n° 2.6 : Coefficient K pour 315N - T=10s

Profondeur (m)	Kr à T = 10s	Hs (m)
15	0,959618102	4,34707
12	0,948503311	4,29672
10	0,87704415	3,97301
9	0,81105298	3,67407
8	0,782668874	3,54549
7	0,689030905	3,12131
6	0,617454746	2,79707
5	0,558401766	2,52956
4	0,459907285	2,08338
3	0,337448124	1,52864
2	0,218384106	0,98928
1	0,063125828	0,28596

Caractéristique de la houle au large

Hs =4,53m

Direction = 315 ° (Nord-Ouest)

Période T=10s

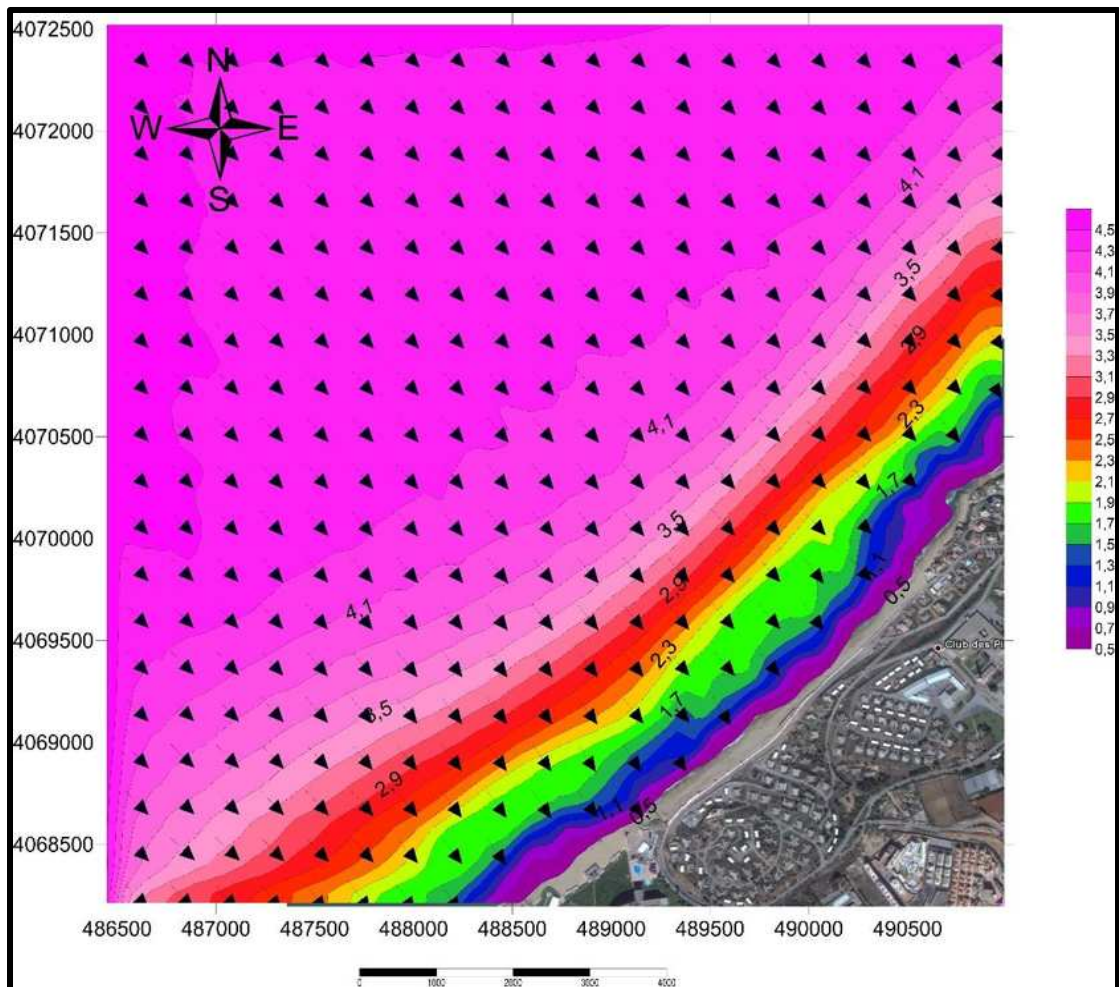


Figure n° 2.10 : Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s. (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

La figure ci dessus représente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest de période de 10 secondes, la propagation se fait de façon frontale. Le coefficient K est en moyenne égal à 0.88 à 10m de profondeur (Tableau 1.6), les houles ne perdent que très peu de leur énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage avec un angle moyen de 1°. Ces houles atteignent la zone de Club des Pins sans changer de direction, mais en termes d'énergie elles sont beaucoup moins importantes que les houles de direction Ouest.

Caractéristique de la houle au large

$H_s = 5,54\text{m}$

Direction = 270° (Ouest)

Période $T=10\text{s}$

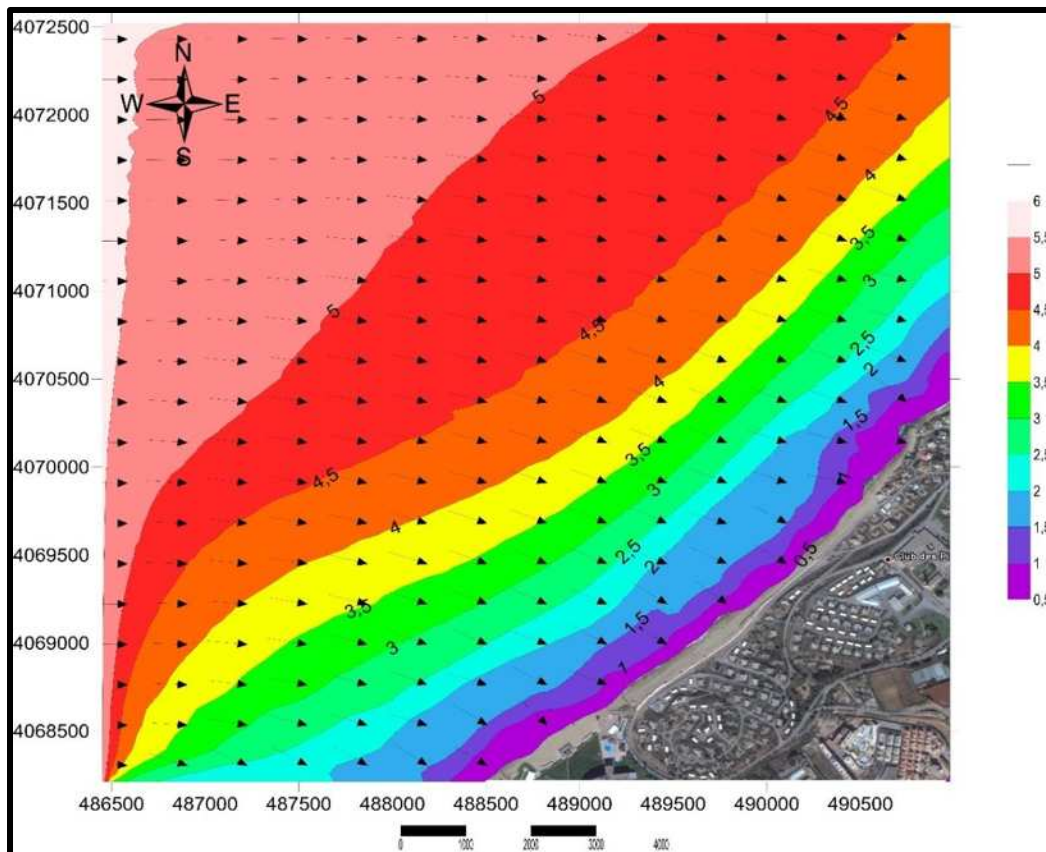


Figure n° 2.11 : Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s
(Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

La figure ci-dessus représente le résultat de l'étude de la réfraction pour des houles de secteur ouest ($N270^\circ$) avec une période de 10 secondes, qui peuvent atteindre la zone de club des pins avec un coefficient K en moyenne égale à 0,74 à 10 m de profondeur.

Elles perdent que peu de leur énergie de large qui s'opèrent sur cette figure de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte.

La propagation de la houle se fait de façon frontale avec une dissipation de l'énergie qui se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Ouest à Nord avec un angle moyen de 22° . Les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques (tableau n° II.5). C'est la houle qui peut être utilisée dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

Caractéristique de la houle au large

$H_s = 5,05\text{m}$

Direction = 45° (Nord-Est)

Période $T=10\text{s}$

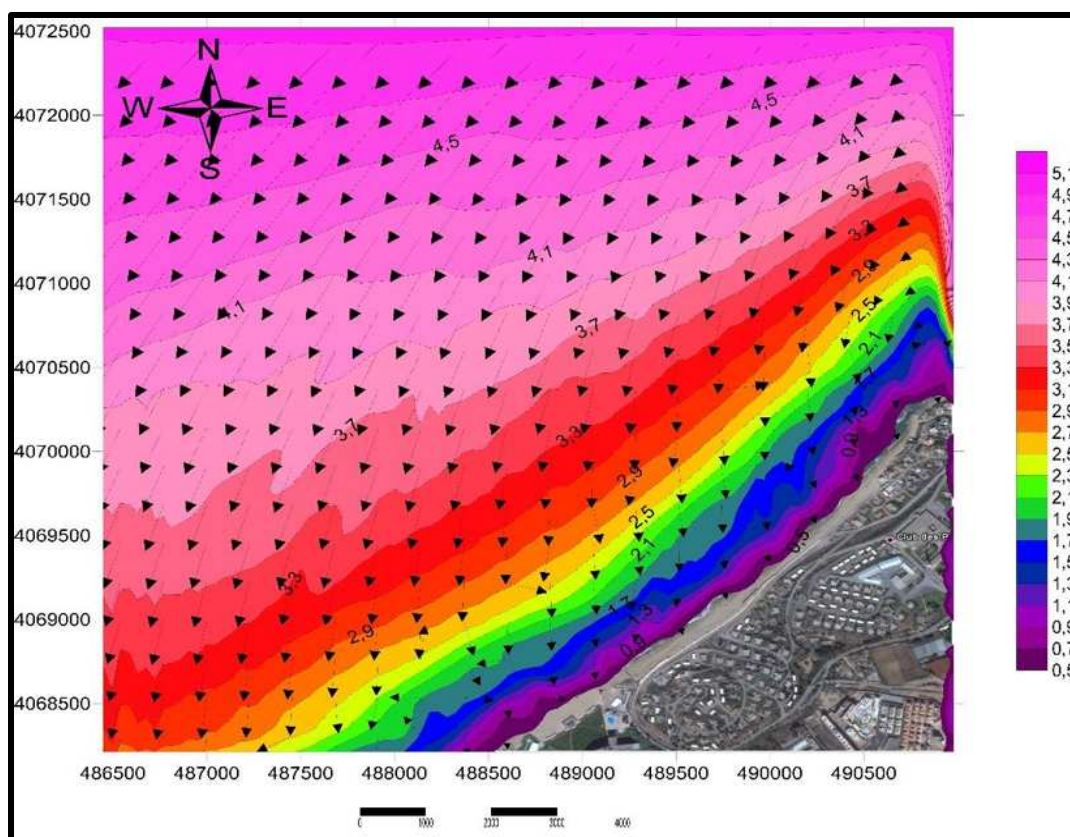


Figure n° 2.12 : Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

L'étude de la réfraction sur ce secteur démontre que pour une houle de secteur Nord-Est et de période de 10 secondes, la réfraction s'opère sur cette dernière de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte, avec un coefficient K en moyenne égal à 0,65 à 10m de profondeur (tableau n° 2.1). Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie de large, qui apparaît naturellement abrité par la présence du Ras Acrata.

La dissipation de l'énergie est représenté par un pivotement des orthogonales en direction Nord à Nord – Est, avec un angle moyen de 35° .

Caractéristique de la houle au large

$H_s = 4.93\text{m}$

Direction = 360° (Nord)

Période $T=10\text{s}$

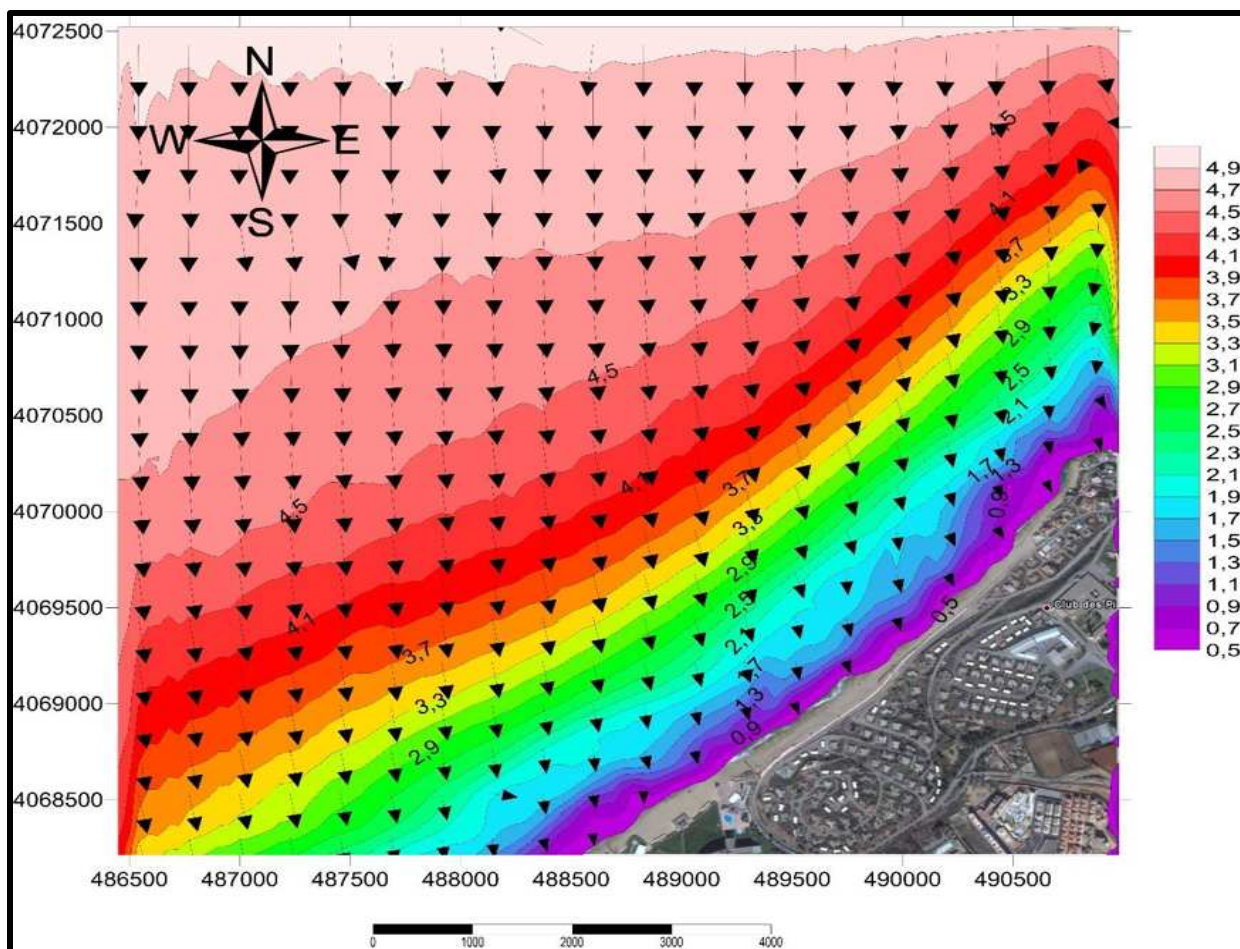


Figure n° 2.13 : Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s, (Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

La figure représentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et de période de 10 secondes, la propagation se fait de façon quasi frontale, le coefficient K est en moyenne égal à 0,85 à 10 m de profondeur (tableau n° 2.2), donc les houles ne perdent que peu de leur énergie.

Les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, notamment à l'Est de la zone vers la direction Nord – Ouest, avec un angle d'arrivée en moyen égal à 339° .

Conclusion :

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

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer sur notre zone sont les houles de l'Ouest, elles sont responsables de transit littoral, dans le cas de dimensionnement des ouvrages de protection nous devons en tenir compte.

Les houles frontales de direction Nord-Ouest atteignent la zone de Club des Pins sans se réfracter, elles sont responsables du transport sédimentaire dans le profil.

CHAPITRE 03 :
MODELISATION DU TRANSPORT
SEDIMENTAIRE.

Chapitre 03 : modélisation du transport sédimentaire.

3.1. Étude sédimentologique :

La répartition spatiale des sédiments dans la plage sous-marine est étroitement liée à la circulation des masses d'eau, conditionnée par les forçages physiques extérieurs. La connaissance actuelle de la circulation au niveau de l'avant plage décrit une dérive littorale parallèlement (longshore) à la côte, et des entrées d'eau perpendiculairement (cross-shore) à la côte.

La taille des particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumet aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (*Blott & Pye., 2001*). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (*Bui et al., 1990*).

3.1.1. Description et choix des stations de prélèvement :

L'objectif de cette étude est la recherche de la répartition des sédiments en mer et par conséquent leur modalité de mise en place.

Le positionnement des points d'échantillonnage (voir Annexe A) et le nombre de stations ont été choisis de façon à recouvrir la plus grande partie de la zone d'étude, soit 50 échantillons selon 10 radiales ; de sédiment superficiel sont prélevés de 0 à -15 m de profondeur (figure 3.1).

Dont 39 échantillons de sédiments superficiels prélevés en mer à l'aide d'une benne preneuse de type van veen destiné à l'étude sédimentologique, et 10 échantillons prélevés sur la plage.



Figure n° 3.1. Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2015).

3.1.2. L'analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est l'opération consistant à étudier la répartition des différents grains d'un échantillon, en fonction de leurs caractéristiques (poids, taille, ...).

1. Tamisat : partie de l'échantillon passé à travers les mailles du tamis.

2. Refus : partie de l'échantillon qui n'est pas passée à travers les mailles du tamis.

3. Refus cumulé : c'est la somme de tous les refus, celui du tamis lui-même plus tous les refus des tamis de maille plus grande. Il peut être exprimé en gramme ou en % de refus cumulés.

3.1.3. Méthode d'analyse au laboratoire :

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage (*Weydert.*, 1971 ; *Rivière.*, 1977). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule (*Rivière.*, 1977). L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) phases :

3.1.3.1. Une phase technique expérimentale :

Cette phase conduit à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment. Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :

- Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Lavage de 150 g de sédiment séché à l'eau douce et séparation de la fraction pélitique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de 40 µm.
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux de pélite.
- Tamisage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension décroissante ; 800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40 µm.
- Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision
- Évaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

3.1.3.2. Une phase d'interprétation des résultats obtenus :

Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :

- Traitement des résultats sous formes de fiches granulométriques ;
- Représentations graphiques en courbes cumulative ;
- Exploitation des résultats pour la répartition des cartes des différents indices et paramètres granulométriques.

3.1.4. La fraction fine :

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon le pourcentage de cette fraction fine inférieure à 40 μm dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pélites qui montre la répartition de cette fraction au sein de la zone de Club des Pins.

3.1.5. La fraction grossière

3.1.5.1. Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont extraits à partir de la courbe de fréquence cumulative (en ordonnée échelle arithmétique : Le pourcentage des tamis cumulés, en abscisse échelle logarithmique : les diamètres des tamis), permettent de calculer les différents indices.

a. Les quantiles

Q_{25} :25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile).

Q_{75} :75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile).

$D_{50}(Q_{50})$:50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane).

D_{90} :90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile).

D_{10} :10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile).

b. Le mode granulométrique :

Correspond au point d'inflexion de la courbe cumulative. Il représente la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

3.1.5.2. Les indices granulométriques :

Les indices retenus dans le cadre de cette étude peuvent se diviser principalement en deux groupes : les indices « ponctuels » qui font appel au plus à 5 points de la courbe granulométrique et les indices « globaux » qui retiennent l'ensemble des données disponibles (*Pascal Galichon.*, 1984).

a. Les indices ponctuels :

Ce sont des indices les plus couramment employés. Ces indices se divisent en 04 familles : les indices granulométriques exprimés en unité (ϕ). L'échelle ϕ est une unité de mesure définie par la relation suivante :

$$\phi = -\log_2(D) \text{ en mm}$$

Pour la suite $\phi_{i \ 1 < i < 100}$ représente la taille des grains en ϕ correspond à ($i\%$) du poids cumulé.

b. Les indices centraux :

C'est de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments :

❖ **L'indice central de FOLK et WARD :**

$$M_Z = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3 \dots\dots\dots (3.1)$$

Les différentes limites utilisées par FOLK 1954 sont illustré dans le tableau n° 3.7.

Tableau n° 3.1: Les valeurs adoptées pour M_Z pour l'Indice central.

Valeur de M _Z	Taille moyenne
TM < -6	Galet
-6 < TM < -2	Granule
-2 < TM < -1	sable très grossier
-1 < TM < 0	sable grossier
0 < TM < 1	sable moyen
1 < TM < 2	sable fin
2 < TM < 3	sable très fin
3 < TM < 3.98	Vase

❖ **Les indices de dispersion (indice de classement) par Folk et Ward :**

Ils donnent une idée de l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen.

$$S_i = [(\Phi_{84} - \Phi_{16}) / 4] + [(\Phi_{95} - \Phi_5) / 6,6] \dots\dots\dots (3.2)$$

Les différents stades du triage utilisés par Folk 1954 sont les suivantes :

Tableau n° 3.2 : Les valeurs adoptées pour S_i pour le tri.

Valeur de S ₀	Le tri
TRI < 0.35	très bien trié
0.4 < TRI < 0.5	bien trié
0.5 < TRI < 0.7	modérément bien trié
0.7 < TRI < 1	modérément trié
1 < TRI < 2	mal trié
2 < TRI < 4	très mal trié
4 < TRI	extrêmement mal trié

❖ **Les indices d'asymétrie de Folk et Ward :**

Ils indiquent un étalement de la courbe granulométrique plus ou moins important vers les sédiments fins ou les sédiments grossiers.

$$SKi = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \dots\dots\dots(3.3)$$

Les limites et la nomenclature utilisées sont les suivantes:

Tableau n° 3.3: Les valeurs adoptées pour SK_i pour l'Asymétrie.

Valeur de SK_i	l'Asymétrie
-1 $< SK_i < -0.3$	asymétrie très négative
-0.3 $< SK_i < -0.1$	asymétrie négative
-0.1 $< SK_i < 0.1$	Asymétrie
0.1 $< SK_i < 0.3$	asymétrie positive
0.3 $< SK_i < 1$	asymétrie très positive

❖ **Les indices d'angulosité de Folk et Ward :**

Les indices d'angulosité sont des rapports de dispersion de la partie centrale de la courbe granulométrique sur celles des parties externes ou l'inverse.

$$KG = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})} \dots \dots \dots (3.4)$$

Les limites proposées par FOLK 1954 sont :

Tableau n° 3.4 : Les valeurs adoptées pour KG pour l'Indice d'Angulosité.

Valeur de KG	Angulosité
3 $< KG$	extrêmement accusée
1.5 $< KG < 3$	très accusée
1.1 $< KG < 1.5$	Accusée
0.9 $< KG < 1.11$	moyennement accusée
0.67 $< KG < 0.9$	peu accusée
KG < 0.67	très peu accusée

c. Les indices globaux :

Les indices globaux peuvent être séparés en deux familles :

❖ **L'indice hydrodynamique (FH) :**

Cet indice permet d'appréhender les conditions hydrodynamiques régnant dans le milieu.

$$FH = KG - \left(\frac{\phi_{75} - \phi_{25}}{2} \right) \dots \dots \dots (3.5)$$

Les valeurs positives correspondent à un sédiment en cours de transport par les masses d'eau et les valeurs négatives à des sédiments en place ou qui seront difficilement remis en mouvement.

Tableau n° 3.5 : Les valeurs adoptées pour FH pour l'Indice Hydrodynamique.

Valeur de FH	L'Hydrodynamique
$2 < FH$	très fort
$1 < FH < 2$	Fort
$0.5 < FH < 1$	Moyen
$FH \approx 0$	Faible
$FH \approx -1$	très faible

❖ **coefficient d'uniformité :**

Le coefficient d'uniformité caractérise la répartition en taille des éléments qui composent un matériau de type sol. Il se calcule de la façon suivant :

$$C_u = d_{60}/d_{10} \dots \dots \dots (3.6)$$

Avec :

C_u : le coefficient d'uniformité.

d_{60} : le tamis correspondant à 60% du passant cumulé sur la courbe granulométrique.

d_{10} : le tamis correspondant à 10% du passant cumulé sur la courbe granulométrique.

- La granulométrie est dite **étalée** si $C_u \geq 6$;
- La granulométrie est dite **uniforme** si $C_u < 6$.

❖ **Coefficient de courbure :** Il est défini par

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \cdot D_{10}} \dots \dots \dots (3.7)$$

$1 < C_c < 3$ donne une granulométrie bien étalée.

3.1.6. L'analyse modale :

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

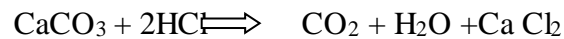
3.1.7. Analyse calcimétrique :

L'étude calcimétrique a été effectuée sur les échantillons superficiels prélevés en mer à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen, Les échantillons sont ensuite mis dans des sacs en plastique et étiquetés.

3.1.7.1. Principe de la méthode :

L'analyse est basée sur la mesure de la diminution du poids de l'échantillon causée par la décomposition du calcaire après attaque du sédiment à l'acide Chlorhydrique.

Le calcaire CaCO_3 réagit avec l'acide (HCl) pour donner du dioxyde de carbone (CO_2) et du dichlorure de calcium (CaCl_2), suivant la formule :



Ce qui n'est pas attaqué par l'acide Chlorhydrique constitue les éléments insolubles : argile, quartz.

3.1.7.2. Mode opératoire :

1. Peser dans des Erlenmeyer une masse $m = 20\text{g}$ de sédiment sec pour chacune des stations ;
2. Injecter de l'acide Chlorhydrique jusqu'à extinction de l'effervescence ;
3. Laisser décanter ;
4. Aspirer le surnageant contenant le dichlorure de calcium à l'aide d'une seringue ;
5. Rincer à l'eau et aspirer le surnageant encore une fois ;
6. Sécher l'échantillon à l'étuve ;
7. Repeser les échantillons.

3.1.7.3. Traitement des données :

Calculer la différence entre le poids initial et le poids après l'attaque à l'acide. Cette valeur correspond à la masse des carbonates et permet d'en déduire le pourcentage des calcaires dans chaque échantillon.

3.1.8. Résultats et discussion :

La cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et les conditions de dépôt (*Friedman.*, 1979 ; *Bui et al*, 1990 in *Cordier.*, 2007).

Les prélèvements superficiels réalisés dans la région de Club des pins ont permis de cartographier la couverture sédimentaire des fonds marins. L'interpolation est utilisée ici afin de prédire les valeurs prises par ces variables distribuées spatialement dans les endroits non échantillonnés.

3.1.8.1. Analyse de la fraction fine :

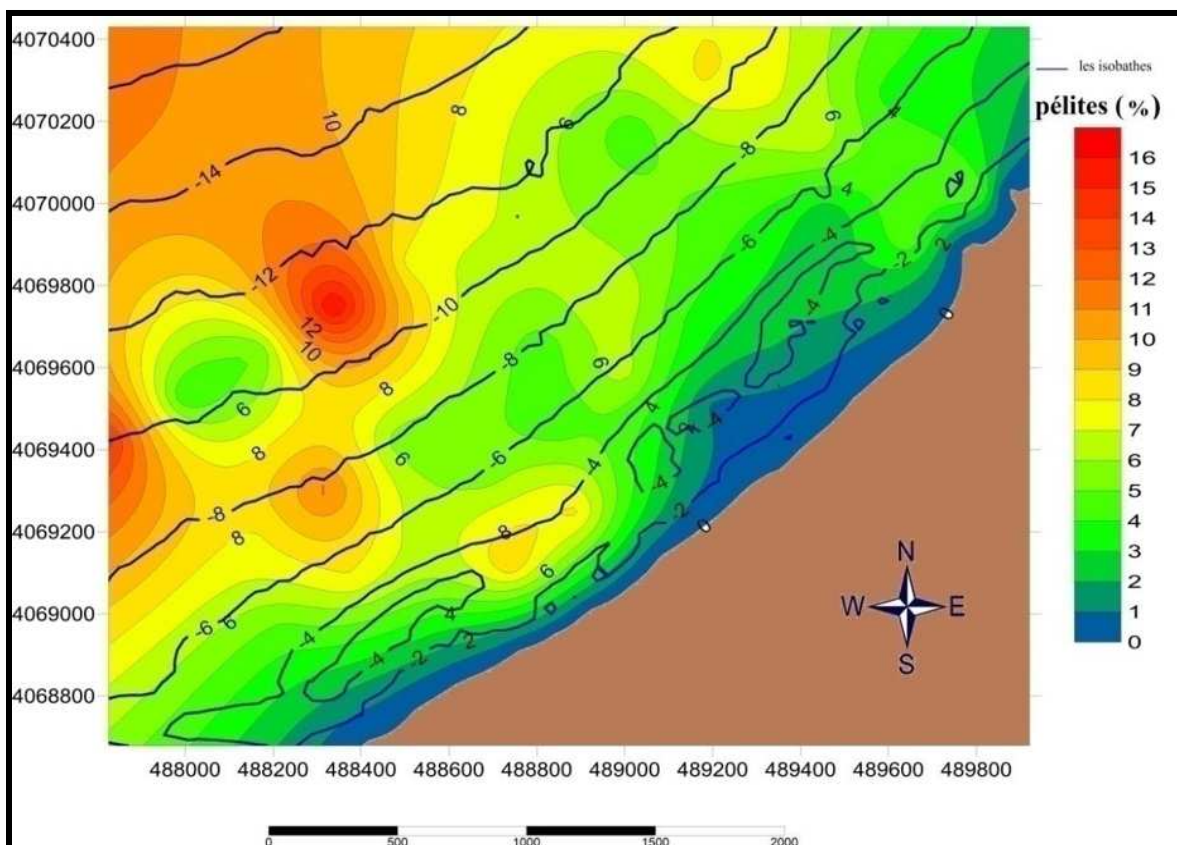


Figure n° 3.2: Répartition des pérites dans la région de Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

Bien que les teneurs de périte soient très faibles, variant entre 1 et 16 %, la carte présentée ci dessus, montre les teneurs de la fraction fine qui augmentent de la côte vers le large et face à la ligne de rivage de club du pin.

En remarque que dans la frange compris entre 0 et 4 m parfois jusqu'à 5 m de profondeur les teneurs en périte varient tout en restant sous les 3 %, les teneurs entre 3 et 8% sont présentes dans la frange intermédiaire qui se prolonge jusqu'à -14 m dans la partie Ouest et environ -6 m dans la partie Est. Puis vont en augmentant en partant vers le large pour atteindre des valeurs allons jusqu'à 16%.

Les faibles teneurs en périte observé dans les petites profondeurs expliquent l'énergie remarquable de la houle, qui favorise la remise en suspension et le transport d'une partie importante de la fraction fine vers les zones calmes permettant leur décantation.

