



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

OPTION : Aménagement du littoral.

SUJET :

Aménagement et protection du rivage de Bir El Djir –Oran–

Présenté par :

- **M^{me} Yousfi Abir**
- **M^{me} Zouaghi Sabrine**

Soutenu le 16/06/2015 devant le jury suivant

M^{me} Ghazi M.	Maitre de conférence A	Présidente
M^r Guerfi M.	Maitre de conférence A	Examineur
M^{me} Mehdid S.	Maitre assistante	Examinatrice
M^r Belkassa R.	Professeur	Promoteur
M^{me} Mouhoubi N.	Doctorante	Co-promotrice

Promotion : 2014/2015

«اللهم انفعني بما علمتني، وعلمني ما ينفعني، وزدني علما».

Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier le **BON DIEU** de nous avoir procuré : santé, patience et amour ainsi aux membres de nos familles qui nous ont soutenu durant ce petit séjour pour réaliser ce modeste travail.

Ensuite, il nous est agréable d'exprimer nos vifs remerciements et nos gratitudee au professeur **Belkassa R.**, notre promoteur, de nous avoir initié à la recherche, ainsi que pour ses excellents conseils, critiques et suggestions qui nous ont été d'une grande utilité.

Nous tenons à remercier vivement madame **Mouhoubi N.**, notre co-promotrice, pour ses encouragements, ses conseils d'une part et d'autre part pour sa disponibilité, et surtout pour ses aides précieuses.

Nous tenons à remercier vivement madame **Ghazi M.**, maitre de conférences A à l'ENSSMAL, pour l'intérêt qu'il porte à ce travail et pour nous avoir témoigné sa confiance en acceptant de présider la commission d'examen.

Nos remerciements vont aussi à monsieur **Guerfi M.**, maitre de conférences A à l'ENSSMAL pour avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons aussi à remercier madame **Mehdid S.**, maitre assistante à l'ENSSMAL, pour avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous tenons par ailleurs à exprimer notre haute considération et sincères remerciements au personnel de la bibliothèque.

Nos reconnaissances à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

Nous tenons énormément encore à remercier toute personne qui nous connaît, et en particulier vous qui êtes en train de nous lire.

Dédicaces

Je dédie ce travail et je remercie en premier mes parents qui m'ont soutenu, et qui sont toujours là pour moi.

Je le dédie et je remercie aussi ma moitié, mon chéri, mon adorable mari.

A mes meilleures : madame soleil, derti et 3omri ☺

A zozo ma grande – mère chérie.

A mon sauveur, qui se reconnaîtra tous seul, pour ses précieux conseils, enfin des fois ils ne sont pas aussi précieux ☺

A binomti Sabrine.

A Ahmed et Yousra.

A Djazia, Amine, Sabrina, Yasmine, Elwali, Nazim ;

A ma promo d'aménagement 2015 : Nadia, Fatima, Anissa, Rym, Soumeya, Mohamed², Zinou, Farid, Walid², Wahid , Brahim, Zaki, Amine, Na3im, Kamel, Nassim, Nasser, Jmou3i... (J'espère que je n'ai oublié personne) Vous êtes les meilleurs ☺

Aux membres du comité avec qui j'ai passé de très bon moment.

A tous ce qui ont rendu ces 5 dernières années encore meilleures.

Abir

Je dédie ce travail à la mémoire de mamère, mon père, à mes sœurs, à mes deux frères et à toute ma famille, à ma promotion de classe 2015 Aménagement de littoral, à mes copines.

Sabrine

Listes

- **2D** : Deux dimensions.
- **3D** : Trois dimensions.
- **°C** : Degré Celsius.
- **A.F.N.O.R** : Association Française de Normalisation.
- **C_m** : Centimètre.
- **Da** : Dinars Algérien.
- **G.S.T.A**: Grain Size Trend Analysis.
- **K_g** : Kilogramme.
- **K_m**: Kilomètre.
- **L.C.H.F**: Laboratoire Central Hydraulique de France.
- **LEM** : Laboratoire d'Etude Maritime.
- **m**: Mètre.
- **mm** : Millimètre.
- **m²** : Mètre carré.
- **m³** : Mètre cube.
- **N.B.** : Notez bien.
- **ONM** : Office National de la Météorologie.
- **s** : Seconde.
- **SIG** : Système d'information géographique.
- **S.S.M.O**: Summary of Synoptic Metrological Observations.
- **S.W.A.N**: Simulating Waves near Shore.
- **t**: Tonnes.
- **TVC**: Tous venant de carrière.
- **µm**: Micro mètre.

Fig. n°01 : Situation géographique du site d'étude.....	24
Fig. n°02 : Situation d'Ain Franine.....	25
Fig. n°03 : Couverture sédimentaire de la région d'Oran.....	27
Fig. n°04 : Valeurs moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Oran en 2009.....	28
Fig. n°05 : Rose trimestrielle et annuelle des vents.....	30
Fig. n°06 : Evolution du trait de côte entre 2010 et 2015.....	35
Fig. n°07 : Evolution du trait de côte entre 2001 et 2015.....	36
Fig. n°08 : Diagramme des surfaces d'érosion (m ² /an).....	37
Fig. n°09 : Evolution de trait de côte de la région d'Ain Franine avec les Transects.....	38
Fig. n°10 : Carte topo-bathymétrique en 2D d'Ain Franine.....	39
Fig. n°11 : Carte topo-bathymétrique en 3D d'Ain Franine.....	40
Fig. n°12 : Topobathymétrie d'Ain Franine et localisation des profils.....	41
Fig. n°13 : Profil topographique n°1.....	41
Fig. n°14 : Profil topographique n°2.....	42
Fig. n°15 : Profil topographique n°3.....	42
Fig. n°16 : Etapes de calcul de la réfraction.....	44
Fig. n°17 : Les directions défavorables à la plage d'Ain Franine.....	45
Fig. n°18 : Réfraction de la houle du Nord dans la côte Oranaise.....	46
Fig. n°19 : Réfraction de la houle du Nord dans la plage d'Ain Franine.....	47
Fig. n°20 : Réfraction de la houle de secteur Nord Ouest pour le littoral Oranais.....	48
Fig. n°21 : Réfraction de la houle de secteur Nord Ouest pour la plage d'Ain Franine.....	48
Fig. n°22 : Répartition des stations de prélèvement a Ain Franine.....	49
Fig. n°23 : Répartition spatiale des pérites.....	53
Fig. n°24 : Répartition spatiale de la médiane (D ₅₀).....	54

Fig. n°25: Répartition spatiale du décile supérieur (D90).....	55
Fig. n°26: Histogramme des fréquences des modes.....	56
Fig. n°27 : Répartition spatiale du mode M1 (125 µm-315 µm).....	57
Fig. n°28 : Répartition spatiale du mode M2 (400 µm-1000 µm).....	57
Fig. n°29 : Répartition spatiale du mode M3 (2000 µm-4000).....	58
Fig. n°30: Répartition de l'indice de dispersion S_0 en fonction de la médiane.....	59
Fig. n°31: Répartition de l'indice de dispersion par rapport à la bathymétrie.....	60
Fig. n°32 : Répartition du coefficient d'asymétrie en fonction de la médiane.....	61
Fig. n°33 : Répartition du coefficient d'asymétrie en fonction de la bathymétrie.....	62
Fig. n°34: Répartition du coefficient d'uniformité en fonction de la médiane.....	63
Fig. n°35 : Répartition du coefficient de courbure en fonction de la médiane.....	64
Fig. n°36 : Diagramme de Passega.....	65
Fig. n°37 : Les différents modes de transport sédimentaire.....	66
Fig. n°38 : Fichier input du logiciel GSTA.....	68
Fig. n°39 : Fenêtre du logiciel GSTA.....	69
Fig. n°40 : Fichier output du GSTA.....	70
Fig. n°41: Modélisation du transport sédimentaire par GSTA dans la plage d'Ain Franine.....	70
Fig. n°42: Détermination de l'angle	74
Fig. n°43 : Tapis anti-affouillement utilisé conjointement avec géo-tube.....	80
Fig. n°44 : Abaque pour la détermination de la longueur d'onde L	81
Fig. n°45: Abaque pour la détermination de la houle de dimensionnement H_t	82
Fig. n°46 : Emplacement des variantes.....	86
Fig. n°47: Détermination de la longueur d'onde.....	86
Fig. n°48 : Détermination de la houle de dimensionnement.....	87
Fig. n°49 : Installation du brise-lame dans la plage d'Ain Franine.....	89

Fig. n°50 : Profil du brise-lame proposé pour la plage d'Ain Franine.....	90
Fig. n°51 : Détermination de la houle de dimensionnement du géo-tube.....	92
Fig. n°52 : Schéma représentatif des géo-tubes et de leur emplacement (vue de haut).....	92
Fig. n°53 : Installation du géo-tube dans la plage d'Ain Franine.....	93
Fig. n°54 : profil du géo-tube proposé par la plage d'Ain Franine.....	94

Tab. n°01 : Fréquences des vents au large d'Oran.....	28
Tab. n°02 : Données de houle au large d'Oran.....	29
Tab. n°03: Bilan des taux de surface d'érosion et d'accumulation du trait de côte d'Ain Franine entre 2001 et 2015.....	37
Tab. n°04 : Taux moyen et vitesse moyenne de recul du trait de côte en fonction des transects de la plage d'Ain Franine entre 2001 et 2015.....	38
Tab. n°05: Données de houle au large annuel.....	45
Tab. n°06 : Données de houle au large vingtennale.....	45
Tab. n°07 : Coefficient de réfraction pour le secteur Nord.....	47
Tab. n°08 : Valeurs de K_R pour le secteur Nord Ouest.....	49
Tab. n°09: Diamètres des grains et appellations selon la norme française.....	50
Tab. n°10: Le classement de S_o , selon Trascck.....	51
Tab. n°11: Selon Trascck, le classement de S_K	52
Tab. n°12: Résultats de calculs des quantiles.....	53
Tab. n°13: L'indice de dispersion dans les différentes stations.....	59
Tab. n°14: Le coefficient d'asymétrie dans les différentes stations.....	61
Tab. n°15 : Les résultats du calcul.....	62
Tab. n°16 : Les valeurs du C_C selon Trascck.....	63
Tab. n°17: Résultat du calcul des amplitudes significatives H_S	72
Tab. n°18: Résultats du calcul des fréquences d'observation Fri.....	72
Tab. n°19: Résultats du calcul des fréquences d'observation $F\%$ et F par direction et par période.....	73
Tab. n°20 : Résultat du calcul des durées d'action t de la houle par direction et par période.....	73

Tab. n°21 : Résultat du calcul du bilan énergétique de la houle par direction et par période.....	73
Tab. n°22 : L'angle d'arrivée par période et direction.....	74
Tab. n°23 : Calcul des angles α et des fonctions $f(\alpha)$ par direction et par période.....	74
Tab. n°24 : Quantités du transit sédimentaire.....	75
Tab. n°25 : Résultats du dimensionnement du brise-lame.....	89
Tab. n°26 : Détermination des caractéristiques des géo-tubes implantés.....	91
Tab. n°27 : Résultats de dimensionnement du géo-tube.....	93
Tab. n°28 : Coûts des deux variantes.....	94
Tab. n°29 : Comparaison entre les deux variantes proposées.....	95

Sommaire

Introduction générale.....	22
Chapitre I : Présentation du site d'étude :	
1. Présentation géographique du site d'étude.....	24
2. Présentation géomorphologique	24
2.1. Nature et répartition des sédiments	25
a. Les sédiments calcaires	25
a.1. Les sables et graviers	25
a.2. Les vases calcaires	26
a.3. Les vases calcaré-argileuse	26
a.4. Les sédiments calcaires pélitiques	26
b. Les sédiments siliceux	26
b.1. Les sables et sablons	26
b.2. Les vases silico-calcaires.....	26
b.3. Les vases silico-argileuse.....	26
b.4. Les boues silico-argileuses	27
3. Présentation hydro-climatologique	27
3.1. Facteurs météorologiques et hydrologiques	27
a. Climat et température	27
b. Précipitations.....	28
c. Les Vents.....	28
3.2. Facteurs hydrodynamiques.....	29
a. Les houles.....	29
b. Les courants.....	30
c. Les marées et les variations du niveau marin.....	31
4. Processus d'érosion et agents.....	31
4.1. Les causes anthropiques de l'érosion.....	31
4.2. Les causes naturelles de l'érosion.....	32
5. Conclusion.....	32
Chapitre II : Etude morpho-dynamique de la zone d'étude	
Introduction.....	34
1. Evolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine.....	34
1.1. Mesure et analyse de l'évolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine	34
a. Récolte des données.....	34
b. Moyens et procédures.....	34
c. Aperçu du logiciel ArcGis 10.....	34
d. Résultats et interprétations.....	36
e. Conclusion sur l'état du site.....	39

2. Etude topo-bathymétrique.....	39
2.1. La carte topo-bathymétrique.....	39
a. Aperçu sur le logiciel Surfer 11.....	39
b. Résultats et interprétations.....	39
2.2. Etude de la topo-bathymétrie.....	40
a. Résultats et interprétations.....	40
2.3. Conclusion sur l'état du site.....	42
3. Etude de réfraction de la houle.....	43
3.1. Définition.....	43
3.2. Principe de calcul de la réfraction.....	43
• Aperçu sur SWAN.....	43
3.3. Les étapes de calcul de la réfraction.....	44
3.4. Choix du secteur angulaire.....	44
3.5. Données de base.....	45
• Les données de houle au large.....	45
3.6. Les résultats de la modélisation.....	46
a. La houle de secteur Nord : N360°.....	46
• Interprétations.....	47
b. La houle de secteur Nord Ouest : N315°.....	47
• Interprétations.....	49
c. Conclusion.....	49
4. Etude sédimentologie.....	49
4.1. Analyse granulométrique.....	50
a. Définition.....	50
b. Principe.....	50
c. Mode opératoire.....	50
d. Les paramètres et indices granulométriques.....	51
d.1. Les paramètres de position.....	51
d.1.1. Les quantiles.....	51
d.1.2. Le mode granulométrique.....	51
d.2. Les indices granulométriques.....	51
d.2.1. L'indice de dispersion ou de classement.....	51
d.2.2. Le coefficient d'asymétrie.....	51
d.2.3. Le coefficient d'uniformité.....	52
d.2.4. Coefficient de courbure.....	52
d.3. Résultats et Discussion.....	52
d.3.1. Etude de la fraction fine.....	52
d.3.2. Les paramètres de position.....	53
d.3.2.1. Les quantiles.....	53
d.3.2.1.1. Répartition des quantiles.....	54

▪ Répartition spatiale de la médiane.....	54
▪ Répartition spatiale du décile supérieur (D90).....	54
d.3.2.2. Le mode granulométrique.....	55
d.3.2.2.1. Répartition spatiale des modes.....	56
▪ Répartition du mode M1 (125 μm -315 μm).....	56
▪ Répartition du mode M2 (400 μm -1000 μm).....	57
▪ Répartition du mode M3 (2000 μm -4000 μm).....	58
d.3.3. Les indices granulométriques.....	58
d.3.3.1. L'indice de dispersion : S_o	58
d.3.3.2. Le coefficient d'asymétrie : S_K	60
d.3.3.3. Le coefficient d'uniformité : C_u	62
d.3.3.4. Le coefficient de courbure : C_c	63
d.3.4. Le diagramme de Passega.....	64
4.2. Transit sédimentaire.....	65
a. Modes de transports des sédiments sur le fond.....	66
a.1. Le transport par roulement ou charriage.....	66
a.2. Le transport par saltation.....	66
a.3. Le transport en suspension.....	66
b. Qualification du transit sédimentaire.....	66
b.1. Analyse de la dynamique sédimentaire de la plage d'Ain Franine avec le modèle Mc Laren / Gao et Collins.....	67
b.1.1. Principe du modèle.....	67
b.1.2. Procédure analytique.....	67
• Préparation des données d'entrée.....	67
• Application du GSTA.....	68
• Exploitation des données de sortie.....	69
b.1.3. Les résultats de la modélisation.....	70
b.2. Conclusion.....	71
c. Quantification du transit sédimentaire.....	71
c.1. Méthodologie.....	71
c.2. Calcul du transit sédimentaire.....	71
c.2.1. Détermination de l'amplitude H_s	72
c.2.2. Calcul de la durée t	72
• Fréquences et les moyens d'apparition F_{ri}	72
• Calcul des fréquences d'observation $F\%$	73
• La durée t	73
c.2.3. Calcul du bilan énergétique de la houle.....	73
c.2.4. Détermination de l'angle.....	73
c.2.5. Estimation du transit sédimentaire.....	75
5. Conclusion sur l'état du site.....	75

Chapitre III : Les solutions de protection

1. Introduction.....	77
2. Description des variantes.....	77
2.1. Variante n°01 : Brise-lame émergé.....	77
a. Définition.....	77
b. Intérêts.....	77
c. Avantages et inconvénients.....	78
2.2. Variante n°02 : Géo-tube.....	78
a. Définition.....	78
b. Intérêts.....	78
c. Avantages et inconvénients.....	79
d. Remplissage et mise en place.....	79
3. Dimensionnement.....	80
3.1. Brise-lame.....	80
a. La longueur de l'ouvrage	81
• Détermination de L.....	81
b. La longueur en tête du brise-lame : e.....	82
c. Hauteur de la houle de dimensionnement (H_t).....	82
d. Stabilité de l'ouvrage.....	83
d.1. Carapace.....	83
• Poids des blocs de carapace.....	83
• Le diamètre nominal (D_{n50}).....	83
• L'épaisseur de la carapace.....	83
d.2. Le Noyau.....	84
3.2. Géo-tube.....	84
a. La profondeur d'implantation : d.....	84
b. Le diamètre : D.....	84
c. La distance par rapport à la côte : l_c	84
d. La longueur du géo-tube : l.....	84
e. La largeur de la berme : B.....	85
f. Stabilité des géo-tubes.....	85
3.3. Résultats du dimensionnement.....	86
a. Brise-lame émergé.....	86
• La longueur du brise-lame : l.....	86
• La longueur en tête du brise-lame : e.....	87
• Hauteur de la houle de dimensionnement : H_t	87
• Stabilité de l'ouvrage.....	88
o Carapace.....	88
o Noyau.....	88

b. Géo-tube immergé.....	90
• La profondeur d'implantation : d	90
• La distance par rapport à la côte : l_c	90
• La longueur du géo-tube : l	90
• La largeur de la berme : B	91
• Le diamètre : D	91
• Le nombre de géo-tube.....	92
• La stabilité du géo-tube.....	93
4. Les coûts des deux variantes.....	94
5. Comparaison entre les deux variantes.....	94
6. Conclusion.....	95
Conclusion générale.....	97
Annexes.....	99
Références bibliographiques.....	125

Introduction

Générale

Les zones littorales situées à la frontière de la mer et la terre ont toujours présenté un grand intérêt et sont le siège d'activités multiples liées à la mer (pêche, navigation, tourisme balnéaire...) mais aussi à la terre (villes, industries au bord de l'eau...).

Ces zones sont, à la fois, soumises à l'action des éléments naturels et à l'action de l'homme qui utilise et aménage ces zones et donc en modifie l'équilibre naturel.

Aujourd'hui les côtes sableuses constituent l'attraction favorite des gens, surtout en période estivale, pour se reposer ou se divertir. Ces plages qui sont un patrimoine à préserver connaissent d'importants problèmes d'érosion (Paskoff, 1984).

Notre zone, la plage d'Ain Franine, correspond à un front côtier du tronçon central. Elle s'étend sur une longueur de 260 m environ, limitée à l'Est et à l'Ouest par des badlands qui débouchent sur la plage. Elle est caractérisée par un talus de pente raide et dont la hauteur diminue d'Est en Ouest.

Selon les études qui sont élaborées par le LEM, cette plage fait face à une dégradation importante traduite par un recul de trait de côte et un démaigrissement de la plage.

L'intérêt de protéger cette zone révèle de l'importance de la commune de Bir El Djir sur le plan touristique, économique et industriel, et donc elle va contribuer dans le développement de la wilaya d'Oran.

Le but de ce travail est d'aménager et de proposer des solutions de protection afin d'assurer sa pérennité.

Ce dernier est réparti en trois grands chapitres :

- Le premier est consacré pour la présentation de la zone d'étude : Présentation géographique, géomorphologique et hydro-climatologique.
- Le deuxième concerne l'étude morpho-dynamique de la zone d'étude : Etude d'évolution du trait de côte, étude topo-bathymétrique, étude de réfraction de la houle et étude sédimentologique.
- Le troisième représente les solutions de protection : Présentation des deux variantes de protection avec le dimensionnement et les avantages et inconvénients.

Et enfin la conclusion dans laquelle on a globalisé l'origine et le devenir de l'érosion dans la plage d'Ain Franine ainsi que les résultats des études élaborées.

Chapitre I :

Présentation du site d'étude

1. Présentation géographique du site d'étude:

Le site côtier d'Ain Franine fait partie de la côte orientale du littoral Oranais, largement ouverte sur la baie de Canastel et relève administrativement de la Commune de Bir El Djir. Elle se situe à environ 15 Km à l'Est du port d'Oran entre les parallèles (figure n°1):

- ☞ 35°45' 55" et 35°46' 17" de latitude Nord et
- ☞ 0°31' 27" et 0°31' 55" de longitude Ouest.

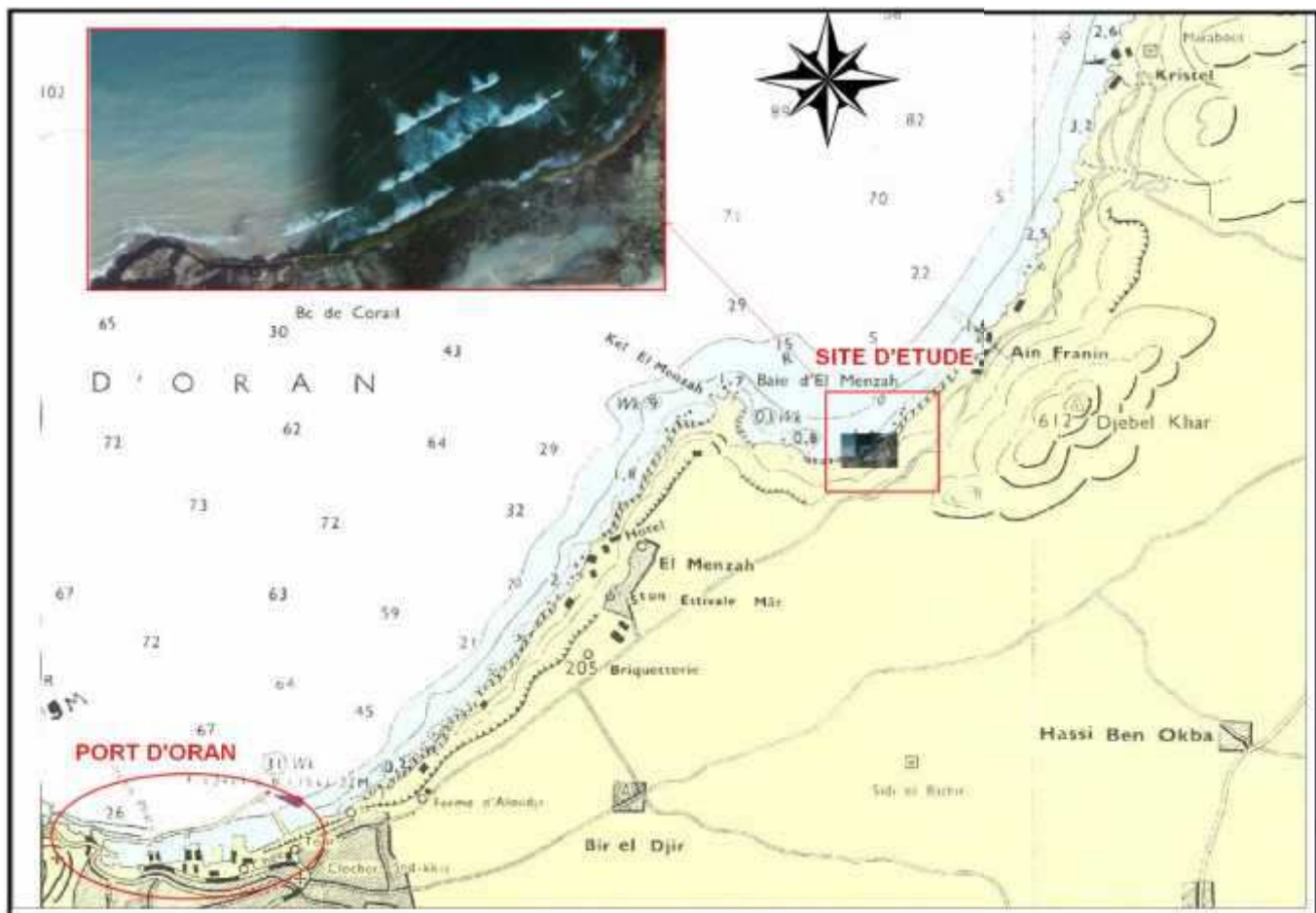


Figure n°01 : Situation géographique du site d'étude.