3.1.8.2. Analyse de la fraction grossière :

a/ Les courbes granulométriques :

• Aspect général des courbes cumulatives :

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés.

❖ Courbes unimodales :

Indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

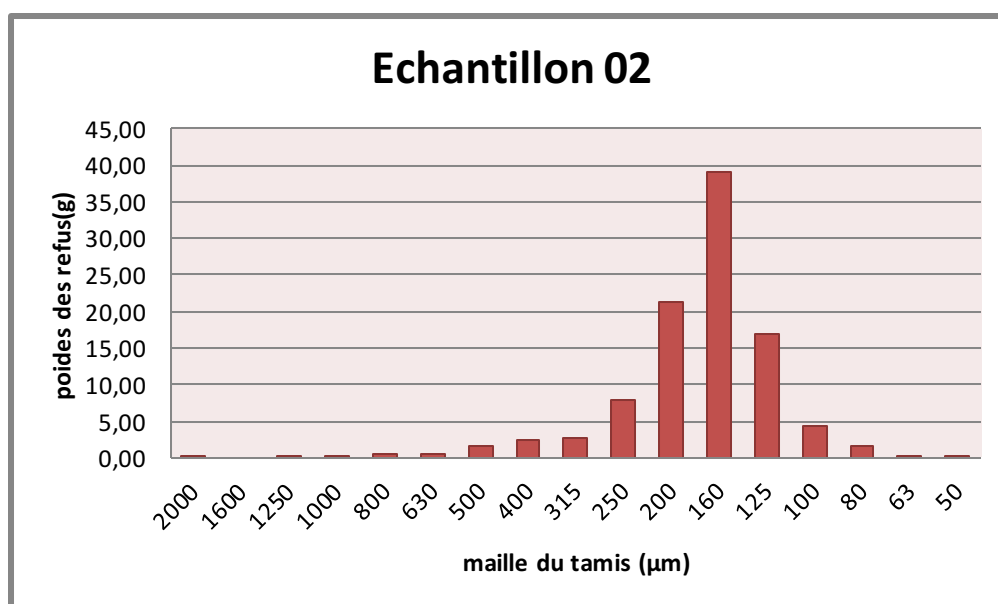


Figure n° 3.3 : Histogramme unimodales.

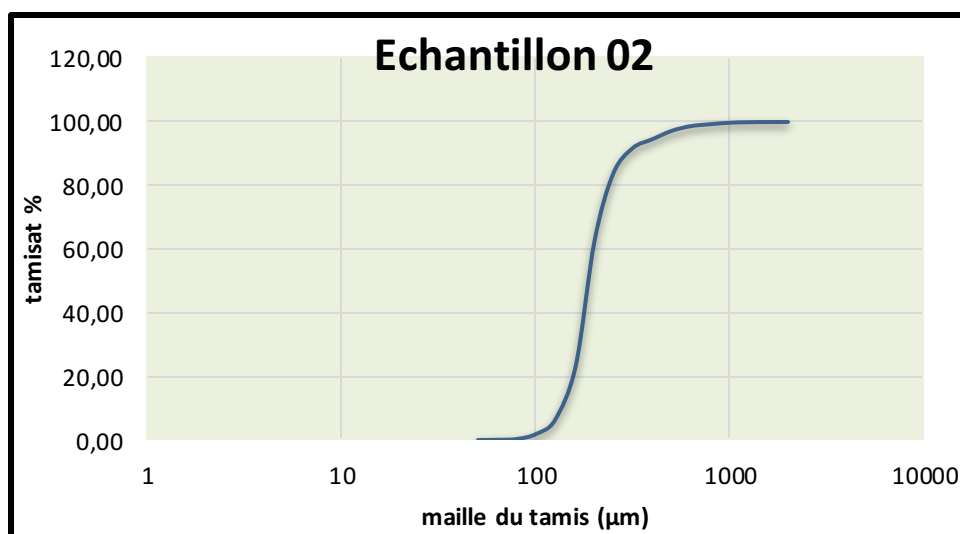


Figure n° 3.4 : Courbe unimodales.

❖ Courbes bimodales

Indique la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

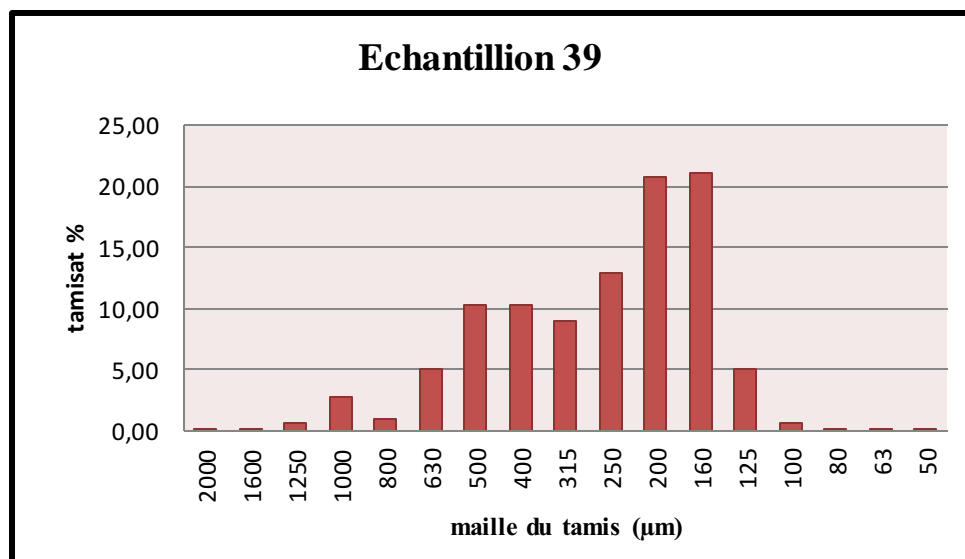


Figure n° 3.5 : Histogramme bimodales.

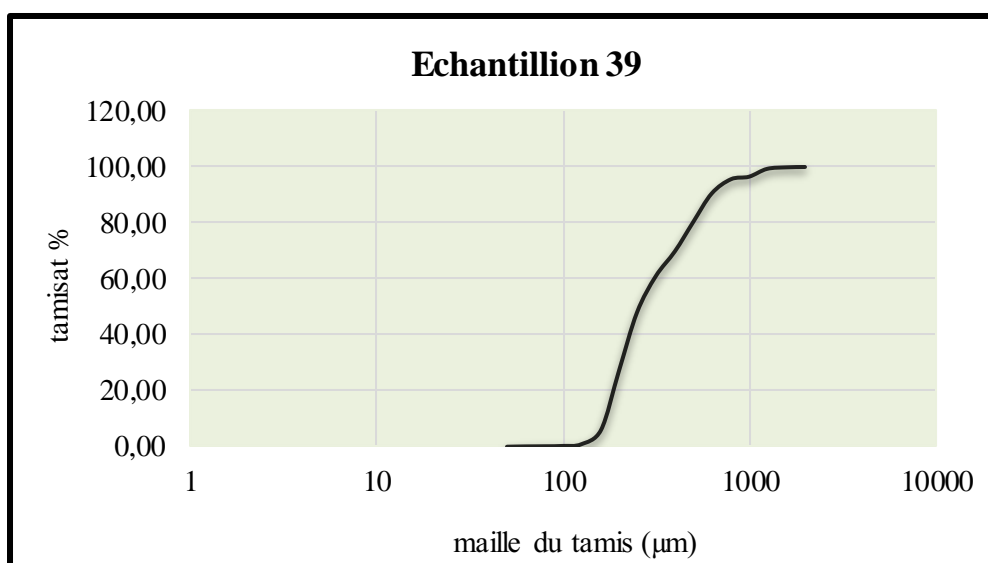


Figure n° 3.6: Courbe bimodales

❖ Courbes plurimodales

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier.

Cette hétérogénéité serait due à la nature des sédiments grossiers, où le mode le plus grossier est représenté par des coquilles entières ou par des bio calcites ou par des petits galets.

Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques représentatifs du sédiment.

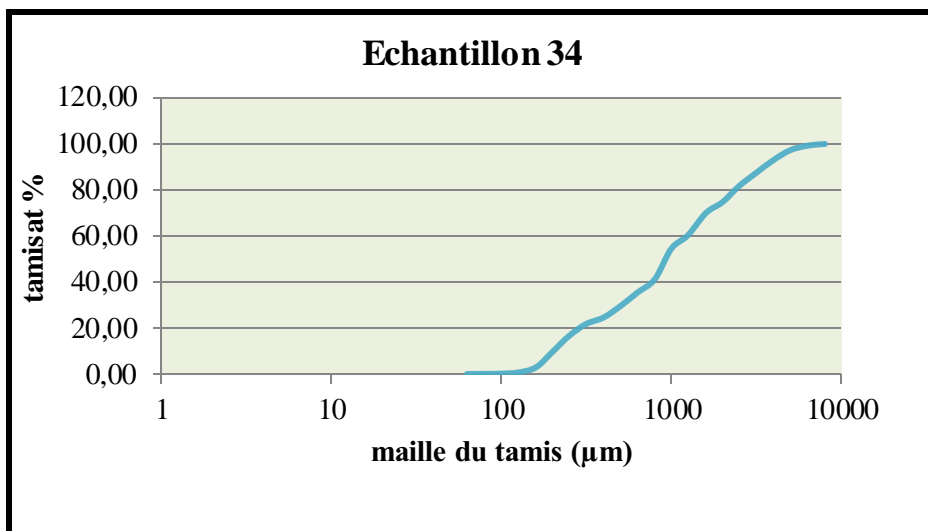


Figure n° 3.7 : Courbe plurimodales.

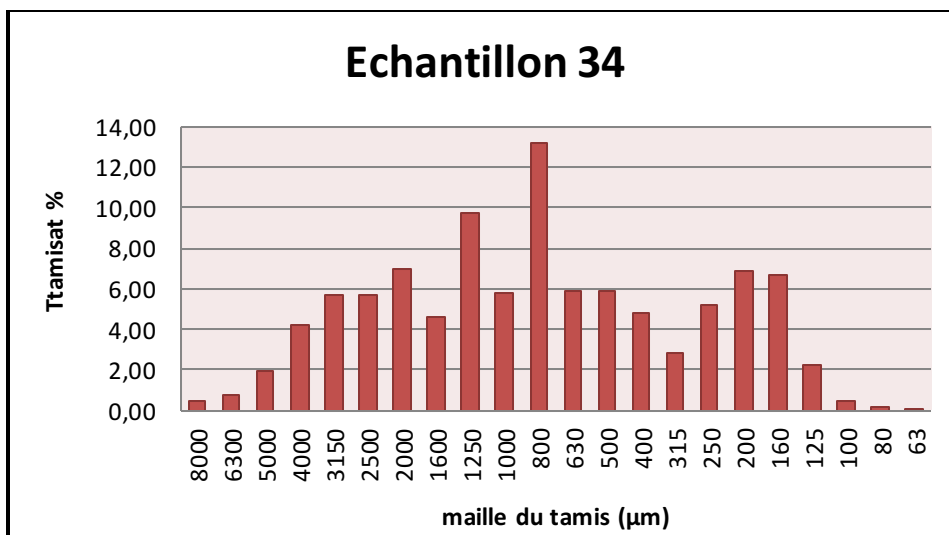


Figure n° 3.8: Histogramme plurimodales

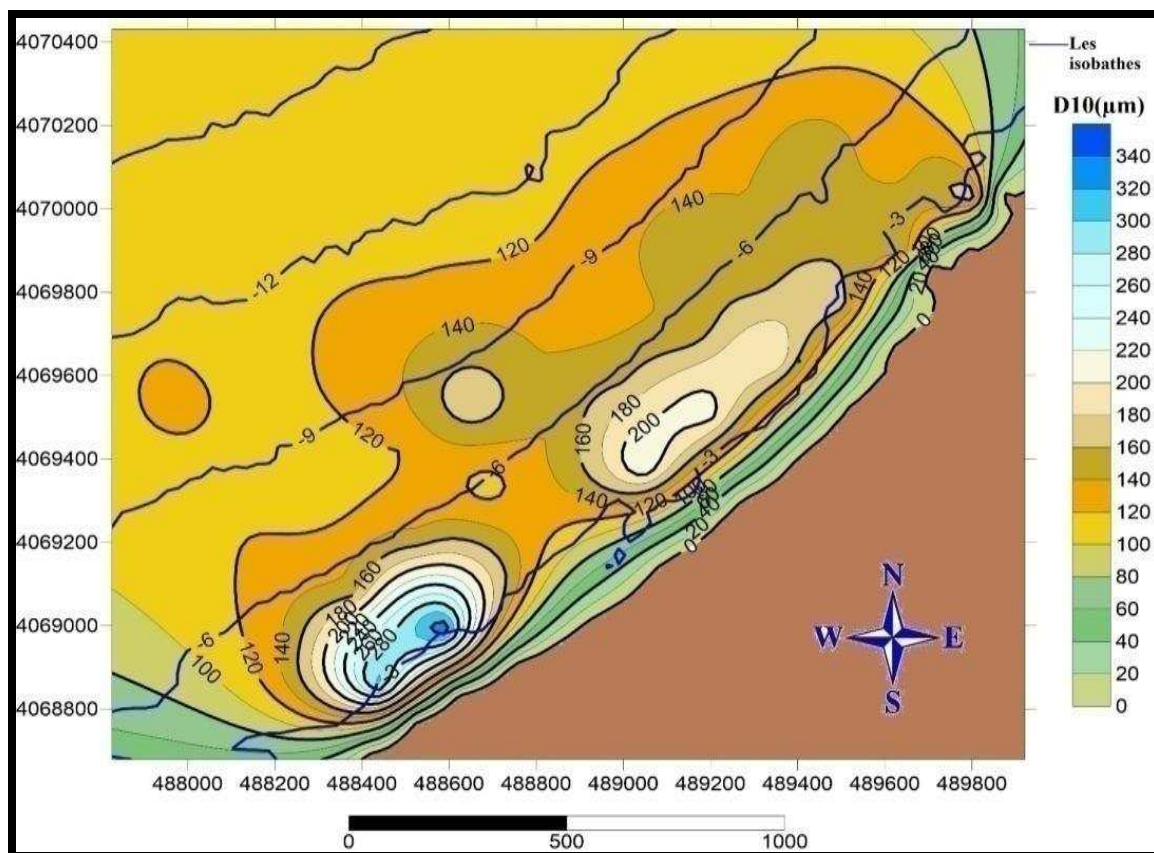
B /Les quantiles :**a. Le décile inférieur (D10) :**

Figure n° 3.9 : Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

La figure ci dessus nous renseigne sur la répartition spatiale des déciles inférieurs à D₁₀ qui apparait centrique avec la présence des diamètres inférieur 80 µm près de la cote a des profondeurs inférieures à -3 m et se prolongeant vers le large dans les extrémité ; la dominance des diamètres entre 60-180 µm qui évoluent de -3 m vers le large, les diamètre supérieurs à180 µm évoluent vers le centre des formes circulaires situé à -5 m de profondeur dans les deux sens de la plage : dans la partie OUEST le diamètre est copris entre 180-200 µm dans alors que dans la partie EST le diamètre évoluent jusqu'atteindre 340 µm, ou la morphologie sous marine présente des barres et des fosses plongeantes.

b. Le décile supérieur (D90)

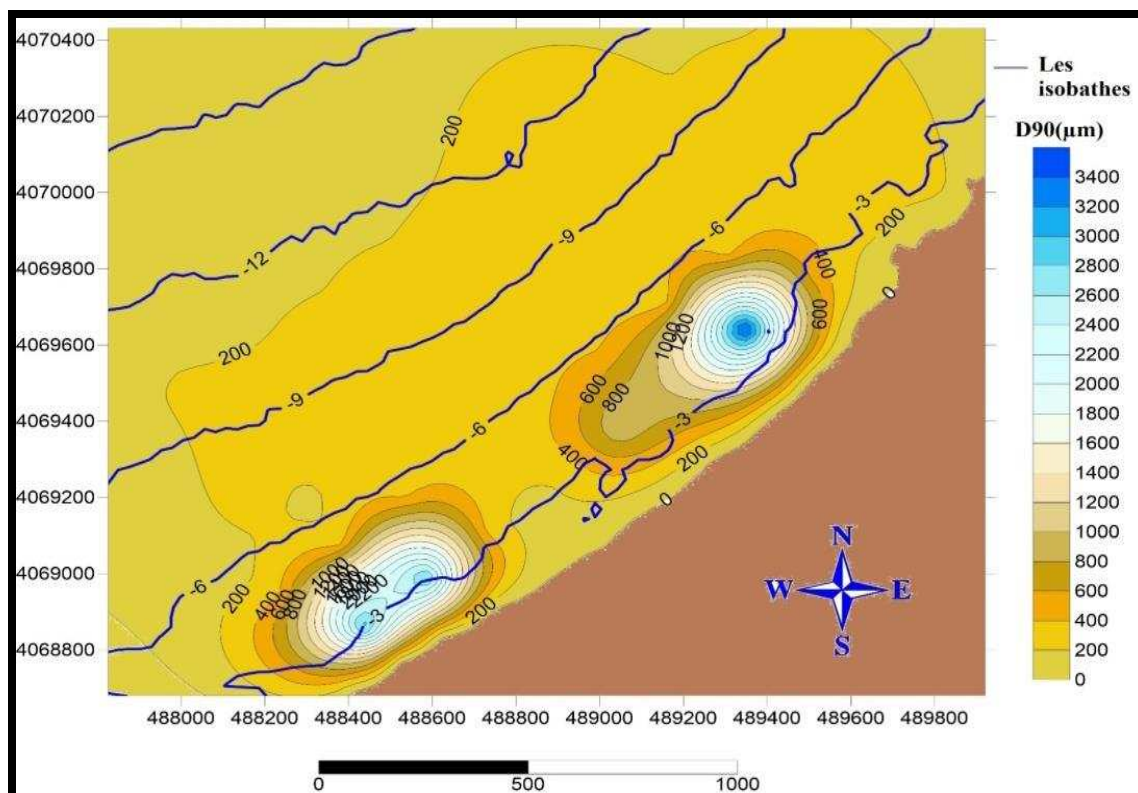


Figure n° 3.10: Répartition des déciles supérieurs (D90) dans la région de Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

La figure ci dessus nous renseigne sur la répartition spatiale des déciles inférieurs à D₉₀ qui garde l'aspect concentrique dégageant 3 facies dominants, le premier de diamètre inférieur à 200μm qui se trouve le long du rivage jusqu'à -1 m (voir -3 m' centre) se prolongeant vers le large sur les deux extrémités, continuant jusqu'à -10 à -13 m et au-delà dans le reste de notre zone d'étude, Un second facies évolue sur la frange de 1 m parfois 3 m de profondeur jusqu'à -10 m, le diamètre variant entre 200 et 400μm (voire -13m du côté Ouest), Le troisième facies se répartit en deux franges qui englobe les diamètre supérieurs à 400 μm qui correspond a une topologie particulière, limitée entre -2 m à environ -6 m.

c. Le quartile inférieur (Q25)

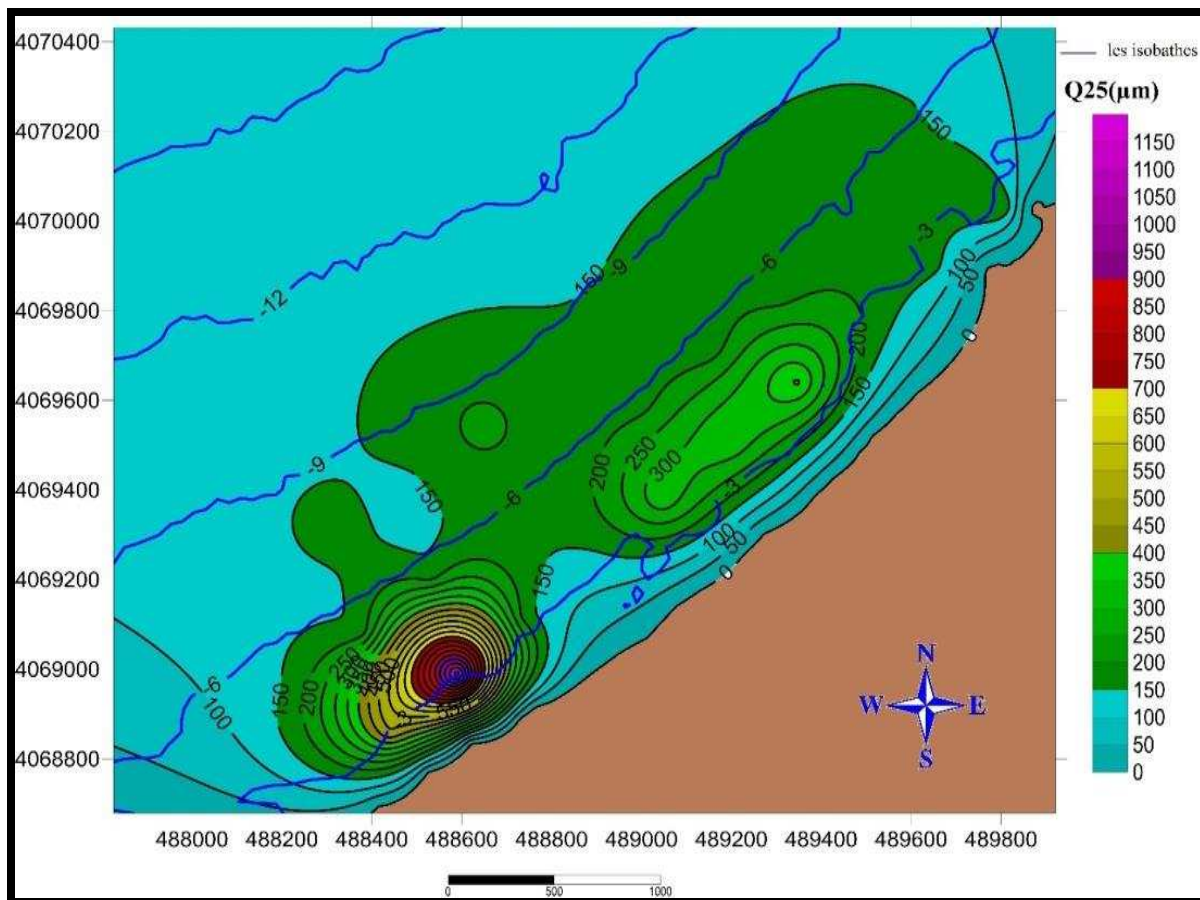


Figure n° 3.11:Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Club des pins (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

La figure ci dessus nous renseigne sur la répartition spatiale des déciles inférieurs à Q₂₅, on distingue 3 facies, le premier présent le long de la cote et se prolonge vers le large dans les extrémités compris entre 0 et 10 µm ; le second domine a partir environ de -1m et évolue vers le large, le diamètre varie entre 100 et 200 µm. Le dernier est répartiit en deux parties, limité entre environ -2m à- 6m, il comprend les diamètres entre 200 à 1500 µm correspondant à une forme sous marine particulière (des barres et des fosses plongeants).

d. Le quartile supérieur Q75

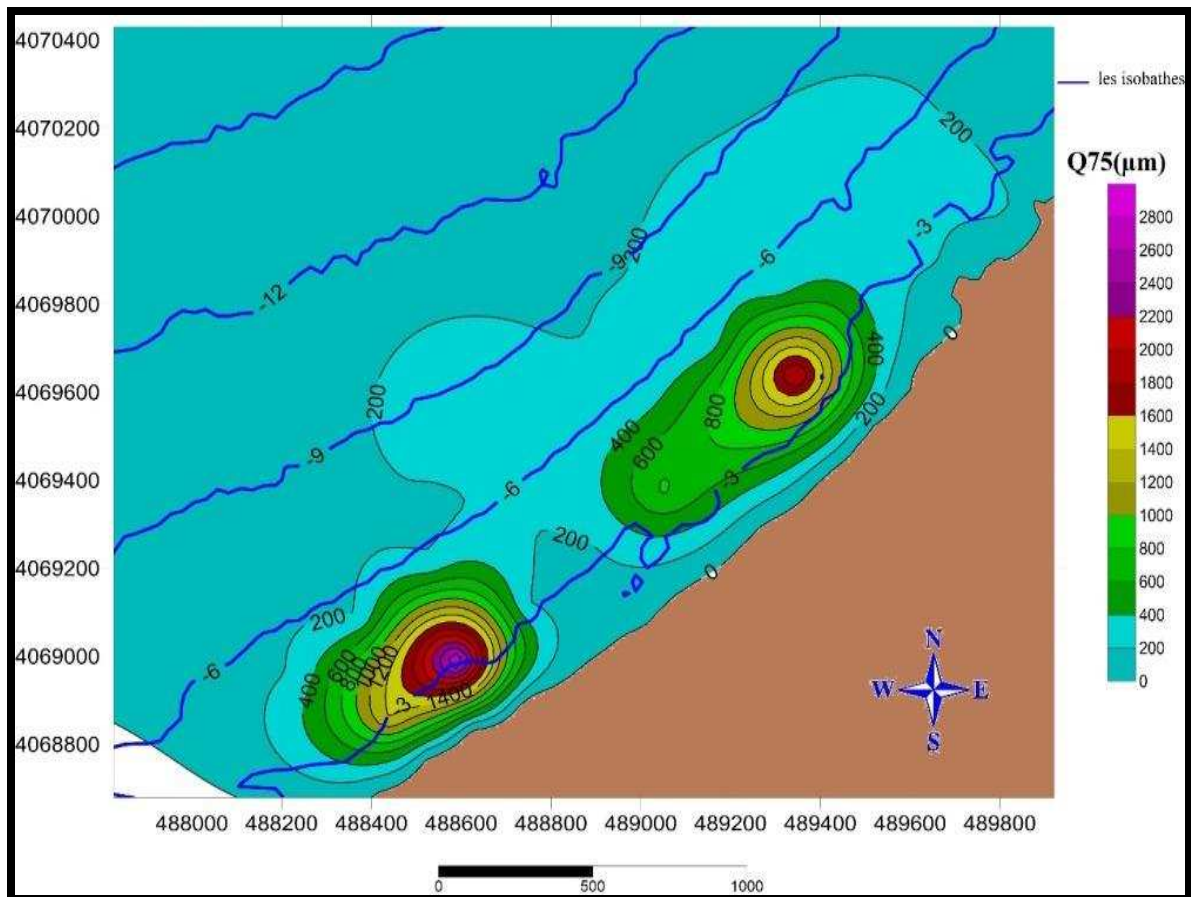


Figure n° 3.12: Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

La figure ci-dessus nous renseigne sur la répartition spatiale des quartiles supérieurs à Q75. Elle montre deux faciès différents ; le premier dominant, présent le long de la côte et évolue vers le large, son diamètre est compris entre 0 et 400 μm ; le second réparti en deux franges, présent entre environ -2 m jusqu'à -5 m, son diamètre évolue entre 400 et 2800 μm vers le centre des formes circulaires correspondant aux barres et aux fosses plongées.

e. La moyen D50 :

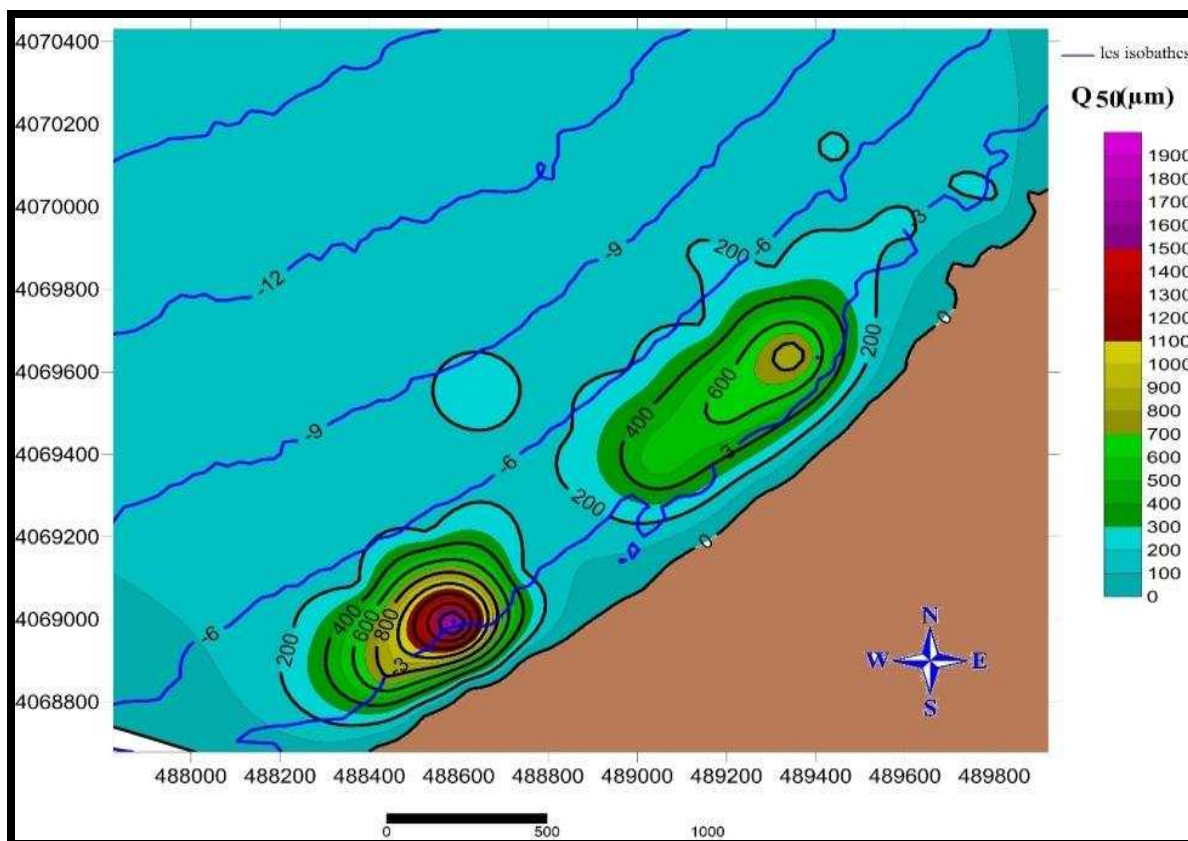


Figure n° 3.13 : Répartition des médianes (D50) dans la région de Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaires

La figure ci dessus présente la répartition spatiale de la médiane D₅₀, qui garde la forme circulaire comme celle des présentations précédentes. On remarque la dominance du sable dont la médiane vari entre 100 et 200 µm de 1m de profondeur vers le large, ainsi la médiane augmente vers le centre d'un facies qui se sépare en deux frange a partir de 200 jusqu'a 1600 µm a une profondeur qui varie entre -2 à -5 m (voir -6 à -9 m) cela est due a la présence des formes sous marine correspondant a des barres et des fosse sableuse.

C /Les indice :

a. Indice d'asymétrie (Sk) :

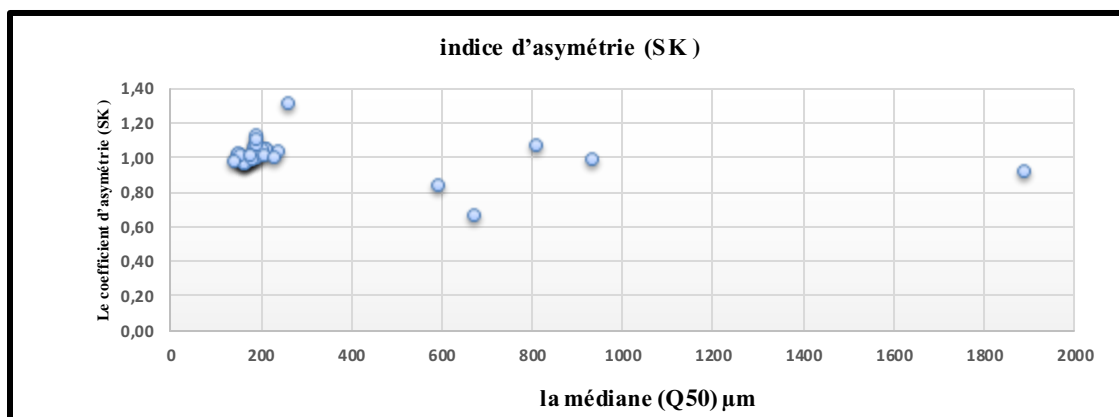


Figure n° 3.14 : Relation entre l'indice d'asymétrie S_k et la médiane, (Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

Les valeurs de cet indice sont pour la majorité égale ou proche de 1. Indiquant une symétrie du classement vers les particules fines, à l'exception de quelques stations de prélèvements, qui présentent une symétrie de classement vers les grossiers. (décalage et classement maximum vers les particules fines).

b. L'indices de classement :

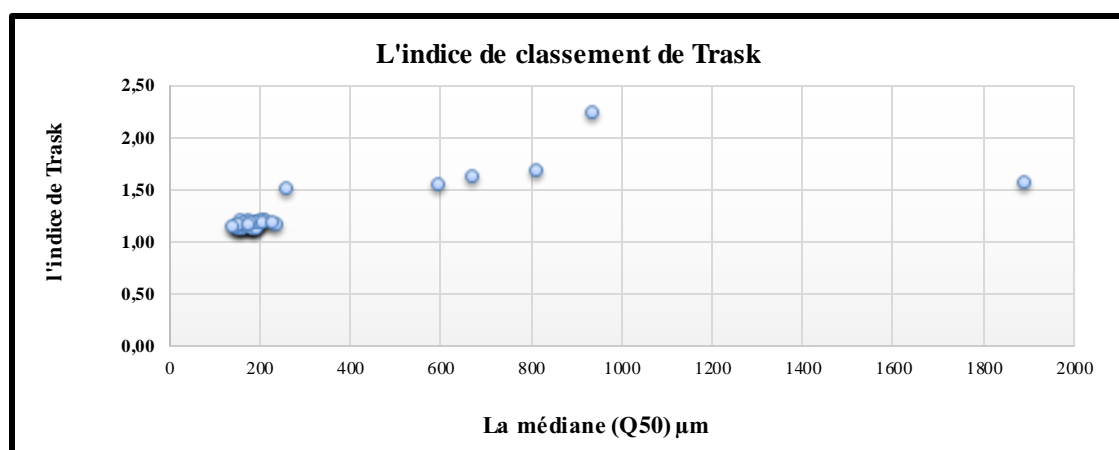


Figure n° 3.15: Relation entre l'indice de classement S_i et la médiane, (Benallel & Dernoun 2015)

Commentaire :

Dans la zone de Club des Pins, la plus part des valeurs de S_0 varient entre 1 et 1,5. Ces résultats traduisent un sédiment mal trié, à l'exception de quelques stations de prélèvements, qui présentent un sédiment trié mal trié.

c. L'indice d'angulosité K :

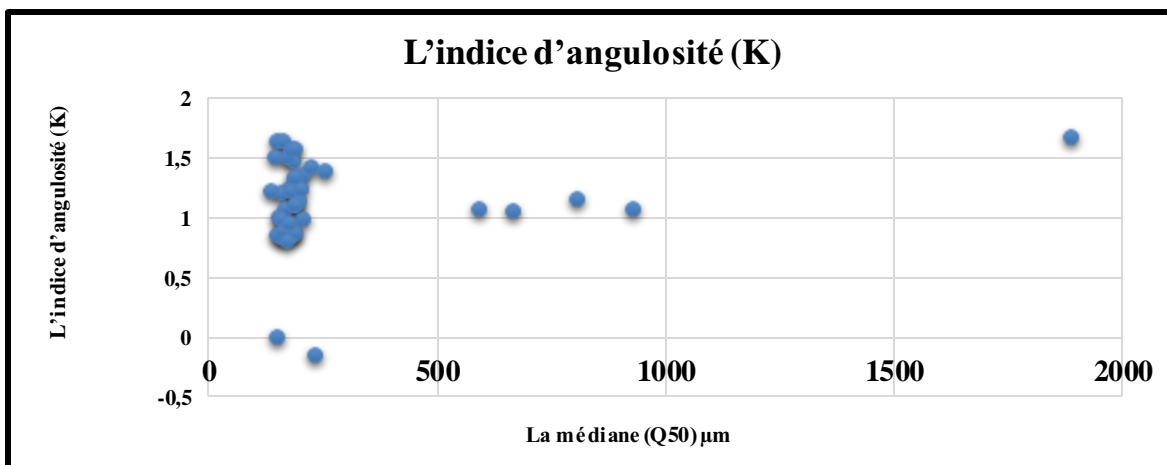


Figure n° 3.16: Relation entre L'indice d'angulosité K et la médiane, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

La plus part des valeurs de l'indice d'angulosité K varient 0.75 et 1.75, cela indique que les courbe granulométrique sont accusée à très accusée.

d. L'indice hydrodynamique (FH) :

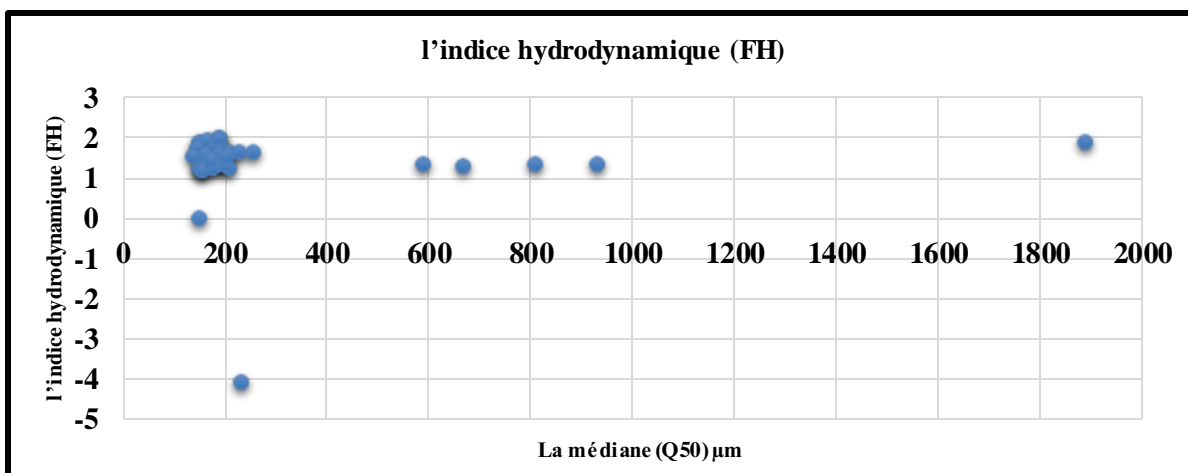


Figure n° 3.17: Relation entre L'indice d'hydrodynamique FH et la médiane, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

Dans notre zone les valeurs de l'indice hydrodynamique FH varie entre 1 et 2, cela indique que les sédiments sont en cours de transport par les masses d'eau fortes.k2

3.1.8.3. Analyse modale :

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

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 faciès granulométriques des sables fins (26 stations sur 39 ont un mode de 160 μ m), correspondant à un seul mode granulométrique représentatif des sédiments. L'historgramme qui suit illustre les fréquences des répartitions dimensionnelles des modes.

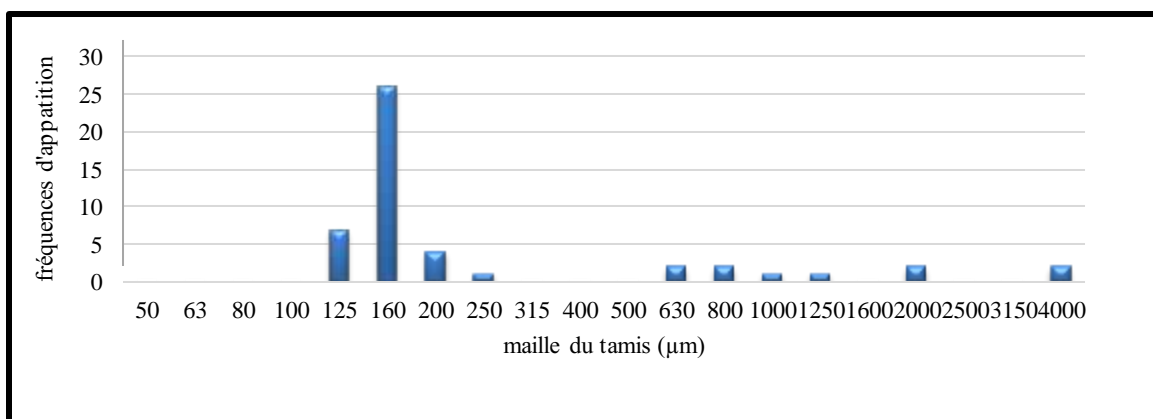


Figure n°3.18: Fréquences d'apparition modale, (Benallel & Dernoun 2015).

L'image ci-après représente la répartition spatiale du mode 160 μ m dans la zone d'étude.

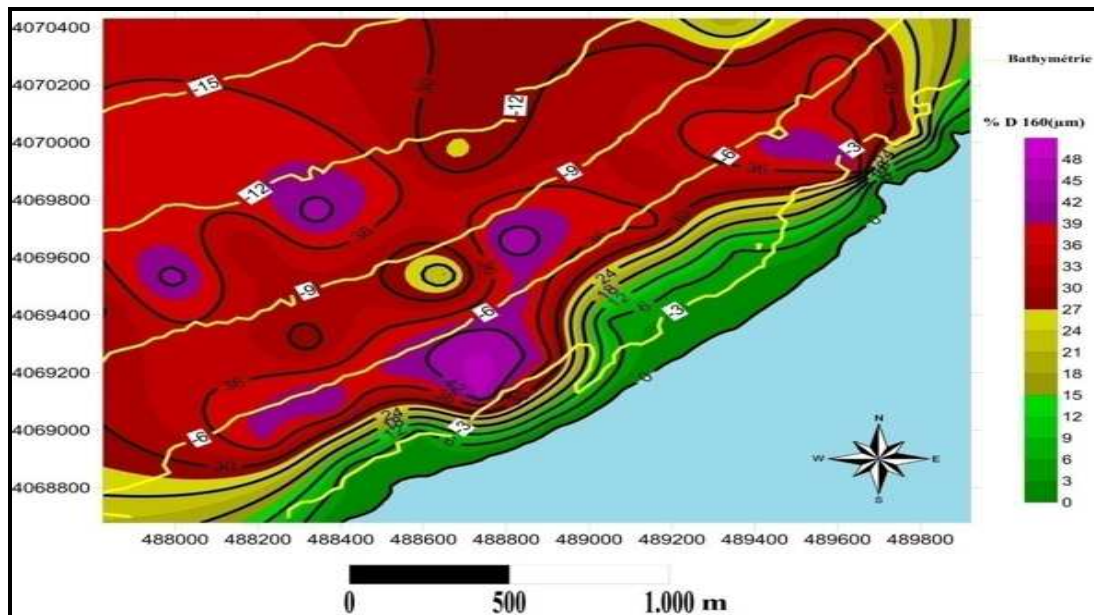


Figure n° 3.19: Répartition du mode 160 μ m dans Club des Pins, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

Le mode 160 μ m est le plus largement représenté dans la zone d'étude, il se concentre beaucoup plus à l'Ouest de la zone. La répartition de ce mode suit un gradient croissant, les plus hauts pourcentages se situent au centre de la zone de prélèvement ou ils

apparaissent de façon hétérogène, puis tendent à diminuer vers le large. En conditions hydrodynamiques constantes, il est normal de trouver une répartition qui tend à distribuer la fraction grossière vers la côte tandis que la fraction fine est transférée vers le large. Cependant, la distribution concentrique que présente la figure renseigne sur un hydrodynamisme qui dégrade d'intensité à l'approche du rivage.

2.1.8.4. L'analyse calcimétrique :

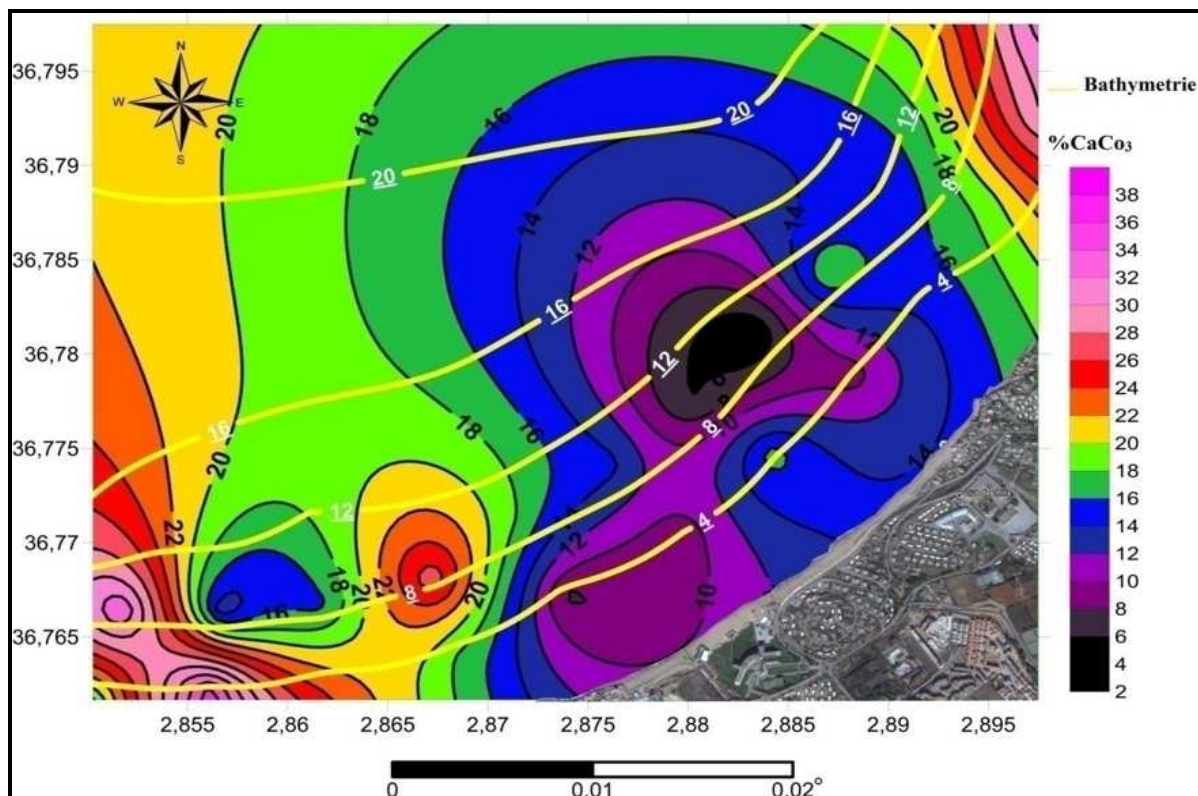


Figure n° 3.20 : Répartition spatiale du % de CaCO_3 , (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

Les sédiments littoraux des régions de basses latitudes sont à dominance carbonatée. La raison en est le faible apport silico-clastique venant du continent, dû aux conditions topographiques et climatiques, et surtout l'intensité de la production de carbonates d'origine biologique.

Les teneurs en calcite dans notre zone d'étude sont élevées, leur répartition augmente au fur à mesure qu'on part vers le large. À l'exception de quelques valeurs élevées (environ 37%) présentes dans la partie Ouest, et des valeurs faibles (au voisinage de 4%) présentes dans la partie Est à des profondeurs qui atteignent -8m.

En raison de leur poids faible par rapport aux poids des grains de sédiment les calcaires ne jouent pas un rôle important dans le transport sédimentaire.

Remarque : pour les résultats de l'analyse calcimétrique voir l'annexe F.

3.2. Suivi des transits sédimentaires résiduels par l'analyse spatiale des variations granulométriques : Modèle de Gao et Collins (1991).

À partir des caractéristiques granulométriques des sédiments, la possibilité de description des processus sédimentaires et d'identification de leurs environnements, demeure aujourd'hui encore, un sujet de controverse. Différentes méthodes sont à la base de la détermination directionnelle et du sens des transits sédimentaires. Les gradients granulométriques des domaines externes vers les zones internes abritées suggèrent une direction générale des transits sédimentaires sur le fond.

Les indices ponctuels ou globaux (diminution de la taille moyenne des grains ou évolution de l'indice du tri) et leur croisement à travers des diagrammes binaires ou ternaires (*Folk et Ward.*, 1957; *Passessa.*, 1957; *Galichon.*, 1984) fournissent des éléments de différenciation des environnements hydrosédimentaires et peuvent être indicatifs de la direction potentielle et résiduelle des transports réels.

L'utilisation du modèle proposé par McLaren (1981) et modifié par Gao et Collins (1991, 1992), offre une perspective dimensionnelle nouvelle aux études de dynamique sédimentaire.

3.2.1. Fondements de la méthode :

Un sédiment marin ou littoral peut-être considéré comme la combinaison des effets d'un régime hydrodynamique appliqué à un stock sédimentaire disponible.

Pour McLaren (1981), les changements dans la distribution granulométrique d'un sédiment depuis la région source jusqu'au moment du dépôt dépendent des processus sédimentaires (érosion, transport, tri, dépôt sélectif ou partiel et dépôt total) et marquent de leur empreinte les caractéristiques granulaires.

D'abord intuitive et fondée sur des observations empiriques (*McLaren.*, 1981; *McLaren et Bowles.*, 1985), la méthode proposée par McLaren est basée sur la comparaison de 3 paramètres statistiques entre deux prélèvements. Par comparaison de n paramètres, 2^n cas possibles peuvent apparaître (tableau 3.6). Avec les paramètres Moyenne (M_z), indice de dispersion (S_i) ou indice de classement et indice de dissymétrie (S_k), le nombre de cas possibles dans la comparaison entre deux points est donc de 8.

Tableau n° 3.6: Différents cas obtenus par comparaison entre deux points (a et b) de la combinaison de trois paramètres statistiques (M_z , S_o , et S_K).

cas	Définition des cas en unité phi
1	$M_{za} > M_{zb}$, $S_{ia} < S_{ib}$, $S_{ka} < S_{kb}$
2	$M_{za} < M_{zb}$, $S_{ia} < S_{ib}$, $S_{ka} > S_{kb}$
3	$M_{za} < M_{zb}$, $S_{ia} > S_{ib}$, $S_{ka} > S_{kb}$
4	$M_{za} > M_{zb}$, $S_{ia} > S_{ib}$, $S_{ka} < S_{kb}$
5	$M_{za} > M_{zb}$, $S_{ia} < S_{ib}$, $S_{ka} > S_{kb}$
6	$M_{za} < M_{zb}$, $S_{ia} < S_{ib}$, $S_{ka} < S_{kb}$
7	$M_{za} < M_{zb}$, $S_{ia} > S_{ib}$, $S_{ka} < S_{kb}$
8	$M_{za} > M_{zb}$, $S_{ia} > S_{ib}$, $S_{ka} > S_{kb}$

Les expériences de McLaren et Bowles (1985) en canal hydraulique sur des sédiments sources dont la distribution granulométrique est parfaitement contrôlée, leur permettent de montrer que la relation entre la vitesse croissante des courants et le départ de particules fines du sédiment originel ne constitue pas une fonction monotone.

Ainsi bien que la probabilité d'apparition de chacun des cas est statistiquement de 1/8, ces deux auteurs d'après leurs expériences en laboratoire et sur le terrain, ont considéré deux cas seulement (cas 1 et 2) réellement significatif d'un transport sédimentaire. Pour chacun des deux cas, l'énergie diminue depuis la source jusqu'au dépôt et le tri s'améliore dans la direction du transport.

- Le **cas 1** signifie que le dépôt résultant du transport est plus grossier, mieux classé et d'asymétrie plus positive. Ce cas est nommé en abrégé CB+.
- Le **cas 2** correspond à un dépôt plus fin, mieux trié et d'asymétrie plus négative. Ce cas est nommé en abrégé FB-.

3.2.2. Protocole de traitement des données :

L'originalité de cette approche réside dans l'utilisation combinée de ces trois paramètres statistiques au sein de la procédure de traitement analytique des données. L'objectif est de mettre en évidence les filiations entre les échantillons prélevés selon une maille à pas régulier, et de les exprimer ensuite sous la forme de vecteurs symbolisant le transport sédimentaire.

- ✓ Tout d'abord, les paramètres d'un échantillon sont comparés avec ceux des points environnants tels que la distance entre les deux points soit inférieure ou égale à une Distance Critique d'échantillonnage (Dcr) qui correspond à la distance maximum séparant deux points adjacents. Un vecteur de grandeur unitaire ou vecteur de tendance $\vec{r}(x,y)$ est dessiné à chaque fois que l'un des 3 cas choisis (1, 2 ou 1/2) est observé entre 2 points (figure 3.21).
- ✓ Ensuite, si un point d'échantillonnage génère des vecteurs dans plusieurs directions, une sommation finale est faite (figure 3.21) de manière à obtenir un vecteur unique $\vec{R}(x,y)$ résultant tel que :

$$\vec{R}(x,y) = \sum_1^n \vec{r}(x,y)_i \dots \dots \dots (3.8)$$

. Avec :

n : nombre de vecteurs tendances.

$\vec{r}(x,y)$: vecteur tendance.

$\vec{R}(x,y)$: vecteur résultant.

(x,y) : coordonnées du vecteur.

Enfin, une opération de filtrage est appliquée pour réduire une nouvelle fois "le bruit" causé par les vecteurs dont les directions sont incohérentes (figure 3.21). Les vectrices sommations de chaque point sont additionnées au vecteur des points voisins situés toujours

à une distance comprise dans D_{cr} . Les vecteurs de transport $\vec{R}_{av}(x,y)$ ainsi définis, s'écrivent :

$$\vec{R}_{av}(x,y) = \frac{1}{K+1} \left(\vec{r}(x,y)_i + \sum_1^k \vec{R}_j \right) \dots \dots \dots (3.9)$$

\vec{R}_j est la vectrice sommation obtenue sur la base de l'équation (3.8) et k le nombre total de sites pris en compte pour le calcul sur un point.

Avec :

K : nombre totale de sites voisins ayant impérativement un vecteur

\vec{R}_j : Les vecteurs voisins.

$\vec{r}(x,y)_i$: Le vecteur des points sélectionnés.

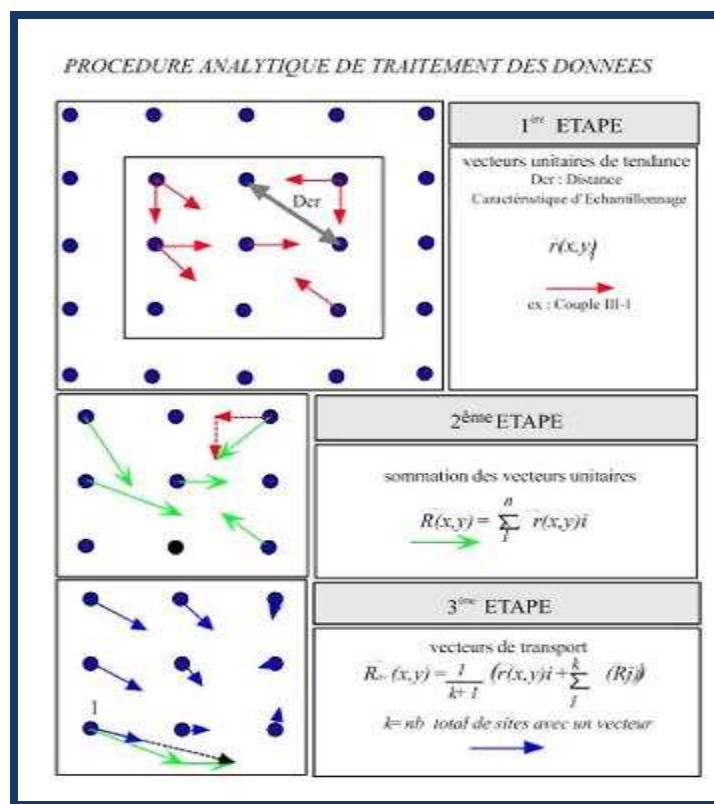


Figure n° 3.21 : Différentes étapes de la procédure analytique de la méthode de Gao et Collins (1992).

3.2.3. Domaines d'application et fraction sédimentaire concernée :

Les champs d'application de cette méthode sont assez larges; elle a été testée sur des environnements hydrosédimentaires très divers:

- estuaires (Mc Laren & Bowles., 1985; Wu & Shan., 1999; Mallet et al., 2000b),
- baies (Gao & Collins., 1995; Ehrhold., 1999; Wu & Shan., 1999),
- barres sableuses intertidales (Pedreros et al., 1996; Stepanian, 1997),
- bancs sableux tidaux (Gao et al., 1994; Mallet et al., 2000a; Vanwesenbeeck & Lanckneus., 2000),
- dunes sous-marines (Le Bot., 2001; Le Bot et al., 2001),

- ou encore pour l'étude de la dynamique des sédiments fins (*Gao & Collins.*, 1992; *Carrigny & Sanchez.*, 1999; *Carrigny et al.*, 2001).

3.2.4. Limites de calcul des tendances de transport sédimentaire :

- La pertinence du choix de Dcr
- Une grille non uniforme peut induire des erreurs dans la définition des directions des vecteurs de transport en fonction du nombre de stations voisines comprises dans le cercle de rayon Dcr (*Le Roux*, 1994a, 1994b in *Mezouar*, 2009).

3.2.5. Application du modèle dans la zone de club des pins:

3.2.5.1. La préparation des données d'entrées :

Une grille d'entrée doit être mise avant l'utilisation de logiciel et doit être préparée par ordre et de la manière suivante :

	A	B	C	D	E	F
1	49	1	400	Mz	S0	SK
2	1	488444	4068696	1 892,50	1,52	1,01
3	2	488221	4068958	191,00	1,17	1,01
4	3	487826	4069423	153,00	1,15	1,02
5	4	488438	4068857	955,00	1,68	1,07
6	5	488159	4069186	169,00	1,17	0,99
7	6	488601	4068816	450,00	1,66	1,22
8	7	488376	4069085	197,00	1,15	1,08
9	8	487995	4069531	162,00	1,15	0,98
10	9	488590	4068988	2 012,50	1,58	0,93
11	10	488322	4069303	159,00	1,20	1,02
12	11	488785	4068913	447,50	1,73	1,62
13	12	488531	4069211	205,00	1,19	1,13
14	13	488167	4069640	151,00	1,13	1,00
15	14	488742	4069118	198,00	1,15	1,07
16	15	488485	4069420	177,50	1,20	0,99
17	16	488945	4069034	340,00	1,45	1,34
18	17	488686	4069337	180,00	1,15	1,00

Figure n° 3.22 : La grille d'entrée dans le model GSTA

1 : Nombre des stations de prélèvement.

2 : Coefficient qui dépend du type des coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques en prend le numéro un (1).

3 : Distance critique (Dcr) ; est pris comme l'intervalle de l'échantillonnage spatial, maximal et spécifique. Les échantillons à comparer sont considérés comme étant des voisins, s'ils sont égaux ou inférieurs à cette distance.

4 : indices granulométriques (Mz, S₀ et Ski).

5 : les coordonnées en format métriques (X, Y).

3.2.5.2. Application du GSTA :

Le logiciel GSTA est un programme destiné à l'analyse du transport sédimentaire. Son application est facile, il suffit d'introduire un fichier input contenant le nombre de stations, les coordonnées géographiques et les indices granulométriques. Ce fichier est sous format (*.dat). Le fichier output qu'on obtient, contient les coordonnées des stations avec les directions de transport sédimentaire. (Pour plus de détail voir l'Annexe G)

Remarque : Le logiciel GSTA exige que les données d'entrée soit sous la format (*.dat), le logiciel surfer permet de convertir les données de format Excel (*.xls) en format (*.dat).

3.2.5.3. Exploitation des données de sortie:

Les résultats doivent être traités avec Excel, puis exploités avec le logiciel Surfer, à l'aide de la fonction «Vecteur map», qui permet de dessiner une carte des vecteurs modélisant le transport sédimentaire.

3.2.6. Les résultats de la modélisation du transport sédimentaire :

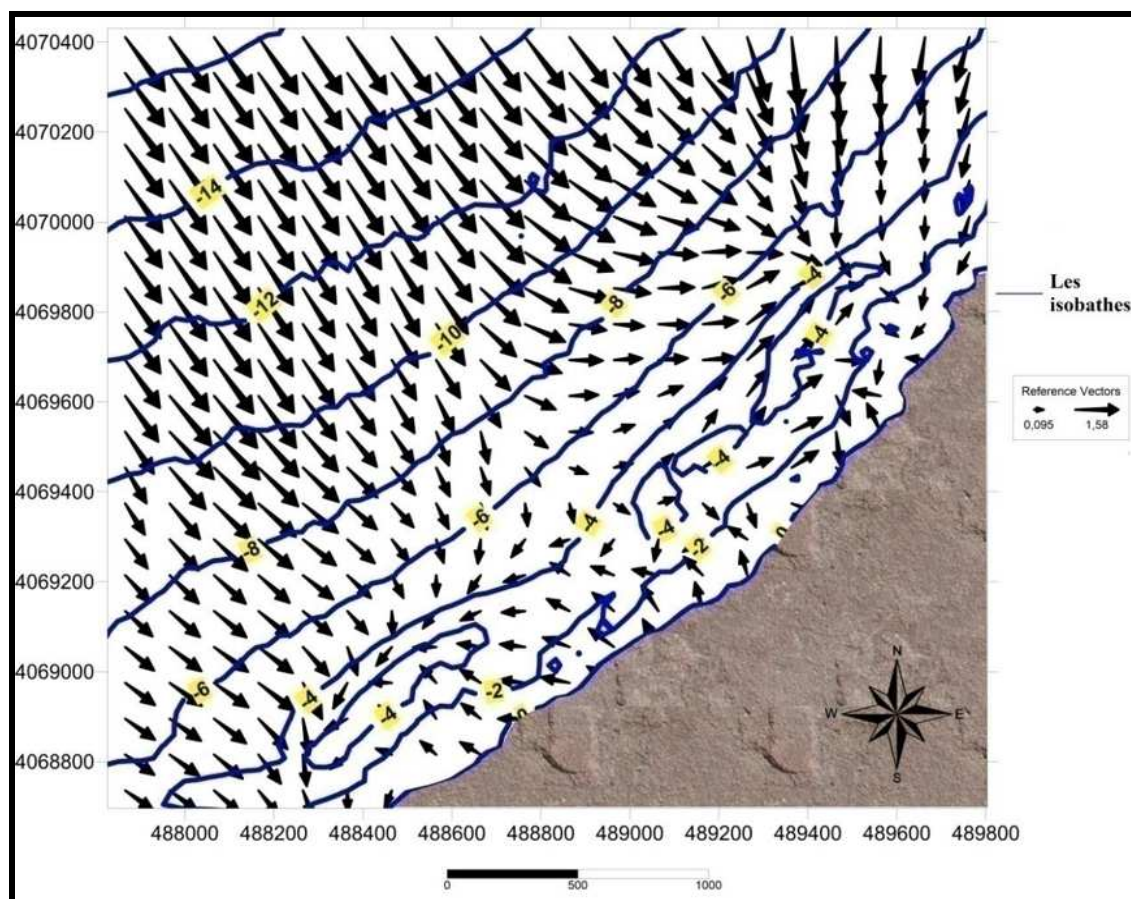


Figure n° 3.23: Modélisation du transport sédimentaire dans la zone du Club des pins, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

Selon la carte ci-dessus qui représente le sens et la direction du transport sédimentaire, on peut différencier deux zones bien distinctes :

La première, celle qui se situe à l'ouest de notre zone d'étude ; ou il y a une tendance de perte de sédiment, c'est la zone abritée par le presque île de Sidi Fredj donc n'est pas influencée par les houles de secteur ouest ; mais plutôt les houles de Nord-Ouest transversales qui sont responsables d'un transport sédimentaire vers le large.