2. Présentation géomorphologique :

D'Ouest en Est, le littoral oranais comporte trois golfes : le golfe de Nemours, le golfe d'Oran, et le golfe d'Arzew.

La zone d'Ain Franine (Bir El Djir) appartient au golfe d'Oran qui est délimité par le Cap Falcon à l'Ouest et le Cap Carbon à l'Est et se situe précisément entre le Cap Ferrat à l'Ouest et la pointe de l'Aiguille à l'Est. (Figure n°02).

Au large de ces deux Caps (Ferrat et Carbon), les isobathes de 200 à 500 accusent une curieuse forme en auge dont le bord Est est dessiné par un décrochement important des lignes de niveau. (LEM, 2014).



Figure n°02 : Situation d'Ain Franine.

Le littoral oranais est constitué d'une alternance de falaises et de plages : 70 % de falaises abruptes entrecoupées de promontoires rocheux avec des saillies et des caps, et 30 % de plages sablonneuses bordées de cordons dunaires. Dans la zone infralittorale, le calcaire est le constituant majeur des sédiments, sous la forme d'un tapis de sables graveleux recouvrant tout le plateau continental ; en revanche, les sédiments siliceux sont faiblement représentés. Les vases calcaréo-siliceuses, qui couvrent une importante superficie du littoral, sont très riches en débris de roches et en coquilles fraîches et transparentes, alors que les boues argilo-siliceuses ne représentent qu'un faible pourcentage en bordure de cette zone (Leclaire, 1972). Au niveau du littoral oranais, se produit un contre courant issu d'une branche du courant atlantique (appelé courant algérien par Millot, 1987, qui plaque cette branche contre le littoral, ce qui permet le déplacement de la fraction fine dans le fond et crée une extension de la grande vasière vers le secteur de Mostaganem.

2.1. Nature et répartition des sédiments : (Leclaire, 1972) :

a) Les sédiments calcaires :

a.1. Les sables et graviers :

Dans le golfe d'Oran et des abords, presque tous les sables et graviers calcaires sont plus ou moins argileux. Du Cap Falcon au Cap de l'Aiguille, ils se divisent en deux types : les sables de la plateforme continentale, les sables du rebord (Ou sables du large). Les premiers ont une composition variable ; près du Cap de l'Aiguille, ils contiennent du Corail rouge, plus ou moins encroûté, remanié

et des Bryozoaires qui prédominent par rapport aux débris de coquilles et aux Foraminifères d'herbiers, peu abondants. Avec des débris d'algues calcaires encroûtantes, on rencontre parfois de grandes coquilles de Pétoncles érodées, burinées et perforées. Dans la partie la plus fine du sédiment, on retrouve des grains de quartz et des Foraminifères.

Tandis que les sables du rebord ont une composition moins variable. Ils contiennent toujours d'abondants débris d'algues, tous très corrodés. A ces débris d'algues s'ajoute un sable bioclastique (fragments de coquilles arrondis à surface luisante, et d'algues encroûtantes). Mélangés à tous cela, d'une part, d'abondants grains de glauconie, d'autre part, une biocénose de Foraminifères. Dans la fraction la plus fine apparaît de la silice sous forme d'un sablon quartzeux. (Leclaire, 1972).

a.2. Les vases calcaires :

Dans la plupart des cas, ce qui différencie les vases calcaires des sables et graviers calcaires plus ou moins argileux sont les 10% ou plus d'argile qui entrent dans leur constitution. Pour le reste et en particulier pour le calcaire il n'y a pas de différence de nature. Les éléments grossiers : algues, coquilles, Bryozoaires sont les mêmes. Il semble cependant que les Foraminifères et les Ostracodes sont plus nombreux. Les vases calcaires sont en définitive un sédiment de transition entre les sables et des dépôts plus argileux comme les vases calcaréo-argileuses. (Leclaire, 1972).

a.3. Les vases calcaréo-argileuses :

Ce type de sédiment couvre une importante superficie dans cette région. La composition de sa phase calcaire n'est pas fondamentalement différente des sables et graviers calcaires. (Leclaire, 1972).

a.4. Les sédiments calcaires pélitiques :

Dans le golfe d'Oran et ses abords, les faciès calcaires forment un tapis qui recouvre la plate-forme littorale et le rebord continental. (Leclaire, 1972).

b) Les sédiments silicieux :

b.1. Les sables et sablons :

La bordure littorale sablonneuse comprise entre le Cap Lindlès et le Cap de l'Aiguille, relativement peu développé, semble, quant à la nature, très homogène. (Leclaire, 1972).

b.2. Les vases silico-calcaires :

Ces vases contiennent une fraction graveleuse importante avec débris de roches arrondis et quartz anguleux ou légèrement émoussés. On y trouve des coquilles de Gastéropodes, de Lamellibranches et des débris de Bryozoaires frais.

Ce type de sédiment fait transition sur le plateau continental entre la bordure littorale sablonneuse et des faciès calcaires. (Leclaire, 1972).

b.3. Les vases silico-argileuse :

C'est un sable argileux qui contient quelques coquilles fraîches et souvent d'abondants débris végétaux. Ces vases forment, avec les boues silico-argileuse la « vasière du Chélif ». Il en est de même devant Port-Bou Zadjar (feuille du golfe d'Oran). (Leclaire, 1972).

b.4. Les boues silico-argileuses :

C'est un sédiment fin et homogène dans lequel la fraction arénitique ne représente plus qu'une faible part. Il s'agit en général de débris de végétaux flottés plus ou moins scoriacés, de quelques rares coquilles et principalement de Foraminifères. Dans la région, ces boues silico-argileuses délimitent essentiellement une sorte d'unité sédimentologique sous la dépendance du Chélif que nous avons appelée « la vasière du Chélif ». (Leclaire, 1972).

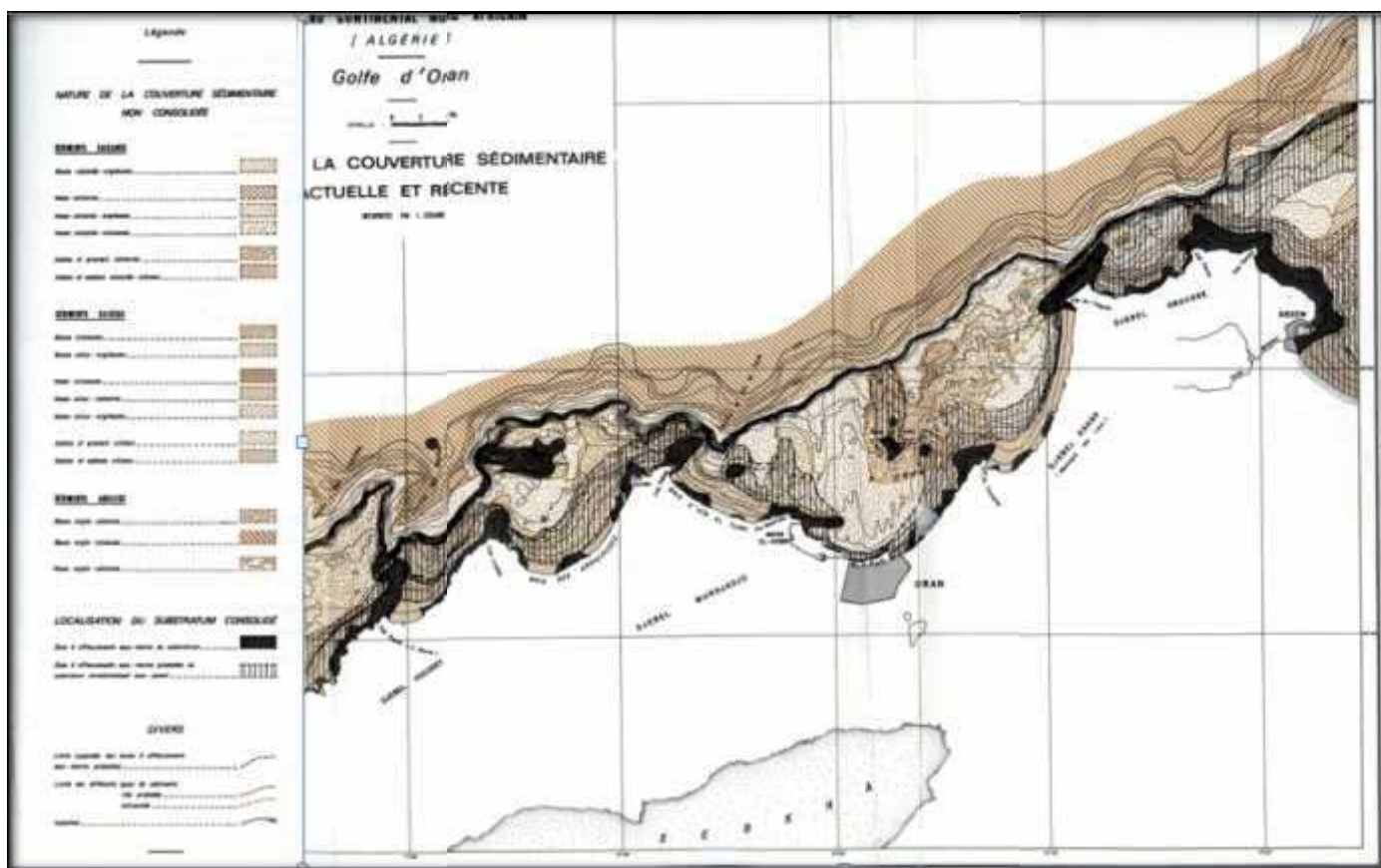


Figure n°03 : Couverture sédimentaire de la région d'Oran.

(Leclaire, 1972).

3. Présentation hydro-climatologique :

3.1. Facteurs météorologiques et hydrologiques :

a. Climat et température :

Le climat de toute la région d'Oran est de type Méditerranéen caractérisé par un été chaud et sec et un hiver frais et humide.

La saison froide s'étend de Novembre à Avril. Les températures moyennes enregistrées à Oran sont de + 10.9°C en Janvier et de + 25°C en Aout. La moyenne annuelle étant de + 17.4°C.

Les températures minimales et maximales sont respectivement - 3°C en Décembre et + 41°C en Aout. (ONM).

b. Précipitations :

Les renseignements concernant la pluviométrie dans la région d'Oran, tirés des statistiques de la station météorologique de l'Aéroport d'El Sénia, indiquent des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 406 mm.

Il ya environ 61 jours de pluie par an. Les pluies sont surtout importantes d'Octobre à Avril avec un maximum en Décembre et Janvier de près de 100 mm. (ONM).

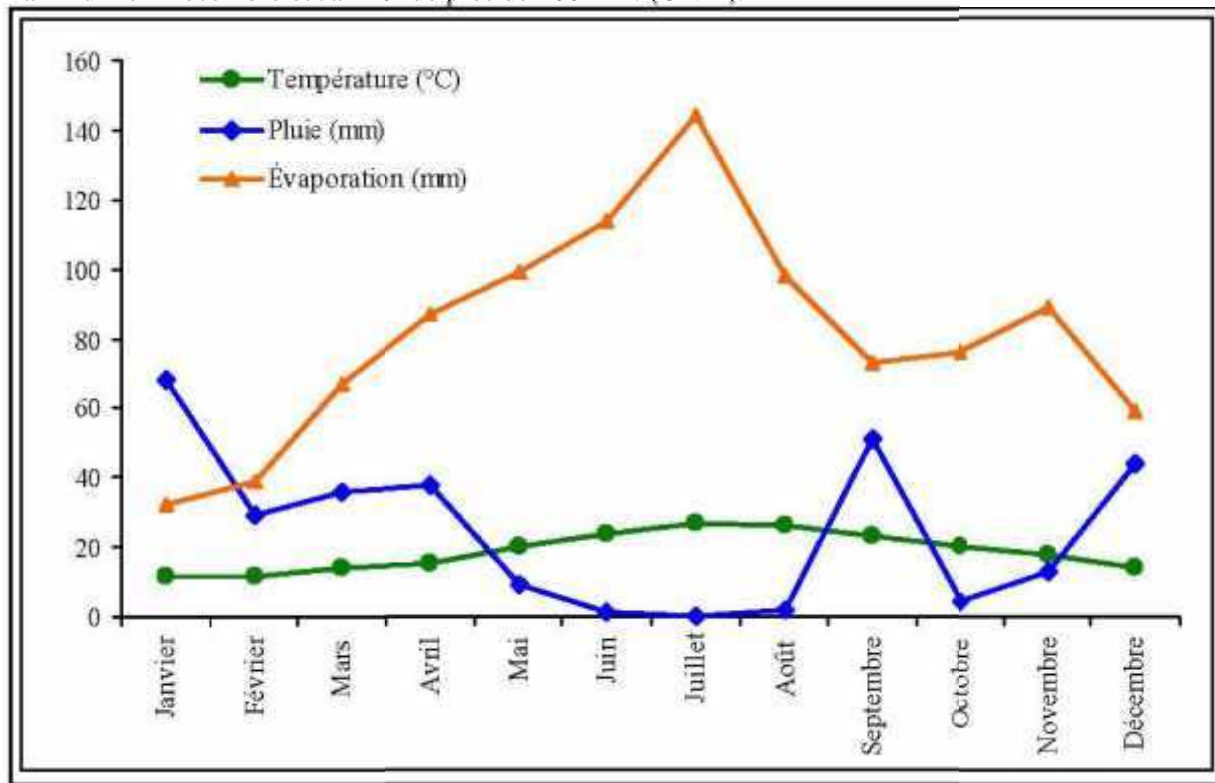


Figure n°04 : Valeurs moyennes mensuelles des paramètres climatiques à Oran en 2009.

(Source : ONM)

c. Les Vents :

Les vents jouent un rôle très important dans la dynamique des eaux marines et sont générateurs de houles et de courants superficiels.

Les données de vents sont reprises à partir des statistiques de l'*US Naval Weather Services Command* intitulé *Summary of Synoptic Meteorological Observations* (SSMO/zone 4-Oran) pour la période de 1914 à 1970 et durant laquelle 24905 relevés de vents ont été effectués.

L'analyse des données montre que les vents dominants sont ceux provenant des secteurs ENE et WSW. La fréquence d'apparition par direction, toutes vitesses confondues sont réparties comme suit :

Tableau n °01 : Fréquences des vents au large d'Oran : (LEM, 2014).

Direction	N	NE	E	SE	S	SW	WNW	NW	Var	Calme	Total
Fréquence (%)	7	24,2	12,6	2,4	4,5	21,6	16,4	4,4	0,3	6,4	100

Il ressort de l'analyse de ces données deux périodes distinctes :

- Une période hivernale où le secteur W à NW est caractérisé par des vents fréquents et quelque fois forts et qui sont régulièrement répartis entre le premier et le quatrième trimestre de l'année.
- Une période estivale, où le secteur E à NE est caractérisé par des vents très fréquents et forts pendant le deuxième et troisième trimestre de l'année avec des périodes de pointes pendant le troisième trimestre. (LEM, 2014).

3.2. Facteurs hydrodynamiques :

a. Les houles :

On appelle houle un système d'oscillations plus ou moins régulières, correspondant à une déformation de la surface de l'eau, et, induites par le vent.

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits-fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est supérieure à la longueur d'onde de la houle. (Bonnefille, 1980).

Les données de houle dans le large oranais sont les suivantes :

Tableau n°02 : Données de houle au large d'Oran :

Période	Hauteur équivalente				
	Nord	Nord Est	Est	Ouest	Nord Ouest
6	1,07	1,15	1,05	1,16	1,11
8	2,68	2,56	2,62	2,67	2,49
10	7,12	5,84	/	4,83	4,53

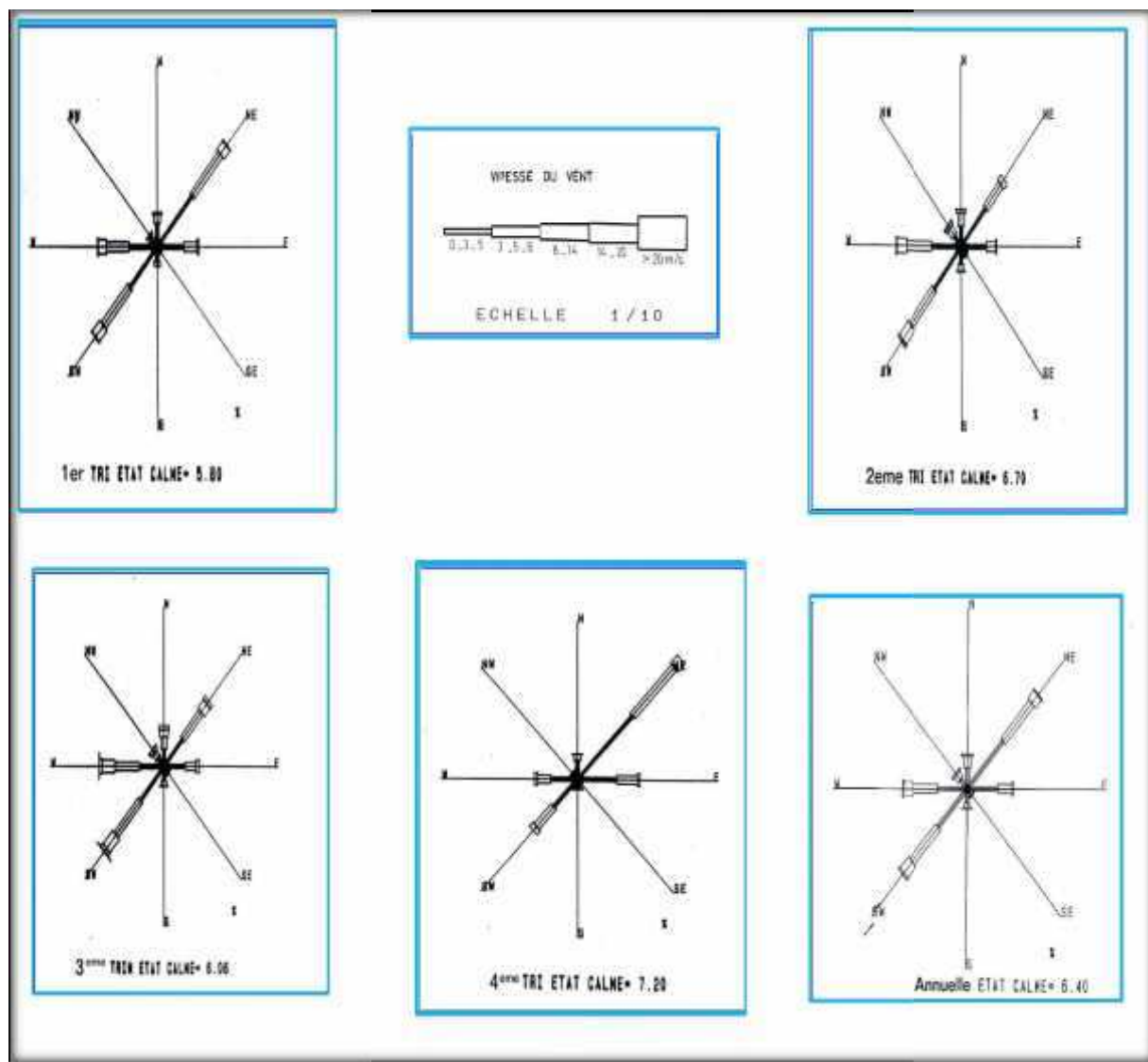


Figure n°05 : Rose trimestrielle et annuelle des vents.

(LEM, 2015)

b. Les courants :

Les courants induits par la houle au large ou à la côte sont considérés comme étant les seuls à agir de façon active sur la sédimentation. (Caulet, 1972 et Leclaire, 1972).

Sous l'action de houle oblique un courant de houle prend naissance et se dirige parallèlement à la côte, il est susceptible de transporter en suspension, ou par charriage des masses considérables de sédiment de la zone de déferlement (Migniot *in* Filliat, 1981).

Donc le sens et l'intensité de ce transport sont fonction de l'amplitude et de l'incidence de la houle par rapport à la côte de la zone d'étude mais aussi de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

Dans notre zone, on retrouve trois courants :

-Le courant général d'Ouest en Est (Le courant atlantique) qui règne en Méditerranée, entrant en surface par le détroit de Gibraltar, circule généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 mètre/seconde au large des côtes algériennes. (Leclaire, 1972).

-Le courant côtier de retour : participe activement à l'érosion côtière de notre 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. (Assasi, Otmani, 2010).

-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 littorale, 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 sables et en galets. (Assasi, Otmani, 2010).

c. Les marées et les variations du niveau marin :

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15cm.

D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc.

De forts vents marins locaux peuvent aussi, par action directe sur la surface de la mer, entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau.

On estime que le niveau de la surface de la mer peut atteindre une surélévation maximale de 50cm environ, du fait des phénomènes ci-dessus.

La marée en mer Méditerranée et en particulier sur les côtes Algériennes est relativement faible. Elle est de type semi diurne avec inégalité entre pleine et basse mer, observées chaque jour. L'amplitude en eau vive ne dépasse pas 0.40m. (LEM, 2014).

4. Processus d'érosion et agents :

Les plages s'érodent quand elles perdent plus de sédiments qu'elles n'en reçoivent. Au fur et à mesure que le volume de sable et de graviers diminue, la plage s'abaisse et se rétrécit. Les plages qui bordent les côtes rocheuses des mers à marée disparaissent-elles parfois à marée haute et l'on peut voir le platier rocheux sur lequel les sables ou les galets s'étaient déposés affleurer à marée basse. (Paskoff et al, 2007).

4.1. Les causes anthropiques de l'érosion :

Le littoral meuble oranais a largement reculé en raison des aménagements effectués (Macta, Kristel, Ain El Türk) qui ont affaibli, voire brisé, l'apport en alluvions des différents cours d'eaux, en particulier au niveau de la région de la Macta. Par ailleurs, l'augmentation des besoins en sable et en gravier pour les projets d'aménagement, l'industrie et les différentes constructions entraînent une surexploitation des sédiments dans le lit des cours d'eau et sur la côte. De même, des travaux tels que l'ouverture de routes ou à la construction d'habitations ont aggravé les glissements de terrain (Canastel, Kristel). De plus, de nombreux cours d'eau ont été déviés de leur cours (Macta, Arzew, Kristel) et ne se jettent donc plus dans la mer près de Mostaganem, qui s'est traduit par une augmentation de la

salinité des eaux côtières dans ce secteur. Signalons enfin l'intensité des travaux de construction sur des espaces pourtant non constructibles (Oran, Cap Falcon...), engendrant des risques pour les hommes et une déstabilisation et dégradation des reliefs et de l'écosystème.

4.2. *Les causes naturelles de l'érosion :*

La cause principale de l'érosion des plages doit être recherchée dans l'inversion de la tendance évolutive qui leur avait permis de se former.

La pénurie sédimentaire qui caractérise l'époque actuelle a en effet succédé à une période où les apports de matériaux étaient très abondants.

Lors de la dernière grande époque glaciaire, alors que le niveau marin se situait à plus de 100m en dessous de niveau actuel, une vaste partie de la plate-forme continentale était émergée, des sédiments s'y sont accumulés en quantité importante, apportés par les fleuves, les glaciers et le vent, dont les actions étaient exacerbées par la crise climatique.

Les sables et galets se sont formés, parfois adossés à de grands champs de dunes, cette période d'abondance s'est poursuivie jusqu'à l'épuisement des stocks sédimentaires mobilisables par la mer et l'établissement d'un équilibre dynamique, correspondant à une absorption maximale de l'énergie des vagues lors de leur déferlement et à un transport minimal des sédiments.

Une période de pénurie sédimentaire commença alors et se poursuit encore aujourd'hui, les apports frais en matériaux se limitant désormais aux produits de l'effondrement des falaises et à ceux de l'érosion continentale charriés par les fleuves. Les plages connurent donc une inversion de tendance dans leurs évolutions : non seulement leur progradation cessa mais elles entrèrent dans une phase généralisée d'érosion et de recul, qui se poursuit à l'heure actuelle.

Dans ce contexte défavorable, les tempêtes, qui peuvent arracher des quantités importantes de sédiments à la plage et faire reculer la côte de plusieurs dizaines de mètres, voient leurs effets difficilement réparés dans les périodes de temps calme, en effet, les plages reculent par à-coups. Leur stabilité apparente pendant une longue période peut être remise en cause par l'arrivée de coups de vents violents, capables d'élever le niveau de la mer de plusieurs décimètres, parfois par plusieurs mètres, et de former des vagues particulièrement agressives.

Les vagues de tempêtes ont pour effet premier d'arracher du sable aux plages, dont l'altitude diminue dont l'altitude ou des falaises se taillent.

La succession rapide des tempêtes peut être particulièrement préjudiciable à l'équilibre des plages qui n'ont alors pas le temps nécessaire pour retrouver leur profil d'équilibre entre deux épisodes érosifs. (Paskoff et al, 2007).

5. Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de collecter des informations et des généralités sur le littoral oranais en général, ces données vont permettre de mener une étude encore plus précise et détaillée sur la zone d'étude: Plage d'Ain Franine –Bir el Djir- Oran :

- Etude du trait de côte.
- Etude topo-bathymétrique.
- Etude de réfraction.
- Etude sédimentologique ;

Qu'on verra dans le chapitre à venir (chapitre II) pour pouvoir choisir la meilleure solution de protection pour cette région.

Chapitre II :
Etude morpho-dynamique de
la zone d'étude

Introduction :

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques, qui entraîne des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux.

L'évolution des fonds est le résultat des échanges transversaux et longitudinaux entre les différentes unités morphologiques de la côte.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la morphologie du fond de notre zone et ce en effectuant une étude bathymétrique et une analyse topographique des profils de plage. Cette étude sera accompagnée d'une étude sédimentologique.

1. Évolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine :

La formation d'une plage résulte principalement de l'apport de sédiments détritiques transportés par les cours d'eau ou produits par l'érosion marine des côtes rocheuses. L'équilibre entre le dépôt de sédiments et leur redistribution par les courants côtiers détermine la stabilité d'une plage, tandis que le déséquilibre en faveur de l'un de ces deux facteurs entraîne respectivement l'engraissement ou l'érosion d'un littoral.

L'étude de l'évolution du trait de côte contribue à l'appréciation des facteurs et des phénomènes qui interviennent dans l'évolution de la morphologie côtière.

1.1. Mesure et analyse de l'évolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine :

a. Récolte des données :

Les données dont on dispose : 15 images satellitaires (entre 2001 et 2015) sont issues de Google Earth qui est un logiciel SIG.

b. Moyens et procédures :

Pour le traitement et l'exploitation de ces images satellitaires, on utilise le logiciel ArcGis 10.

c. Aperçu du logiciel ArcGis 10:

ArcGIS est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées. (Soudani, 2006 in Asbai, 2013).

Le logiciel ArcGIS10 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

ArcCatalog: est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme Windows ou DOS.

Il est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement.

ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.

ArcMap: est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.

ArcToolbox: est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

La procédure de travail est illustrée dans l'annexe A.

L'utilisation d'ArcGis 10 a donné les cartes suivantes :

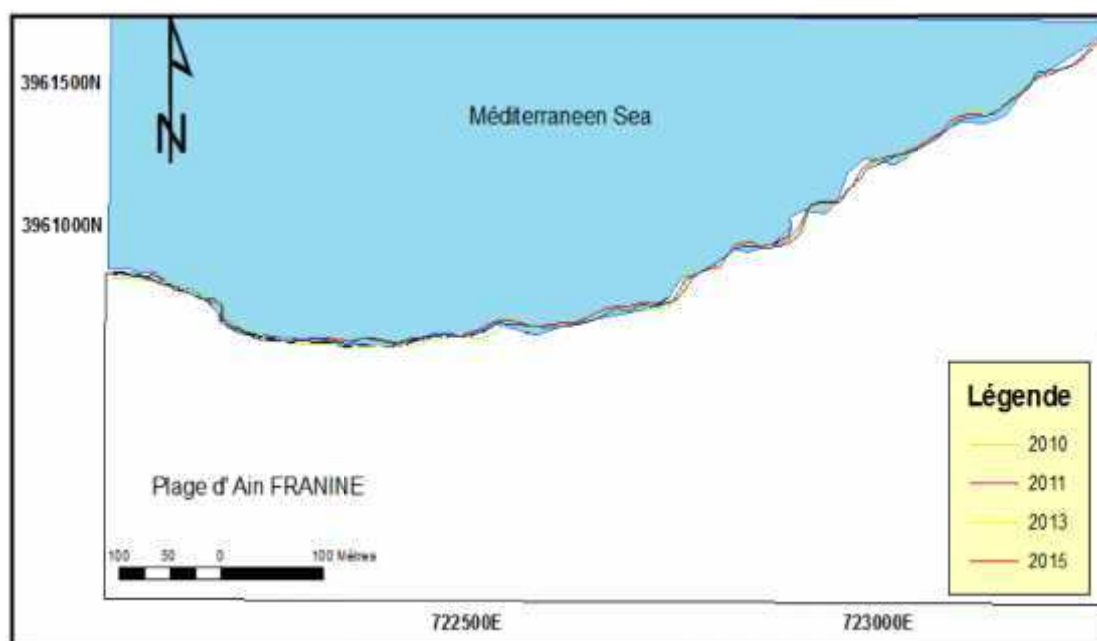


Figure n°06: Evolution du trait de côte d'Ain Franine entre 2010 et 2015.

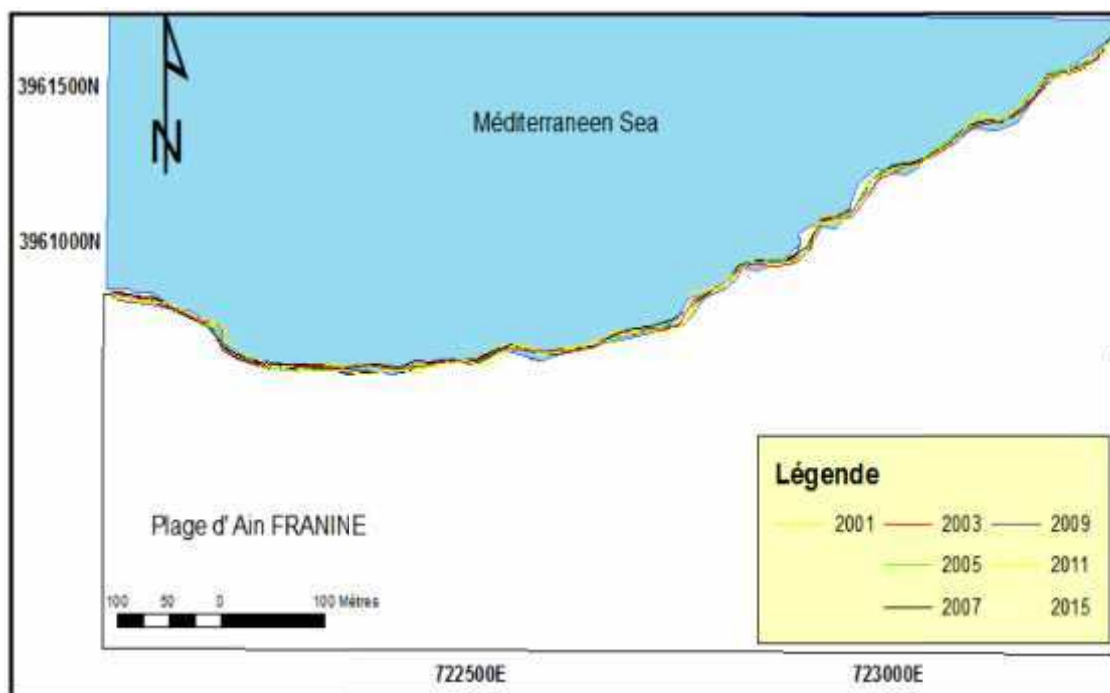


Figure n°07 : Evolution du trait de côte d'Ain Franine entre 2001 et 2015.

d. Résultats et interprétations :

l'aide de la règle numérique, nous avons obtenus les différentes surfaces des polygones, représentant les surfaces d'érosion et d'accumulation, issues lors de la superposition des huit traits de côte. Les résultats sont portés sur le tableau ci-dessous.

Tableau n°03 : Bilan des taux de surface d'érosion et d'accumulation du trait de côte d'Ain Franine entre 2001 et 2015 :

Périodes	Taux d'érosion (m ²)	Taux d'accrétion (m ²)	Moyenne (érosion/accrétion) (m ²)	Taux moyen Annuel (m ² /an)
2001-2003	1422,25	824	-598,25	-42,73
2003-2005	1545,95	225	-1320,95	-94,3535714
2005-2007	811,16	863,02	51,86	3,70428571
2007-2009	373,79	717,24	343,45	24,5321429
2009-2011	311,43	555,51	244,08	17,4342857
2011-2013	975,26	295,6	-679,66	-48,5471429
2013-2015	3018,13	293,9	-2724,23	-194,587857
2001-2015	8457,97	3774,27	-4683,7	-334,55

D'après le tableau ci-dessus, le bilan général de l'état d'évolution des surfaces est estimé à une perte de **-4683,7m²**, durant une période de 14 ans, soit (-) **334,55m²/an**.

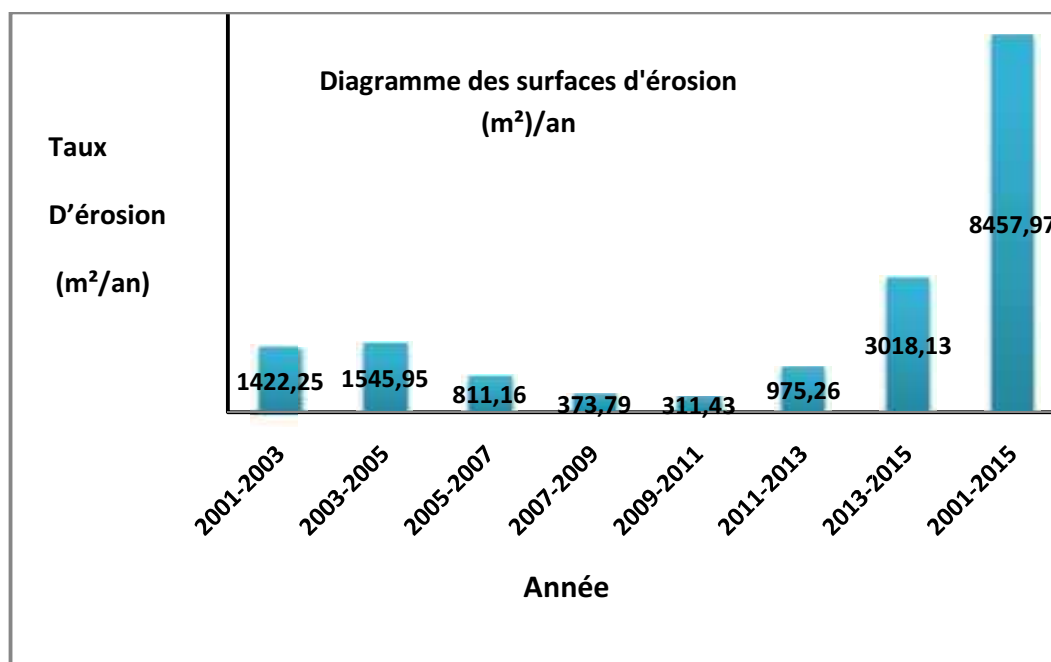


Figure n°08: Diagramme des surfaces d'érosion (m²/an).

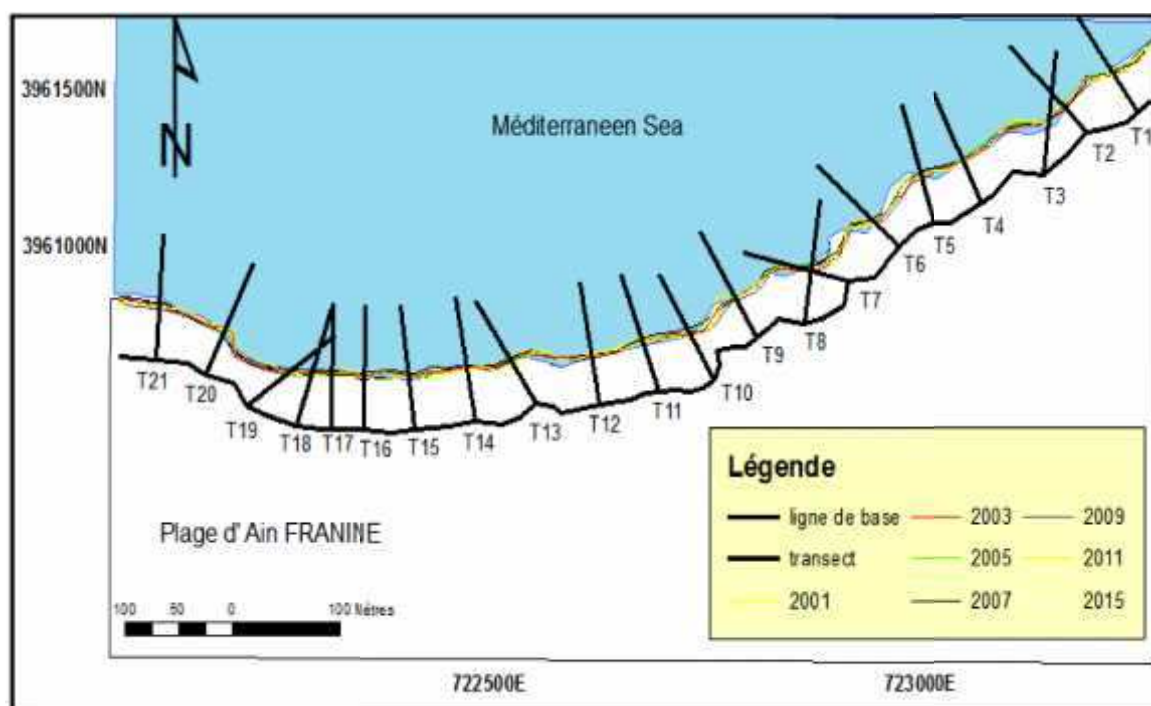


Figure n°09 : Evolution de trait de côte de la région d'Ain Franine avec les Transects.

Et pour bien montrer les différents points de calcul de ce recul, on a mesuré cette distance par rapport à chaque transect (21 transects).

Tableau N°04 : Taux moyen et vitesse moyenne du recul de trait de côte en fonction des transects de la plage d'Ain Franine entre 2001 et 2015:

N° Transect	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Taux Moyen d'évolution (m)	-21,14	25,69	-14,27	-19,66	-24,31	-9,25	-15,13
Vitesse moyenne de recul(m/an)	1,51	1,83	1,01	1,401	1,73	0,66	1,08
N° Transect	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14
Taux Moyen d'évolution (m)	-12,54	-21,92	-22,5	-13,18	-14,87	-18,03	-16,74
Vitesse moyenne de recul(m/an)	0,89	1,56	1,60	0,94	1,06	1,28	1,19
N° Transect	T15	T16	T17	T18	T19	T20	T21
Taux Moyen d'évolution (m)	-26,87	-20,66	-12,72	-23,82	-13,21	-18,9	19,27
Vitesse moyenne de recul(m/an)	1,91	1,47	0,90	1,70	0,94	1,35	1,37

D'après le tableau n°04, la distance moyenne de recul par rapport à chaque transect est élevée et atteint son maximum au niveau de T15 (26,87m) et le minimum est marqué au niveau de T6 (9,25m).

Et on remarque qu'il y eu une accumulation au niveau de deux transects seulement (T2, T21).

On observe aussi que la vitesse moyenne du recul de trait de côte est d'environ 1,5m/an.

L'analyse et l'interprétation des résultats obtenus montrent que le dégraissage au niveau de la plage est plus important que l'engraissement et donc la plage est en état d'érosion.

e. Conclusion sur l'état du site :

L'évolution du trait de côte de la plage d'Ain Franine est marquée par une érosion très intense, l'origine de ce dégraissage pourrait être due aux facteurs anthropiques régissant la dynamique sédimentaire de la plage.

2. Etude topo-bathymétrique :

2.1. La carte topo-bathymétrique :

La carte bathymétrique constitue un document de base nécessaire pour la reconnaissance de la morphologie littorale et sous-marine.

En s'appuyant sur les données fournis par le LEM (2014), une carte topo-bathymétrique a été dessinée pour connaître la morphologie et observer la distribution des profondeurs dans les différents segments de la plage d'Ain Franine.

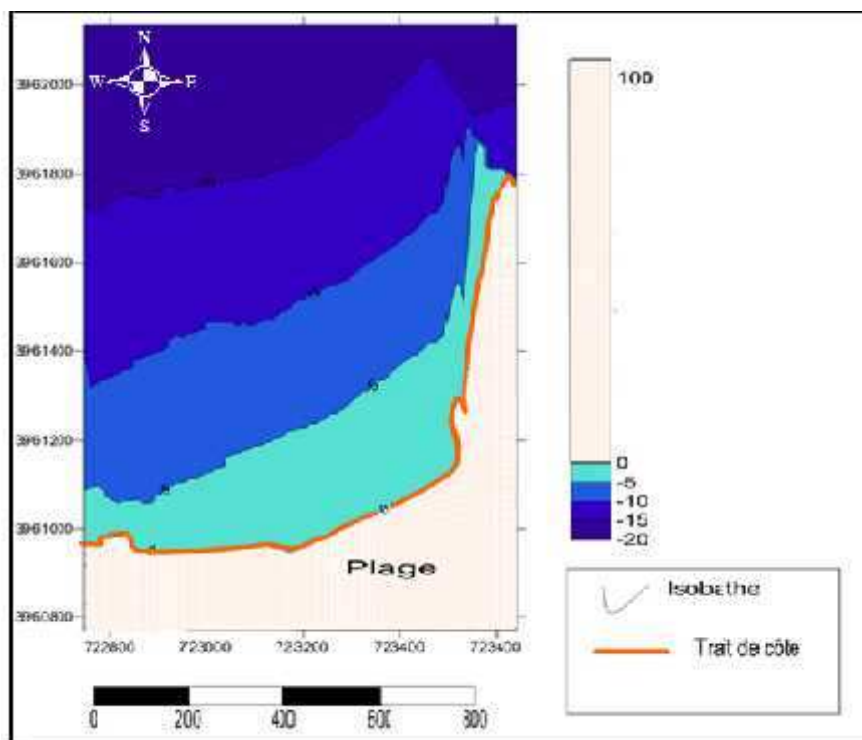
On réalise la carte topo-bathymétrique de la zone à l'aide du logiciel Surfer.

a. Aperçu sur le logiciel Surfer 11 :

Surfer est un logiciel qui permet aussi bien de traiter finement les données topo-bathymétriques en laboratoire que de réaliser différentes opérations, simulations et visualisations qui conduisent à mieux ausculter l'environnement sujet. (Cours Hemdane, 2014).

(La procédure est dans l'annexe B).

b. Résultats et interprétations :



Les premières prestations, a partir de la carte topo-bathymétrique, montrent que les isobathes sont plus ou moins régulières et parallèles, ce qui est traduit par une répartition régulière de la profondeur, c'est-à-dire en allant de la côte vers le large la profondeur augmente jusqu'à atteindre -20m a peu près à 800m au large de la côte.

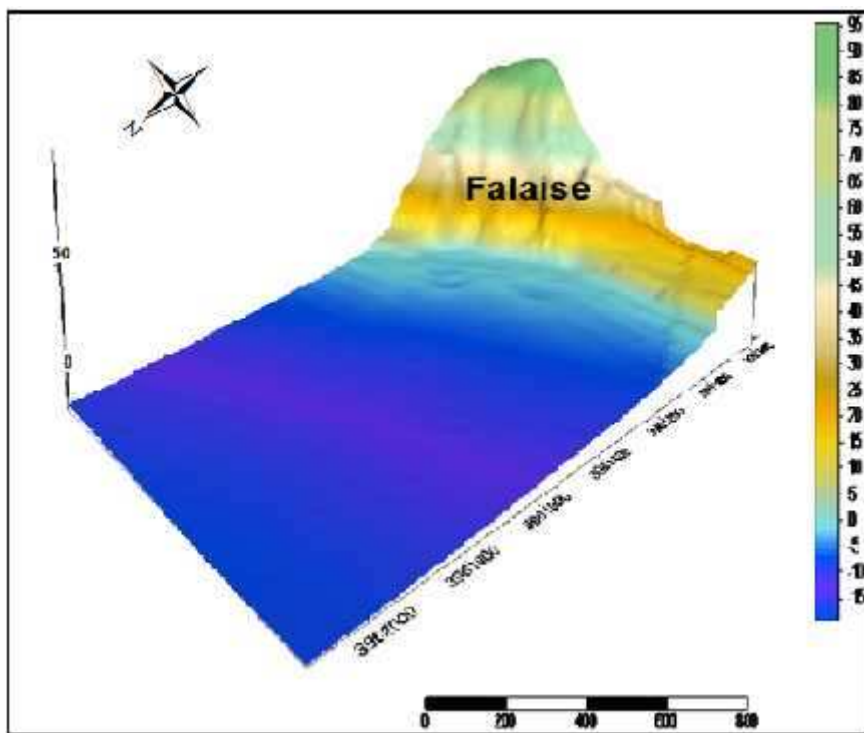


Figure n° 11 : Carte topo-bathymétrique en 3D d'Ain Franine.

2.2. Etude de la topo-bathymétrie :

Trois profils topographiques ont été réalisés en vue de mieux comprendre la morphologie sous marine ainsi que la topographie aérienne.

(Procédure : Annexe C)

a.Résultats et interprétations:

Partant de la Pointe de l'Aiguille à l'Est et Cap Ferrat à l'Ouest trois profils parallèles ont été tracés afin de cerner la morphologie de la zone d'étude.

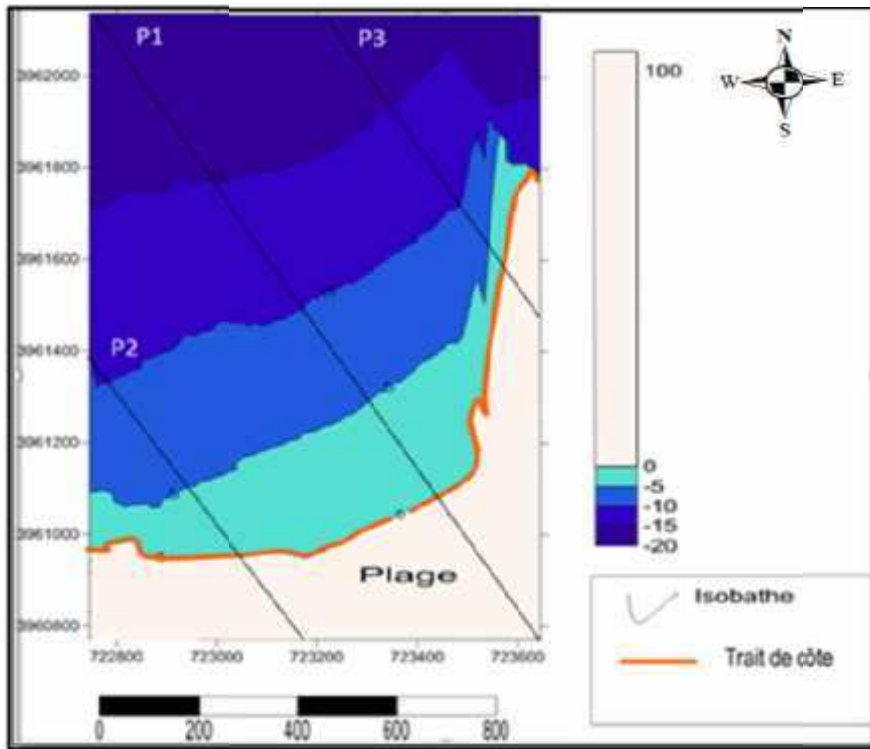


Figure n°12 : Topobathymétrie d'Ain Franine et localisation des profils.

Profil:

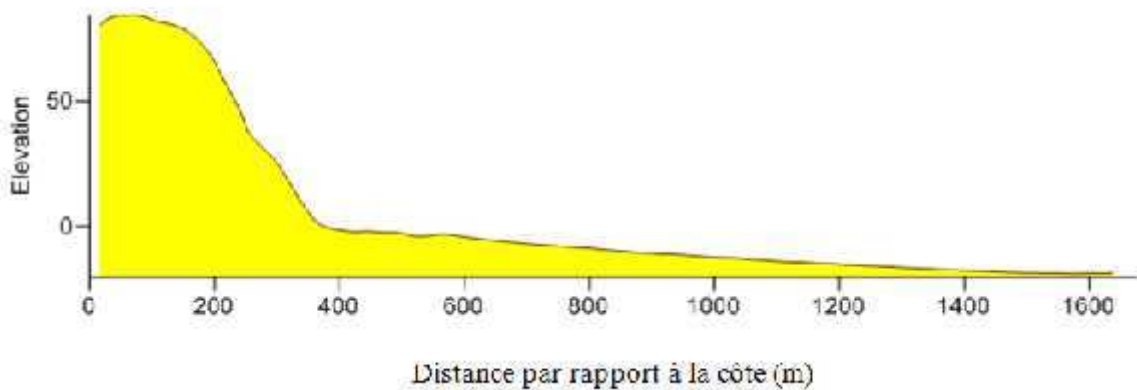


Figure n° 13 : Profil topographique n°1.

Ce profil, localisé au centre de la zone d'étude, révèle que la topographie du littoral d'Ain Franine descend avec une pente abrupte jusqu'au niveau 0. Le fond par contre descend avec une pente douce, presque plat, puis on remarque une ride d'avant côte à environ 100m de la côte. Au delà du bourrelet, le fond est régulier et présente une pente très douce.