On remarque au-delà de -6 de profondeur, que le transport semble perturbé, tous cela indique probablement le début de déferlement ou le fond influe sur les creux des vagues, qui définissent des formes de circulation plus au moins tourbillonnaires.

Dans la deuxième zone située à l'est de notre zone d'étude, on remarque que les sédiments ont tendance à s'accumuler vers la côte, c'est la zone exposée à la houle Ouest, qui va se réfracter et arriver au Club des Pins ramenant les sédiments du large vers la côte.

3.3. Quantification des transferts sédimentaires longitudinaux (formule LCHF).

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., 1993).

3.3.1. 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(1) de Sauvage de Saint-Marc et de Vincent « LCHF » :

$$Q = K/C g H_s^2 T. t(\alpha) \dots \dots \dots (3.10)$$

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.

3.3.1.1. 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 :

➤ 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.

➤ 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.

➤ 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.

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

La fonction $f(\alpha)$ liée à la l'obliquité de la houle :

$$f(\alpha) = \text{Sin } 7/4 (\alpha) \dots \dots \dots (3.11)$$

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, N270T6, N270T8, N270T10, 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 avec AutoCAD 2014 (Annexe I).

3.3.2. Résultats :

A partir des résultats obtenus lors de la réfraction ; nous avons 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.

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

Tableau n° 3.7 : Moyenne des résultats obtenus par direction et par période.

Direction	N360			N45			N315			N270		
	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)	Hs (m)	t (s)	Angle d'arrivée (°)
6,00	0,92	4,95	353,60	0,82	4,84	24,62	1,07	5,01	314,63	1,01	4,90	282,71
8,00	2,36	6,54	351,73	1,99	6,61	18,30	2,47	6,65	317,37	2,37	6,65	285,70
10,00	4,02	8,59	350,51	3,39	8,58	8,47	3,97	8,55	317,91	4,13	8,60	289,19

En utilisant le tableau du document de l'U.S Naval Weather Command intitulé « summary of Synoptique Meteorological observation » SSMO tome II, Zone Algies (1963-1970) qui correspond à 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° 3.8: calcul des fréquences d'observation $f(\%)$ et de la durée de la houle t.

Direction	N360		N45		N315		N270	
	f(%)	t (s)	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	13,2325	4 173 001,20
8	0,50	157 324,46	0,57	180 434,27	1,49	469 306,88	0,3775	119 048,40
10	0,02	6 518,15	0,03	8 888,39	0,01	1 777,68	0,01	3 153,60

Tableau n° 3.9 : Calcul du bilan énergétique annuel du transport.

Direction	N360		N45		N315		N270	
	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(Hs) ² * T* t * (m ² s ²)	(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	6 747 959,38	11 969 273,82	7 718 736,75	20 987 442,88				
8	5 736 148,13	4 745 584,99	18 969 686,94	4 445 598,23				
10	905 880,63	876 371,34	239 996,94	461 788,93				
Total	13 389 988,13	17 591 230,15	26 928 420,63	25 894 830,04				
Total Général = 83 804 468,95 (m²s²)								

3.3.2.2. Détermination de l'angle α :

L'angle a été déterminé avec AutoCAD 2014, l'illustration est représentée dans l'annexe les angles obtenus ainsi que leurs fonctions sont récapitulés dans le tableau ci après:

Tableau n° 3.10: Calcul des angles α et des fonctions $f(\alpha)$ par direction et par période

Direction	N360		N45		N315		N270	
	α°	$f(\alpha)$	α°	$f(\alpha)$	α°	$f(\alpha)$	α°	$f(\alpha)$
6	36	0,891	63	0,938	-1	-0,031	-31	-0,811
8	32	0,829	59	0,973	-2	-0,061	-35	-0,876
10	30	0,793	47	0,991	-4	-0,122	-36	-0,891

Tableau n° 3.11: Tableau récapitulative des paramètres constants

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

3.3.3. 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°3.12: Estimation du transit sédimentaire global

Direction	N360	N45	N315	N270	Total par période Q(m ³ /an)
période	Q(m ³ /an)	Q(m ³ /an)	Q(m ³ /an)	Q(m ³ /an)	
6	4915,20	9180,09	-192,70	-13 924,37	-21,78
8	3887,61	3776,24	-946,72	-3 186,27	3530,86
10	587,52	709,89	-23,91	-336,37	937,14
T/direct	9390,33	13666,22	-1163,33	-17447,00	4446,22
TOTAL GENERAL 41666,88 m³/an					
Volume résultante 4446,22m³/an					

3.3.4. Interprétation:

Le transit sédimentaire a été estimé à 4446.22m³/an ; allant de l'est vers l'ouest, cette quantité de sable transportait englobe les sédiments se trouvant en mer ainsi que ceux de la plage du club des pin qui se traduit par des forme d'érosion observé le long de la plage, en effet, cette drive qui est due à la prédominance des vent du secteur Ouest induit des courant de retour qui arrachent les sédiments de la plage et les déposent au large.

3.4. Évolution du trait de côte :

Il n'y a pas de définition unique du trait de côte. Ce terme vise à identifier la limite entre la terre et la mer, mais cette notion unidimensionnelle n'est qu'une facette d'une limite multidimensionnelle. Le trait de côte est mobile dans les trois dimensions spatiales avec des évolutions temporelles de fréquences diverses : journalière, saisonnière, annuelle, etc. En effet c'est une limite de référence réelle en tant que séparation linéaire entre les domaines terrestre et marin, le trait de côte est pourtant une notion ambiguë tant le passage de l'un vers l'autre est progressif dans l'espace et mobile dans le temps.

Le phénomène d'érosion côtière est devenu un véritable enjeu socio-économique qui menace la majorité des côtes à l'échelle du globe. Le littoral de la wilaya d'Alger, à son tour, n'a pas échappé à cette problématique connue unanimement par le recul du trait de côte.

Les moyens (terrestres) utilisés pour la matérialisation et le repérage du trait de côte, même s'ils représentent un progrès très significatif, ne fournissent toute fois qu'une information tronquée. Si le champ d'observation couvre aujourd'hui la dune et la plage aérienne, qui dispose désormais d'un système de repérage précis et devrait en principe être régulièrement suivi, la plage immergée reste inaccessible.

3.4.1. Évolution du trait de cote de la plage de club des pins depuis 1970 (LEM 1987) :

En 1970, des dégâts sont apparus à l'Est de la villa de Moretti où une partie du chemin de promenade était endommagée, une protection de première urgence était entreprise avec un cordon d'enrochements qui a donné pleine satisfaction.

En 1972, après la mise en place des ouvrages de protection, une plage s'est constituée dans l'ombre, dont le profil en plan s'est stabilisé depuis. Parallèlement au niveau de l'hôtel El Menzeh et el Riyadh, une diminution dans le profil est apparue, ayant occasionné au cours de l'hiver 81-82 une variation de plus de deux mètres en hauteur de la plage occasionnant une destruction d'une partie du front de l'hôtel el Menzeh.

L'hiver 83-84 s'est montré particulièrement sévère quant au régime de houle avec plusieurs tempêtes de directions NNW à Nord dont celle du 9 février 1984. Les hauteurs de houle ont été estimées visuellement à Alger 5 à 6 m ayant occasionné de forts dégâts à l'Est du pays, notamment aux digues des ports de Skikda et d'El Kala.

Au niveau de l'hôtel El Menzeh, le pied du talus et une dune proche se sont gravement dégradés, nécessitant une intervention ponctuelle d'urgence en enrochements. Une étude de protection provisoire constituée d'un rideau palplanches protégé par des enrochements a été entreprise et réalisée par la SONATRAM.

Au niveau de l'hôtel El Riyadh, l'escalier en bois et une partie du talus de sable sont partis, sans pour autant que des menaces soient à craindre. Par contre au niveau Est de Club des Pins, les tempêtes de Nord Ouest on crée une érosion locale, menaçant la route existante. Au niveau du village touristique de Moretti, mise à part la disparition des 50 derniers

mètres du chemin de promenade au pied du Night club .El Yasmina (disparition dont la date est impossible à préciser), aucun dégât supplémentaire n'est apparu.

3.4.2. Évolution du trait de cotes de la plage de club des pins depuis 2002 à 2015 :

Pour son suivi dans notre zone d'étude ; nous avons utilisé des images satellitaire de Google Earth (même jour) allant de 2002 à 2015 (2002 ; 2006 ; 2011; 2015) avec lesquelles on a pu digitaliser la ligne de côte pour les 4 années et ce en utilisant le Mapinfo.

3.4.2.1. Description du logiciel :

MapInfo Professional est un SIG (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.

3.4.2.2. Manipulation :

1-à l'aide de google earth encadrer la zone d'étude en prenant le soin d'élargir un peu 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 apparaîtra 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 : UTMWGS 84 Zone 31 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 récentes et en 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.

3.4.2.3. Résultats et interprétation :

La superposition des lignes de côte ont permis d'obtenir le support visuel suivant (Figure n° 3.24)



Figure n° 3.24 : Carte de l'évolution du trait de côte de club des pins entre 2002 et 2015, (Benallel & Dernoun 2015).

Commentaire :

L'érosion de la plage s'est poursuivie au cours de la période de 1956 à 1995 et le trait de côte a continué de progresser lui aussi vers la terre (voir Annexe J).

La figure ci dessus représente l'évolution de trait dans notre zone d'étude nous avons remarqué un recule plus ou moins important le long de la plage, à partir de 2002, le taux de recul de la ligne de rivage est de -44.7 m soit (-3.34 m/an) au niveau de la partie Est de notre zone d'étude. La vitesse de régression de la plage diminue au fur et à mesure en allant vers l'Ouest jusqu'à l'arrivé au transect n° 4 avec une vitesse minimal de recul de -0.40 m/an (tableau n° 3.14.) puis elle augmente jusqu'à 21.8m soit (1.6m/an). Cette érosion a entraîné un recul du trait de l'ordre de -26m avec une vitesse de recul moyen de -2.01 m/an.

Tableau n° 3.13 : Distances et vitesse de recul du trait de côte entre 2002 et 2015 en fonction des Transects.

N° de transect	Taux de recule entre 2002-2015 (m)	Vitesse de recule entre 2002-2015 (m/an)
1	44,7	3,43846154
2	29,8	2,29230769
3	29,2	2,24615385
4	5,3	0,40769231
5	21,8	1,67692308
	Moyenne	2,01230769

CHAPITRE 04 :
ÉTUDES DE LA MATIÈRE EN
SUSPENSION (MES) DANS LE
DOMAINE CÔTIER.

Chapitre 04 : Études de la matière en suspension (MES) dans le domaine côtier.

4.1. Principe :

Cette mesure consiste à filtrer l'eau sur une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à $0,45 \mu\text{m}$ (Aminot et Chausse-Pied., 1983). La différence de poids des filtres avant et après filtration permet de connaître la masse sèche totale de matières en suspension dans le volume filtré correspondant. La norme française T90-105 AFNOR (1972) recommande l'utilisation des disques filtrants en fibre de verre (GF/F) de $0,45$ de porosité pour les eaux côtières et les eaux du large (Aminot et Chausse-Pied, 1983).

4.2. Matériel utilisé :

- Dispositif de filtration de marque Millipore®.
- Disques filtrants en fibre de verre (filtres Whatman® GF/F).
- Four à moufle de marque Wisetherm®.
- Étuve de type WTB BINDER®.
- Balance de précision de marque Shimadzu® modèle AUW220D.
- Éprouvette graduée de 250 ml et des pinces.

4.3. Mode opératoire :

4.3.1. Préparation des filtres :

- Les filtres GF/F sont mis dans un four à moufle de marque Wisetherm à $450 \text{ }^\circ\text{C}$ pendant une heure, ce traitement renforce la rigidité et la solidité des membranes, les filtres sont ensuite rincés à l'eau distillée, puis séchés à l'étuve pendant 2 heures à $70 \text{ }^\circ\text{C}$.
- Placer chaque filtre dans une boîte à filtre préalablement étiquetée, et placer dans un dessiccateur pour refroidir.
- Peser le filtre pour avoir P1 en mg.
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte, à l'abri de la poussière.

4.3.2. Filtration de l'eau de mer :

Après la sortie, la filtration doit être effectuée le lendemain. Ou bien à bord du navire juste après l'échantillonnage (figure 4.38).

Ainsi cette étape consiste à :

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration.

- Mesurer aussitôt le volume à filtrer (VF= 250 ml).
- Placer un filtre et le centrer dans le dispositif de filtration.
- Verser l'échantillon sur le filtre et appliquer le vide et filtrer progressivement tout le volume mesuré.
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec.
- Remettre chaque filtre dans sa boîte numérotée.
- Mettre les boîtes à sécher dans l'étuve.

4.3.3. Séchage et pesée des filtres :

- Mettre les boîtes contenant les filtres, sans le couvercle, dans une étuve exempte de poussières à 70 °C pendant 2 h (*Apha.*,1980 in *Aminot et Chausse-Pied.*, 1983).
- Laisser refroidir dans un dessiccateur et n'en sortir les filtres que juste avant la pesée.
- Peser chaque filtre pour avoir un P2 en mg.



Figure n° 4.1: Dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.

4.4. Calculs et expression des résultats :

Le calcul de la concentration en MES s'est fait avec la formule suivante :

$$[\text{MES}] \text{ (mg/l)} = \frac{P2 - P1}{V}$$

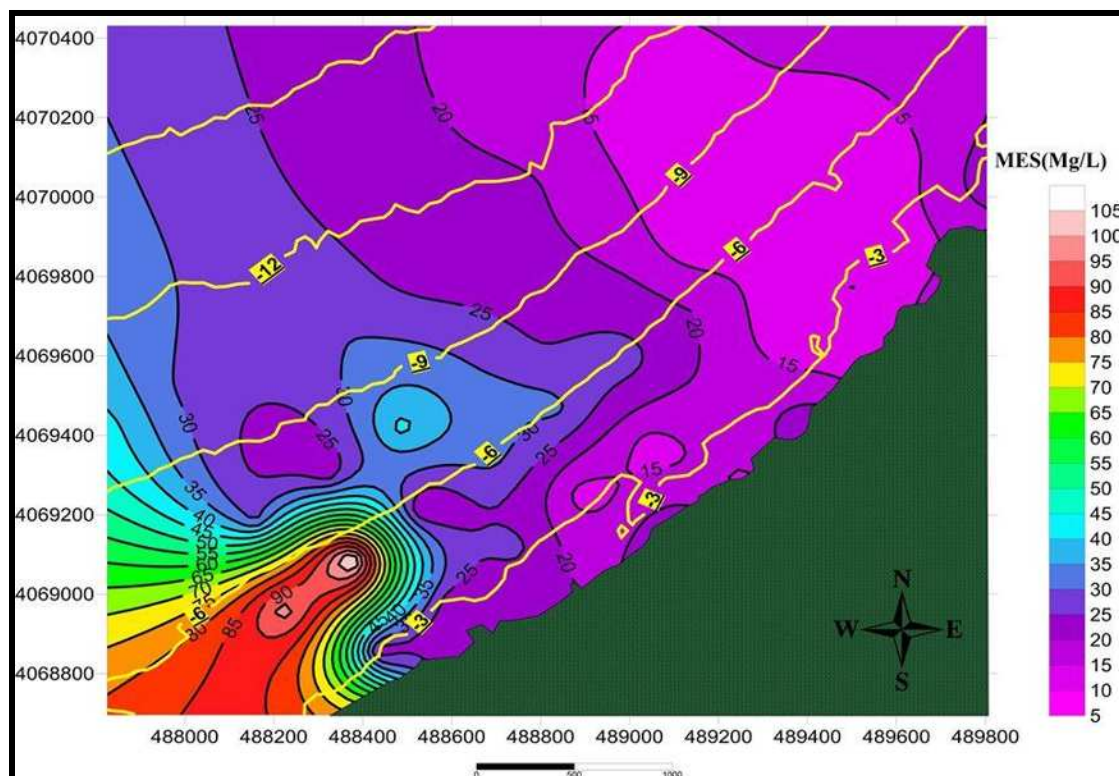
Avec :

P1 : Poids du filtre avant filtration (mg).

P2 : Poids du filtre après filtration (mg).

V : Volume filtré (L).

4.5. Cartographie et interprétation des résultats :



Commentaire :

Le teneur moyenne en matière en suspension dans la zone de club des pins à la surface de l'eau à été de 22.30 mg/L avec un minimum de 9.82 mg/L et un maximum de 107.92 mg/L, la distribution spatiale de ce paramètre montre que les teneurs les plus élevées en MES se trouvent dans la partie OUEST de la zone d'études ainsi on remarque que la partie EST referment les teneurs les moins importantes.

Les MES présentes en zones côtières résultent principalement des apports fluviatiles, de l'érosion côtière et de la production biologique.

CONCLUSION

Conclusion :

Pour conclure, Une stratégie d'étude basée sur la modélisation numérique pour l'analyse du site de la plage de club des pins a été adoptée. Une collecte de données a été faite à partir des compagnes de terrain du LEM, mais aussi à travers une recherche bibliographique, et cela nous a permis l'acquisition des données.

L'étape suivante est l'exploitation des données acquises. Pour commencer on a réalisé l'étude bathymétrique nécessaire pour l'étude de la réfraction de la houle qui a révélé une morphologie sous marine particulière caractérisée par des isobathes régulières puis irrégulières en se rapprochant de la cote. Les profils effectués démontrent la présence des barres et des fosses disposées parallèlement à la côte dans les quatre mètres de profondeur, susceptibles d'influencer l'évolution hydrodynamique, et de ce fait l'effet érosif des vagues.

La description du forçage hydrodynamique qui caractérise la zone de club des pins, plus précisément la réfraction de la houle a été réalisé par le modèle SWAN et a démontré que la houle de secteur Ouest est la plus menaçante sur la zone, ce qui explique en partie le transit littoral. Elle a été prise en compte dans le dimensionnement des ouvrages de protection lors de l'étude réalisée par le LEM, ainsi que la houle de Nord-Ouest responsable de transport sédimentaire dans le profil, et par la suite de l'érosion de la plage.

Ensuite une étude du transit sédimentaire a été réalisée en deux approches, la première consiste à connaître le comportement des sédiments, pour cela on a utilisé le modèle GSTA, après avoir réalisé une étude sédimentologique où on a constaté la dominance d'un seul stock fin, ainsi que la répartition spatiale des sédiments obéit au schéma classique de la répartition en mer par une décroissance de la taille des particules de la côte vers le large.

Les résultats obtenus pour la modélisation du transport sédimentaire ont été satisfaisants, ce qui semble concorder avec les résultats obtenus au cours de notre étude, notamment dans la bathymétrie et la réfraction de la houle.

La seconde étant quantitative avec un débit plus ou moins faible a pour direction principale Est – Ouest.

Le suivi de l'évolution des traits de cote sur la plage de club des pins a fait ressortir que la récession des plages est un phénomène ancien, il met en évidence une action néfaste et successive de faits météorologiques, hydrodynamiques et humains. Cette érosion ne s'est pas atténuée au fil du temps, bien au contraire, elle a continué à sévir d'une façon dramatiquement incontrôlable.

L'étude des matières en suspension dénote des teneurs plus ou moins importantes qui ont un fort impact sur le fonctionnement des écosystèmes côtiers, dont la distribution est contrôlée par l'hydrodynamique régnant la zone.

En parallèle ; pour chaque résultat obtenu ; une interprétation a été effectuée.

Les plages sableuses sont des systèmes complexes. Leur fonctionnement est dominé par l'interaction de différents forçages qui apportent de l'énergie et transportent des éléments entre les compartiments du système. La compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires. Le résultat du fonctionnement complexe des plages sableuses s'observe généralement par une modification du volume des compartiments et par une évolution de la morphologie des interfaces. Malheureusement, les réactions humaines sont trop souvent mal adaptées, très coûteuses et parfois destructrices pour l'environnement, ce qui rend leur études plus difficile.

Enfin, les mouvements sédimentaires contrôlent l'évolution de la nature et de la morphologie des fonds marins et des côtes. Ainsi, une meilleure connaissance de la distribution spatio-temporelle des MES permettra d'améliorer la compréhension de la dynamique des écosystèmes.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, approfondir nos connaissances et le savoir-faire acquis durant les cinq ans années de notre formation à l'ENSSMAL, et d'autre part, de préparer notre intégration à la recherche scientifique dans le domaine de l'aménagement du littoral.

BIBLIOGRAPHIE

Références bibliographiques :

- Amin, S.M.N., Davidson-Arnott, R.G.D. (1997).** A statistical analysis of the control on shoreline erosion rates, Lake Ontario. *Journal of coastal research, Canada.* pp. 1093-1101.
- Aminot, A., Chaussepied, M. (1983).** Manuel des analyses chimiques en milieu marin. CNEXO BNDO/Communication, Brest, 395 p.
- Aminot, A., Kérouel, R. (2004).** Hydrologie des écosystèmes marins, Paramètres et analyses. Méthodes d'analyse en milieu marin, Paris. 336 p.
- Apha. (1980).** Standard methods for examination of water and wastewater. 15thed., American Public Health Assoc, Washington. 1134 pp.
- Ariathurai, C. R. et Arulanandan, K. (1997).** Erosion rates of cohesive soils, *Journal of Hydraulic Division, Pays Bas.* pp. 279 -283.
- Assassi, C. et Otmani, H. (2010).** Étude de protection de la zone de club des pins. Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL. pp.5-17.
- Bachari-Houma, F. (2009).** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Mémoire de doctorat, Université du Val de Marne Paris XII. pp. 20-47.
- Belkessa, R. (1999).** Causes et conséquences de l'érosion marine sur la côte Algérienne. *Revue symbiose Alger.*
- Benallal, Ourabia, K. (1989).** Etude hydrogéologique et géotechnique de la zone côtière de Staoueli-Sidi Fredj (Ouest Algérois). Mémoire d'ingénieur, USTHB. pp. 45-67.
- Blott, Pye. (2001).** A grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments, *Earth Surface Processes and Landforms.* [En ligne]. Consulté le [25.05.2015]. Disponible à l'adresse : http://www.geo.mtu.edu/~raman/Ashfall/Syllabus/Entries/2009/6/21_GSD_files/GRADIS_TAT
- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999).** A third generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *J. Geophys. Res.* 104p.
- Boutiba, M. (1996).** Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). Thèse de magister, ISMAL. pp. 122-123.
- Boutiba, M. (2006).** Géomorphologie dynamique et mouvements des sédiments le long de la côte sableuse Jjelienne (Est d'Alger). Thèse de Doctorat, USTHB. pp. 1-252.
- Boericke, R., Hogan, J. M. (1977).** An x-z hydraulic/thermal model for estuaries, *Hydraulic Division, Elsevier.* pp. 19-37.

Références bibliographiques

- Booij, N. et al. (1999).** A third-generation wave model for coastal regions, part 1: Model description and validation. *Journal of Geophysical Research*, Delft. 104 p.
- Blumberg, A. F., Mellorn, G. L. (1987).** A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Coastal and estuarine Sciences*, Heaps. pp. 1-16.
- Bui, E. N., Mazullo, J., Wilding, L. P. (1990).** Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). *Earth Surface Processes and Landforms*. pp. 157-166.
- Carrigny, J.D., Sanchez, A. (1999).** Sedimentation in the Colorado River delta and Upper Gulf of California after nearly of discharge loss. *Marine Geology*, USA. pp. 125-145.
- Carrigny, J.D. et al. (2001).** Sedimentation in the northern gulf of California after cessation of the Colorado River discharge. *Sedimentary Geology*, USA. pp. 37-42.
- Caviglia, F.J. et al. (1991).** A determination of the energy flux constant from dredge records. *Journal of coastal research*, Florida. pp. 543-549.
- CERC. (1984).** Shore Protection Manual, 2 Volumes. U.S. Army engineer waterways experiment station, Coastal engineering research centre, Washington.
- Cole, P., Miles, G.V. (1983).** Two-dimensional model of mud transport, *J. Hydraulic Engineering*, ASCE. 109 p.
- Cordier, E. (2007).** Dynamique hydrosédimentaires du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires, U.F.R. Sciences et technologies. 73 p.
- Cugier, P. (1999).** Modélisation du devenir à moyen terme dans l'eau et le sédiment des éléments majeurs (n, p, si) rejetés par la Seine dans la baie de Seine, France. 224 p.
- De Borne de Grandpré, C. (1979).** Modèle bidimensionnel en temps réel de la circulation verticale estuarienne. Application à la Gironde, *Oceanologica Acta*. pp. 61-68.
- Droppo, I. (2001).** Rethinking what constitutes suspended sediment. *Hydrological Processes* 15, United Kingdom. pp. 1551-1564.
- Ehrhold, A. (1999).** Dynamique de comblement d'un bassin sédimentaire soumis à un régime mégatidal: exemple de la Baie du Mont-Saint-Michel. Thèse de 3^{ème} cycle, Université de Caen, Caen. 294 p.
- Eisma, D. (1986).** Flocculation and de-flocculation of suspended matter in estuaries. Netherlands *Journal of Sea Research* 20, Pays Bas. pp. 183-199.
- Evans, O.F. (1940).** The low and ball of the east shore of Lake Michigan. *Journal of Geology*, USA. 48 p.
- Folk, R.L., Ward, W.C. (1957).** Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. pp. 3-26.

Références bibliographiques

- Friedman, G. M. (1979).** Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*. pp. 3-32.
- Galland, J. et al. (1991).** Telemac: A new numerical model for solving shallow water equations, *Adv. Water Resources*, New York. pp. 138-148.
- Gao, S., Collins, M. (1992).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of transport vectors. *Sedimentary geology*. [En ligne]. Consulté le [17.04.2015]. Disponible à l'adresse : <<http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/43526.pdf>. >.
- Gao, S., Collins, M. (1994).** Analysis of grain-size trends for defining sediment transport pathways in marine environment. *Journal of Coastal Research* 10, mer du Nord, France. pp. 70-78.
- Gao, S., Collins, M. (1995).** Net sand transport direction in a tidal inlet, using for aminiferal tests as natural tracers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 40, Londres. pp. 681-697.
- Glangeaud, L. (1932).** Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. *Bull. série. Carte géologique, Algérie*. pp. 132-140.
- Glangeaud, L. (1939).** Le rôle de la suspension tourbillonnaire et de la traction sur le fond dans la formation des sédiments de la Gironde, *C. R. Acad. Sciences, Ocean olActa*. 208 p
- Glangeaud, L. et al. (1952).** Histoire géologique de la province d'Alger, Algérie. 142 p.
- Guillou, S. (1996).** Modélisation des écoulements côtiers et estuariens. Étude mathématique et applications en coordonnées généralisées. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI. pp.132-169.
- Haidvogel, D. B., Beckmann, A. (1999).** *Numerical Ocean Circulation Modeling*. Imperial College Press, London. 318 p.
- Janin, J. et al. (1992).** TELEMAC-3D: a finite element code to solve 3D free surface flow problems, in *Proceedings of Computer modelling of Seas and Coastal Regions*, Partridge Southampton. 193 p.
- Le Bot, S. (2001).** Morphodynamique de dunes sous-marines sous influence des marées et des tempêtes. Processus hydro-sédimentaires et enregistrement. Exemple du Pas-de-Calais. Thèse de Doctorat, Université de Lille I. 272 p.
- Trentesaux, A. et al. (2001).** Contrôle exercé par les bancs sableux sur la morphodynamique des dunes. Apports pour la modélisation du transport sédimentaire résiduel par la méthode de Gao et Collins. 8^{ème} Congrès Français de Sédimentologie, Paris.
- Leclaire, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant Méridional du bassin Algéro-Baléares, Muséum, France. 391 p.
- Lenormand, C. et al. (1993).** Three dimensional modeling of estuarine processes, in *MAST days and Euromar Market*, Hannover. pp. 223-237.

Références bibliographiques

- Le Roux, J.P. (1994 a).** Net sediments transport patterns inferred from grain-size trends, based up on definition of "transport vectors"-comment, *Sedimentary Geology*. pp. 153-156.
- Le Roux, J.P. (1994 b).** An alternative approach to the identification of net sediment transport paths based on grain-size trends, *Sedimentary geology*. pp: 97-107.
- Li, Z. H. (1994).** Modélisation numérique du transport des sédiments remis en suspension dans un estuaire. Application à la Gironde. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI. pp. 217-261.
- McLean, S. R. (1981).**The role of non-uniform roughness in the formation of sand ribbons. *Marine Geology*. pp: 49-74.
- McLaren, P., Bowles, D. (1985).** The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*. pp. 457-470.
- Martin, J. M. (1994).** Numerical simulation of the turbidity maximum transport in the Gironde estuary, *Oceanologica Acta*. pp. 17-29.
- Mallet, C. et al. (2000).** Residual transport model in correlation with sedimentary dynamics over an elongate tidal sandbar in the Gironde estuary (sud-ouest France).*Journal of Sedimentary Research* 70, Grande-Bretagne.
- Mennad, M. (2008).** Approche des systèmes d'information géographique (SIG) pour l'analyse spatio-temporelle de la pollution marine des eaux côtière. Application à la baie d'Alger. Thèse de magister, Université des Sciences et de la Technologie, Alger. pp. 97-114.
- Michel, D. et al. (2000).** Utilisation of numerical and statistical techniques to describe sedimentary circulation patterns in the mouth of the Gironde estuary. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences de Paris, France*. pp. 491-497.
- Mc Laren, P.,Bowles, D. (1985).** The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*. [En ligne]. Consulté le [21.04.2015]. Disponible à l'adresse :<http://www.sedtrend.com/pdfs/publications/sta_mclaren_bowles.pdf>.
- Mewis, J., Spaul, A. (1976).** Rheology of concentrated suspensions, *Advances in Colloid and interface Science*, Brady. pp. 299-305.
- Mezouar, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. Thèse de Doctorat, Université technique de construction de Bucarest, Bucarest. 404 p.
- Millot, C. et al. (1990).** The Algerian eddies. *Earth Sciena Reviews*. 27 p.
- Millot, C. (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : aperçu de nos connaissances et projets d'études. *Annales de géographie*, Paris. pp. 497-515.