Profil 2:

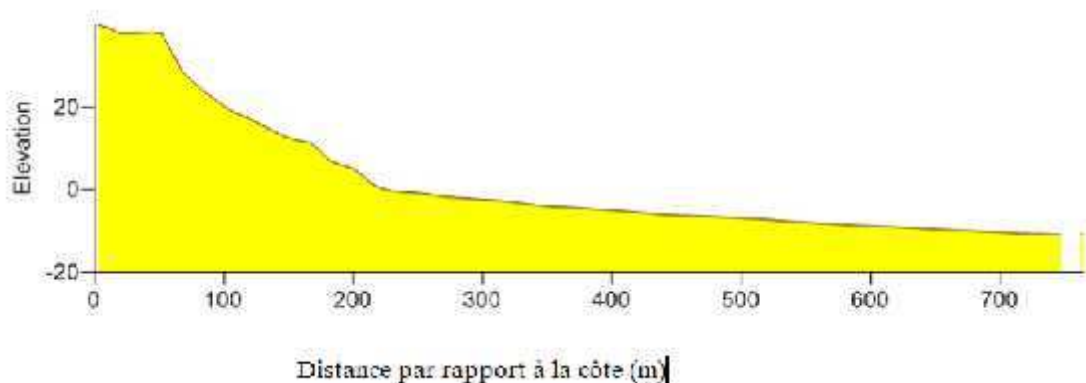


Figure n°14: Profil topographique n°2.

Ce profil est placé dans la partie Ouest de la zone d'étude, le tracé de ce dernier indique que la topographie est irrégulière et dispose d'une pente plus ou moins raide. Le fond par contre apparaît régulier avec une pente très douce.

Profil 3 :

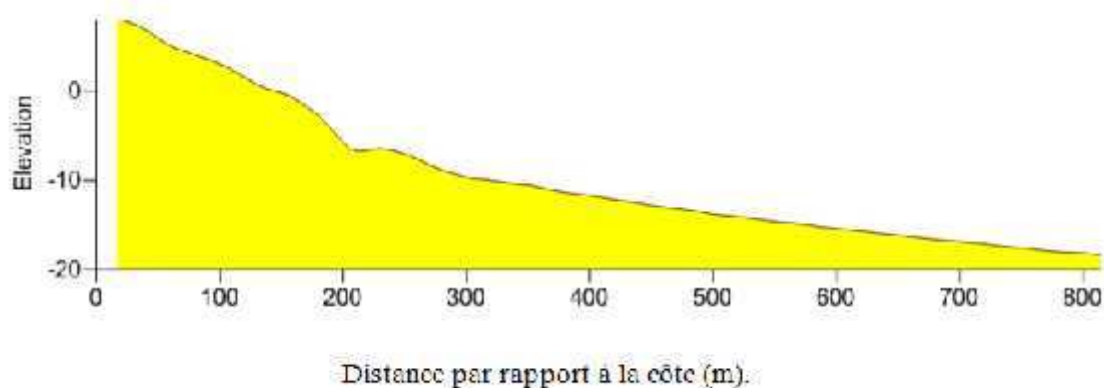


Figure n°15: Profil topographique n°3.

Ce profil, situé dans la partie Est de la zone d'étude, montre que le fond marin descend avec une pente douce formant un creux à environ 50m de la côte. Le fond remonte pour former une barre sableuse à environ 100m de la côte. Au de-là de la barre, le profil continue avec une pente douce.

2.3. *Conclusion sur l'état du site :*

L'analyse de la carte bathymétrique et des profils a révélé que la morphologie est irrégulière entre 0 et -4 m et régulière au de-là de -4 m. Cette analyse a permis de mettre en évidence une barre sableuse à environ 100 m de la côte à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude, un léger replat et une ride d'avant plage au centre du site.

3. Etude de réfraction de la houle :

3.1. Définition:

L'étude de la réfraction de la houle a pour objet de transférer les caractéristiques de la houle au large pour définir ses caractéristiques à la côte. Les données de la houle à la côte serviront de donnée d'entrée pour les premières estimations de la capacité de transfert par la houle et/ ou le dimensionnement des ouvrages maritimes.

Pour l'étude de la réfraction de la houle, le domaine de calcul peut être discrétisé par une ou plusieurs grilles. Dans ce cas précis on parle des modèles de calcul emboîtés.

Le but de cette étude étant :

- L'exploitation des caractéristiques de la houle au large pour définir les caractéristiques de la houle à la côte et la nature et la taille des ouvrages à projeter dépendront de celle-ci.
- Fournir certaines données nécessaires à l'étude du transit sédimentaire.

(Berkennou, Sallaye, 2012).

3.2. Principe de calcul de la réfraction :

Connaissant les données météo-marines au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte.

On rend compte de ce phénomène par le calcul du coefficient de réfraction (K_r) en plusieurs points d'un littoral pour les secteurs de houle dominants, et pour une période de houle donnée.

Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :(Berkennou, Sallaye, 2012).

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

Remarque :

Si K_r est supérieur à 1 : La houle de ce secteur se concentre en se propageant vers la côte.

Si elle l'est inférieur : Son énergie est atténuée.

Et si K_r est égal à 1 : La houle garde son énergie.

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN.

- **Aperçu sur SWAN :**

SWAN (Simulating Waves Near-shore), développé par l'université de Delft et le bureau d'étude Delft hydrauliques (Pays-Bas), est un modèle spectrale qui résout l'équation de conservation de l'énergie de la houle aléatoire (en absence de courant induit) en milieu peu profond, pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Il est donc parfaitement adapté à la problématique du littoral.

3.3. Les étapes de calcul de la réfraction :

Les étapes de calcul de la réfraction sont résumées dans l'organigramme suivant :

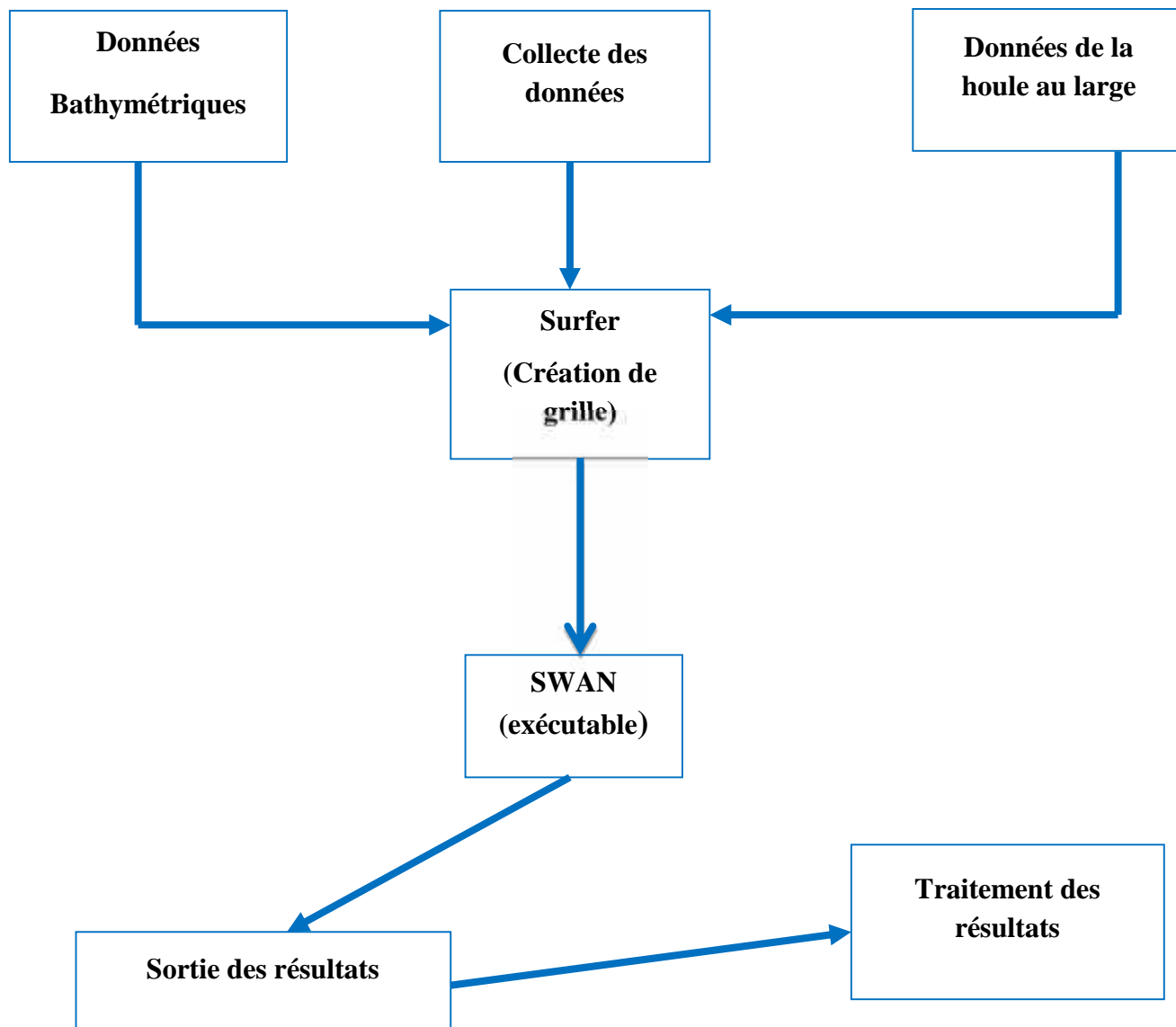


Figure n°16: Etapes de calcul de la réfraction (Berkennou, Sallaye, 2012).

3.4. Choix du secteur angulaire :

Le secteur angulaire est déterminé selon la configuration géographique de la zone d'étude.

Deux directions ont été choisies : le Nord (N360°) et l'Ouest (N315°) ; Ces deux directions sont représentées dans la figure n°17.



Figure n°17 : Les directions défavorables de la houle à la plage d'Ain Franine.

3.5. Données de base :

Les données nécessaires pour pouvoir mener une étude sur Swan sont les données bathymétriques et les données de houle au large.

Les données bathymétriques sont fournies par le LEM.

- Les données de houle au large :

On retrouve deux tableaux qui affichent les données de houle au large,

Le premier (Tableau N°05) donne les données de houle au large annuel, les résultats de ces données sont utilisés pour l'estimation du transit sédimentaire.

Et le second (Tableau N°06) donne les données de houle au large sur une période de 20ans, les résultats de celle-ci sont employé dans la modélisation de l'étude de la réfraction.

Tableau N°05: Données de houle au large annuel :

Période : (s)	Hauteur équivalente : (m)	
	Nord (N360°)	Nord Ouest (N315°)
6	1.07	1.11
8	2.68	2.49
10	7.12	4.53

(LEM, 2014)

Tableau N°06: Données de houle au large vingtennale :

	N360°	N315°
Hauteur (m)	6,70	8,10
Période (s)	12,65	13,75

(LEM, 2015)

3.6. Les résultats de la modélisation :

Après analyse des résultats de la réfraction pour les deux directions les plus dominantes au niveau de la zone d'Ain Franine, on a obtenu les valeurs de K_r suivantes :

Les résultats de la réfraction obtenus à partir du modèle Swan, sont intégrés dans le logiciel Surfer 11 pour obtenir les cartes illustrant la réfraction dans la côte oranaise et la plage d'Ain Franine.

Il est à mentionné que ces cartes sont les résultats d'une houle vingtennale.

(Les tableaux des résultats de l'étude de la réfraction sont représentés dans l'annexe D)

a. La houle de secteur Nord : N360° :

Avec une houle d'une hauteur significative égale à 6,7m et une période de 12,65s ; on retrouve deux résultats :

-Un modèle d'ensemble qui couvre toute la région Oranaise. (Figure n°18).

-Un modèle de détail, pour la plage d'Ain Franine. (Figure n°19).

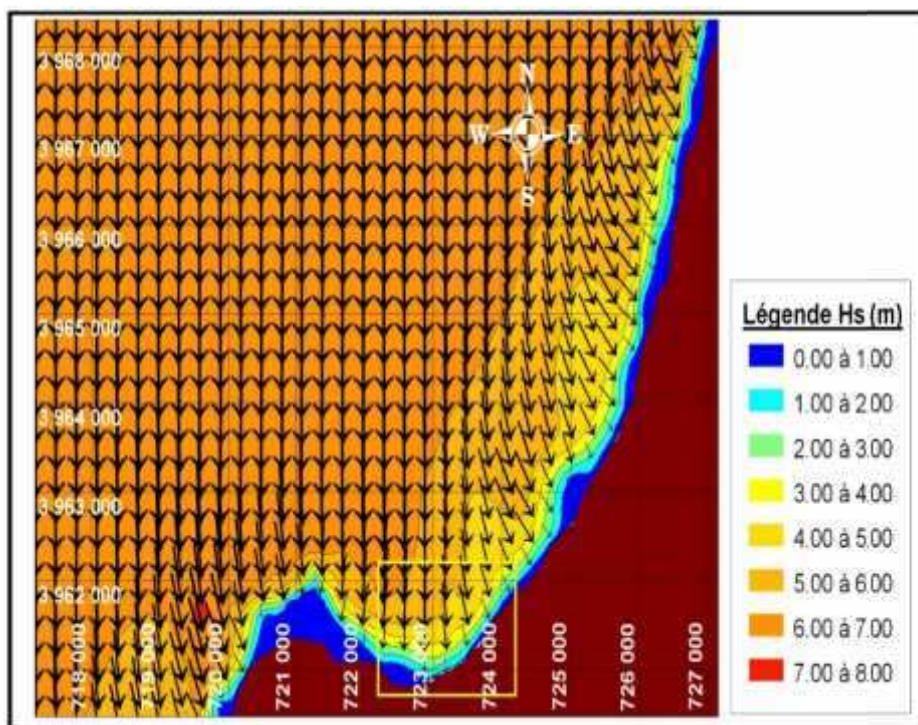


Figure n°18: Réfraction de la houle du Nord dans la côte Oranaise.

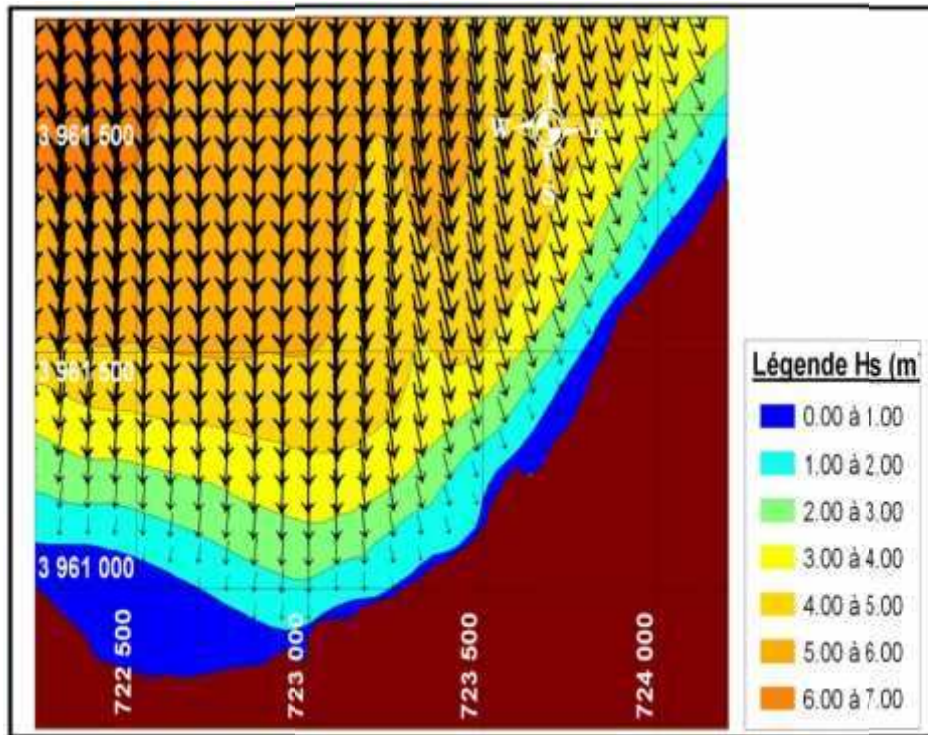


Figure n° 19: Réfraction de la houle du Nord dans la plage d'Ain Franine.

- **Interprétations :**

Tableau N°07 : Coefficient de réfraction pour le secteur Nord :

Hauteur \ profondeur	-5	-10
	H_S au large (m)	6,70
H_S réfractée (m)	3,23	4,63
K_r	0,48	0,69

D'après les figure n° 18 et 19 présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord (N360°), d'une hauteur significative de 6,70m et une période de 12,65s : on remarque que la propagation de cette houle se fait de façon frontale et son intensité diminue en se rapprochant de la côte comme le montre le tableau n°07 qui illustre que à la profondeur de -10m le coefficient de réfraction est de 0,68 ce qui est inférieur à 1, et à -5m le K_R est égal à 0,48 ce qui est inférieur aussi à 1 et cela nous constate que la houle perd son énergie en se propageant vers le rivage.

b. La houle de secteur Nord Ouest : N315°:

Dans le cas de la houle Nord Ouest (N315°), on retrouve deux résultats aussi, un pour la côte Oranaise (Figure n°20), et l'autre pour la plage d'Ain Franine (Figure n°21).

La hauteur significative dans ce cas est de 8,10m avec une période de 13,75s.

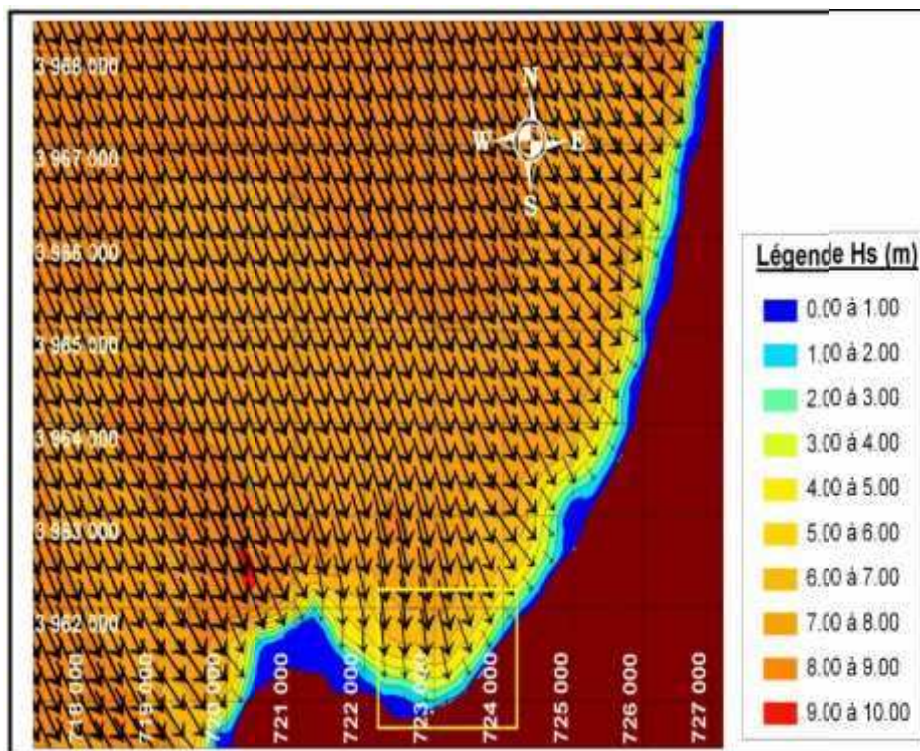


Figure n°20: Réfraction de la houle de secteur Nord Ouest pour le littoral Oranais.

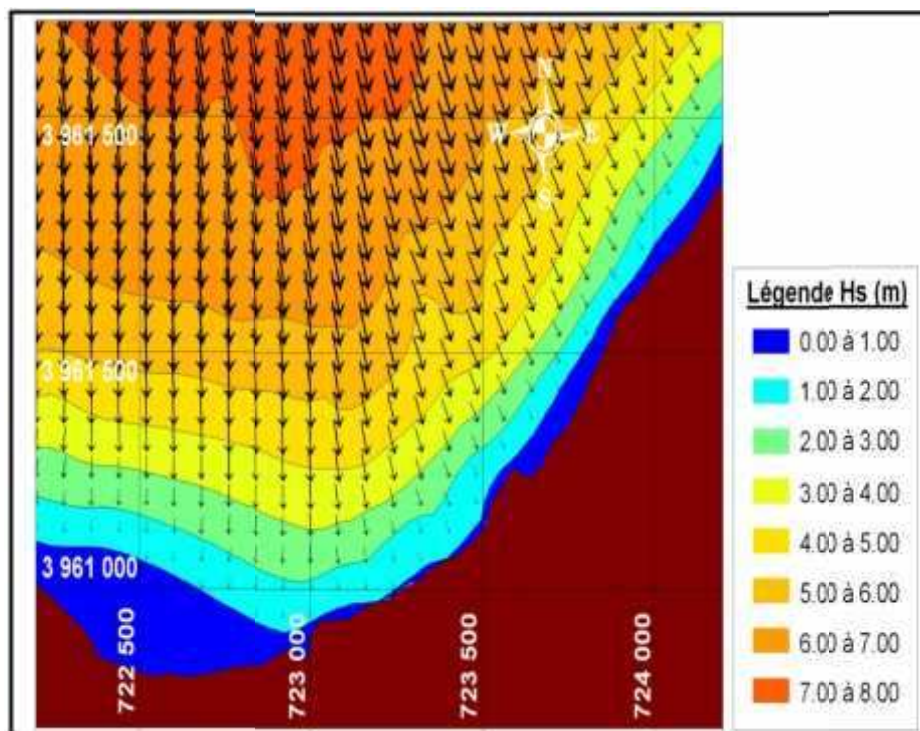


Figure n°21: Réfraction de la houle de secteur Nord Ouest pour la plage d'Ain Franine.

• **Interprétations :**

Tableau N°08 : Valeurs de K_R pour le secteur Nord Ouest :

Hauteur / profondeur	-5	-10
H_S au large (m)	8,10	8,10
H_S réfractée (m)	3,46	5,37
K_r	0,43	0,66

L'étude de la réfraction illustrée par les figure n°20 et 21 sur la houle de secteur Nord Ouest (N315°), d'une hauteur significative de 8,10m et d'une période de 13,75s montre une propagation frontale de la houle avec un coefficient de réfraction inférieur à 1 au large ($K_r = 0,66$) et diminue en se rapprochant de la côte ($K_r = 0,43$) et donc la houle perd son énergie près du rivage.

c. Conclusion :

D'après les résultats de la réfraction de la houle vintennale, et d'après les valeurs de K_r obtenues, on peut dire que le secteur dominant de la zone d'Ain Franine est le secteur Nord (N360°). On conclue que le secteur le plus défavorable est le secteur Nord.

4. Etude sédimentologie :

L'étude sédimentologique est indispensable pour connaître l'hydrodynamisme local, et ce par la connaissance des caractéristiques des sédiments en mer, leur répartition spatiale et par conséquent leur modalité de mise en place.

Pour pouvoir réaliser cette étude, un échantillonnage est obligatoire, pour cela un prélèvement d'échantillons a été réalisé par le LEM à la plage d'Ain Franine. Ce prélèvement s'est fait sur 20 stations. (Les coordonnées de ces 20 stations ainsi que les courbes granulométriques qui les correspondent sont représentées dans l'annexe E).

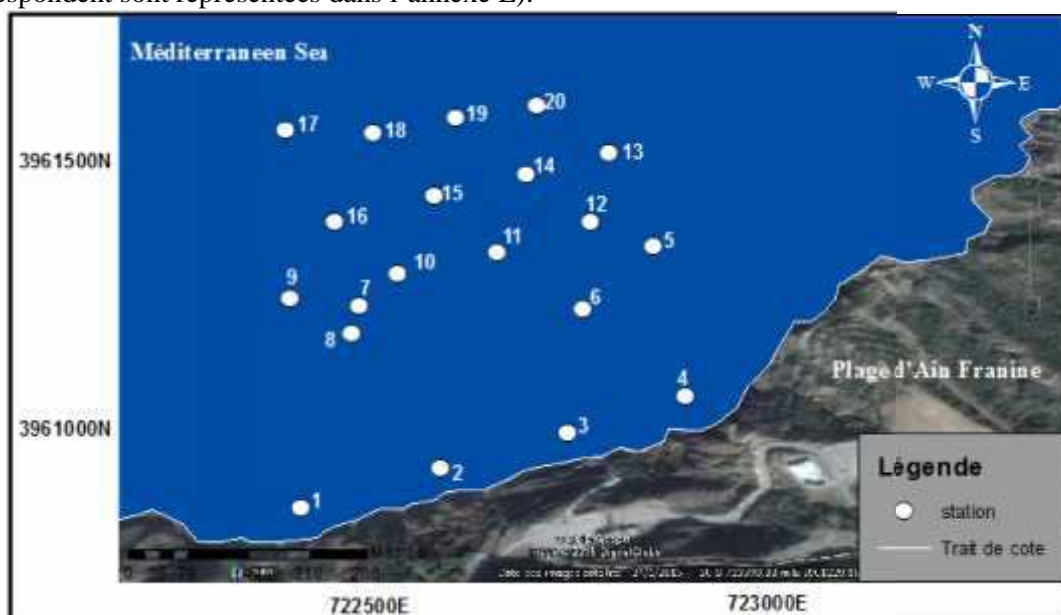


Figure n°22 : Répartition des stations de prélèvement a Ain Franine.

4.1. Analyse granulométrique :

a. Définition :

La granulométrie est un procédé d'analyse qui permet d'étudier la répartition des sédiments. D'après Rivière, 1977, la granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à la dimension de particules.

b. Principe :

Ce procédé consiste à passer l'échantillon par une série de tamis de maille décroissante et de récolter ensuite le poids partiel de chaque quantité dans le tamis.

Cependant, il existe de très nombreux tamis dans lesquels les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses dans une échelle logarithmique, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphe.

Cette analyse granulométrique permet de définir les différents diamètres des sédiments et ensuite les répartir en classes avec différents appellations (Tableau n°09).

Tableau N°09: Diamètres des grains et appellations selon la norme française.

Diamètre maximum	Appellations	Diamètre minimum
200 mm	Cailloux	20 mm
20 mm	Graviers	2 mm
2 mm	Gros sables	0,2 mm
0,2 mm	Sables fins	20 µm
20 µm	Limons	2 µm
2 µm	Argiles	≤2 µm

(AFNOR ,1994).

c. Mode opératoire :

-Peser puis laver un échantillon brut au tamis à 50 microns. Récupérer le refus et le sécher.

N.B. : La différence de poids entre l'échantillon brut et le refus permet de connaître le poids des pélites et donc calculer le pourcentage.

-Les sédiments secs sont à leur tour tamisés dans une série de tamis de maille AFNOR. Les poids recueillis sur chaque tamis convertis en pourcentage pondéraux des sédiments, permettent d'établir les courbes granulométriques cumulatives pour chaque échantillon.

-Ces courbes sont tracées sur un graphe semi-logarithmique en portant en ordonnées le pourcentage cumulé des refus et en abscisse le diamètre des grains.

N.B. : L'examen de ces courbes permet de distinguer la présence des différents stocks de sédiment.

-Une courbe unimodale représente un échantillon de sable composé d'un seul stock sédimentaire alors qu'une courbe bimodale à plurimodale représente un échantillon composé de deux ou plusieurs stocks sédimentaires.

d. Les paramètres et indices granulométriques :

La seconde phase de l'étude granulométrique est l'interprétation des résultats obtenus, et cela se traduit par une représentation sous forme de courbes cumulatives représentant le pourcentage des refus cumulés en fonction du logarithme des mailles des tamis utilisés. C'est à partir de ces courbes que les paramètres granulométriques sont déduits.

d.1. Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques.

d.1.1. Les quantiles :

- Q25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.
- Q50 (D50) : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.
- Q75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.
- D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

d.1.2. Le mode granulométrique :

Le mode granulométrique (M_o) correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique, c'est-à-dire la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

d.2. Les indices granulométriques : (Mezouar, 2015)

d.2.1. L'indice de dispersion ou de classement:

Il donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et nous renseignent sur le degré de classement du sédiment.

- Le sorting de Trasck :

$$S_o = (Q75 / Q25)^{1/2}$$

Tableau N°10: Le classement de S_o , selon Trasck :

Valeurs de S_o	Classement
$S_o < 1$	Très bien classé
$1 < S_o < 2,5$	Bien classé
$2,5 < S_o < 3$	Normalement classé
$3 < S_o < 4$	Mal classé

d.2.2. Le coefficient d'asymétrie :

Il indique la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers. Il caractérise le degré de symétrie de la courbe granulométrique par rapport à la médiane.

- Le Skewness de Trasck:

$$S_k = (Q_{25} * Q_{75}) / (D_{50})^2$$

Tableau N°11: Selon Trasck, le classement de S_K :

Valeurs de S_K :	Classement :
$S_K < 1$	Classement maximum vers les fines
$S_K = 1$	La symétrie est parfaite
$S_K > 1$	Classement maximum vers les grossiers

d.2.3. Le 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 suivante :

$$C_u = d_{60}/d_{10}$$

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 $C_u < 6$.

d.2.4. Le coefficient de courbure:

Est défini par :

$$C_c = \frac{D_3^2}{D_6 \cdot D_1}$$

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

d.3. Résultats et Discussion :

d.3.1. Etude de la fraction fine :

Cette étude permet de connaître les teneurs en fraction fine (diamètre inférieur à 50 microns) dans les sédiments ainsi que sa répartition spatiale dans la zone d'étude.

La carte de la figure n°23 est réalisée à partir du pourcentage en pélites (fraction inférieure à 50 μ m) caractéristique pour chaque échantillon.

La carte de répartition des pélites montre que la totalité des échantillons présente de faibles teneurs en cette fraction, ces teneurs sont comprises entre 0 et 5 %. Ce faible pourcentage indique que les sédiments dans la zone sont en perpétuels remaniements.

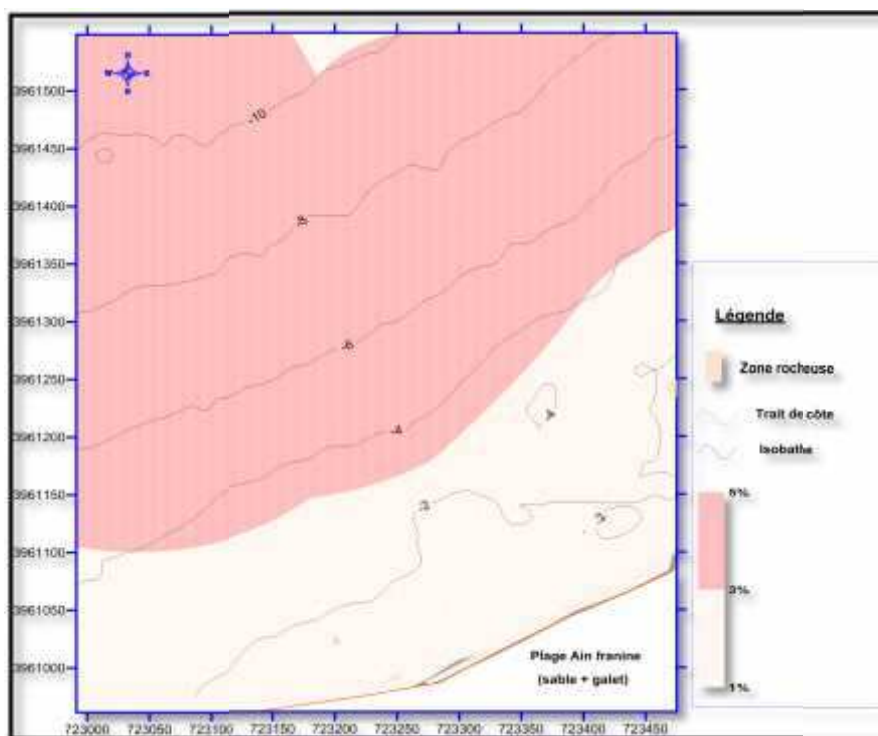


Figure n°23 : Répartition spatiale des pérites.

d.3.2. Les paramètres de position :

d.3.2.1. Les quantiles :

Tableau N°12: Résultats de calculs des quantiles :

Station	X	Y	Quantiles			D10 (µm)	D90 (µm)
			Q25 (µm)	Q50 (D50) (µm)	Q75 (µm)		
1	723207,744	3960961,58	315	400	630	250	2000
2	723297,518	3961005,83	400	800	2000	315	4000
3	723386,07	3961052,83	315	800	2500	250	4000
4	723473,932	3961099,14	400	800	1600	250	2500
5	723436,738	3961308,93	160	200	250	160	400
6	723377,113	3961196,58	200	250	315	160	500
7	723176,223	3961177,44	200	250	315	160	500
8	723180,568	3961146,49	200	250	315	160	500
9	723107,472	3961189,03	160	200	250	125	400
10	723198,852	3961228,7	160	200	250	125	400
11	723285,608	3961279,76	160	200	250	125	315
12	723368,663	3961339,19	160	200	250	125	315
13	723376,185	3961445,7	125	160	200	100	250
14	723292,228	3961388,32	125	160	200	100	250
15	723203,667	3961341,33	125	160	200	125	200
16	723114,834	3961294,96	125	160	200	100	200
17	722991,232	3961450,65	200	200	250	125	250
18	723098,711	3961454,9	125	160	200	125	250
19	723184,881	3961507,28	160	160	200	125	200
20	723275,862	3961548,8	160	160	200	125	200

d.3.2.1.1. Répartition des quantiles :

▪ Répartition spatiale de la médiane :

A partir des courbes granulométriques, on détermine le quartile médian ou D_{50} qui correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment.

La carte ci-dessous (figure n°24) est établie à partir des médianes tirées des courbes cumulatives. Elle montre la répartition spatiale des sédiments dans le secteur d'étude.

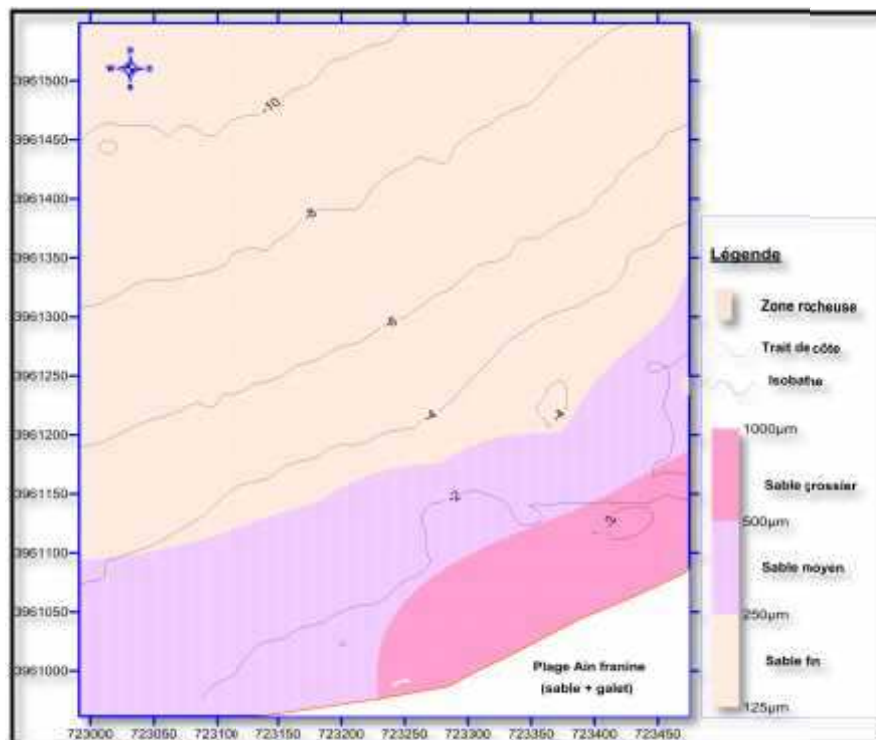


Figure n°24 : Répartition spatiale de la médiane (D_{50}).

La répartition spatiale de la médiane d'Ain Franine est une distribution classique du grain médian, à savoir une grano-décroissance de la côte vers le large. Au niveau de la côte les sables grossiers tapissent le fond, au large on trouve du sable fin.

▪ Répartition spatiale du décile supérieur (D_{90}) :

Le D_{90} correspond au diamètre dont l'ordonnée est à 90% du poids total du sédiment.

La figure n°25 montre la répartition spatiale du décile supérieur dans le secteur d'étude.

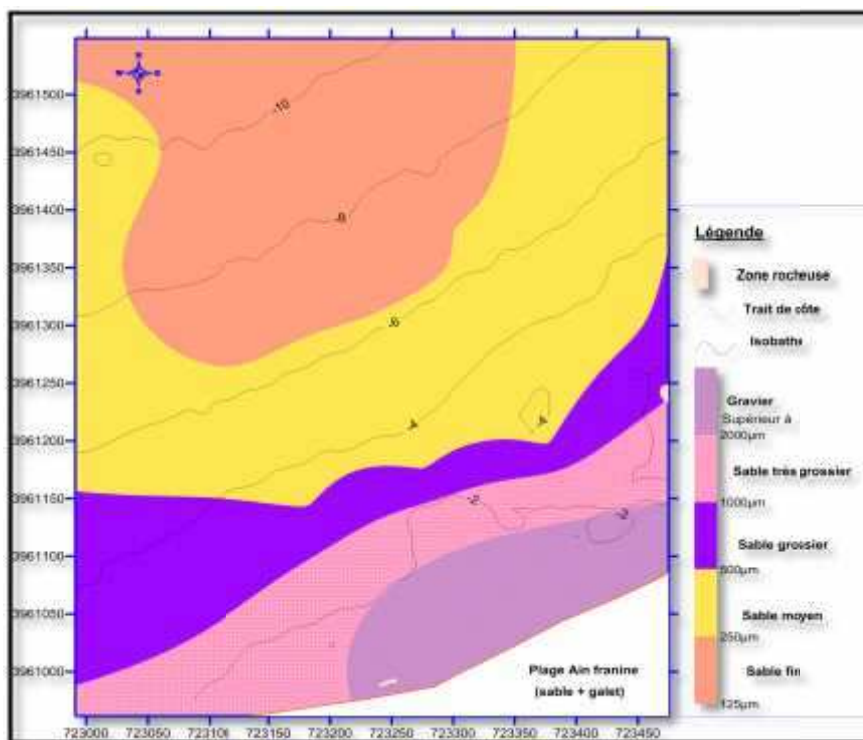


Figure n°25 : Répartition spatiale du décile supérieur (D90).

d.3.2.2. Le mode granulométrique :

L'histogramme de fréquence des répartitions dimensionnelles des modes (figure n°26) permet de distinguer trois (03) modes :

- Mode M1 : Le mode M1 est compris entre 125 µm et 315 µm avec un maximum à 160 µm. Ce mode occupe la majorité des prélèvements. Son pourcentage varie de 20 à 100 %.
- Mode M2 : Ce mode est compris entre 400 µm et 1000µm avec un maximum à 630 µm. Son pourcentage le plus élevé est de l'ordre de 44 % représenté par l'échantillon S4.
- Mode M3 : Ce mode est compris entre 2000 µm et 4000 µm avec un maximum à 4000 µm. Ce mode occupe les échantillons S1, S2, S3, S4. Son pourcentage est compris entre 8 et 35 %.

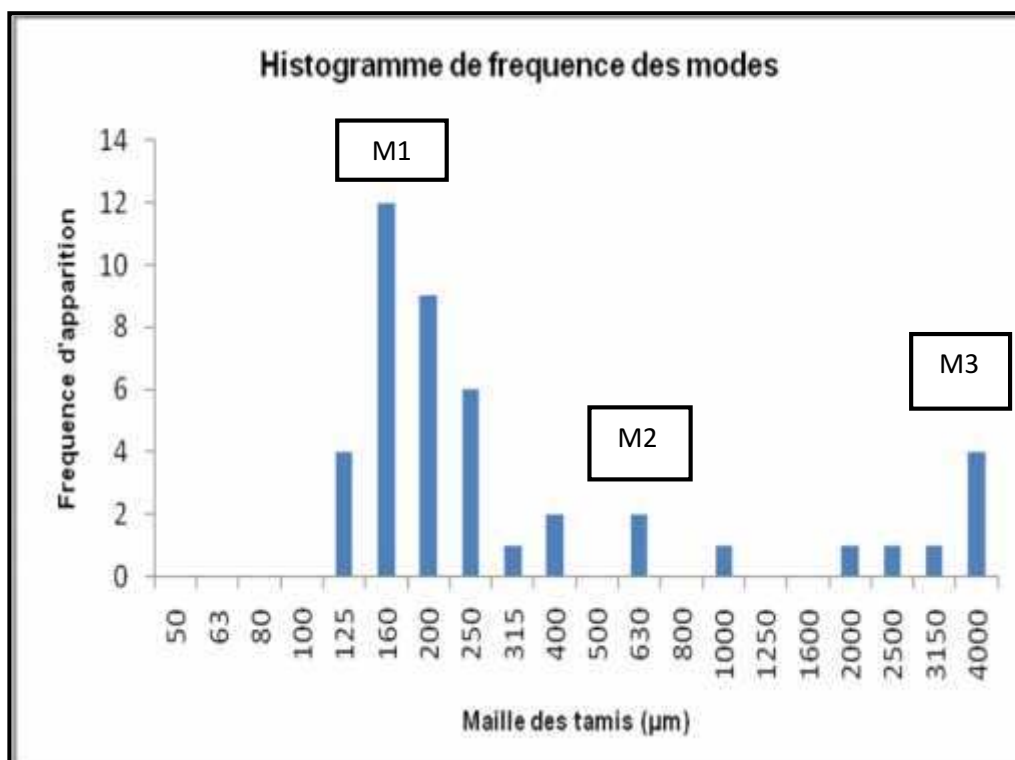


Figure n°26: Histogramme des fréquences des modes.

d.3.2.2.1. Répartition spatiale des modes :

- **Répartition du mode M1 (125 µm-315 µm) :**

La carte de répartition spatiale du mode M1 met en évidence une augmentation du pourcentage de ce dernier de la côte vers le large (figure n°27).

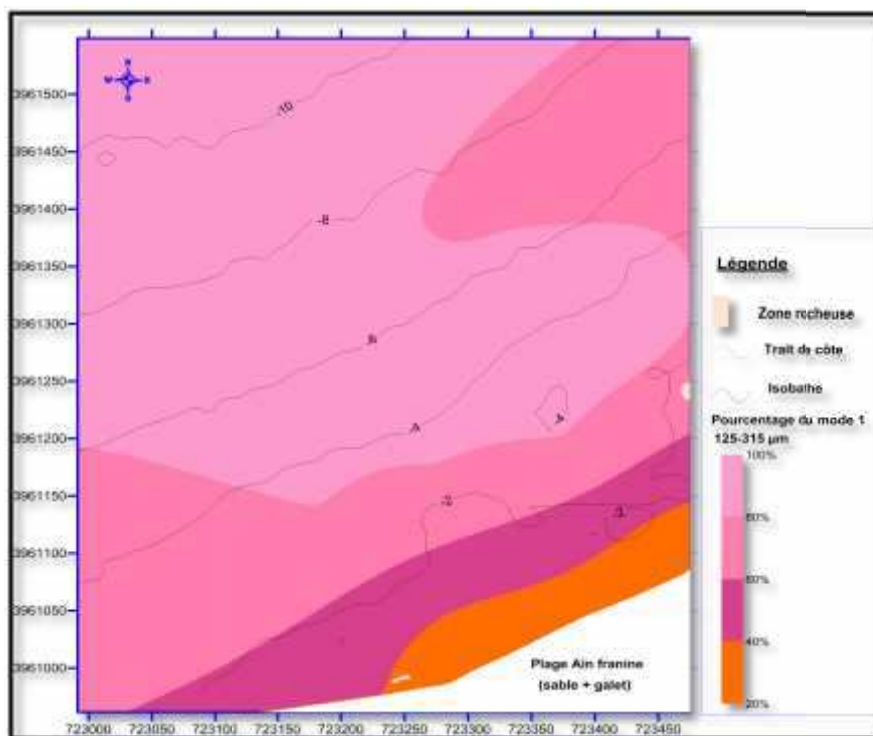


Figure n°27 : Répartition spatiale du mode M1 (125 μm-315 μm).

▪ Répartition du mode M2 (400 μm-1000 μm) :

La carte de répartition du mode M2 indique une diminution du pourcentage du mode M2 de la côte vers le large (figure n°28).

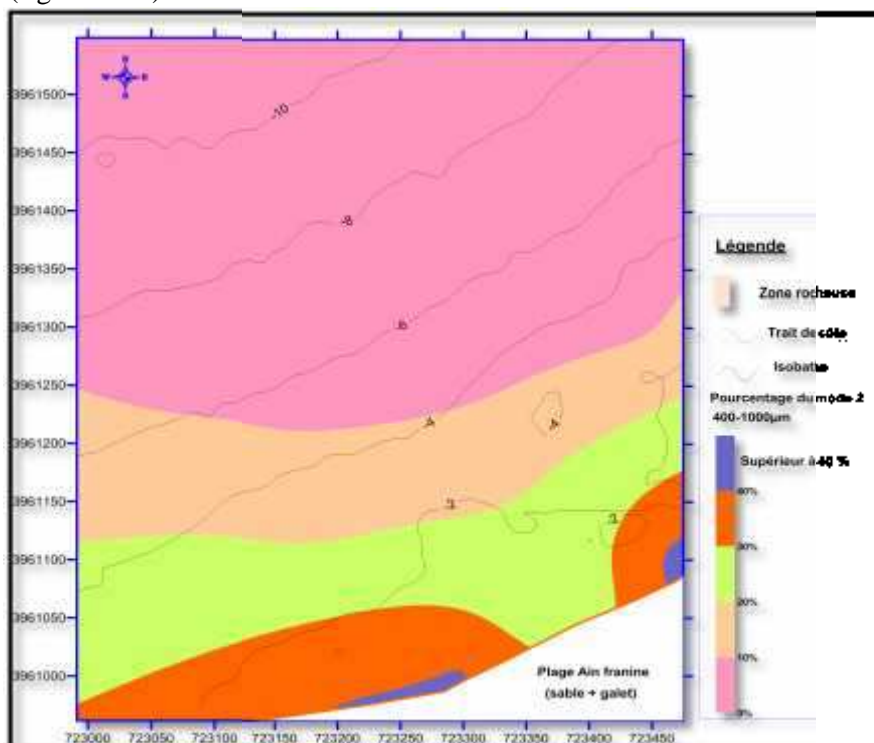


Figure n°28 : Répartition spatiale du mode M2 (400 μm-1000 μm).

▪ **Répartition du mode M3 (2000 μm -4000 μm) :**

Cette répartition montre une diminution du pourcentage du mode M3 de la côte vers le large, néanmoins le pourcentage le plus élevé se trouve à la côte.

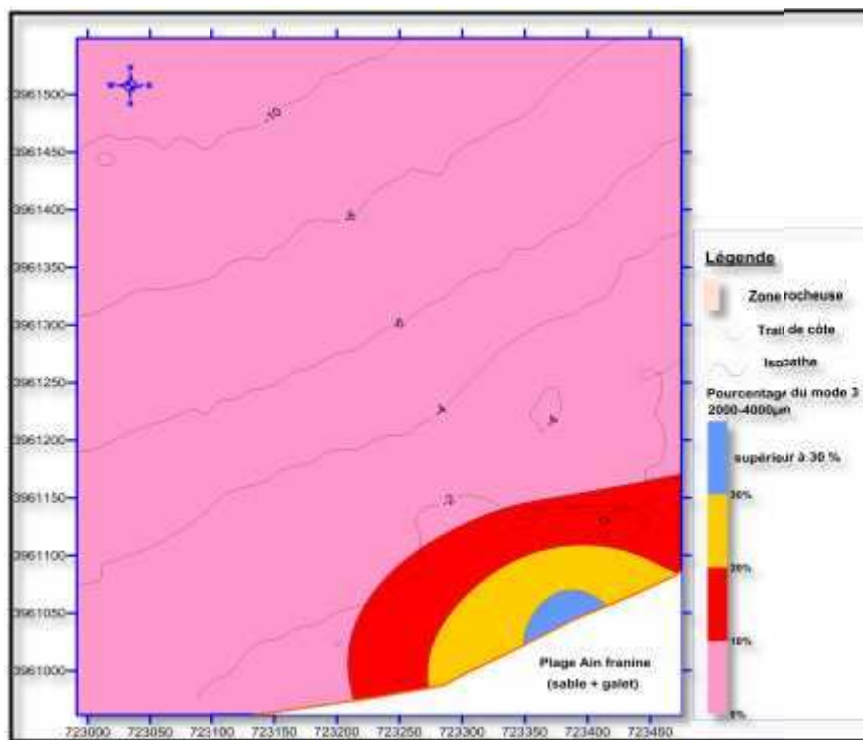


Figure n°29 : Répartition spatiale du mode M3 (2000 μm -4000).

d.3.3. Les indices granulométriques :

d.3.3.1. L'indice de dispersion : S_0 :

Selon Trasck, on retrouve les résultats suivants

Tableau N°13: L'indice de dispersion dans les différentes stations :

Station	X	Y	S ₀
1	723207,744	3960961,58	1,4142356
2	723297,518	3961005,83	2,23606798
3	723386,07	3961052,83	2,81718085
4	723473,932	3961099,14	2
5	723436,738	3961308,93	1,25
6	723377,113	3961196,58	1,25499004
7	723176,223	3961177,44	1,25499004
8	723180,568	3961146,49	1,25499004
9	723107,472	3961189,03	1,25
10	723198,852	3961228,7	1,25
11	723285,608	3961279,76	1,25
12	723368,663	3961339,19	1,25
13	723376,185	3961445,7	1,26491106
14	723292,228	3961388,32	1,26491106
15	723203,667	3961341,33	1,26491106
16	723114,834	3961294,96	1,26491106
17	722991,232	3961450,65	1,11803399
18	723098,711	3961454,9	1,26491106
19	723184,881	3961507,28	1,11803399
20	723275,862	3961548,8	1,11803399

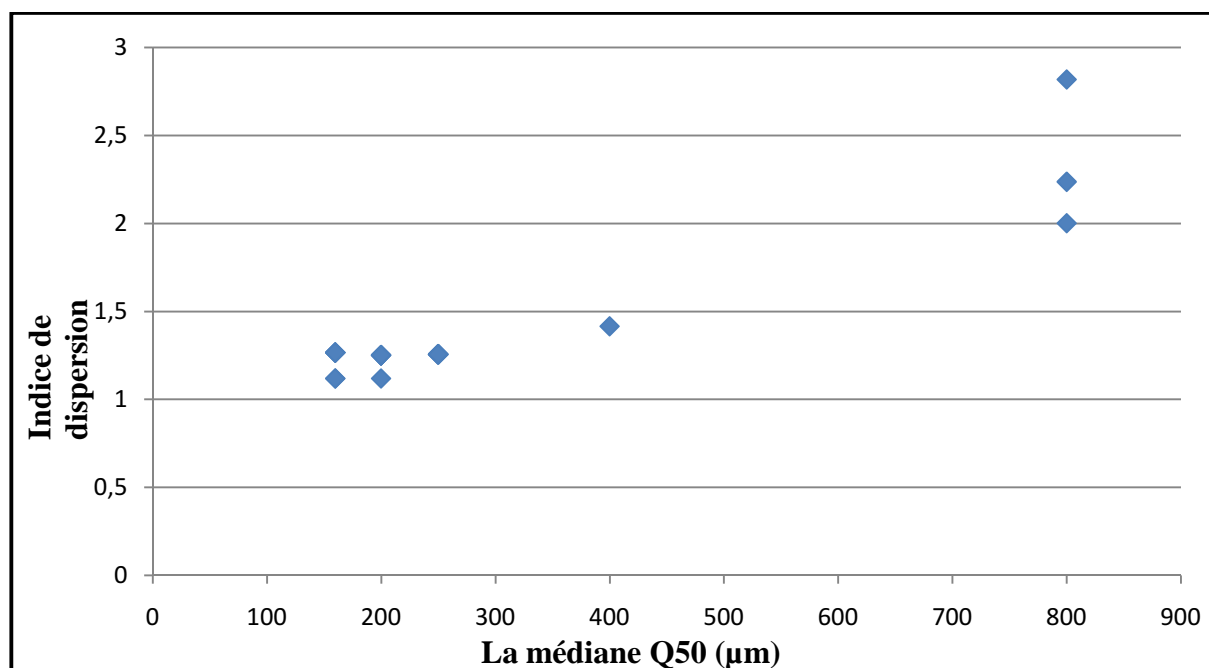


Figure n°30 : Répartition de l'indice de dispersion S₀ en fonction de la médiane.