Références bibliographiques

- Nguyen, K. D. (1988).** Modélisation numérique 2D et 3D de la circulation générale en milieux estuariens et côtiers. Application à la Gironde. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI. pp. 302-341.
- Nicholson, J., O'Connor, B. (1986).** Cohesive sediment transport model, J. of Hydraulic Engineering, Denmark. 223 p.
- Pascal Galichon. (1984).** Hydrodynamique sédimentaires des fleches littorales sableuses : cas de ma pointe d'arcay, France. pp. 15-56.
- Paskoff, R.(1993).** Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. 2^{ème} Ed Masson, Paris, 256p.
- Passega, R. (1957).** Texture as characteristic of clastic deposition. Bull, Petrol, Geol. pp. 41-55.
- Pedrerros, R. et al. (1996).** Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. Marine Geology, Bruxelles. pp. 35-49.
- Phan, N. V. (2002).** Modélisation numérique tridimensionnelle de la circulation générale, de l'intrusion saline et du transport sédimentaire dans l'estuaire de la Gironde. Thèse de Doctorat, Université Caen. 225 p.
- Kamphuis, J.W. et al. (1986).** Calculation of littoral sand transport rate. Coastal Engineering, Elsevier. pp. 1-21.
- Ramade, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ediscience International, France. 690 p.
- Ris, R. et al. (1998).** A third-generation wave model for coastal regions, part II: verification. Journal of Geophysical Research, Delft, Pays Bas. 104 p.
- Stepanian, A. (1997).** Détermination de la direction de transport des sédiments en domaine intertidal. Mémoire de maîtrise de Sciences de l'Environnement, Université de Bordeaux I. pp. 24-38.
- Stephanian, A. (2002).** Morphologie d'une Plage Macrotidale A Barres, Omaha Beach (Normandi). Thèse de Doctorat, Université de Caen. pp.17-51.
- Stone, G.W. et al. (1992).** Multiple sediment sources and cellular, non-integrated, longshore drift system: northwest Florida and southeast Alabama coast. Marine geology, USA. pp. 141-154.
- Van Rijn, L.C. (1998).** Principles of coastal morphology. Aqua Publications, Amsterdam. 730 p.
- Vanwesenbeeck, V., Lanckneus, J. (2000).** Residual sediment transport paths on a tidal sand bank: a comparison between the modified McLaren model and bed form analysis. Journal of Sedimentary Research, Belgique. pp.470-477.

Références bibliographiques

Willis, D. H. et al. (2005). Numerical modelling of cohesive sediment transport in rivers, Canadian Journal of civil engineering, Montréal. pp.749-758.

Wu, J.X., Shan, H.T. (1999). Estuarine bottom sediment transport based on the 'McLaren model': a case study of Huangmaohai Estuary, South China. Estuarine, Coastal and Shelf Science, Shanghai. pp. 265-279.

ANNEXES

Annexe A : coordonnées géographiques des stations des prélèvements

coordonnes géographiques en degré décimal		
Stations	longitude	Latitude
1	2.870521539168113	36.76395980079089
2	2.8680189085799475	36.76631892340662
3	2.863585606731524	36.77050579318755
4	2.8704518714714498	36.7654111046912
5	2.867320672925384	36.768373515878544
6	2.872278837718065	36.76504347392485
7	2.869753708987002	36.7674657118999
8	2.865477611656455	36.77148154276733
9	2.8721530135794646	36.76659388084923
10	2.8691453040275947	36.769430265287035
11	2.874339051680266	36.765920101338565
12	2.871488576129823	36.76860346021867
13	2.8674032659987962	36.77246631441841
14	2.8738542227251305	36.76776761778802
15	2.870969985250046	36.770486986622544
16	2.876130048824527	36.76701276768156
17	2.873223494561771	36.76974118312084
18	2.869306573377045	36.77344201546672
19	2.875544264041235	36.76895033330681
20	2.8727947314867355	36.771534665126985
21	2.8779099060998705	36.76809638069786
22	2.874947229585977	36.770896898339
23	2.8712211349812504	36.77441769813005
24	2.87724556259885	36.77013303624175
25	2.8746195127408	36.77259133030785
26	2.879712209762360	36.76918900440238
27	2.8766934564288587	36.77203458217391
28	2.873113318158858	36.775402340762675
29	2.8789357646454374	36.771279644277705
30	2.876455549941458	36.77364797904339
31	2.881379933948866	36.770389643822384
32	2.87842852914621	36.7731722288053
33	2.875027962228619	36.77638697677472
34	2.88061715489159	36.77248031670824
35	2.8782804458523166	36.77469557313224
36	2.8829242711888345	36.771707330337705
37	2.8801524472413207	36.7743098387194
38	2.876909050648227	36.7773625323729
39	2.882316168244844	36.77367195022391
40	2.8798360644772147	36.77598626605438
41	2.884367647204908	36.77313307570434
42	2.881898814647765	36.77545646052966

Annexe A : coordonnées géographiques des stations des prélèvements

43	2.8786666452645537	36.77850921267377
44	2.884017702376058	36.77483652624346
45	2.8816160563867608	36.77715095520311
46	2.885609114916771	36.774729889868816
47	2.883634027841497	36.776603045614
48	2.880446775668888	36.77961081568219
49	2.8857304807895803	36.77601010330453
50	2.8834523940181933	36.77814439227648

Annexe B : Fiches de calcul SWAN

```

N45T10H10 Club des pins.swn - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
PROJ 'Club des pins grille' '001'
$
MODE STAT [xpc][ypc][alpc] [xlenc][ylenc] [mxc][myc]
MODE STATIONary TWODimensional
COORDINATES CART
SET level=0.5 NAUTICAL
$
CGRID REG 486449 4068212 0 4529 4310 100 100 CIR 36 0.03 0.3 24
$
INPGRID BOTTOM REG 486449 4068212 0 100 100 45.29 3.1 EXCVAL -999.0000
READINGP BOTTOM 1.0 'bathy.txt' 3 0 FREE
$
BOUN SHAPE JONSWAP 3.30 PEAK DSPR DEGREES
BOUN SIDE N CON PAR 5.05 10 45 27
BOUN SIDE E CON PAR 5.05 10 45 27
BOUN SIDE W CON PAR 5.05 10 45 27
SWIND 19.2 45
OFF QUAD
SOFF 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' 486449 4068212 0 4529 4310 100 100
table 'R1' head 'N45T10 Club des pins' xp yp hs dir dep vel tdir force transp steepness wlen ubot per
    
```

The image shows the SWAN input file and the Surfer software interface. The input file contains the following parameters:

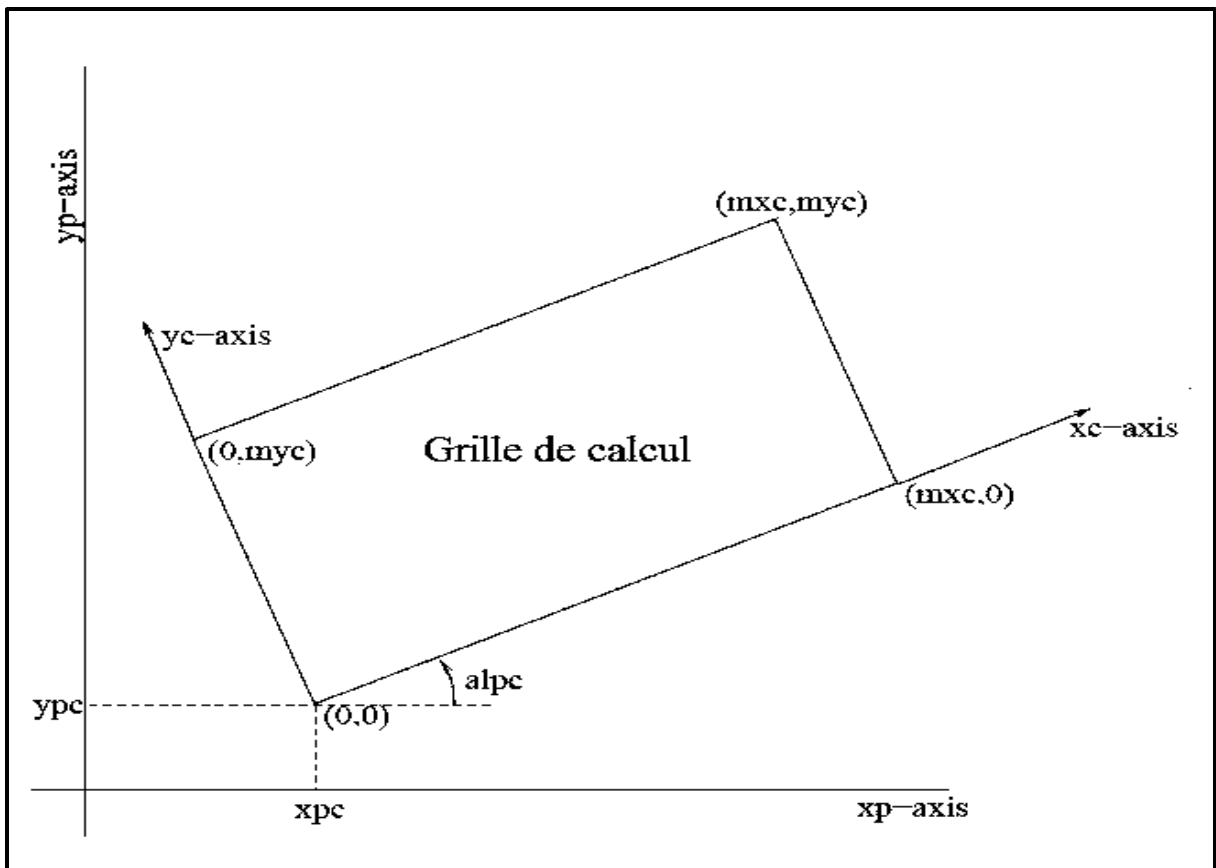
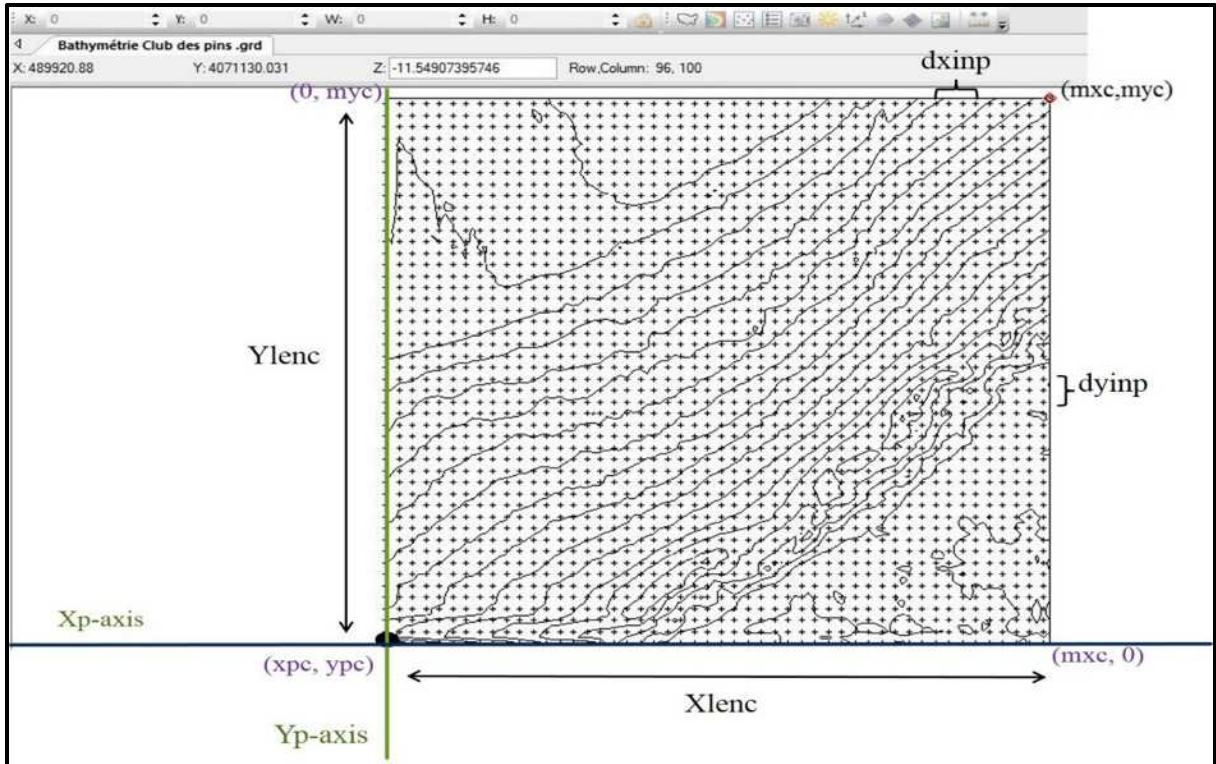
```

PROJ 'grille' '001'
MODE STAT
MODE STATIONary TWODimensional
COORDINATES CART
SET level=0.5 NAUTICAL
CGRID REG 701836 4029775 0 19690 18009 100 100 CIR 36 0.03 0.3 24
INPGRID BOTTOM REG 701836 4029775 0 100 100 45.29 3.1 EXCVAL -999.0000
READINGP BOTTOM 1.0 'bathy.txt' 3 0 FREE
BOUN SHAPE JONSWAP 3.30 PEAK DSPR DEGREES
BOUN SIDE N CON PAR 1.09 6 45 27
BOUN SIDE E CON PAR 1.09 6 45 27
BOUN SIDE W CON PAR 1.09 6 45 27
SWIND 19.2 45
OFF QUAD
SOFF 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' 701836 4029775 0 19690 18009 100 100
table 'R1' head 'N45T10 Club des pins' xp yp hs dir dep vel tdir force transp steepness wlen ubot per
    
```

The Surfer software interface shows a 'Grid Data' dialog box with the following table:

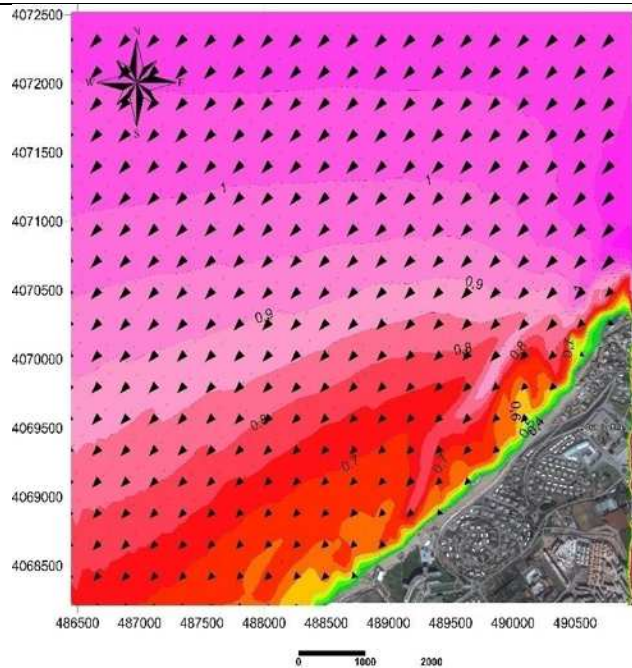
Grid Line Geometry	Minimum	Maximum	Spacing	# of Nodes
X Direction	701836	711526	196.9	501
Y Direction	4029775	4047784	180.09	501

Annexe B : Fiches de calcul SWAN

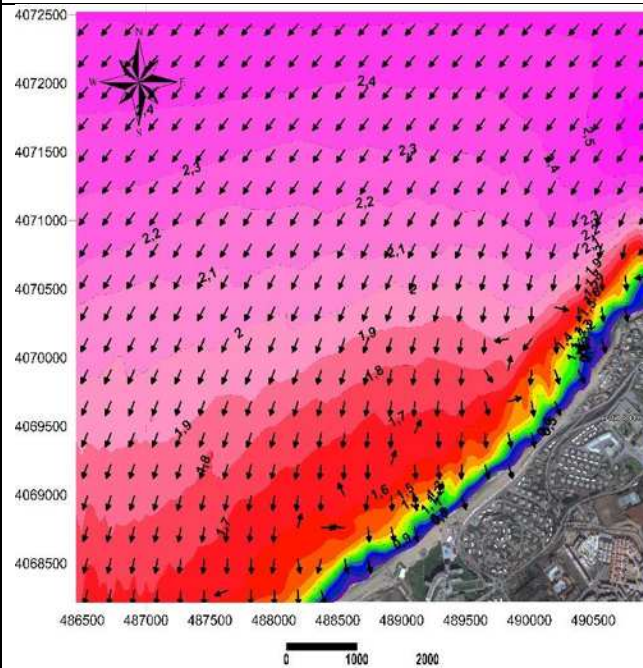


Annexe C : Les cartes de la réfraction

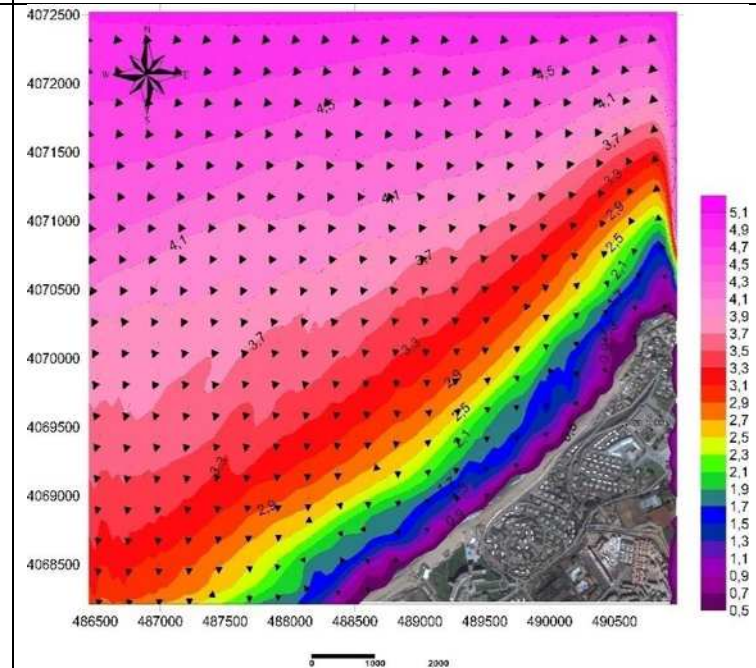
Caractéristique de la houle au large :
 Période de retour = 01 an
 Direction = 45 °
 Hs = 1.09 m
 T p = 6s



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



Annexe C : Les cartes de la réfraction

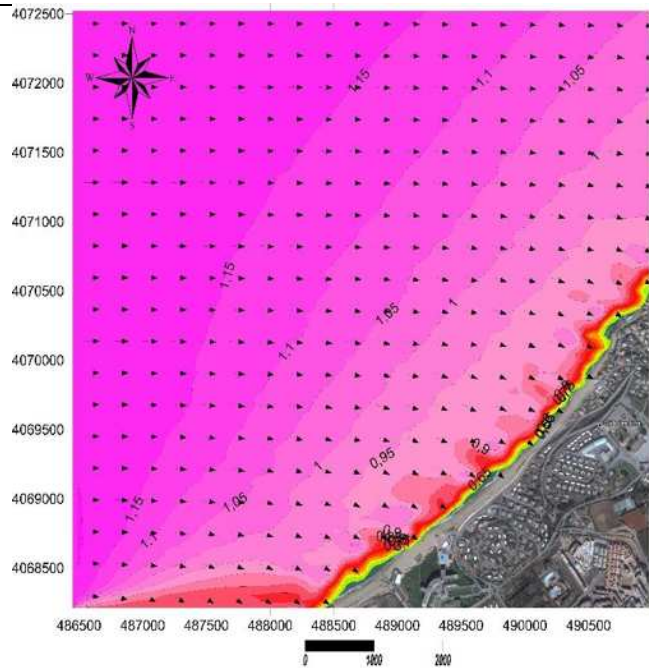
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 270 °

Hs = 1.19 m

Tp = 6s



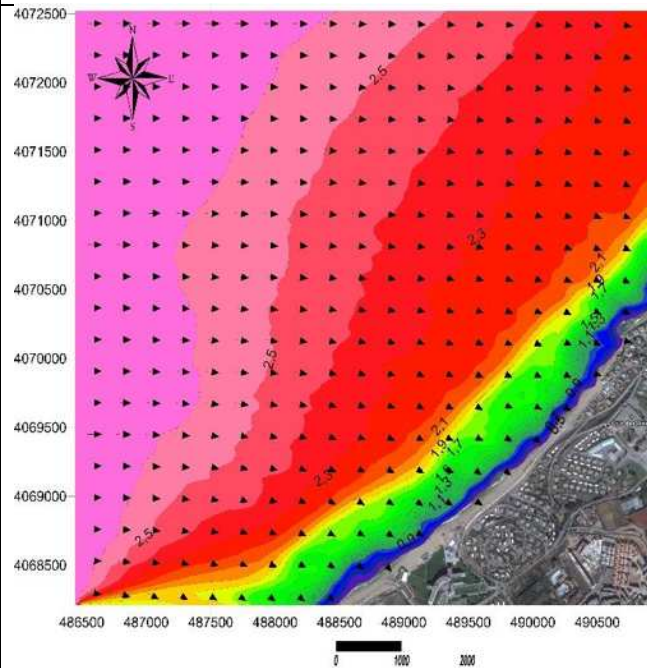
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 270 °

Hs = 2.67 m

Tp = 8 s



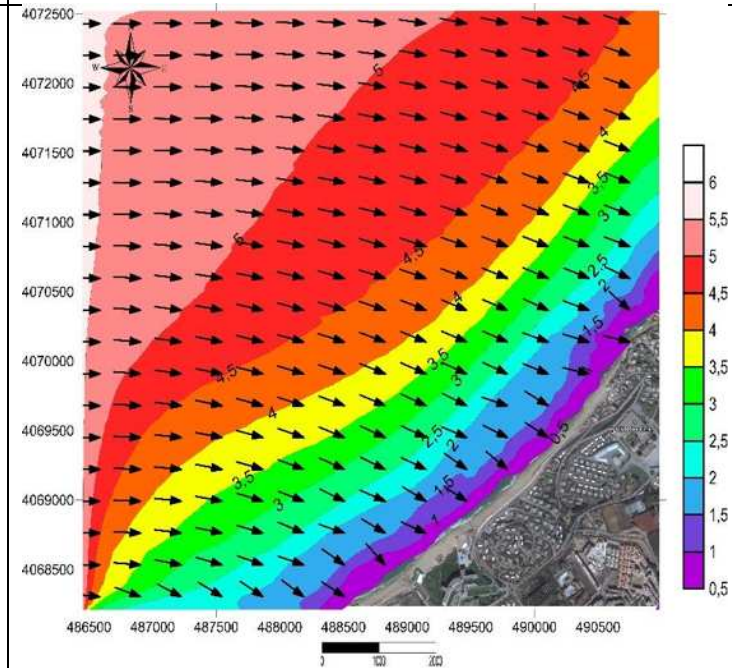
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 270 °

Hs = 5.54 m

Tp = 10 s



Annexe C : Les cartes de la réfraction

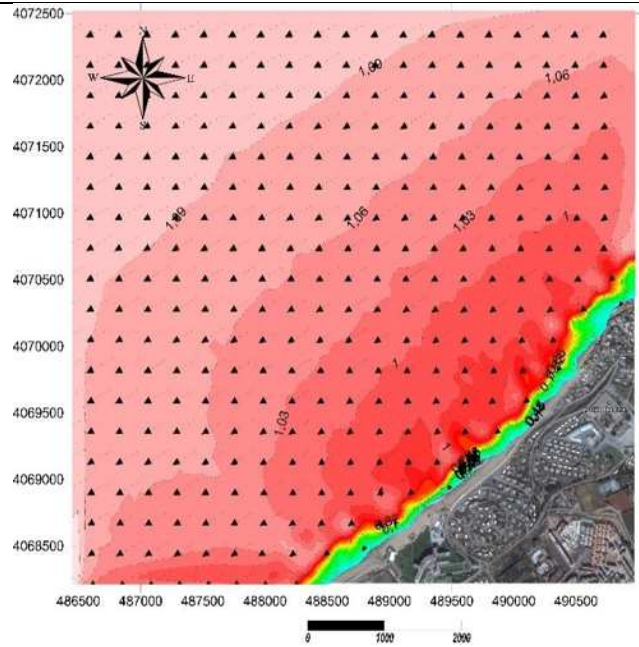
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 315°

Hs = 1.10m

Tp = 6s



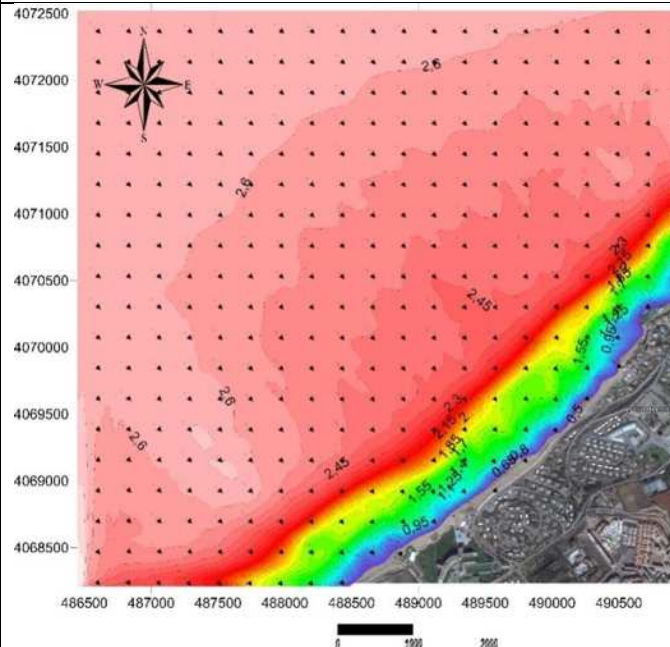
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 315°

Hs = 2.64 m

Tp = 8s



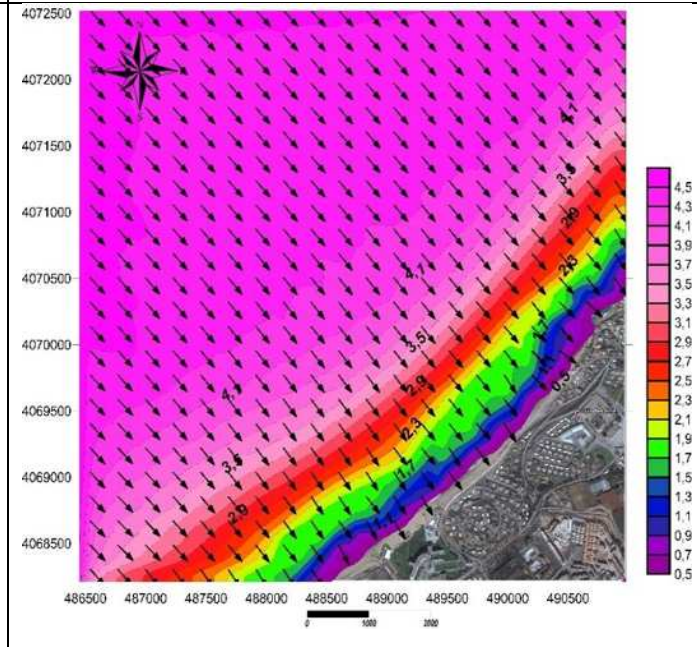
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 315°

Hs = 4.53m

Tp = 10s



Annexe C : Les cartes de la réfraction

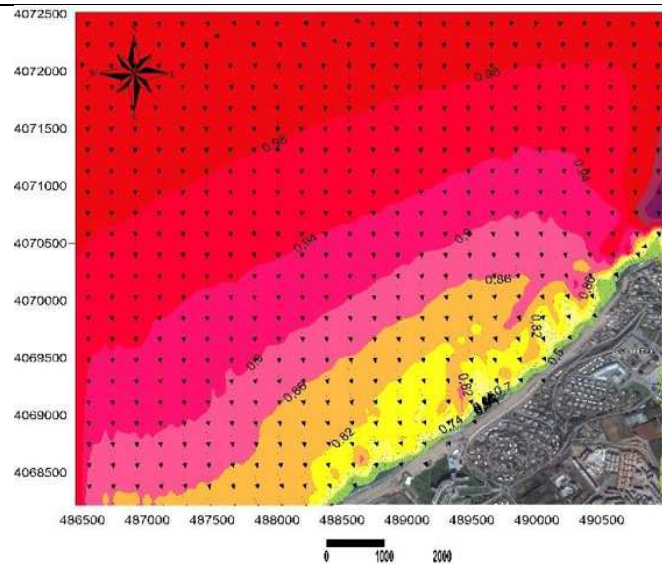
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 360°

Hs = 1 m

Tp = 6s



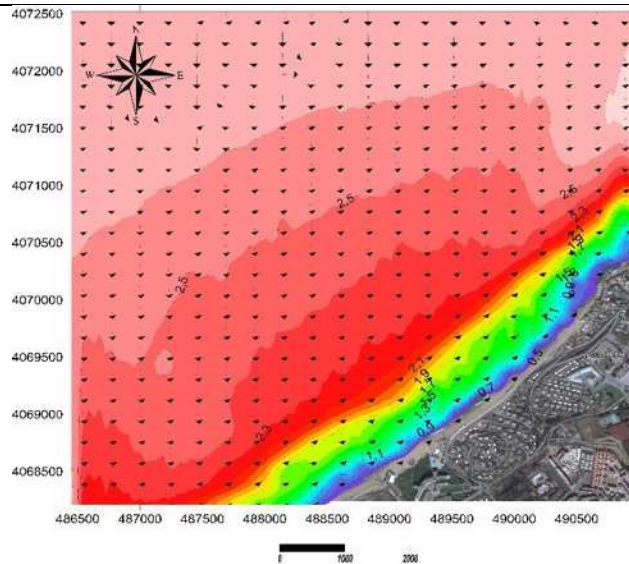
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 360°

Hs = 2.67 m

Tp = 8s



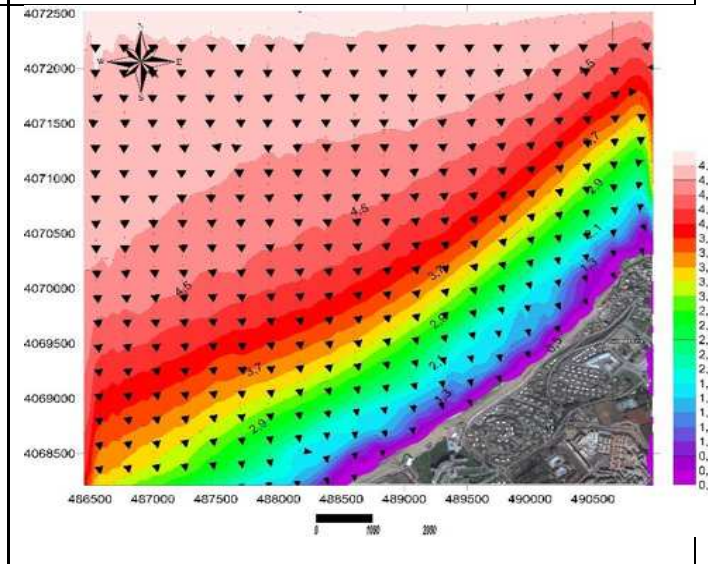
Caractéristique de la houle au large :

Période de retour = 01 an

Direction = 360°

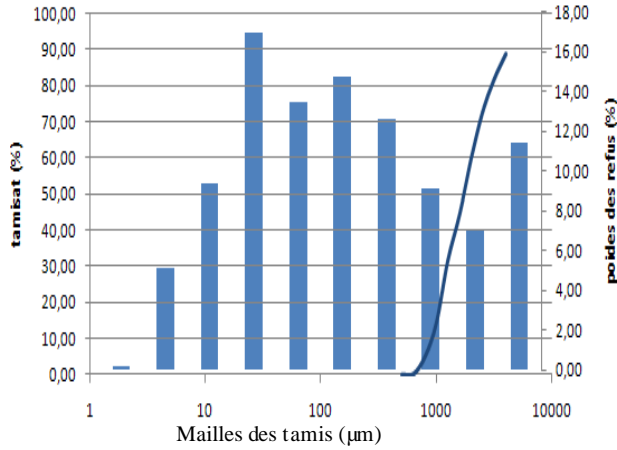
Hs = 4.92m

Tp = 10s

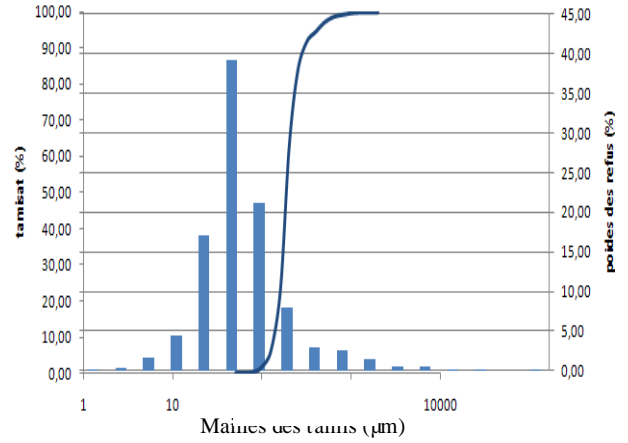


Annexe D : Les courbes granulométriques

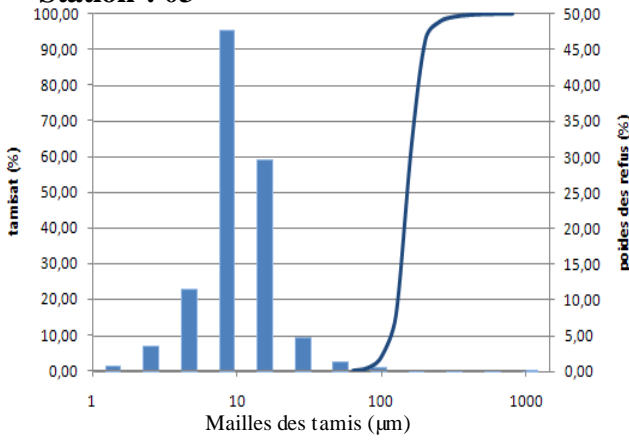
Station : 01



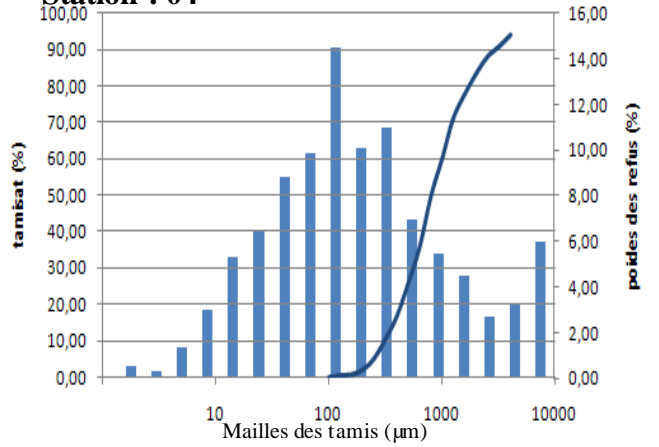
Station : 02



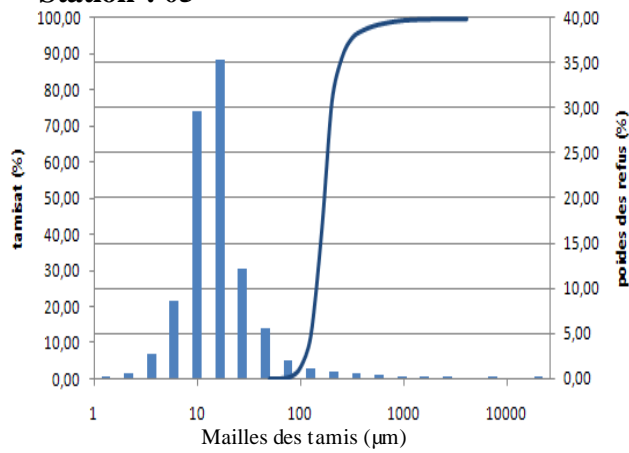
Station : 03



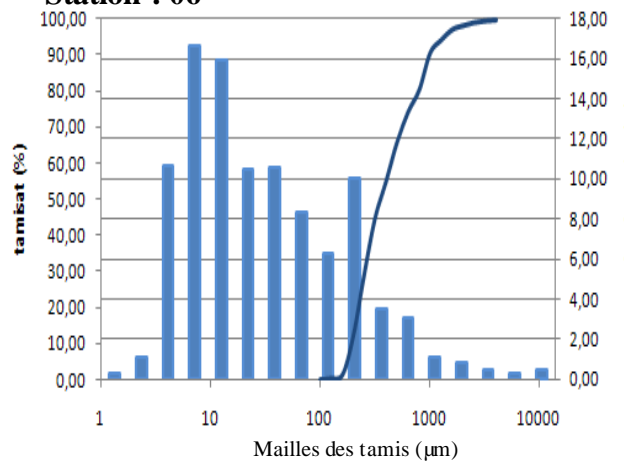
Station : 04



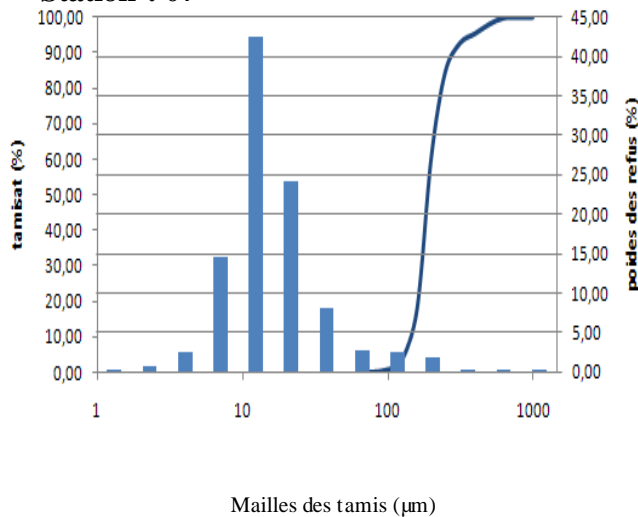
Station : 05



Station : 06

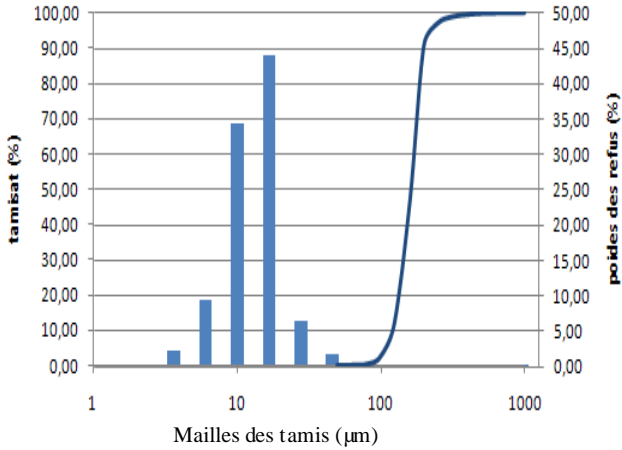


Station : 07

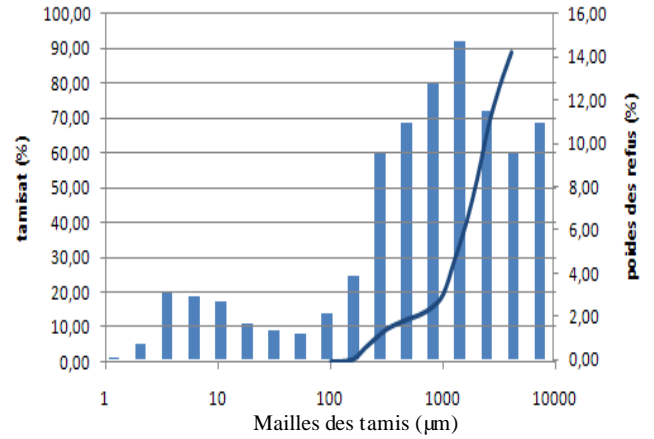


Annexe D : Les courbes granulométriques

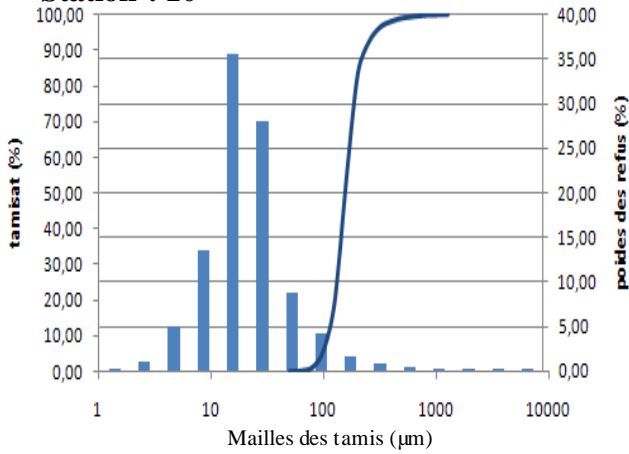
Station : 08



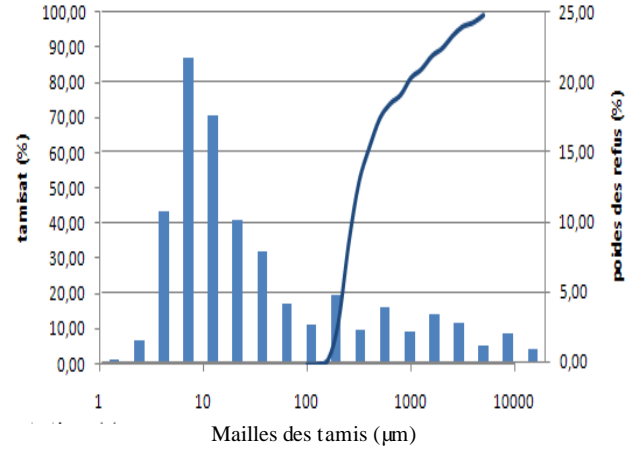
Station : 09



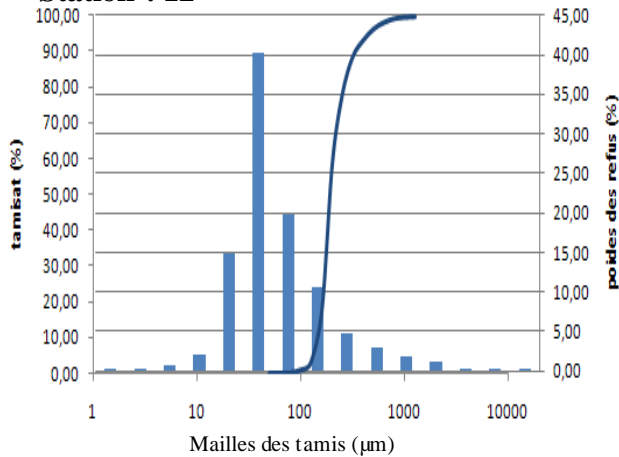
Station : 10



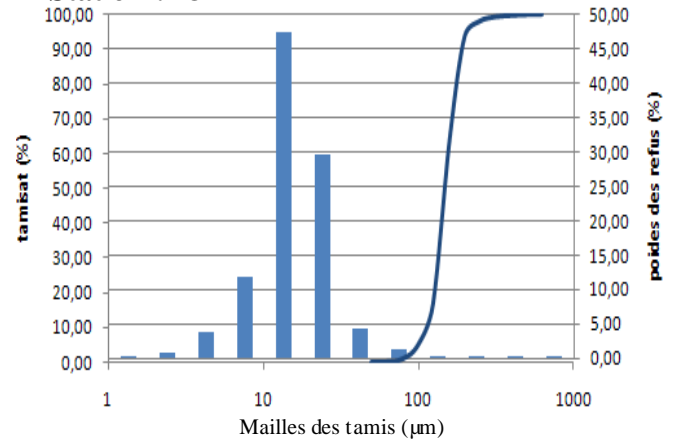
Station : 11



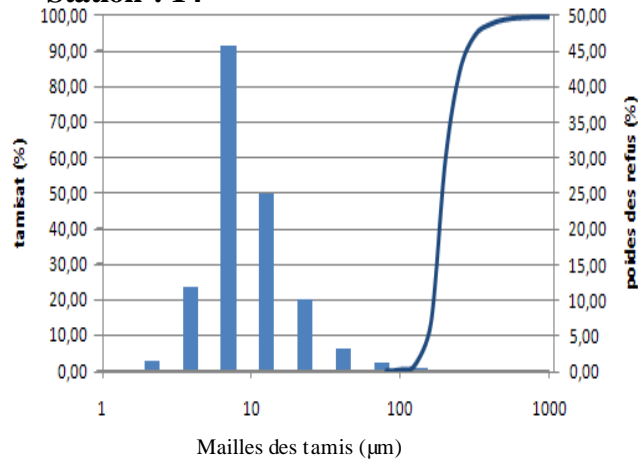
Station : 12



Station : 13

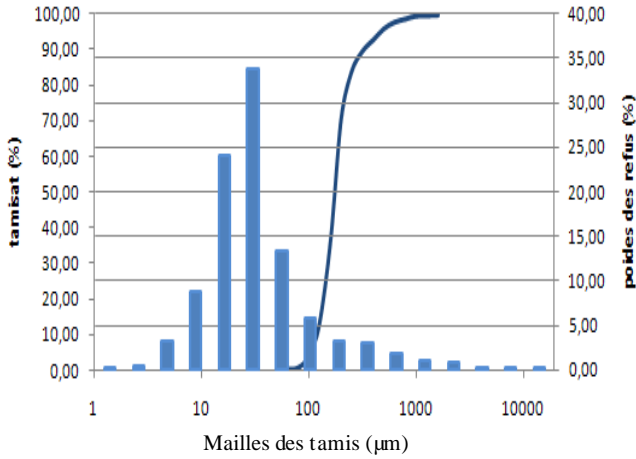


Station : 14

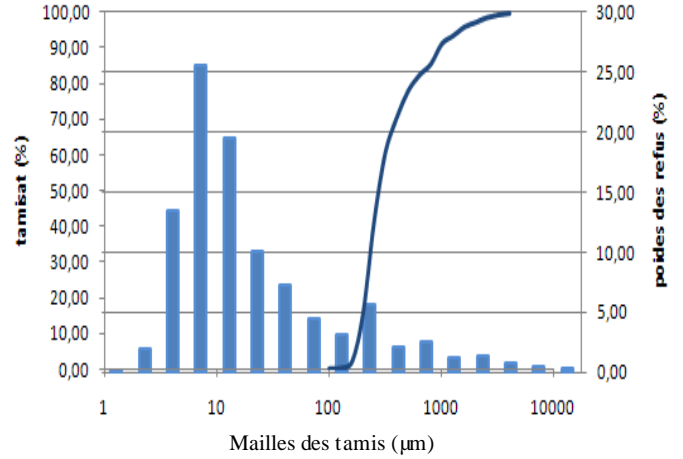


Annexe D : Les courbes granulométriques

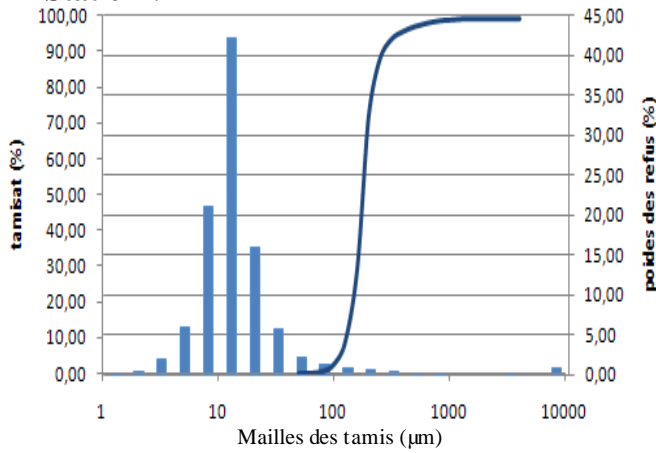
Station : 15



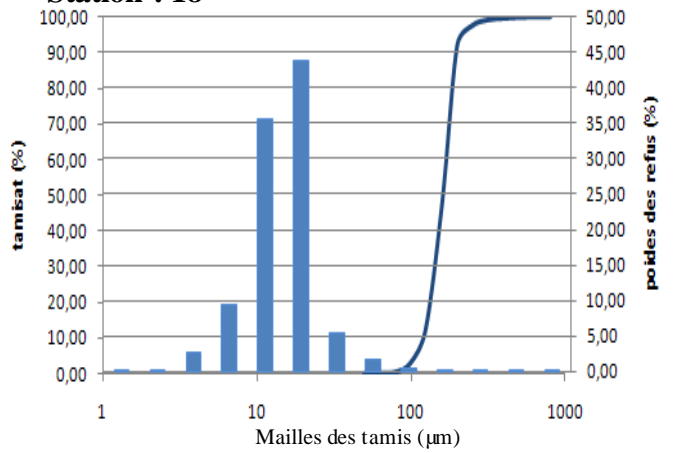
Station : 16



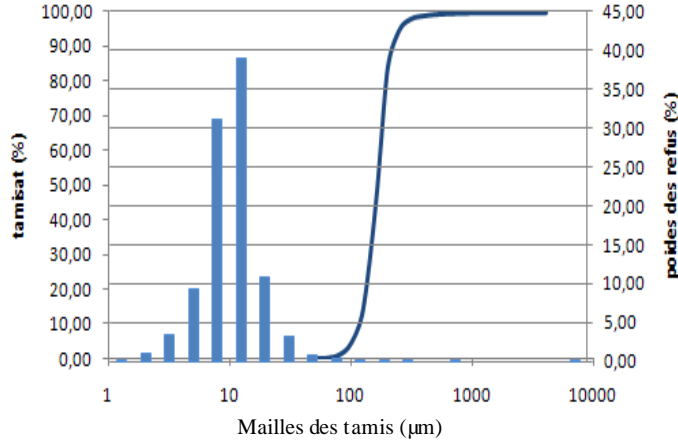
Station : 17



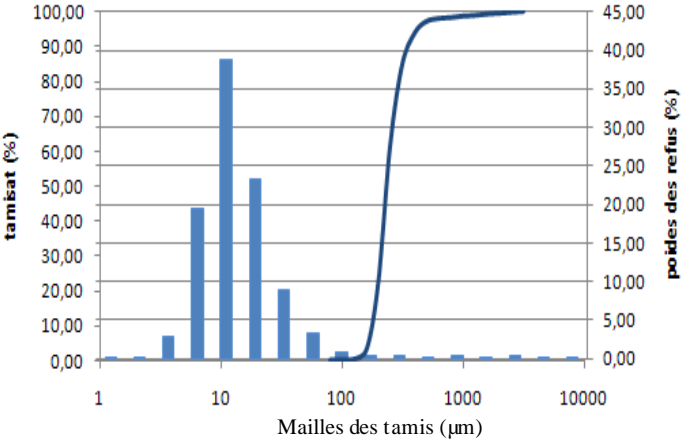
Station : 18



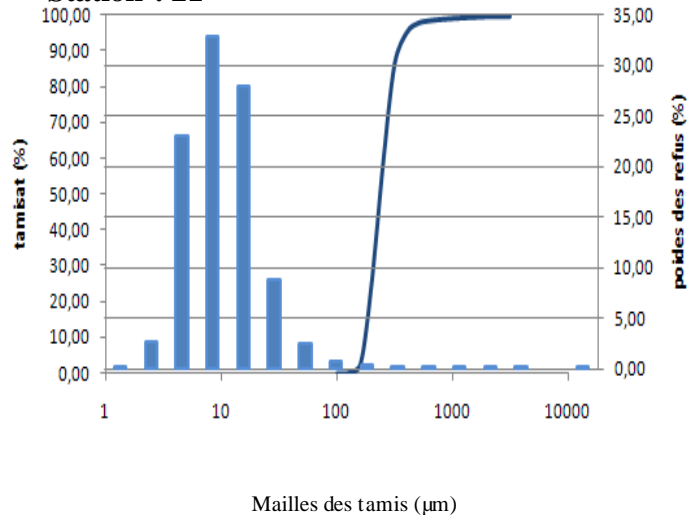
Station : 19



Station : 20



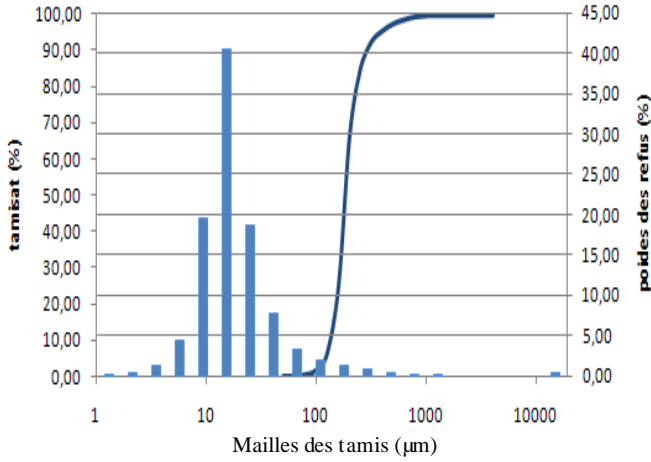
Station : 21



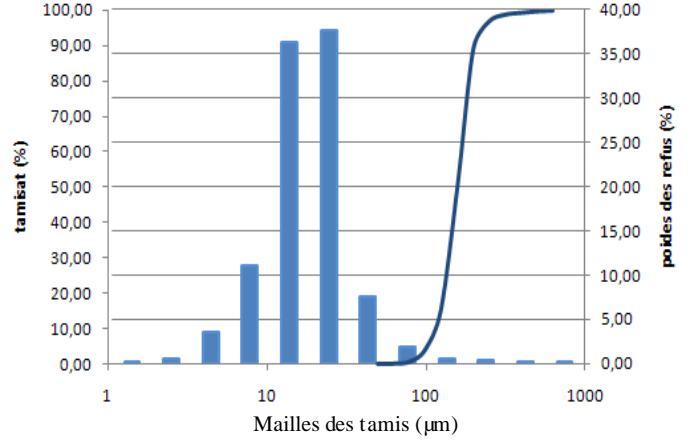
Mailles des tamis (μm)