D'après la figure n°30, on remarque que l'indice de dispersion varie, pour le sédiment recueilli dans les 20 stations de prélèvement, entre 1 et 3, donc le sédiment est plus ou moins bien classé.

La figure qui suit représente la répartition de l'indice de dispersion en fonction de la bathymétrie.

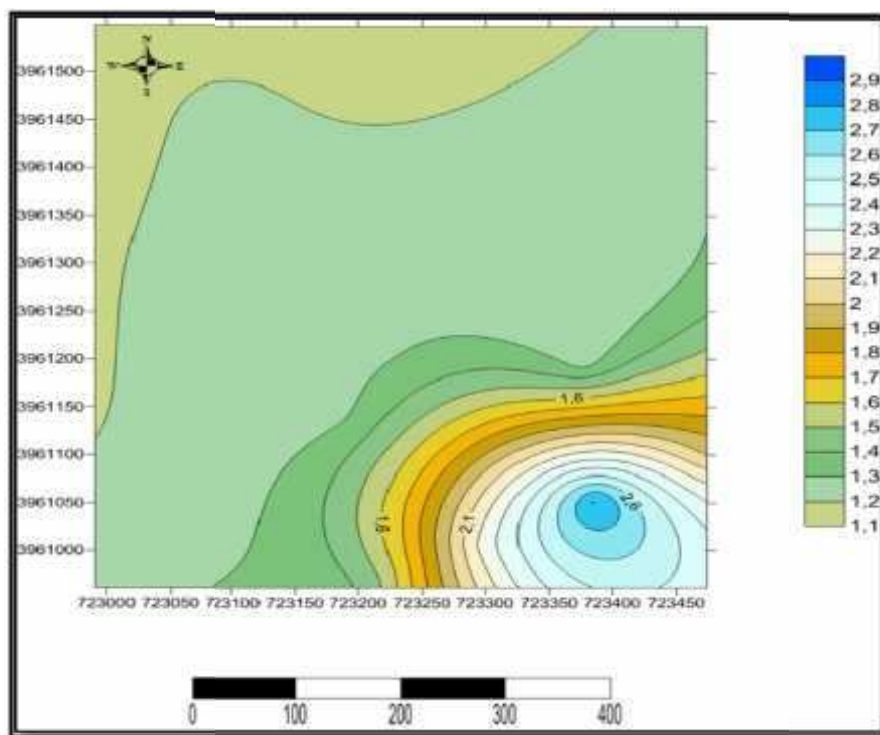


Figure n°31: Répartition de l'indice de dispersion par rapport à la bathymétrie.

On remarque qu'au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte, le coefficient de dispersion diminue, cela veut dire que le sédiment devient bien classé après qu'il était normalement classé au rivage.

d.3.3.2. Le coefficient d'asymétrie : S_K :

Selon Trasck, les résultats sont les suivant :

Tableau N°14: Le coefficient d'asymétrie dans les différentes stations :

Station	X	Y	S _K
1	723207,744	3960961,58	1,2403125
2	723297,518	3961005,83	1,25
3	723386,07	3961052,83	1,23046875
4	723473,932	3961099,14	1
5	723436,738	3961308,93	1
6	723377,113	3961196,58	1,008
7	723176,223	3961177,44	1,008
8	723180,568	3961146,49	1,008
9	723107,472	3961189,03	1
10	723198,852	3961228,7	1
11	723285,608	3961279,76	1
12	723368,663	3961339,19	1
13	723376,185	3961445,7	0,9765625
14	723292,228	3961388,32	0,9765625
15	723203,667	3961341,33	0,9765625
16	723114,834	3961294,96	0,9765625
17	722991,232	3961450,65	1,25
18	723098,711	3961454,9	0,9765625
19	723184,881	3961507,28	1,25
20	723275,862	3961548,8	1,25

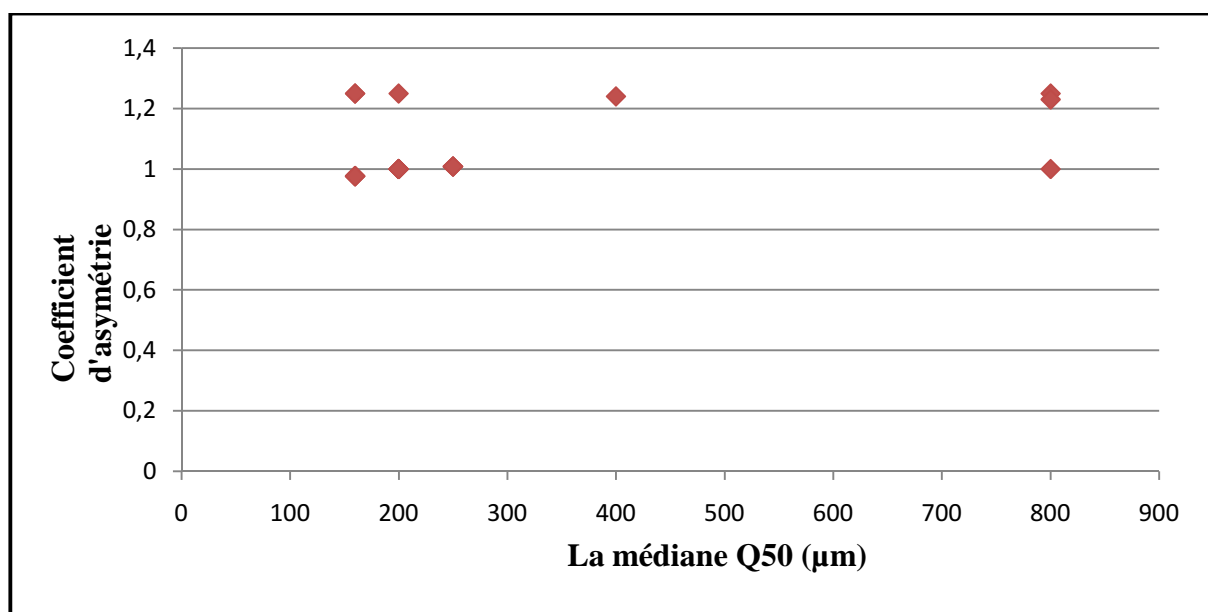


Figure n° 32: Répartition du coefficient d'asymétrie en fonction de la médiane.

Suivant le nuage de point (figure n°32), on remarque que la majorité des échantillons présente un coefficient d'asymétrie qui tend vers 1, donc le sédiment présente un classement plus ou moins symétrique.

On représente dans la carte qui suit (Figure n°33) la répartition du coefficient d'asymétrie en fonction de la bathymétrie.

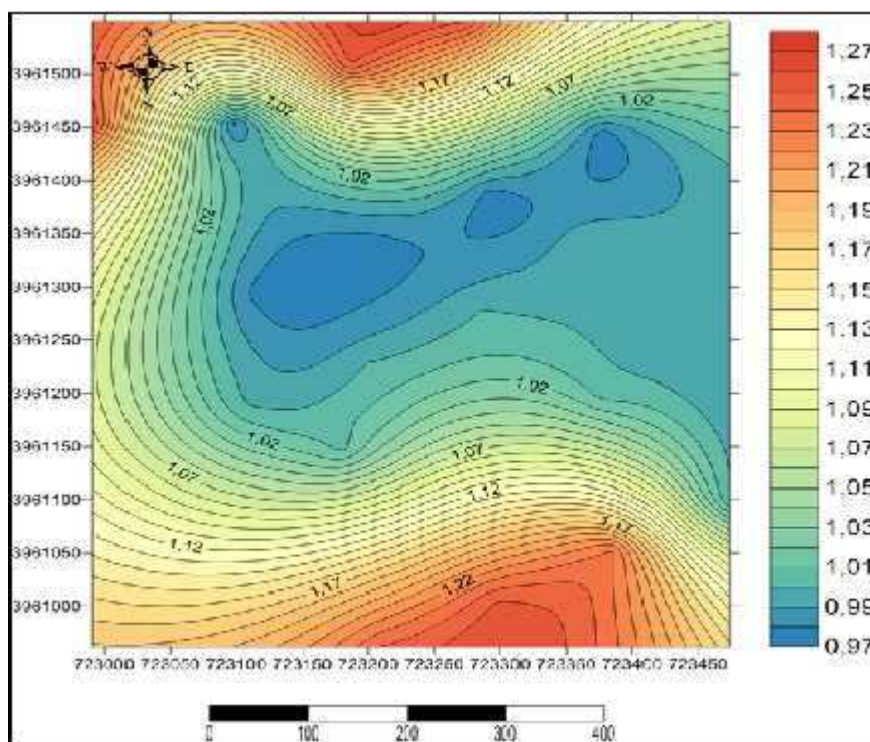


Figure n°33 : Répartition du coefficient d'asymétrie en fonction de la bathymétrie.

La figure n°33 illustre une répartition semblable à la côte et au large où on voit que les sédiments ont un classement qui tend vers les grossiers, et entre la profondeur -8m et -18m à peu près du côté Est, on voit un classement symétrique des sédiments.

d.3.3.3. Le coefficient d'uniformité : C_u :

Tableau N°15: Les résultats du calcul :

Station	X	Y	C_u
1	723207,744	3960961,58	2
2	723297,518	3961005,83	3,17460317
3	723386,07	3961052,83	6,04
4	723473,932	3961099,14	4
5	723436,738	3961308,93	1,5625
6	723377,113	3961196,58	1,96875
7	723176,223	3961177,44	1,5625
8	723180,568	3961146,49	1,5625
9	723107,472	3961189,03	1,6
10	723198,852	3961228,7	1,6
11	723285,608	3961279,76	1,6
12	723368,663	3961339,19	1,6
13	723376,185	3961445,7	1,6
14	723292,228	3961388,32	1,6
15	723203,667	3961341,33	1,28
16	723114,834	3961294,96	1,6
17	722991,232	3961450,65	2
18	723098,711	3961454,9	1,28
19	723184,881	3961507,28	1,28
20	723275,862	3961548,8	1,28

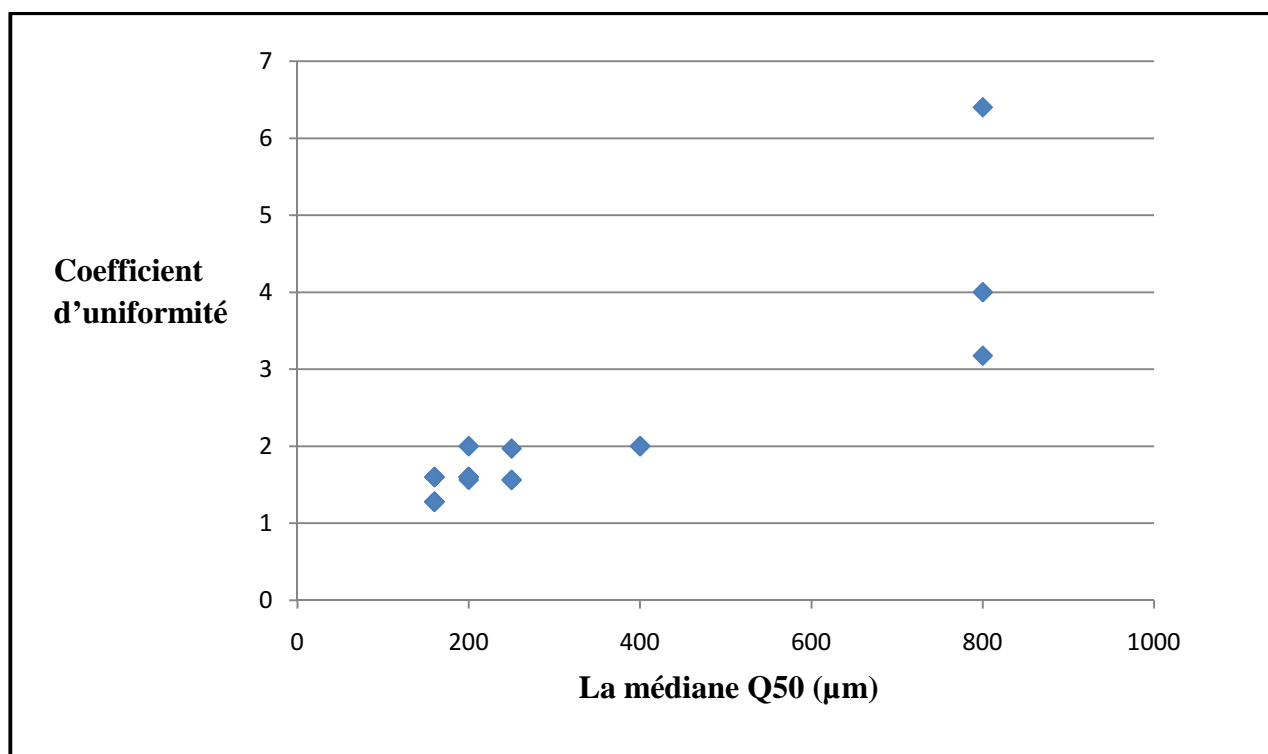


Figure n°34 : Répartition du coefficient d'uniformité en fonction de la médiane.

Selon le tableau n°15 et la figure n°34, le coefficient d'uniformité varie de 1 jusqu'à 6,4 et la majorité des stations ont un C_u inférieur à 6, donc on peut dire que la granulométrie de ce sédiment est uniforme.

d.3.3.4. Le coefficient de courbure : C_c :

Tableau N°16: Les valeurs du C_c selon Trask :

Station	X	Y	C_c
1	723207,744	3960961,58	0,7938
2	723297,518	3961005,83	0,50793651
3	723386,07	3961052,83	0,4
4	723473,932	3961099,14	1
5	723436,738	3961308,93	1
6	723377,113	3961196,58	0,79365079
7	723176,223	3961177,44	1
8	723180,568	3961146,49	1
9	723107,472	3961189,03	1,024
10	723198,852	3961228,7	1,024
11	723285,608	3961279,76	1,024
12	723368,663	3961339,19	1,024
13	723376,185	3961445,7	0,9765625
14	723292,228	3961388,32	0,9765625
15	723203,667	3961341,33	1,28
16	723114,834	3961294,96	1,6
17	722991,232	3961450,65	1,28
18	723098,711	3961454,9	1,28
19	723184,881	3961507,28	1,28
20	723275,862	3961548,8	1,28

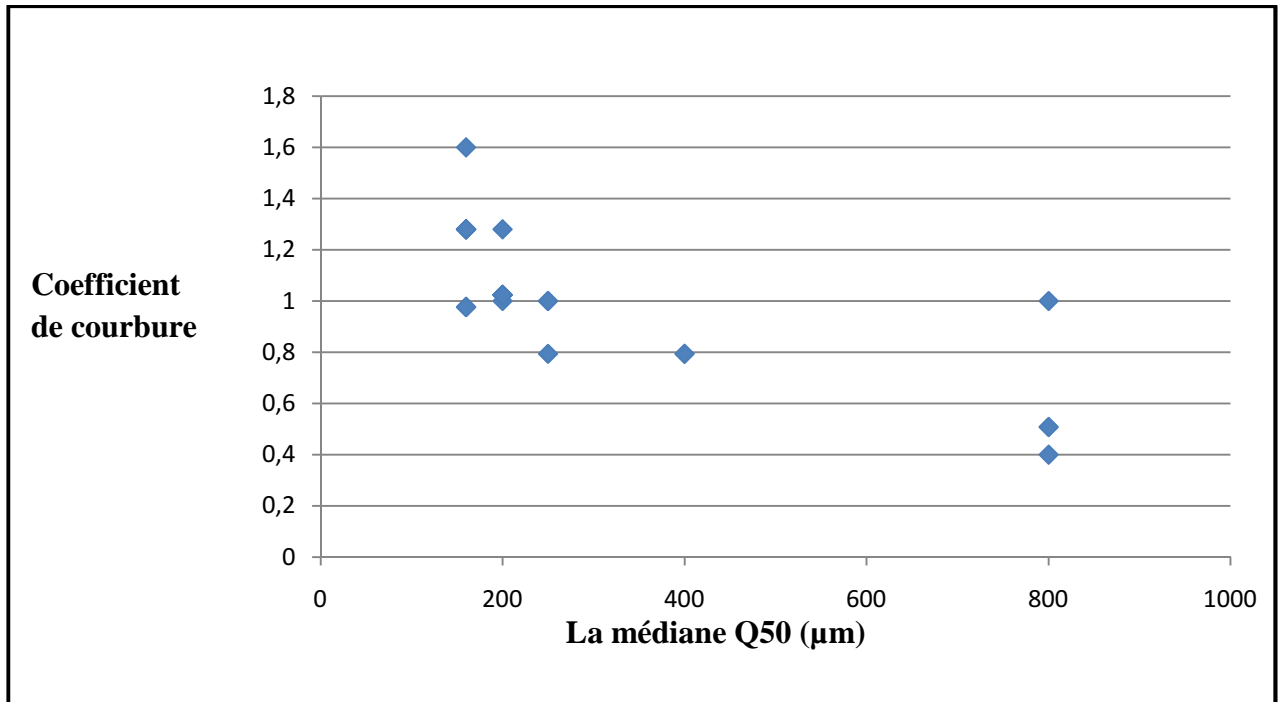


Figure n°35 : Répartition du coefficient de courbure en fonction de la médiane.

D'après le tableau ci-dessus et le nuage de point (figure n°35), l'indice de courbure C_C est compris entre 1 et 3, on peut dire alors que la granulométrie est bien étalée.

d.3.4. Le diagramme de Passega :

Afin de définir le mode de mise en place du sédiment, Passega, 1967, a proposé une méthode d'interprétation des données granulométriques qui utilise le centile supérieur (D_{99}) et la médiane (D_{50}). Chaque segment du diagramme correspond à un type de transport.

La majorité des sédiments occupe les segments PQ, QR et NO indiquant un transport par roulement, suspension gradée et saltation (figure n°36).

Ce type de transport montre qu'il s'agit d'une zone de haute énergie où le matériau sédimentaire est en perpétuel remaniement.

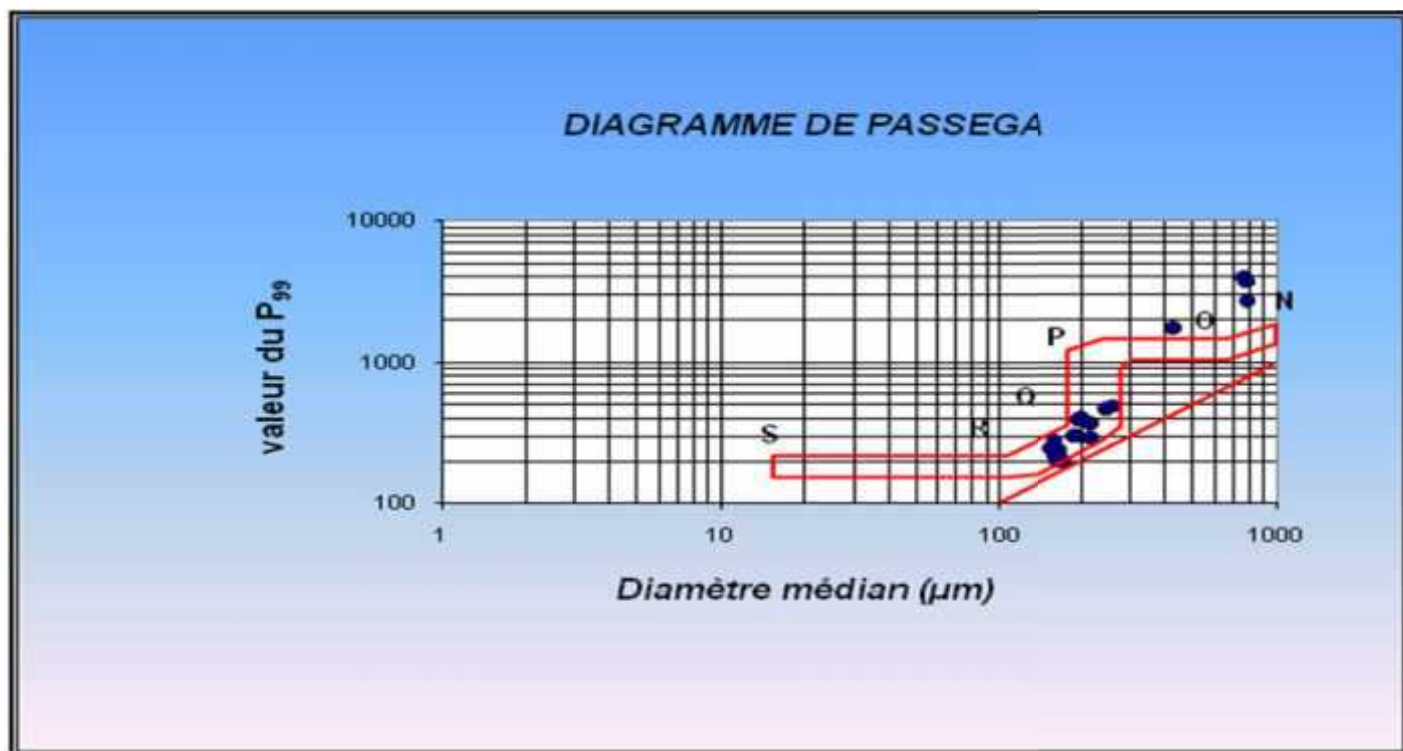


Figure n°36: Diagramme de Passega.(LEM, 2014)

On considère que :

- **NO** : Saltation.
- **OP** : Saltation et Roulement.
- **PQ** : Roulement.
- **QR** : Suspension graduée.
- **RS** : Suspension uniforme.

❖ **Interprétations :**

On remarque d'après le diagramme de Passega (Figure n°36), que la majorité des échantillons se situent dans la partie QR et sont soumis à une suspension graduée, et il y a des échantillons dans le segment NO et par conséquent ils connaissent un transport par saltation.

4.2. Transit sédimentaire :

Les courants marins, d'origines diverses, ont une influence notable sur les processus sédimentaires.

Les houles, par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte et suivant l'obliquité de leur attaque vis à vis du rivage, provoquent soit des transits perpendiculaires, soit des transits parallèles à la côte, si une alimentation ne vient pas compenser le transit littoral, celui-ci va, par des quantités importantes de matériaux mis en mouvement, entraîner un déficit sédimentaire et une érosion du littoral.