Annexe D : Les courbes granulométriques

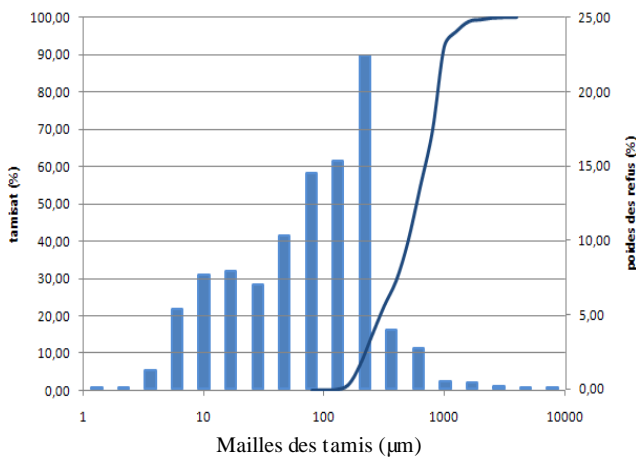
Station : 22



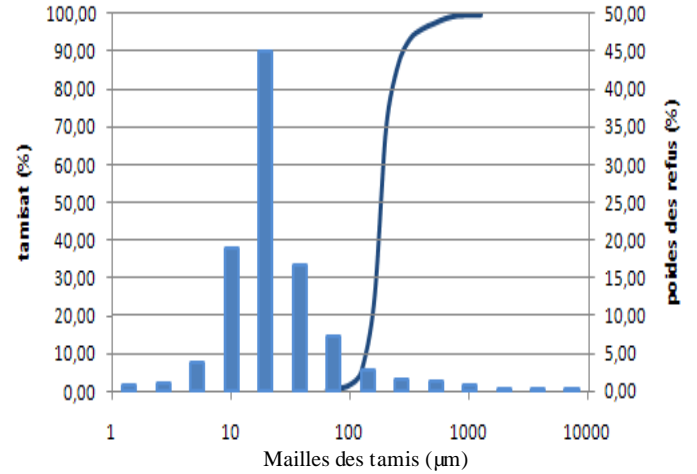
Station : 23



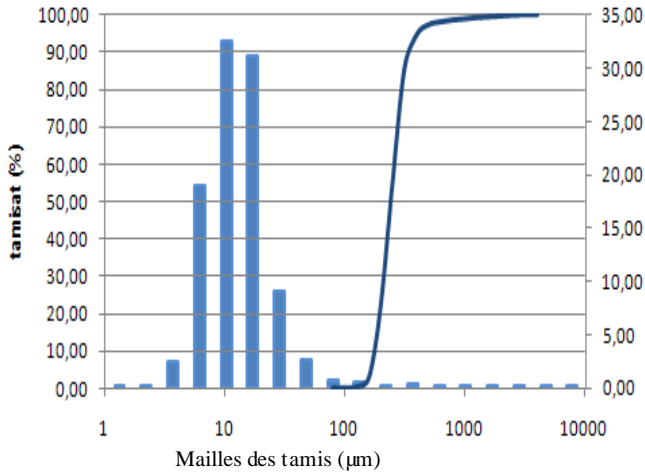
Station : 24



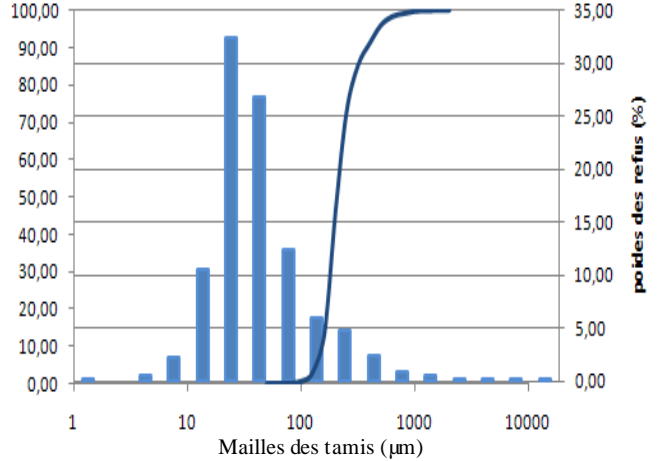
Station : 25



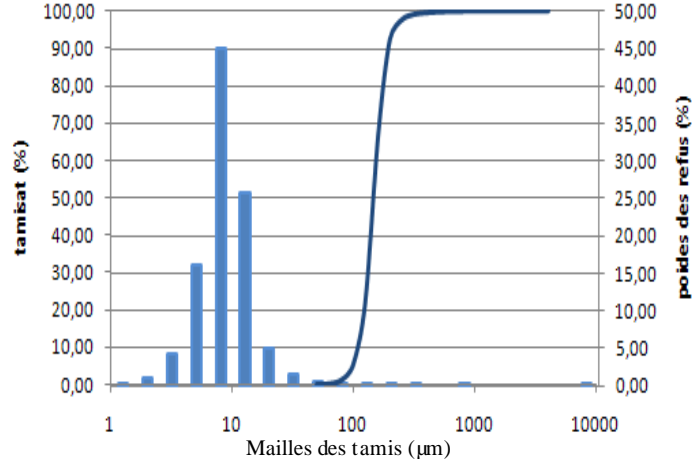
Station : 26



Station : 27

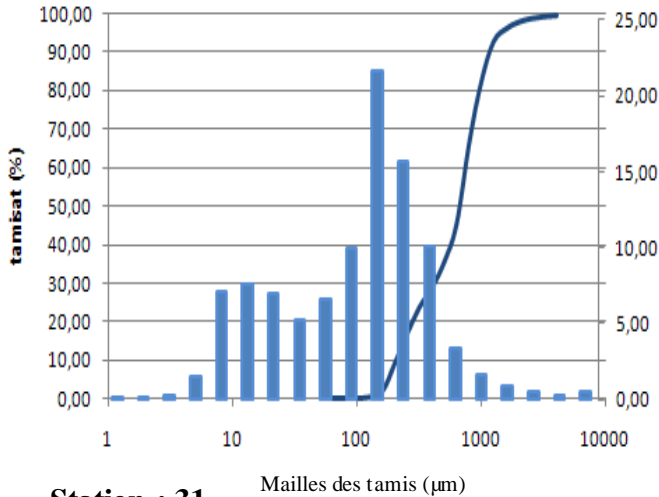


Station : 28

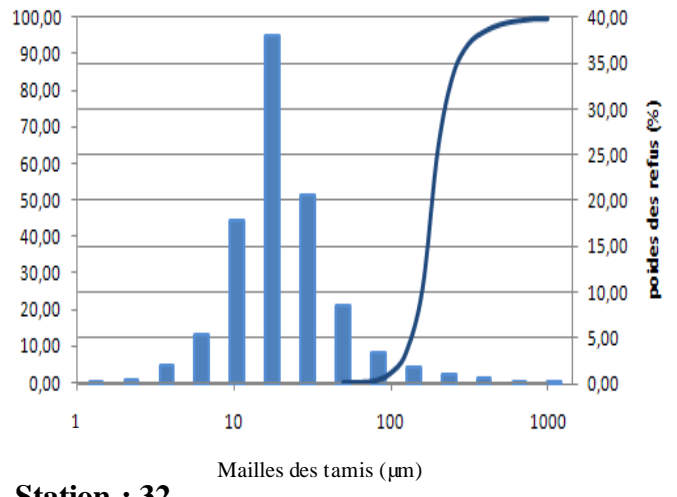


Annexe D : Les courbes granulométriques

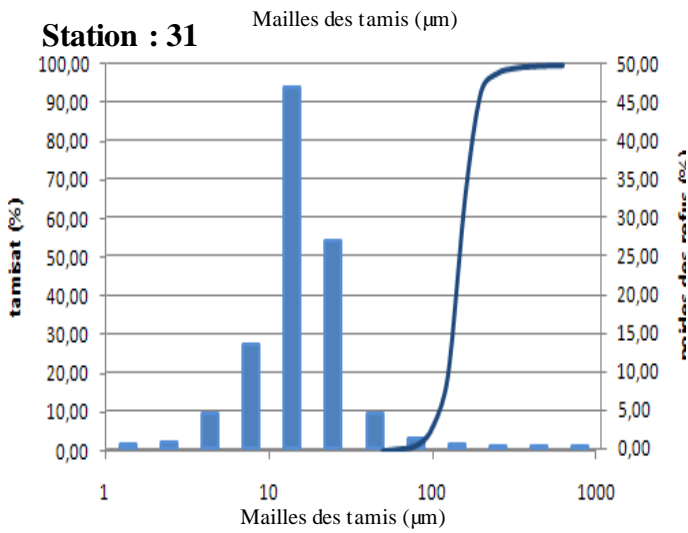
Station : 29



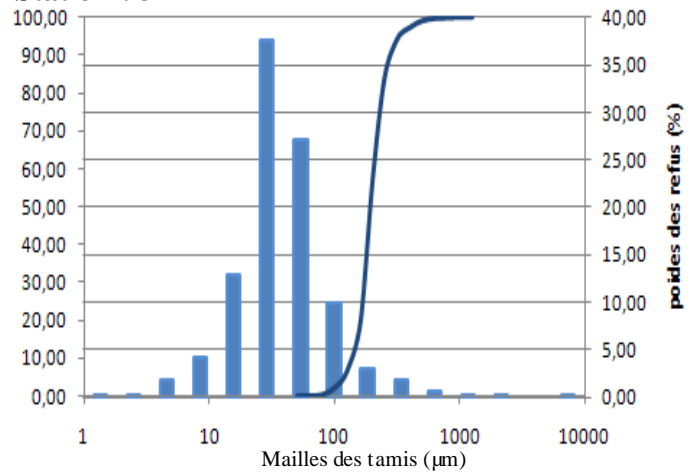
Station : 30



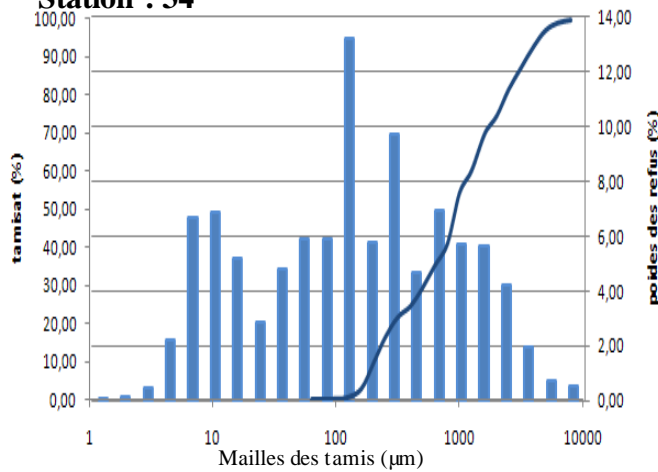
Station : 31



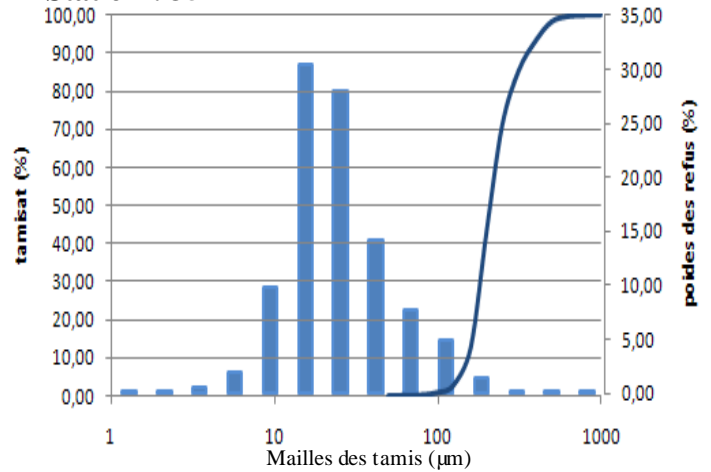
Station : 32



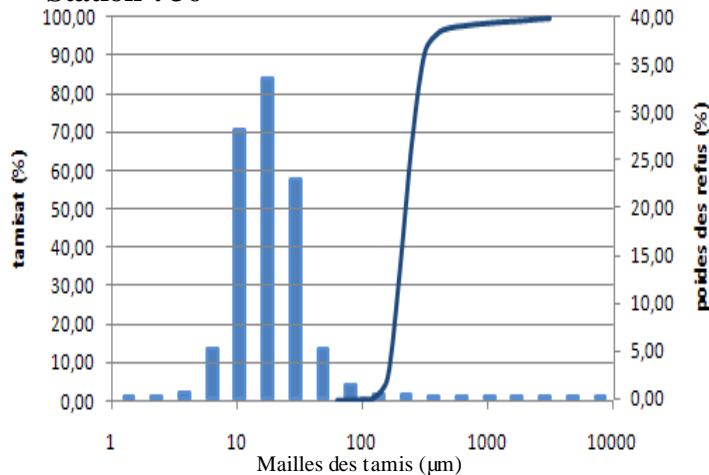
Station : 34



Station : 35

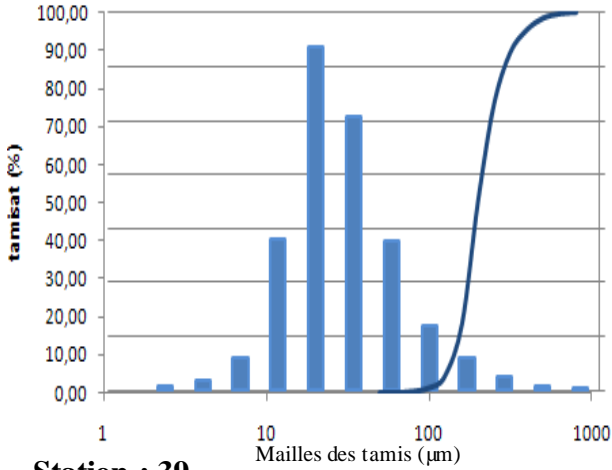


Station : 36

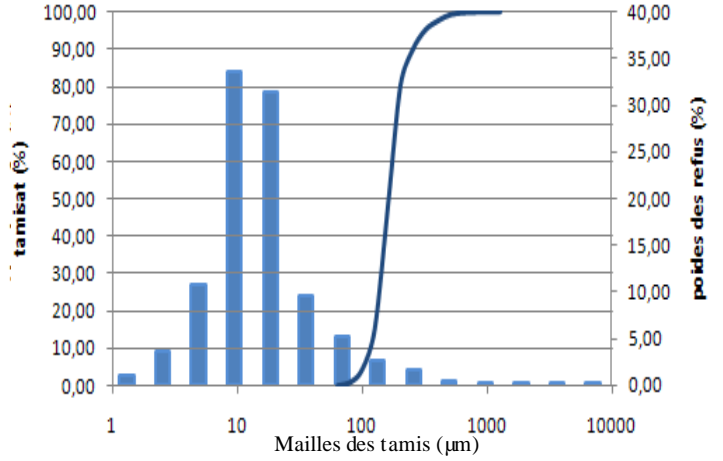


Annexe D : Les courbes granulométriques

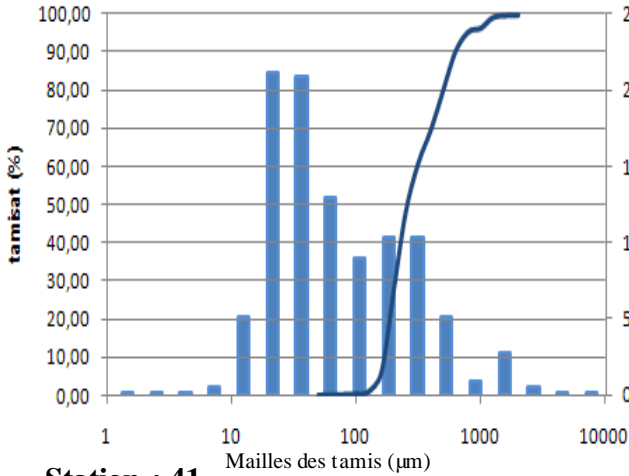
Station : 37



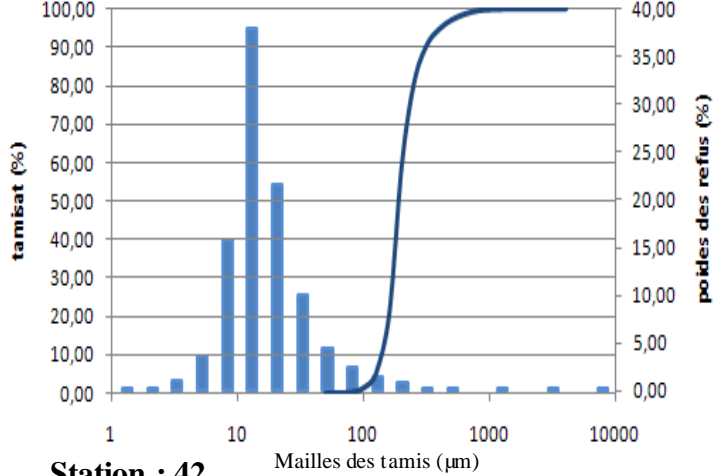
Station : 38



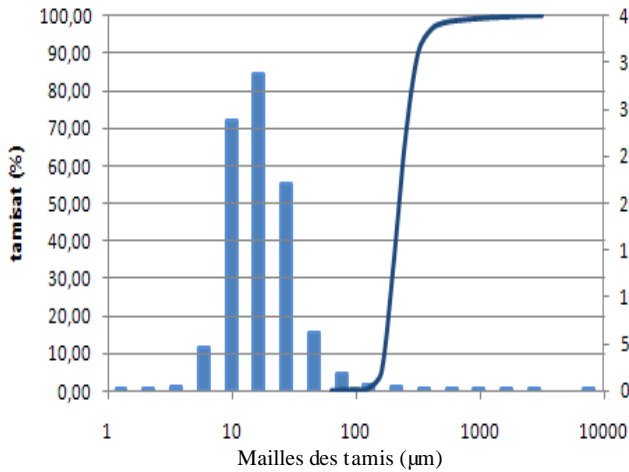
Station : 39



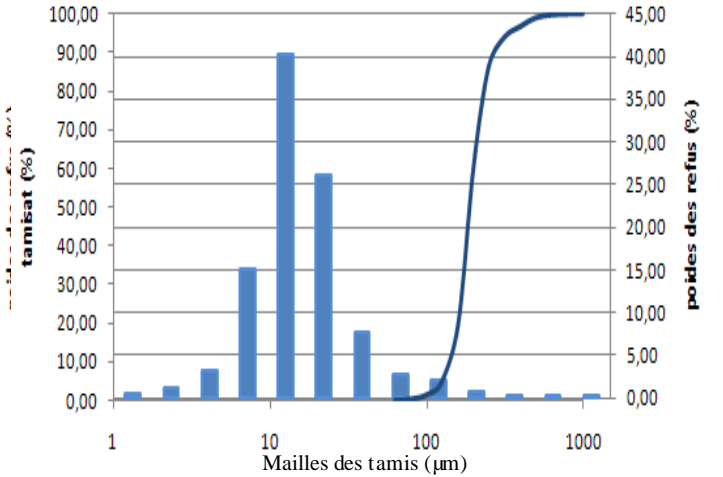
Station : 40



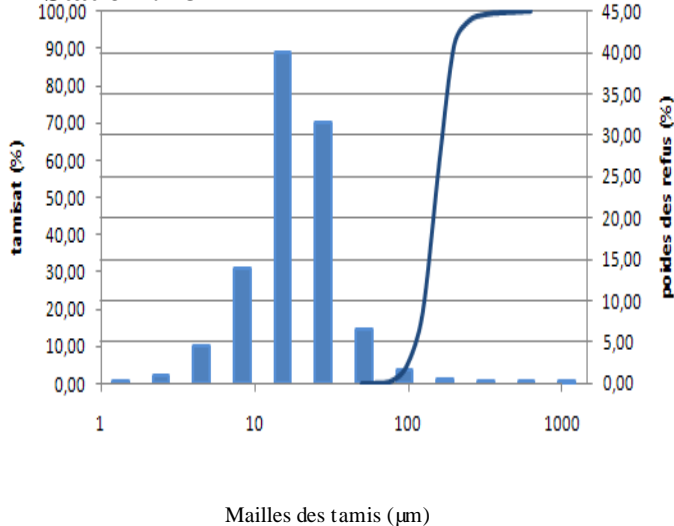
Station : 41



Station : 42



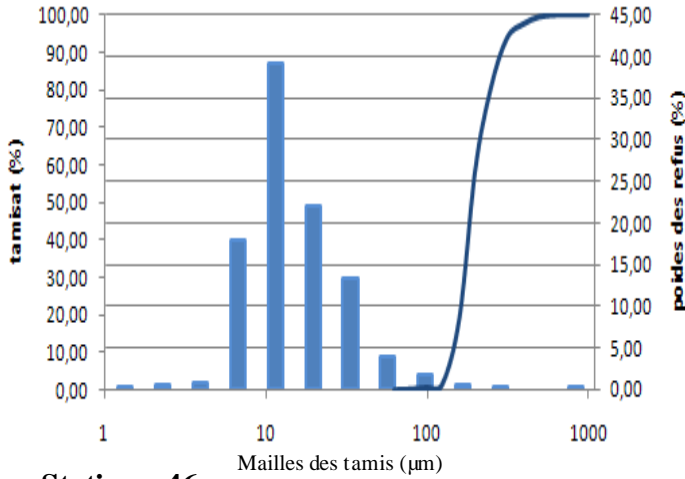
Station : 43



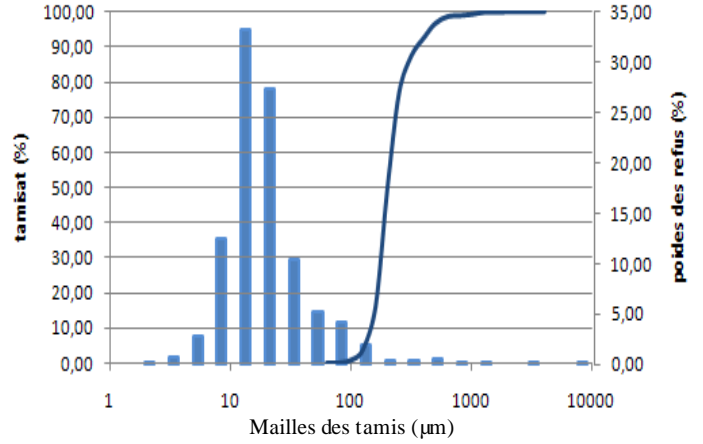
Mailles des tamis (μm)

Annexe D : Les courbes granulométriques

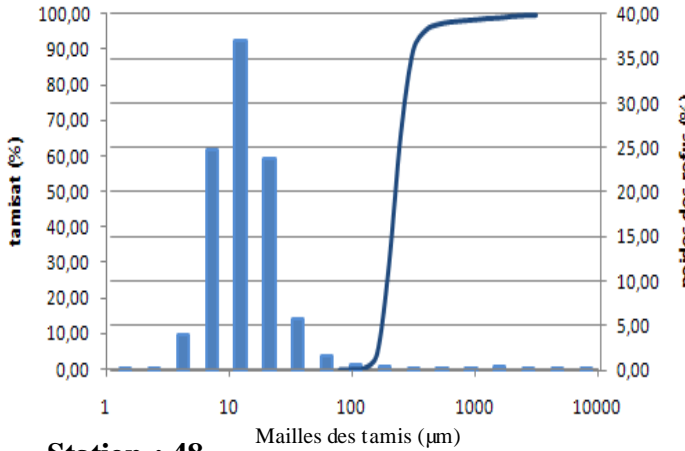
Station : 44



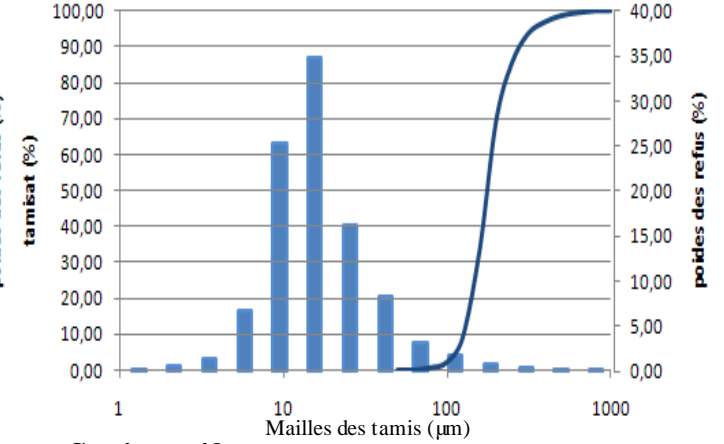
Station : 45



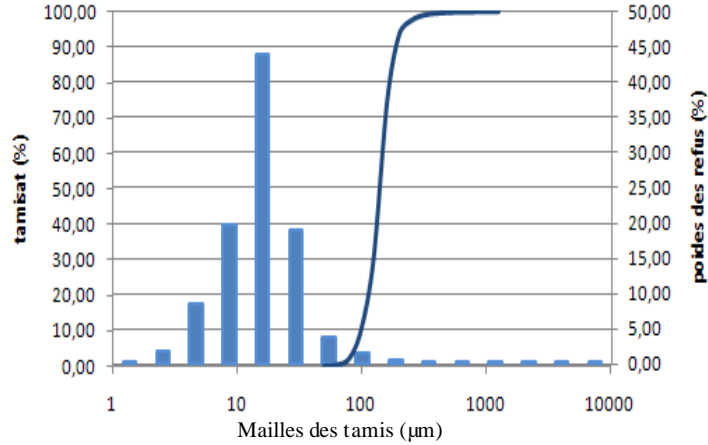
Station : 46



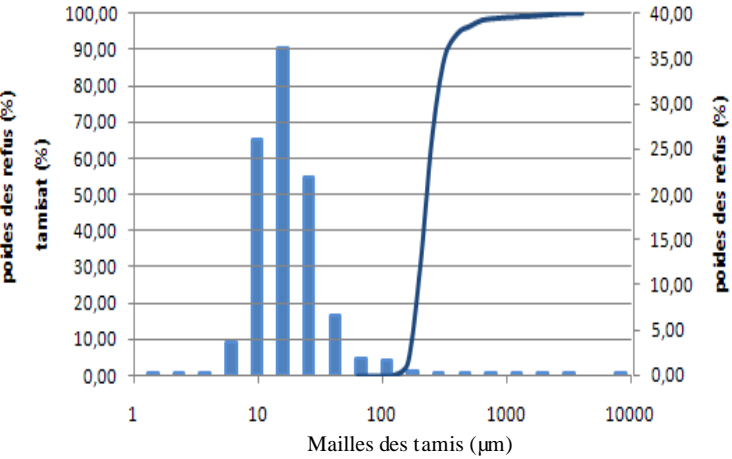
Station : 47



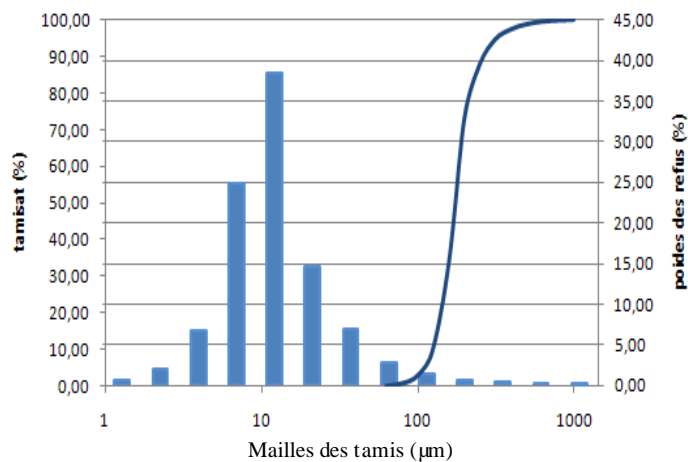
Station : 48



Station : 49



Station : 50



Annexe E : Cartes granulométriques

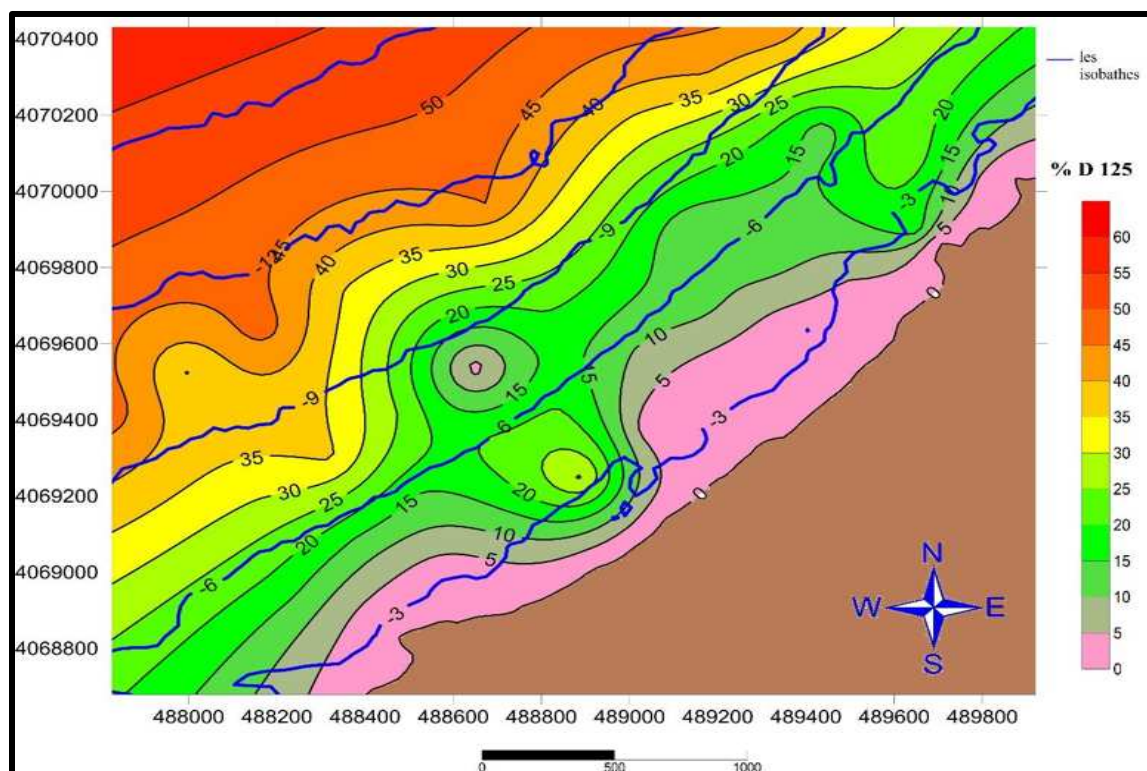


Figure 1: Carte de la répartition du mode (D125) dans la plage de Club des pins.

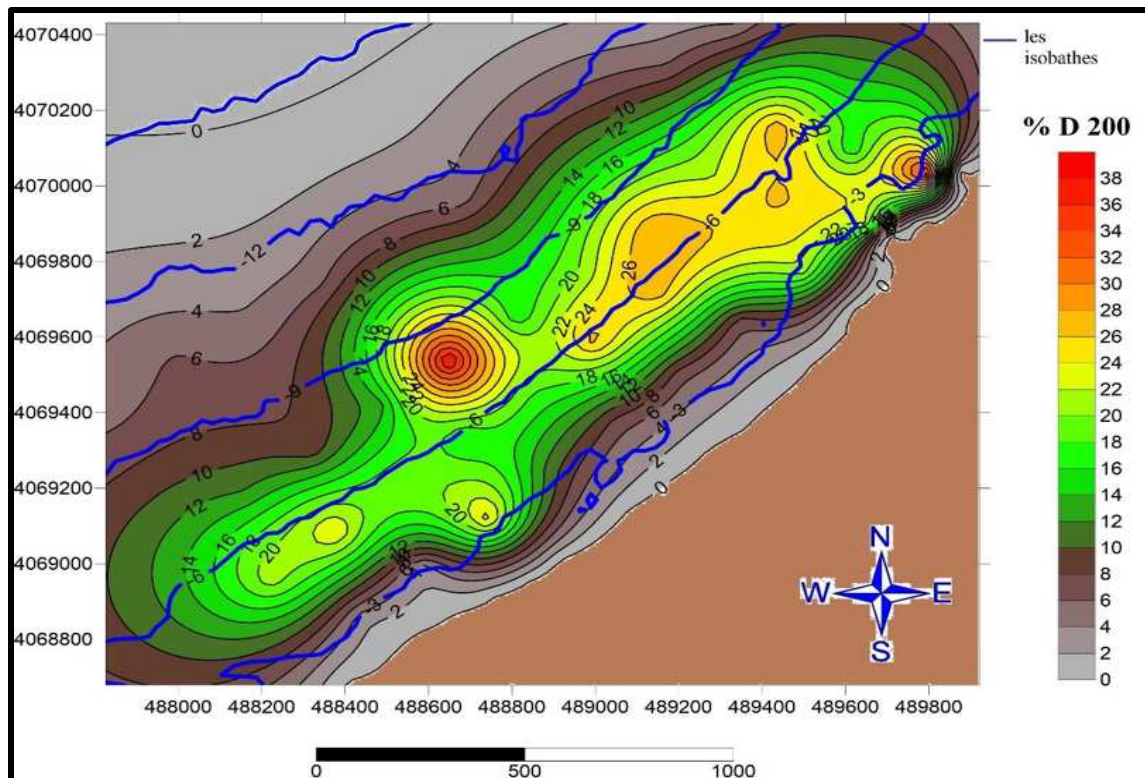
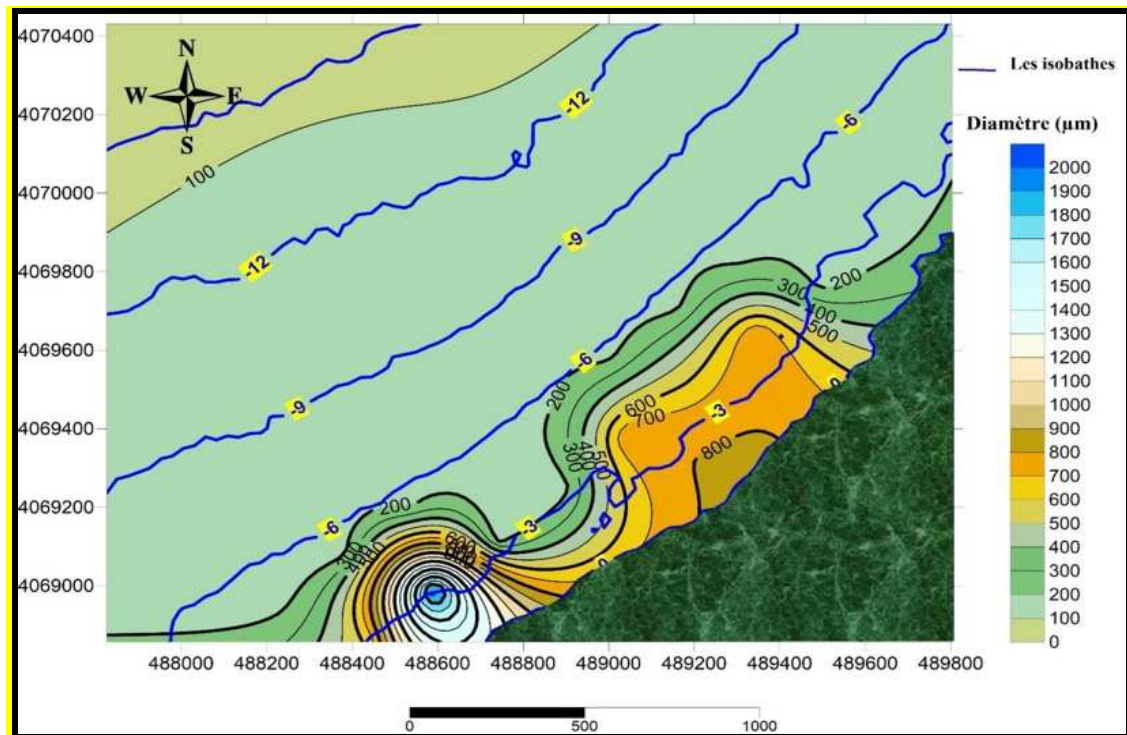


Figure 2: Carte de la répartition du mode (D200) dans la plage de Club des pins.

Annexe E : Cartes granulométriques



Figures 3 : carte de répartition des modes granulométriques.

Annexe F : Pourcentage de %CaCo3 dans les sédiments

Stations	Profondeur	%CaCo ₃
S1	9,5	Roche
S2	16,5	Boue
S3	3	17,71
S4	9	34,12
S5	12,9	Boue
S6	3,5	37,54
S7	9,2	12,76
S8	13	Boue
S9	2,8	23,73
S10	8,9	15,59
S11	12	Boue
S12	3,2	17,56
S13	8,5	27,49
S14	12,8	Boue
S15	3,5	7,72
S16	9,8	18,09
S17	13,9	Boue
S18	4	9,1
S19	10	14,64
S20	13,8	Boue
S21	4,2	16,91
S22	10,2	5,92
S23	13,8	Boue
S24	3,8	9,28
S25	9,5	4,09
S26	13,6	Boue
S27	3	14,61
S28	9,4	17,77
S29	14,8	Boue
S30	6	19,10
S31	12	13,83
S32	17,5	Boue
S33	4,8	29,84
S34	11	17,29
S35	18,6	Boue

Annexe F : Pourcentage de %CaCo3 dans les sédiments

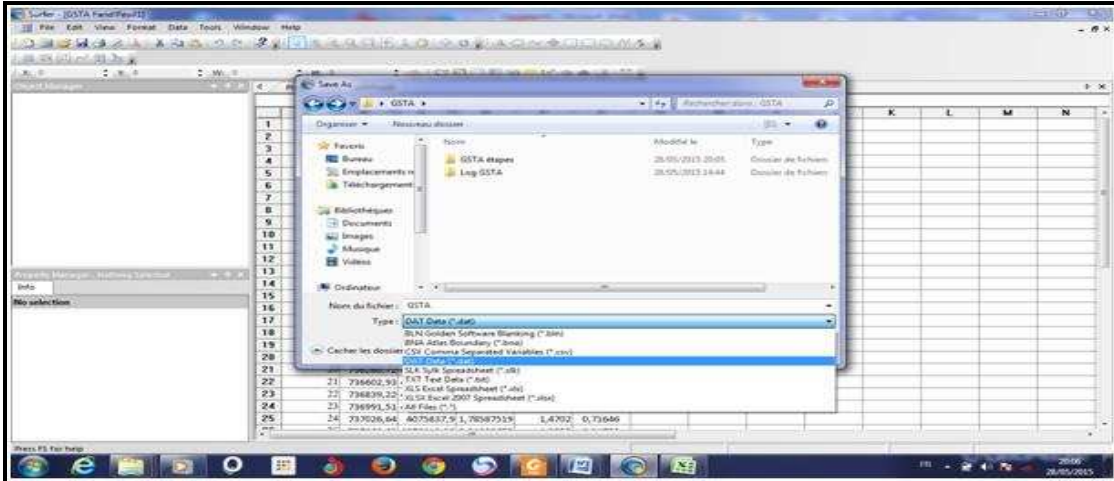
S36	5	32,83
S37	12	21,09
S38	19	Boue
S39	3,5	Roche
S40	14,8	Roche
S41	21	Boue
S42	11	Roche
S43	18	Roche

Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA

Procédure analytique :

Après avoir préparé la grid d'entrée L'application du GSTA (Grain Size Trend Analysis) passe par plusieurs étapes :

Remarque : Le logiciel GSTA exige que les données d'entrée soient sous le format (*.dat), et pour le faire, on utilise le logiciel SURFER qui nous permet de convertir les données de format Excel (*.xls) en format (*.dat).



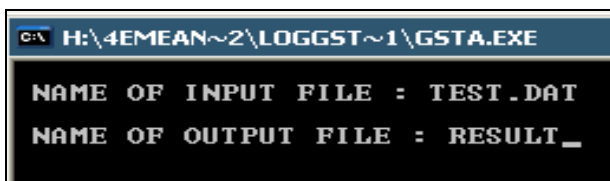
a. Application du GSTA :

Le logiciel GSTA est un programme destiné à l'analyse du transport sédimentaire. Son application est facile

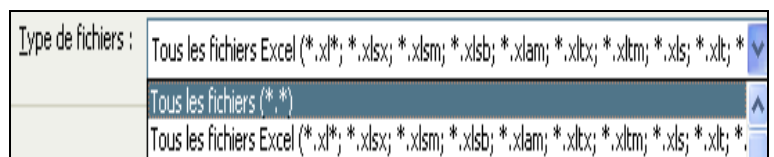
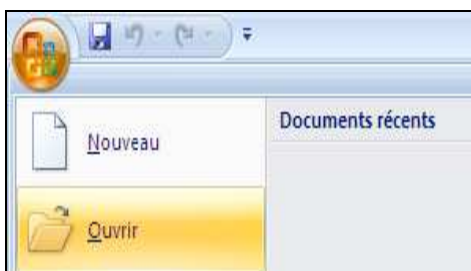
- Ouvrir **GSTA.EXE**



- Ecrire le nom du fichier (**input**) « **TEST.DAT** » puis cliquer sur **Entrée** pour donner le nom de fichier **output** « **RESULT** », puis cliquer sur **entrer**.

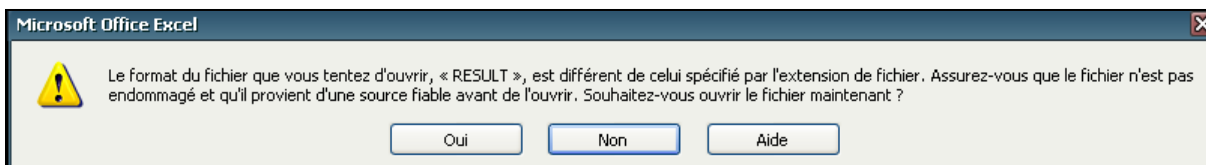


- Ouvrir l'Excel puis cliquer sur : **ouvrir** → **tous les fichiers (*.*)**

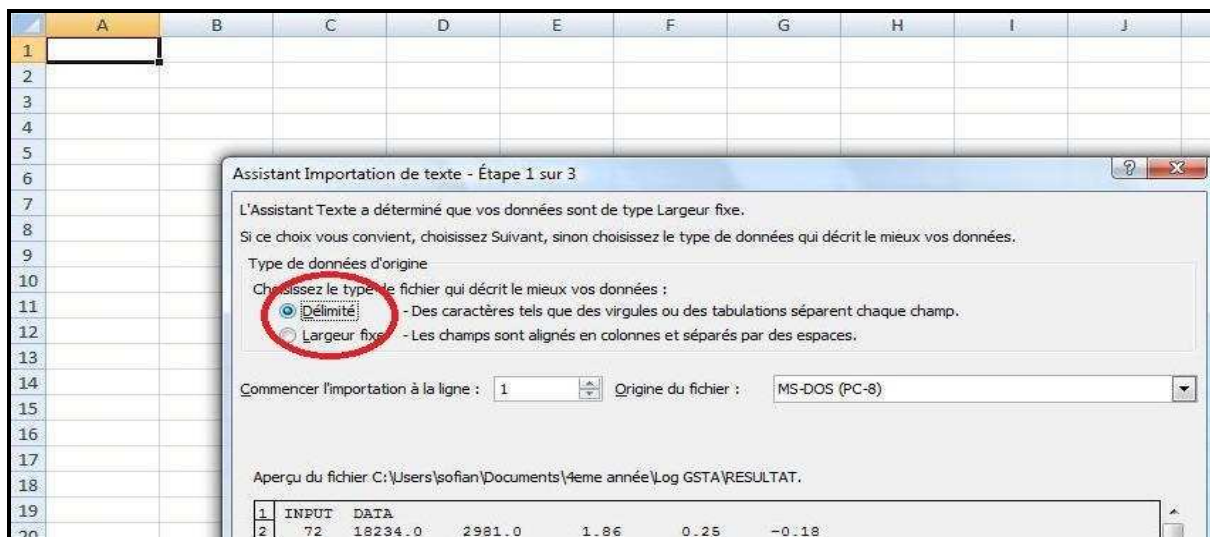


- Cliquer sur **RESULT** → **Ouvrir**, il donne:

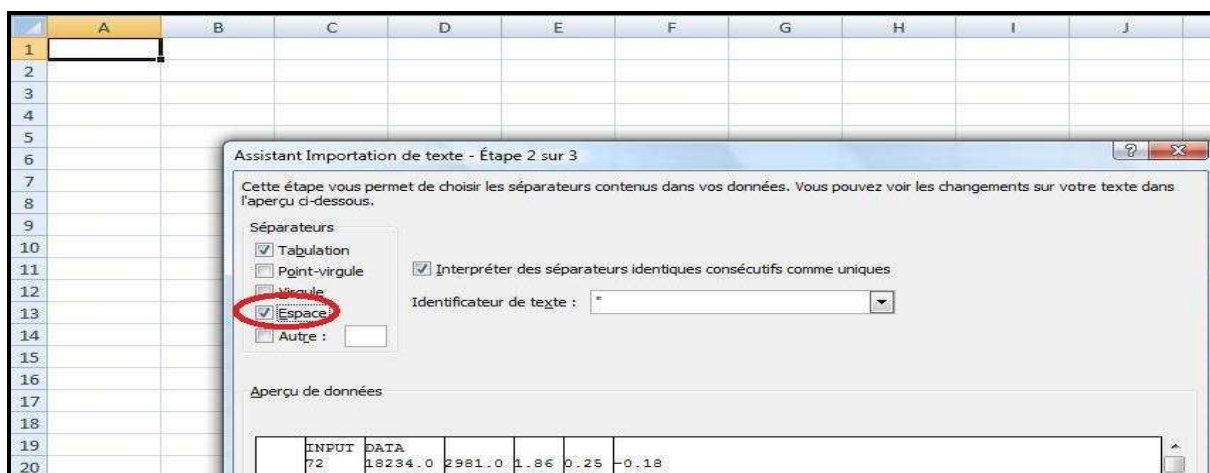
Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA



- Cliquer sur « **oui** », on obtient :



- Changer le type de fichier : **Délimité**
- Cliquer sur **suivant**, cocher sur **Espace**



- Cliquer sur **suivant** puis **terminer** → affichage les données :

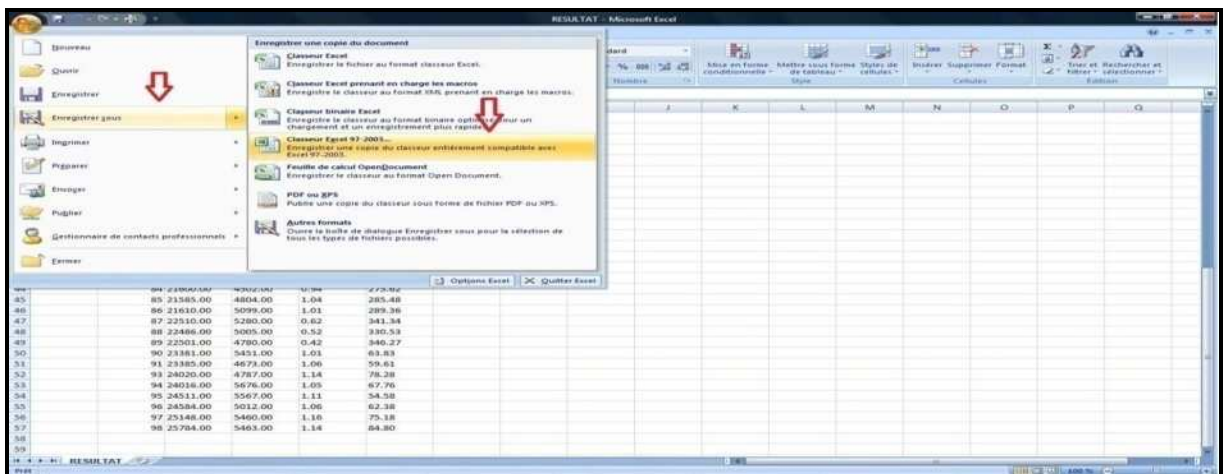
Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA

	DATA	INPUT			
2	18234.0	2981.0	1.86	0.25	-0.18
3	18243.0	3477.0	1.88	0.29	-0.20
4	18270.0	3741.0	1.60	0.30	-0.12
5	18976.0	4426.0	1.83	0.32	-0.20
6	76 19007.0	3892.0	1.73	0.38	-0.19
7	77 19010.0	3465.0	1.81	0.40	-0.15
8	78 20241.0	3881.0	1.60	0.46	-0.11
9	79 20268.0	4320.0	1.50	0.48	-0.12
10	80 20235.0	4680.0	1.69	0.45	-0.18
11	81 20970.0	4971.0	1.40	0.52	-0.12
12	82 21812.0	4630.0	1.29	0.53	-0.06
13	83 21006.0	4304.0	1.34	0.59	-0.07
14	84 21600.0	4502.0	1.47	0.65	-0.12
15	85 21585.0	4804.0	1.60	0.60	-0.18
16	86 21610.0	5099.0	1.55	0.63	-0.19
17	87 22510.0	5280.0	1.68	0.59	-0.28
18	88 22486.0	5005.0	1.71	0.57	-0.25
19	89 22501.0	4780.0	1.60	0.60	-0.29
20	90 23381.0	5451.0	1.81	0.55	-0.36
21	91 23385.0	4673.0	1.76	0.57	-0.35
22	92 24020.0	4787.0	1.79	0.54	-0.34
23	94 24016.0	5676.0	1.89	0.48	-0.38
24	95 24511.0	5567.0	2.10	0.41	-0.40
25	96 24584.0	5012.0	2.16	0.37	-0.17
26	97 25148.0	5460.0	2.09	0.35	-0.11
27	98 25784.0	5463.0	2.00	0.29	-0.06

- On Supprime la colonne « INPUT » :
- Résultat final :

	DATA	longueur	distance	
28	18234.00	2981.00	1.18	241.92
29	18243.00	3477.00	1.11	249.48
30	18270.00	3741.00	1.04	257.65
31	18976.00	4426.00	1.39	264.06
32	19007.00	3892.00	1.36	255.34
33	19010.00	3465.00	1.28	251.74
34	20241.00	3881.00	1.76	282.12
35	20268.00	4320.00	1.62	277.69
36	20235.00	4680.00	1.72	279.86
37	20970.00	4971.00	1.04	286.04
38	21812.00	4630.00	0.91	282.55
39	21006.00	4304.00	1.05	267.50
40	21600.00	4502.00	0.94	275.62
41	21585.00	4804.00	1.04	285.48
42	21610.00	5099.00	1.01	289.36
43	22510.00	5280.00	0.62	341.34
44	22486.00	5005.00	0.52	330.53
45	22501.00	4780.00	0.42	346.27
46	23381.00	5451.00	1.01	63.83
47	23385.00	4673.00	1.06	59.61
48	24020.00	4787.00	1.14	78.28
49	24016.00	5676.00	1.05	67.76
50	24511.00	5567.00	1.11	54.58
51	24584.00	5012.00	1.06	62.38
52	25148.00	5460.00	1.16	75.18
53	25784.00	5463.00	1.14	84.80

- On remplace les points par les virgules
- enregistrer les résultats sous forme (*.xls)

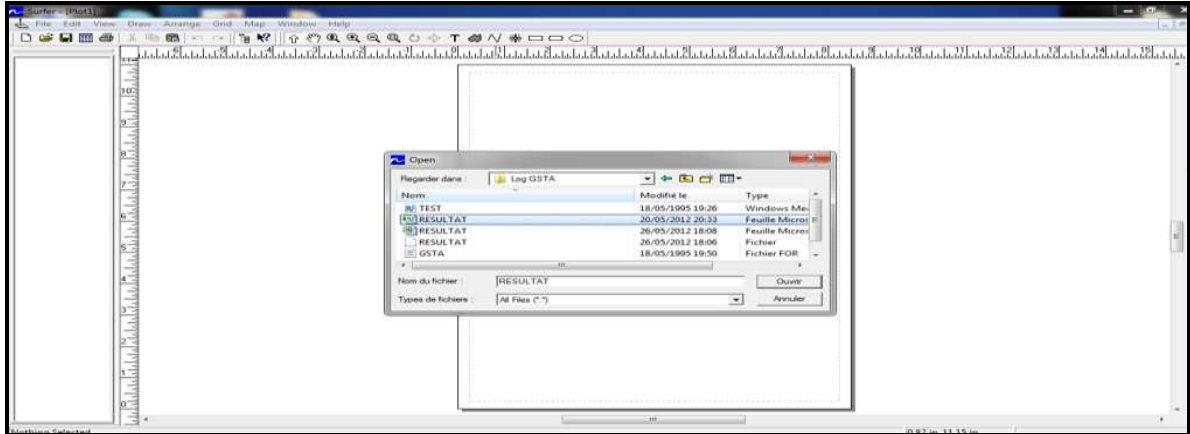


Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA

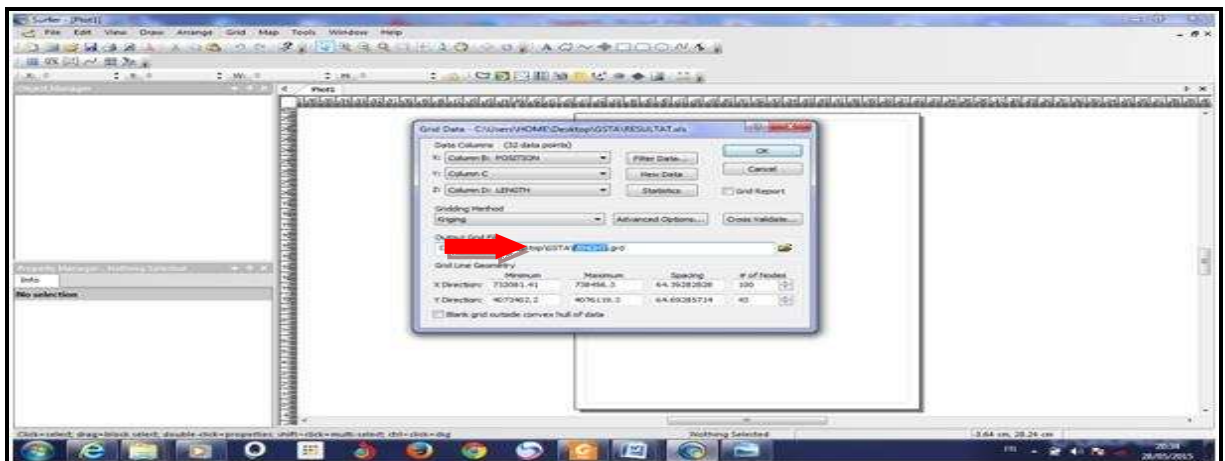
b. Exploitation des données de sortie :

On utilise le logiciel SURFER 11 pour exploiter les données output de GSTA :

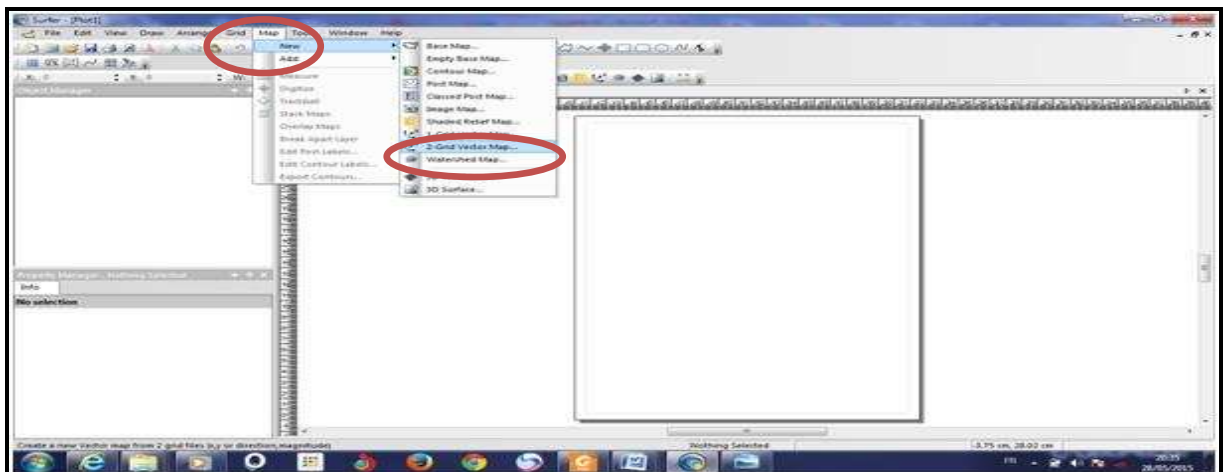
- Ouvrir **surfer** → **Grid** → **data...** →
- Cliquez sur le fichier Excel enregistré « **RESULT** »



- On change **RESULT** par **Lenght** : On clique sur « **ok** » :
- Puis on fait la même chose pour le changement de **RESULT** par **Direction** on obtient :

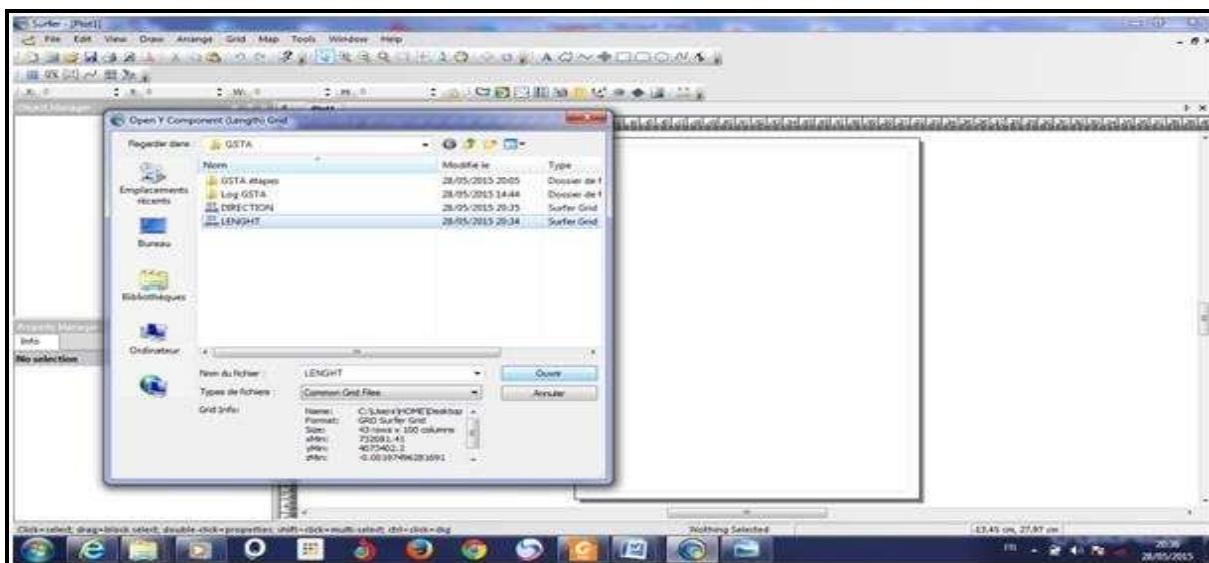


- Cliquez sur **Map** → **New** → **2-Grid VectorMap**

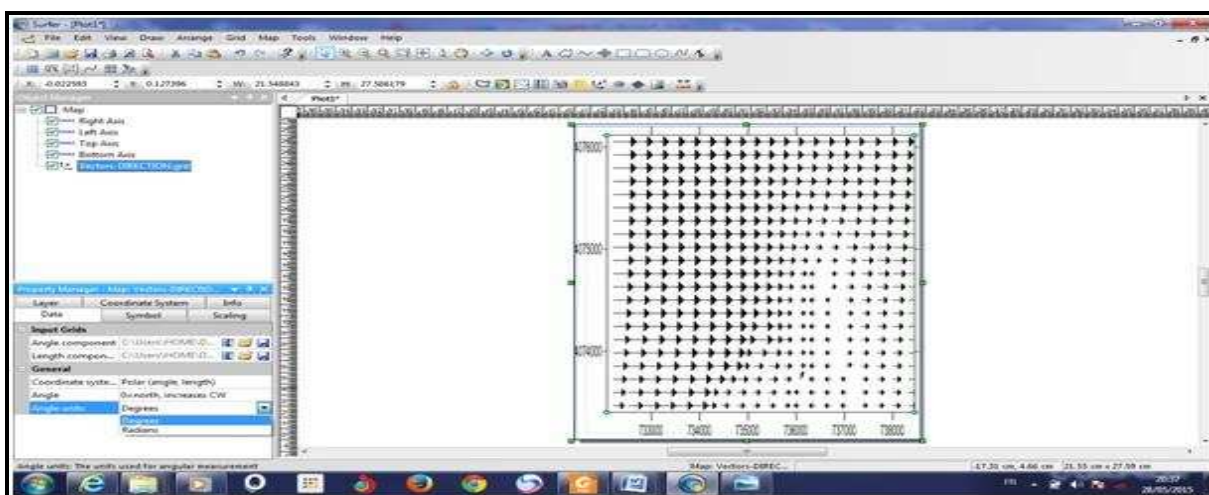


Annexe G : Les étapes de l'application du GSTA

- Ouvrir **Direction.grd**, puis ouvrir **Lenght.grd**



- Changer le système de coordonnées du **Cartésien (X,Y)** vers **Polaire** ;
- Changer l'unité de l'angle de **Radians** vers **Degrees**



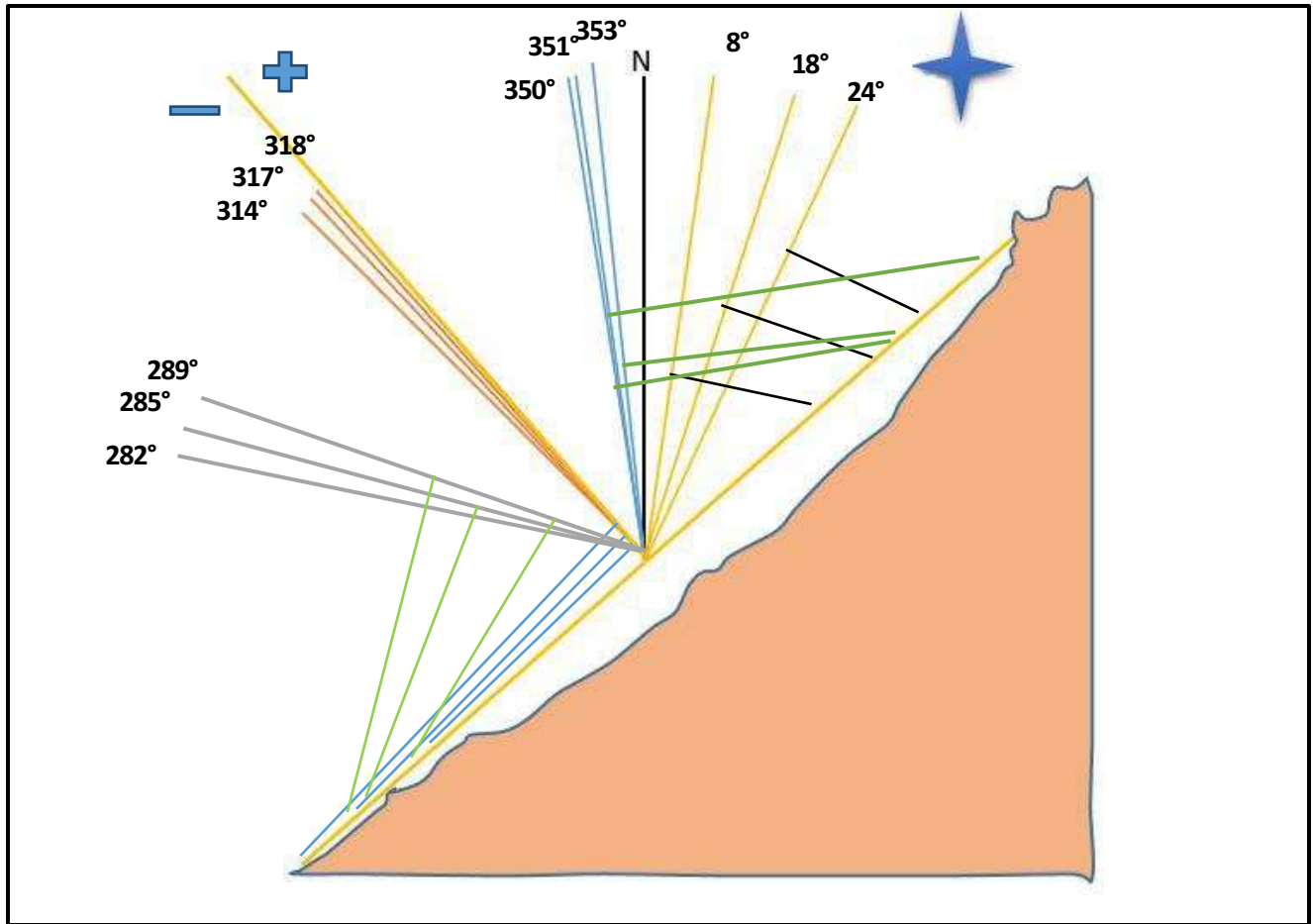
- Changer au niveau du **Symbol** : **Disabled** → **By magnitude**

Annexe H : Tableaux récapitulatif des fréquences d'observations

périodes	classes	Hs	Nord	Nord Est	Nord Ouest
6	0	ind	0	0	0
	0,5	0 à 0,5	179	236	97
	1	0,5 à 1	263	615	182
	1,5	1 à 1,5	148	462	147
	2	1,5 à 2	77	197	81
8	2,5	2 à 2,5	41	69	41
	3	2,5 à 3	25	25	19
	3,5	3 à 3,5	14	8	7
	4	3,5 à 4	3	5	5
10	5	4 à 5	5	5	3
	6	5 à 6	3	5	0
	7	6 à 7	0	0	0
	9	7 à 9	0	0	0
	11	9 à 11	0	0	0
	13,5	11 à 13,5	0	0	0
		total	758	1627	582

Hs observée	nombre d'observation >Hs			fri -frequence d'observation-		
	N 360	N 45	N 315	N 360	N 45	N 315
0	758	1627	582	0,085	0,183	0,066
0,25	579	1391	485	0,065	0,157	0,055
0,75	316	776	303	0,036	0,087	0,034
1,25	168	314	156	0,019	0,035	0,018
1,75	91	117	75	0,010	0,013	0,008
2,25	50	48	34	0,006	0,005	0,004
2,75	25	23	15	0,003	0,003	0,002
3,25	11	15	8	0,001	0,002	0,001
3,75	8	10	3	0,001	0,001	0,000
4,25	3	5	0	0,000	0,001	0,000
4,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
5,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000
5,75	0	0	0	0,000	0,000	0,000
6,25	0	0	0	0,000	0,000	0,000

Annexe I : Détermination de l'angle α



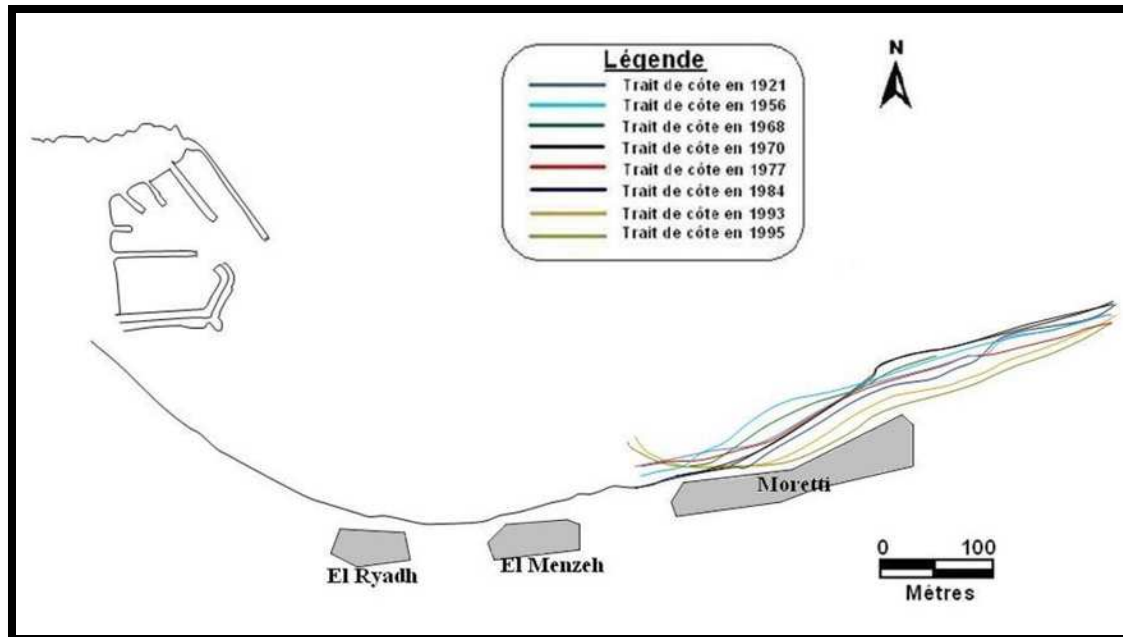


Figure n°1 : Évolutions du trait de côte entre 1921 et 1995 (Annane., 2007)