De même, les vents sont loin d'être négligeables, ils peuvent enlever à la plage des milliers de m³ de sable. Dans notre étude on a pris en considération tous ces facteurs et on a fait une étude sur le transit sédimentaire.

a. Modes de transports des sédiments sur le fond :

D'après Chauchat, 2007, il existe trois modes de transport des particules : le roulement ou charriage, la saltation et la suspension.

Ces trois modes peuvent se produire simultanément et les particules concernées par chaque mode dépendent des conditions d'écoulement (contrainte de cisaillement sur le fond).

a.1. Le transport par roulement ou charriage :

Concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement.

a.2. Le transport par saltation :

Apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci.

a.3. Le transport en suspension :

Se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les sables, les silts et les argiles.

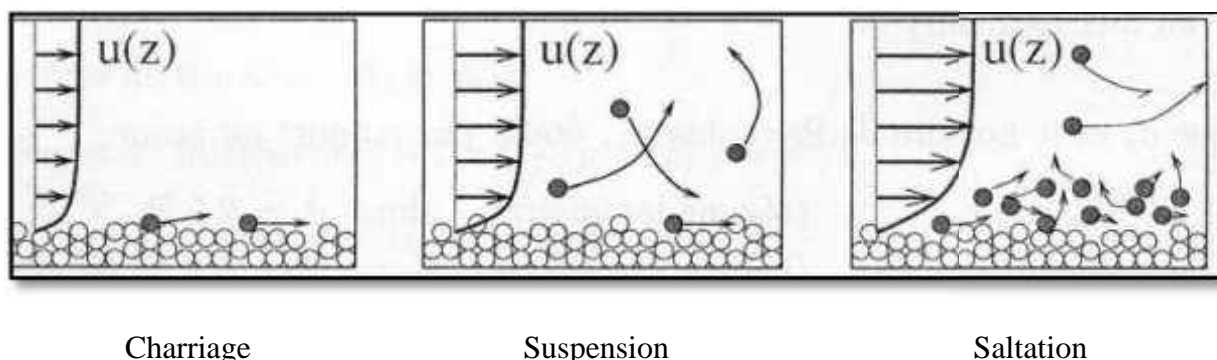


Figure n°37: Les différents modes de transport sédimentaire.

(Camenen, 2002 in Mezouar, 2009).

b. Qualification du transit sédimentaire :

Les données fournies par le LEM révèlent que la côte de la wilaya d'Oran est soumise à l'action des houles des secteurs Nord et Nord-Ouest.

Les houles de secteur Nord qui abordent la côte avec une incidence plutôt frontale engendrent un courant de retour et assurent un transit des sédiments dans le profil (de la côte vers le large en période de mauvais temps et des petits fonds marins vers l'estran en période de calme relatif).

Lors du déferlement de la houle, particulièrement plongeant, les sables fins sont remis en suspension et déposés au large par le courant de retour. Le déferlement jouerait un rôle important dans la formation de la barre sableuse en creusant le fond et évacuant le sable vers le large pour former la barre, mis en évidence par l'analyse bathymétrique.

Le déferlement est responsable du tri de sédiment comme illustré par la carte de répartition spatiale des médianes et du décile supérieur. Les particules fines sont transportées vers le large par le courant de retour, par contre, les particules grossières sont déposées sur la côte par perte de charge.

Les houles de faible cambrure (inférieur à 2.5%) seraient responsable du transport par jet de rive par contre les houles de cambrure importantes (supérieur à 2.5%) déferlent au large et engendreraient une dérive littorale entre la côte et la barre sableuse.

b.1. Analyse de la dynamique sédimentaire de la plage d'Ain Franine avec le modèle McLaren / Gao et Collins :

b.1.1. Principe du modèle :

Le modèle développé par McLaren (1981, 1985) est basé sur le principe suivant : les variations dans la répartition granulométrique d'un sédiment depuis sa source jusqu'au moment du dépôt dépendant de la dynamique hydro-sédimentaire.

Cette dynamique (érosion, transport, tri et dépôt sélectif) peut traduire les directions du transport résiduel.

Ce modèle repose sur la comparaison entre les échantillons des trois paramètres sédimentologiques : le grain moyen (M_z), l'indice de classement (S_i) et l'indice d'asymétrie (S_k) entre deux prélèvements.

On doit aussi choisir une distance critique notée D_{cr} qui est définie comme étant la distance séparant une station de sa voisine, ou bien c'est la distance en deçà de laquelle tout échantillon est compris dans ce périmètre. Le choix de la D_{cr} se base sur le principe que chaque échantillon doit avoir plusieurs voisins, et qu'il n'y ait pas d'échantillon se trouvant en dehors de ce périmètre.

Le sens du transport sédimentaire est déterminé par le tri, les sédiments se déplacent vers la station où le tri est meilleur, c'est-à-dire le tri le plus faible.

L'étape suivante consiste à tracer les vecteurs de transport et faire une somme vectorielle.

b.1.2. Procédure analytique :

L'application du GSTA (Grain Size Trend Analysis) passe par plusieurs étapes :

- **Préparation des données d'entrée :**

La grille d'entrée (fichier input) est formée de 6 colonnes :

- Sur la première colonne (A), on porte les numéros des stations de prélèvement, où leur nombre total est reporté sur la première case.
- Les deux colonnes qui suivent (B et C), contiennent les coordonnées géographiques des stations. Et sur la première case de la colonne B, est porté, un coefficient qui dépend du type de coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques on prend le numéro 1. Et dans la première case de la colonne C se trouve la distance critique (D_{cr}).
- Enfin, pour les colonnes D, E et F, on porte les indices granulométriques pour chaque station, M_z , S_i et S_k (avec l'échelle de phi).

Les indices granulométriques sont calculés à partir des équations suivantes :

$$Mz = (16 + 50 + 84) / 3$$

$$Si = ((84 + 16) / 4) + ((95 + 5) / 3)$$

$$Sk = ((16 + 84 - 2 \cdot 50) / 2(84 + 16)) + ((5 + 95 - 2 \cdot 50) / 2(95 + 5))$$

La figure qui suit (figure n°38) représente le fichier input du logiciel GSTA.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
20		1	200													
1	723297	3960961	-8,75138555	-10,8240742	0,0640883											
2	723297	3961005	-8,82473344	-11,6239422	0,01203071											
3	723380	3961052	-8,7403922	-11,4937959	0,01584637											
4	723473	3961099	-8,6363283	-11,3527949	0,00961874											
5	723485	3961058	-7,75489743	-9,10849732	0,00286405											
6	723377	3961196	-8,08449889	-9,512088	0,01267659											
7	723176	3961177	-8,08449889	-9,4925822	0,02116263											
8	723180	3961146	-7,77738552	-9,30219493	0,00207253											
9	723157	3961189	-7,75499743	-9,32994813	0,04871483											
10	723188	3961228	-7,75499743	-9,30849732	0,00286405											
11	723285	3961279	-7,52954159	-8,82875627	0,01192387											
12	723368	3961339	-7,6485615	-8,91783222	0											
13	723175	3961445	-7,30321349	-8,5962236	-0,00170782											
14	723292	3961388	-7,30321349	-8,44346813	-0,01124825											
15	723259	3961341	-7,11052286	-8,52229628	-0,002342											
16	723134	3961294	-7,11052286	-8,41898091	-0,01363429											
17	722891	3961459	-7,34385613	-8,91022886	-0,00674429											
18	723058	3961434	-7,31052286	-8,8340152	0,00880409											
19	723184	3961367	-7,11052286	-8,52229628	-0,002342											
20	723175	3961342	-7,31052286	-8,52229628	-0,002342											

Figure n°38 : Fichier input du logiciel GSTA.

- **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) obtenu à l'aide du logiciel Surfer. Le fichier output qu'il résulte contient les coordonnées des stations avec les directions et la longueur du transport sédimentaire.

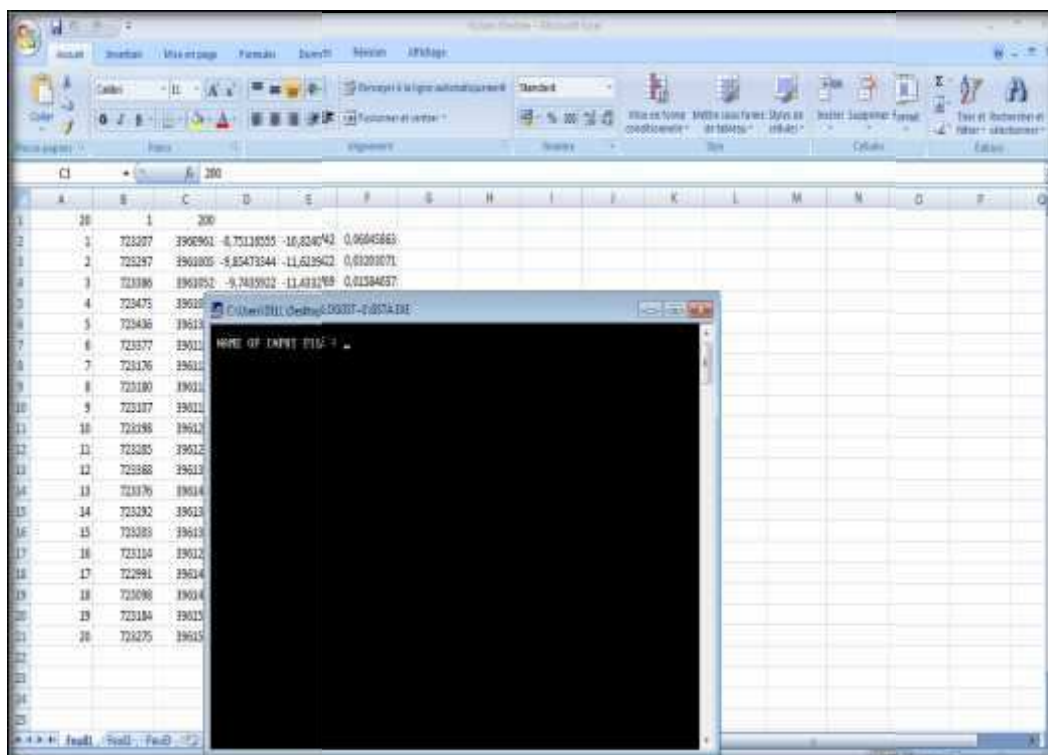


Figure n°39: Fenêtre du logiciel GSTA.

- **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.

Station	X	Y	Length	Direction
1	723206	3960961	0,92	136,97
2	723296	3961004	0,94	170,1
3	723385	3961052	1	165,98
4	723473	3961099	0,57	217,37
5	723435	3961308	1,52	188,5
6	723376	3961195	1,35	174,92
7	723176	3961176	1,02	157,38
8	723179	3961145	0,96	154,26
9	723106	3961189	1,43	135,54
10	723197	3961228	1,26	149,14
11	723285	3961279	1,4	157,41
12	723367	3961338	1,93	187,56
13	723375	3961445	1,79	190,08
14	723291	3961387	1,68	170,79
15	723203	3961341	1,68	169,36
16	723114	3961293	1,46	158,02
17	722990	3961449	1,25	123,23
18	723097	3961454	1,45	174
19	723183	3961507	1,55	176,81
20	723275	3961547	1,53	169,78
21				
22				
23				
24				
25				

Figure n°40 : Fichier output du GSTA.

b.1.3. Les résultats de la modélisation :

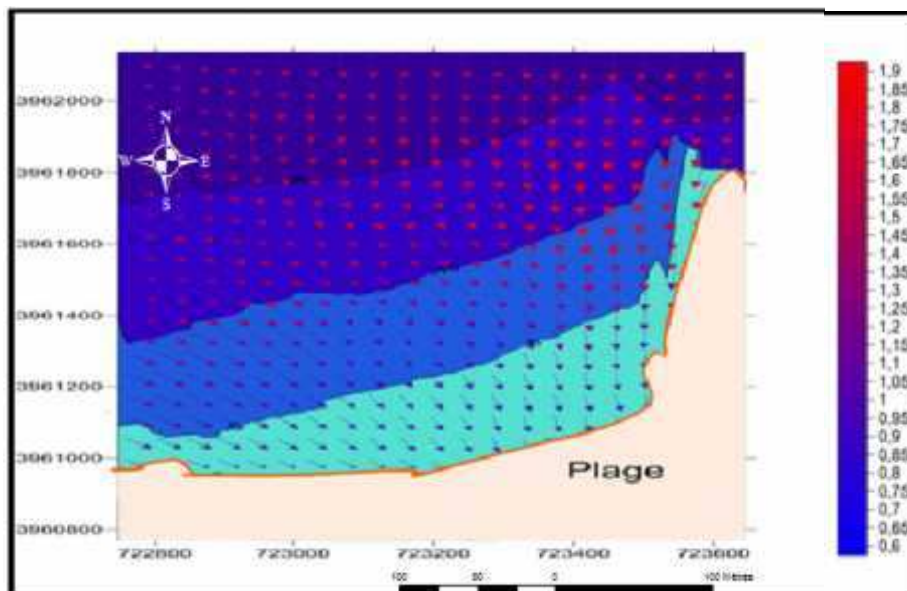


Figure n°41 : Modélisation du transport sédimentaire par GSTA dans la plage d'Ain Franine.

La fiabilité des résultats dépend de la taille des vecteurs, plus le module est grand plus le résultat est fiable.

A partir des résultats obtenus de la modélisation du transport sédimentaire avec le modèle de McLaren / Gao et Collins, nous déduisons qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large au niveau de la plage d'Ain Franine.

Les houles du secteur Nord-est abordent la côte avec une incidence oblique et engendrent un courant de dérive littoral Est-Ouest, et par endroits elles sont frontales et engendrent des courants de retour.

Les houles du secteur Nord-Ouest abordent la côte avec une incidence oblique et engendrent un courant de dérive littoral Ouest-Est.

b.2. Conclusion :

Le modèle GSTA effectué sur la zone d'Ain Franine a donné des résultats satisfaisants, a qui semble concorder avec les résultats obtenus au cours de notre étude notamment dans la bathymétrie et la réfraction de la houle.

c. Quantification du transit sédimentaire :

Dans la zone littorale, des quantités importantes de sable sont transportées sous l'action de la houle et des courants. Quand les vagues atteignent la côte et déferlent sur la plage, elles génèrent des courants côtiers qui interagissent avec les vagues incidentes pour transporter le sédiment (Masselink et al, 2006).

c.1. Méthodologie :

La méthodologie d'estimation des transits sédimentaires repose en premier lieu sur l'identification des cellules sédimentaires, entre lesquelles s'organise le transport longitudinal, dans le cadre d'un système fermé à ses deux extrémités ainsi que vers la terre et le large (Drapeau, Mercier, 1990).

Il est très important pour une côte 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 et, lorsque la dérive littorale subit des inversions de sens, la direction résultante du transport à l'échelle de l'année. (Paskoff, 1993).

c.2. Calcul du transit sédimentaire :

Les ordres de grandeur du volume déplacé des sédiments parallèlement à la côte (transit littoral) peuvent être évalués à partir de différents formules dont la plus utilisés est la formule de Sauvage de Saint-Marc et de Vincent « L.C.H.F » : (Mouhoubi, 2012).

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

Avec :

Q : volume de sable transporté (en m³).

K : coefficient de transport du sédiment (2,5*10⁻⁶).

g : accélération de la pesanteur (= 9,81 m/s²).

C : cambrure de la houle (0,03).

H_s : amplitude significative de la houle (m).

T : période de la houle (en secondes).

f(α) : fonction de l'obliquité « α » de la crête de la houle avec la côte : f(α) = sin(7*α/4).

t :durée d'action de la houle (en secondes), donnée par la formule suivante :

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

Avec $f(\%)$ fréquence d'observation.

L'utilisation de cette formule conduit à définir le bilan énergétique annuel de transport.

A partir des données de la réfraction réalisées par le modèle Swan, on peut estimer la quantité du transit sédimentaire de notre zone d'étude.

Les calculs suivants résument les étapes de calcul du transit sédimentaire ainsi que le bilan énergétique.

c.2.1. Détermination de l'amplitude H_s :

Dans chaque calcul, les résultats sont donnés par secteur et par période.

Tableau N°17: Résultat du calcul des amplitudes significatives H_s :

Périodes (S)	H_s (m)	
	N360°	N315°
6	0,95	0,29
8	2,38	1,01
10	4,32	2,77

c.2.2. Calcul de la durée t :

- **Fréquences et les moyens d'apparition :Fri :**

Dans chaque calcul, les résultats sont donnés par secteur et par période :

Tableau n°18: Résultats du calcul des fréquences d'observation Fri :

H_s Observée (m)	Nombre d'observation $>H_s$		fri -fréquence d'observation-	
	N360°	N315°	N360°	N315°
0	663	259	0,084	0,033
0,25	541	214	0,068	0,027
0,75	308	128	0,039	0,016
1,25	135	58	0,017	0,007
1,75	53	19	0,007	0,002
2,25	31	5	0,004	0,001
2,75	16	3	0,002	0,000
3,25	7	2	0,001	0,000
3,75	6	1	0,001	0,000
4,25	4	0	0,001	0,000
4,75	2	0	0,000	0,000
5,25	2	0	0,000	0,000
5,75	2	0	0,000	0,000
6,25	0	0	0,000	0,000

• **Calcul des fréquences d'observation F% :**

Tableau N°19: Résultats du calcul des fréquences d'observation F% et F par direction et par période :

Direction :	N360°		N315°	
	F	f(%)	f	f(%)
6	0,05	5,20	0,02	2,08
8	0,00	0,34	0,00	0,37
10	0,00	0,03	0,00	0,00

• **La durée t :**

Tableau N°20 : Résultat du calcul des durées d'action t de la houle par direction et par période :

Périodes (S)	t (s)	
	N360°	N315°
6	1 641 378,84	656 750,85
8	106 634,81	115 604,10
10	10 630,26	664,39

c.2.3. Calcul du bilan énergétique de la houle:

Le bilan énergétique est le résultat de la multiplication de la houle significative au carré, la période et la durée ($= (H_s)^2 * T * t$).

Tableau N°21 : Résultat du calcul du bilan énergétique de la houle par direction et par période :

Périodes (s)	Bilan énergétique (m ² s ²) :	
	N360°	N315°
6	11 643 367,01	330 844,15
8	3 624 133,38	926 912,02
10	2 017 587,61	51 844,71
Total	17 285 088,00	1 309 600,88
Total Général		18 594 688,88

c.2.4. Détermination de l'angle :

L'angle a été déterminé manuellement d'après les étapes suivantes :

- Dessiner une ligne qui comprend la majorité de la ligne de côte.
- Crayonner une ligne perpendiculaire à la première qu'on va appeler orthogonale.
- Déterminer le Nord.
- Reproduire l'angle d'arrivée par rapport au Nord, à droite de la ligne du Nord si l'angle est inférieur à 180°, sinon à gauche.

Tableau N°22 : L'angle d'arrivée par période et direction :

Périodes (s)	L'angle d'arrivée (°) :	
	N360°	N315°
6	267,63	317,54
8	263,38	302,06
10	259,09	290,43

La carte issue de la détermination manuelle de l'angle a été reprise sur ArcGis pour l'éclaircir, l'illustration est représentée dans la figure n°42, les angles obtenus ainsi que leurs fonctions $f(\)$ sont récapitulés dans le tableau n°23.

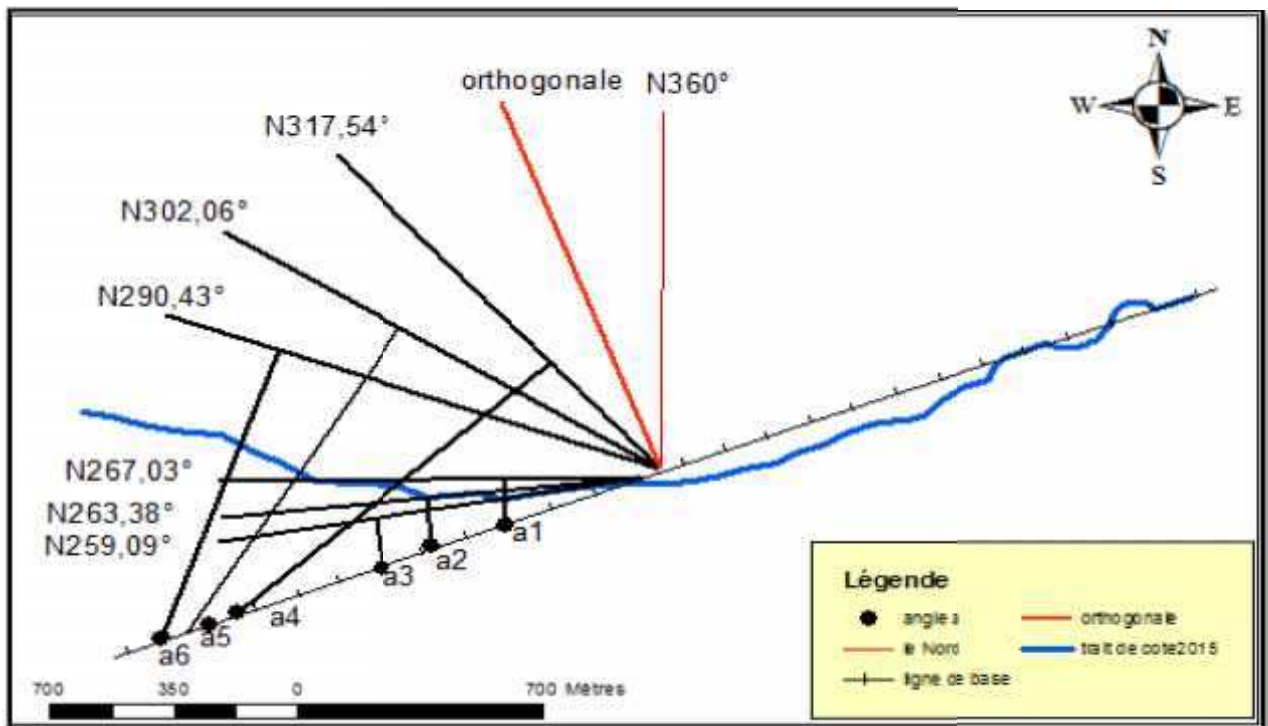


Figure n°42: Détermination de l'angle .

Tableau N°23 : Calcul des angles et des fonctions $f(\)$ par direction et par période :

Périodes (s)	N360°		N315°	
		$f(\)$		$f(\)$
6	-71,37	-0,820	-21,46	-0,610
8	-75,62	-0,739	-36,94	-0,904
10	-79,91	-0,645	-48,57	-0,996

Par convention le signe (+) correspond à un transport Ouest ==> Est, et le signe (-) correspond à un transport Est ==> Ouest.

c.2.5. Estimation du transit sédimentaire :

Le bilan est ainsi calculé, le tableau suivant éclaircie le transit sédimentaire par direction et par période, ainsi que le transit sédimentaire global.

Tableau N°24: Quantités du transit sédimentaire :

Périodes (s)	Q (m ³ /an)		Total par période :
	N360°	N315°	
6	-7806,81	-164,85	-7971,67
8	-2190,11	-684,76	-2874,87
10	-1063,67	-42,22	-1105,89
Total par direction	-11060,59	-891,83	-11952,43
Total général : 11952,43 m³/ an			

Les résultats illustrés dans le tableau n°24 montrent que la quantité de sédiment transportée est de 11952,43 m³/an venant du Nord Ouest et se dirigeant vers l'Est.

5. Conclusion sur l'état du site:

Au terme de ce chapitre, consacré à l'étude bathymétrique, granulométrique et sédimentaire de la plage d'Ain Franine, nous pouvons retenir ce qui suit :

L'analyse de la carte bathymétrique et des profils a révélé que la morphologie est irrégulière entre 0 et -4 m et régulière au de-là de -4 m. Cette analyse a permis de mettre en évidence une barre sableuse à environ 100 m de la côte à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude, un léger replat et une ride d'avant côte au centre du site. La pente moyenne est environ de 2%.

L'étude sédimentologique a montrée que la distribution des sédiments est classique, à savoir, une diminution de la taille des sédiments de la côte vers le large. Ces sédiments présentent un faible taux de pélites.

Les courbes granulométriques de la fraction grossière sont de type unimodal à plurimodal révélant la présence d'un à plusieurs stocks de sédiment.

Trois (03) modes ont été déterminées. Le mode M1 (125-315µm) présente un fort pourcentage au large. Les pourcentages des modes M2 (400µm-1000µm) et M3 (2000-4000µm) sont importants à la côte.

Le calcul de l'indice de classement indique que les sédiments du site sont bien classés. L'indice d'asymétrie a révélé une répartition symétrique donc un bon classement.

Le diagramme de Passega a montré que le transport se fait par roulement, suspension gradée et saltation qui est la caractéristique des zones à forte énergie hydrodynamique.

La carte résultant de la modélisation du transport sédimentaire par GSTA a révélé que notre zone d'étude est soumise à l'action des houles de Nord et Nord-Ouest responsables du transit sédimentaire. Les houles de Nord engendrent un courant de retour. Les houles de Nord-Ouest engendrent une dérive littorale Ouest-Est. Le volume qui transite par le site de Bir el djir est de l'ordre de 11952,43 m³/an et une direction Ouest-Est.

L'étude sédimentologique a permis de conclure que notre zone d'étude est une zone à fort hydrodynamisme où les sédiments sont en perpétuel mouvement et que leur dépôt se fait lors des périodes d'accalmie.

Chapitre III :

Les solutions de protection

1. Introduction :

La plage d'Ain Franine est en voie d'érosion, c'est pour cela que plusieurs études ont été menées, dont l'objectif principal est de trouver une ou plusieurs solutions pour stopper ce dégraissement qui ne cesse de menacer cette plage et qui pourra conduire à sa disparition.

Pour toute défense contre l'érosion, il est souhaitable de se tourner vers des ouvrages de défense souples qui travaillent en harmonie avec les dynamiques naturelles en jeu et ont ainsi un moindre impact sur le littoral, plutôt que d'utiliser des ouvrages de défense rigides qui tendent à réprimer ou freiner les processus côtiers; Mais comme le cas de notre zone, la diversité des phénomènes à l'origine de l'érosion, conduit à une diversité de réponses techniques, ainsi pour améliorer l'efficacité des interventions de protection, il est préférable d'utiliser des défenses de nature mixte, et suite aux différents résultats obtenus lors des études effectuées sur la zone d'étude, deux variantes ont été retenues : les brise-lames émergés et des géo-tubes.

2. Description des variantes :

Dans le cas de la zone d'Ain Franine, les brise-lames et les géo-tubes ont été choisis car la plage rencontre une attaque frontale, et ces deux variantes semblent être la meilleure solution pour diminuer l'intensité de la houle et atténuer l'érosion.

2.1. Variante n°01 : Brise-lame émergé:

a. Définition :

Les brise-lames sont des ouvrages longitudinaux mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé (Paskoff, 1993).

b. Intérêts :

Selon Olivier, 2007, les brise-lames ont pour objet :

- Pour les sédiments :
 - Limiter la dissipation transversale de matériaux, lorsque des transports importants de sédiments s'effectuent dans le profil.
 - Diminuer l'énergie de la houle permettant aux sédiments en transit de s'accumuler à leur abri.
- Pour les houles :

Les brise-lames exercent deux types d'action sur les houles en s'approchant du rivage :

- Diminuer l'énergie des houles atteignant le plan d'eau et la zone côtière situés à son abri , en réfléchissant ou absorbant au moins partiellement l'énergie des houles qui le frappent directement .
- Provoquer la diffraction des houles à ses extrémités.

Ces actions provoquent le développement d'une avancée à partir du rivage, si la longueur du brise-lame est suffisante par rapport à sa distance à la ligne de rivage, cette avancée peut rejoindre l'ouvrage pour former un Tombolo.

c. Avantages et inconvénients :

- Avantages :

Les brise-lames présentent l'avantage de :

- Offrir une plus grande protection de la plage, en créant des zones d'eau relativement calmes où le dépôt des substances fines en suspension est facilité.
- Favoriser l'engraissement du trait de côte et peut aboutir à la formation d'un tombolo.

-Inconvénients :

On retrouve plusieurs inconvénients, parmi lesquels on peut citer :

- Accroître la sédimentation dans la zone amont qu'il crée, et provoquer dans le secteur immédiatement adjacent à l'aval, dans le sens de la dérive littorale dominante, un déficit en matériaux qui induit ou accentue des phénomènes d'érosion (Paskoff, 1993).
- Favoriser un recul du rivage entre deux ouvrages voisins, contre lesquels il faudra lutter si des aménagements sont menacés.
- Réduire l'agitation du côté de la plage et le renouvellement des eaux n'est pas favorisé, ce qui peut impliquer des répercussions négatives du point de vue sanitaire.
- Coût très élevé.
- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes.
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).
- Des phénomènes importants de réflexion peuvent être constatés sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voire son écroulement.

2.2. Variante n°02 : Géo-tube :

a. Définition :

Le géo-tube a une forme tubulaire formée d'une enveloppe géotextile tissée de haute résistance remplie de matériaux. Le géo-tube a une structure flexible et continue très résistante aux forces de l'eau ; Selon les applications spécifiques, le tube est préfabriqué pour être remplie in situ. La structure est caractérisée par son diamètre théorique, sa circonférence et sa longueur. Le diamètre théorique du tube va de 1,50m à 5m. (Assassi, Otmani, 2010).

Le tube n'atteint pas la même hauteur que son diamètre théorique, il peut atteindre un maximum de 60 à 70% de son diamètre, selon la mise en œuvre et les techniques de remplissage. La structure est très souvent associée à un tapis anti-affouillement. La largeur du tapis dépendant de la taille du tube utilisé. (Assassi, Otmani, 2010).

Les géo-tubes peuvent être utilisés comme étant des épis ou des brise-lames, selon la nécessité.

b. Intérêts :

Les géo-tubes sont des alternatives récentes, ils ont été développés pour remplacer les ouvrages traditionnels. Ils remplacent les brise-lames et les épis tout en épousant l'environnement de son emplacement. C'est une protection réversible.

Les géo-tubes sont utilisés à de faible profondeur et sur la côte. Leur intérêt diffère selon l'utilisation souhaitée du géo-tube : si il est perpendiculaire ou parallèle, il permet le confort des transports sédimentaires, il exerce aussi des actions sur la houle en :

- Diminuant son énergie en la réfléchissant ou en absorbant la moitié.
- Provoquant sa diffraction.

c. Avantages et inconvénients :

- Avantages :

- Le rechargement facile des géotextiles en matériau non spécifique et disponible localement.
- La facilité d'exécution de ce genre de protection qui ne demande pas des moyens humains et techniques considérables.
- Les matériaux géotextiles sont inertes aux acides et bases, donc plus résistant à l'attaque chimique de l'eau de mer, ils peuvent avoir une durée de vie de 100ans.
- L'intégration facile de ce procédé dans le paysage (les matériaux géotextiles existent en couleurs variées, selon les exigences du site concerné).
- Une solution par géotextiles coûte un cinquième (1/5) du coût d'un ouvrage en enrochement ou en BCR.
- Grâce à ses propriétés couvrantes, il réduit le tassement différentiel et facilite ainsi la maintenance.

-Inconvénients :

- lorsque des affleurements rocheux sous l'eau sont présents, le placement des enrochements sur le géotextile occasionnera d'inévitables dommages au géotextile, en créant des trous, ce qui entraînera la perte des particules fines des zones voisines.
- Leur résistance aux actions brutales de la mer est en tout état de cause limitée et les conditions du vieillissement des matériaux géotextiles ne sont pas encore convenablement connues.

d. Remplissage et mise en place :

La première opération consiste en la mise en place du tapis anti-affouillement, étant livré en rouleau, le tapis sera directement déroulé puis lesté sous l'eau sur la zone d'implantation.

Une fois le tapis mis en place, les petits boudins d'encrage de part et d'autre du tapis (figure n°43) sont remplies par injection de sable ; ces tubes ont pour but de compléter la stabilité du tapis et d'assurer la protection du sol sur lequel repose le géo-tube contre l'érosion

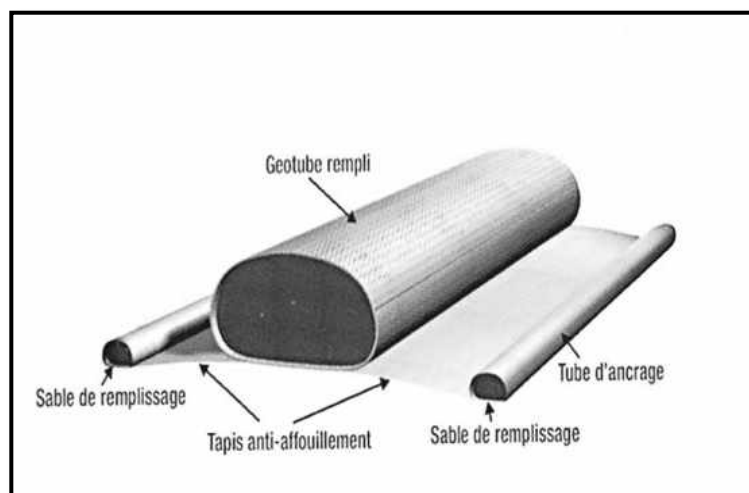


Figure n° 43: Tapis anti-affouillement utilisé conjointement avec géo-tube.

(Chabi, Sadaoui, 2011)

La structure du géo-tube est réalisée in situ et remplie par pompage hydraulique avec du sable. Ceci entraîne la création d'une structure flexible, monolithique et continue qui est très résistante aux forces de l'eau.

Le géotextile dispose de pores fins capables de retenir les matériaux injectés tout en ayant une grande perméabilité permettant l'écoulement de l'eau. Chaque élément est fabriqué en utilisant les propriétés techniques de la technologie d'assemblage par couture qui assure que la résistance est suffisamment élevée sur l'ensemble de la surface de l'enveloppe. Pour le remplissage, des cheminées sont mis en place à des intervalles spécifiques tout le long du tube.

Le tube préfabriqué est déroulé sur site et ancré à sa position finale. Des points d'attache sont cousus le long du tube en usine pour permettre la fixation provisoire, lors de la mise en œuvre, avant de le remplir.

Le tube peut être rempli en utilisant différents types de pompes allant de la petite pompe submersible à la pompe utilisée pour le dragage. Le type de système de pompage dépend du type de projet et de la facilité de la mise en place sur site. La pompe hydraulique est branchée sur les points d'injection localisés le long du tube. L'eau ressort par les pores du géotextile, et le sable reste dans le tube qui se remplit progressivement. Pendant la phase de remplissage, d'autres points d'injection peuvent être utilisés pour évacuer le flot d'eau en excédent. Dès que l'élément de tube atteint la hauteur requise, les points d'injection sont fermés.

3. Dimensionnement :

3.1. Brise-lame :

Il n'existe pas actuellement des règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brise-lames (profondeur d'implantation, longueur et espacement, hauteur). Celles-ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde) de la pente de l'ouvrage et de la pente des fonds. Il semble en tout état de cause que les brise-lames efficaces sont ceux qui ne franchissent pas les vagues.

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

Malgré ce manque de règles, on retrouve quelques formules à suivre pour assister le dimensionnement.

a. La longueur de l'ouvrage :

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

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

Avec :

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

• **Détermination de L :**

Pour la détermination de la longueur d'onde au pied de l'ouvrage, un abaque doit être utilisé. (Figure n°44).

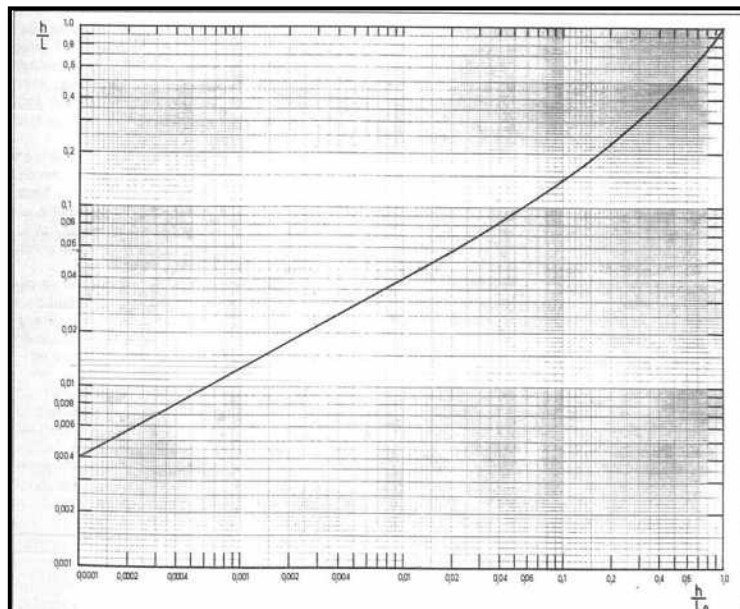


Figure n°44: Abaque pour la détermination de la longueur d'onde L. (LEM, 2015)

Pour retrouver la longueur d'onde sur cet abaque, on doit lui introduire en abscisse la valeur de : **h/L₀**

Avec :

- h : La profondeur au pied de l'ouvrage. (Mètres).
- L₀ : La longueur d'onde au large : $L_0 = 1,56.T^2$. (Mètres).

Cette valeur de h/L_0 est ensuite projetée sur la courbe pour donner la proportion de h/L , à partir de la L est déterminée.

b. La longueur en tête du brise-lame : e :

La longueur en tête du brise-lame est estimée selon Dattari, 1979 par la formule suivante :

$$e/L = 0,2 \text{ à } 0,3$$

Tel que :

-e : La longueur en tête. (Mètres).

-L : La longueur d'onde au pied de l'ouvrage. (Mètres).

c. Hauteur de la houle de dimensionnement (H_t) :

Pour un ouvrage de défense des côtes, ainsi que pour tout ouvrage en eau peu profonde, la hauteur de la houle de dimensionnement est bien souvent celle qui correspond à la hauteur de la plus grande houle déferlante pouvant atteindre l'ouvrage.

On distingue en général quatre types de déferlement (glissant, plongeant, cassant et gonflant) mais on s'intéresse surtout ici au déferlement plongeant qui est le plus dangereux pour les ouvrages,

La figure n°45 permet de déterminer H_t directement à partir de la hauteur d'eau D au pied de l'ouvrage et de la hauteur de l'ouvrage.

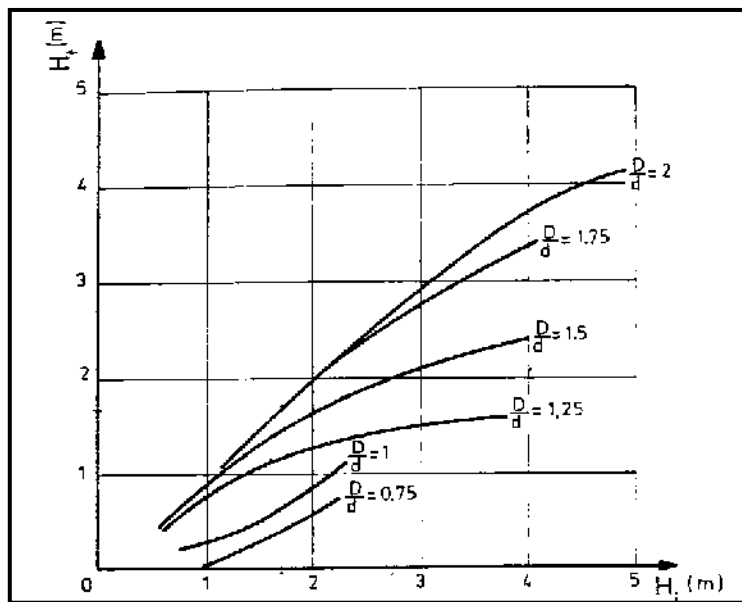


Figure n°45: Abaque pour la détermination de la houle de dimensionnement H_t . (LEM, 2015)

Dans ce cas, on doit connaître la valeur de la houle incidente H_i la plus élevée au niveau de la profondeur d'implantation, on projette sur la courbe et il en résulte la houle de dimensionnement H_t .

La houle de dimensionnement H_t sert ensuite à calculer le coefficient de transition qui est égal à : H_t / H_i . Ce coefficient de transition sert à déterminer si cet ouvrage va résister et diminuer l'énergie de la houle incidente.

d. Stabilité de l'ouvrage :

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

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

d.1. Carapace :

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

- **Poids des blocs de carapace :**

Il existe de nombreuses formules empiriques pour déterminer le poids unitaire des enrochements de la carapace des ouvrages à talus, mais on ne retiendra ici que la formule d'Hudson, 1974, qui est la plus utilisée et dont le domaine d'application est le mieux connu.

$$W_{\text{Carapace}} = \gamma_s * H_i^3 / K_d ((\gamma_s / \gamma_w) - 1)^3 * \cotg \alpha$$

Tel que :

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

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

- γ_w : la masse volumique de l'eau de mer (1,026 t/m³).

- γ_s : La masse volumique des enrochements utilisés (2,5t/m³).

- H_i : Hauteur de la houle au voisinage de l'ouvrage.

- α : La pente.

- **Le diamètre nominal (Dn_{50}) :**

$$Dn_{50} = (W_{\text{carapace}} / \gamma_s)^{1/3}$$

Après avoir trouvé la valeur du diamètre nominale, on l'utilise dans une autre formule pour avoir le tonnage moyen des enrochements.

$$W_{\text{Carapace}} - Dn_{50} < 0 < W_{\text{Carapace}} + Dn_{50}$$

- **L'épaisseur de la carapace :**

Cette épaisseur est déterminée à partir de :

$$E = n * K_t * Dn_{50}$$

Avec :

- K_t : coefficient de couche (1,1 pour le béton et 1,15 pour l'encrochement).

-n : nombre de couche.

d.2. Le Noyau :

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

$$W_{\text{Noyau}} = 1/200 W_{\text{carapace}}$$

Remarque :

Les brise-lames sont implantés entre 2-3m de profondeur, donc on prend $H_t = 2.44\text{m}$ pour le dimensionnement de toutes les parties des brise-lames (extérieur, intérieur et la partie musoir).

3.2. Géo-tube :

a. La profondeur d'implantation : d :

Le géo-tube (brise-lame) doit être approximativement situé au début de la zone de déferlement (Ciria et Cur, 1991 in Delmi, Klioui, 2012) la houle déferle lorsque le rapport entre la hauteur et la profondeur atteint $H/d=0.78$.

b. Le diamètre : D :

Le tube est préfabriqué selon une grande variété de diamètres et de longueurs selon les applications spécifiques. Le diamètre théorique du tube va de 1,50 m à 5m. (Albert et al 2009).

c. La distance par rapport à la côte : l_C :

Dans le cas où le géo-tube est parallèle à la côte, on utilise les caractéristiques des brise-lames immergés en encrochements.

Donc pour qu'un géo-tube fonctionne bien, sa distance par rapport au rivage est donnée par la formule suivante :

$$l_C = L_0 / 2$$

Tel que :

- l_C : La distance par rapport au rivage. (Mètres)

- L_0 : La longueur d'onde au large. $L_0 = 1,56.T^2$ (Mètres).

d. La longueur du géo-tube : l :

Comme a-t-il été déjà signalé, les géo-tubes jouent le rôle d'un brise-lame, et par conséquent la longueur du géo-tube va être calculée de la même manière que pour les brise-lames.

$$l > 1.2 (l_C + 0.3L)$$

e. La largeur de la berme : B :

Le dimensionnement de la largeur de la berme dépend du pourcentage de la dissipation d'énergie souhaitable, Autrement dit la transmission des vagues.

Pour cela on adopte la formule des ouvrages lisses à crête abaissée proposée par Briganti et al, 2004, qui ont calibré la relation élaborée par Angremond et al, 1990.

$$C_t = -0.4 * (R_C / H_S) + C_p (B/H_S)^{-0,31*} (1 - \exp(-0,5*\epsilon_p))$$

Avec :

- C_t : est le coefficient de transmission.

- R_C : côte d'arase.

- B : est la largeur de la berme.

- C_p : est le coefficient de perméabilité ($C_p=0,64$ dans le cas d'un ouvrage perméable,).

- ϵ_p : est le nombre d'Iribarren du déferlement tel que :

$$\epsilon_p = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}}$$

Avec :

- α : la pente du talus.

- S_0 : La cambrure.

$$\rightarrow S_0 = H_S / L_0$$

On précise que l'équation est valable tant que : $B/H_S < 10$

f. Stabilité des géo-tubes :

Pour s'assurer de la stabilité des géo-tubes, on utilise la formule de Pylarczky, 2000.

$$\frac{H_s}{\Delta B} < 1 \rightarrow \text{géo-tube stable}$$

Avec :

- H_b : Houle du dimensionnement. (Mètres).

- B : Largeur maximale du géo-tube. (Mètres).

- Δ : S'écrit sous la forme suivante :

$$\Delta = (1 - n) \times \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)$$

Où n = porosité du sable (=0.15).

ρ_s = la masse volumique du matériau avec lequel on a rempli le géo-tube (t/m^3).

ρ_w = la masse volumique de l'eau de mer. (t/m^3).

3.3. Résultats du dimensionnement :

Le brise-lame ou le géo-tube va être implanté dans la partie centrale de la zone a -3m de profondeur.

D'après la figure n°46, on peut dire que l'emplacement de l'ouvrage va être dans l'intersection du profil et de la ligne de -3m.

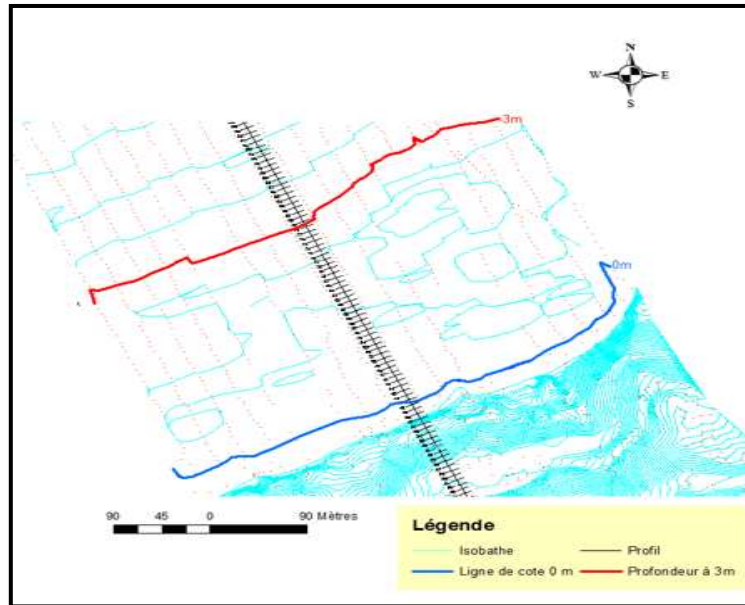


Figure n°46 : Emplacement des variantes.

a. Brise-lame émergé :

Ce brise-lame sera constitué de deux couches : Un noyau et une carapace.

- La longueur du brise-lame : l :

-La longueur d'onde : L :

$$h = 3 \text{ m} ; T = 12,46 \text{ s}$$

$$L_0 = 1,56 * (12,46)^2 \rightarrow L_0 = 242 \text{ m}$$

$$\Rightarrow h/L_0 = 0,012$$

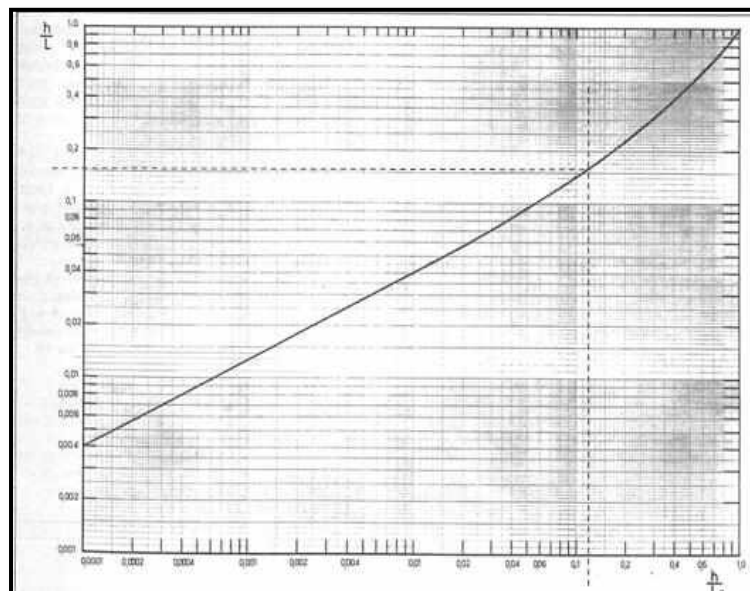


Figure n°47: Détermination de la longueur d'onde.

D'après la figure n°47, le rapport h/L est égal à 0,18 ; et donc la longueur d'onde $L=17m$.

⇒ La longueur du brise-lame est en conséquent égale à :

$$l > 1.2 (178,6 + 0.3 \cdot 17)$$

→ $l > 220,44$

$$l = 225 \text{ m}$$

• **La longueur en tête du brise-lame : e :**

On va prendre $e/L = 0,2$.

→ $e/17=0,2$

$$e = 3m$$

• **Hauteur de la houle de dimensionnement : H_t :**

On prend la hauteur du brise-lame égale $d=4m$.

$D/d = 3/4$. (D : Profondeur au pied de l'ouvrage).

→ $D/d = 0,75$

D'après l'abaque ci-dessous :

On s'aperçoit que la houle incidente $H_i = 2,44m$ à diminuer pour devenir $H_t = 0,8m$

Et donc on peut dire que la hauteur de l'ouvrage est bien choisit et est performante pour diminuer l'énergie de la houle.

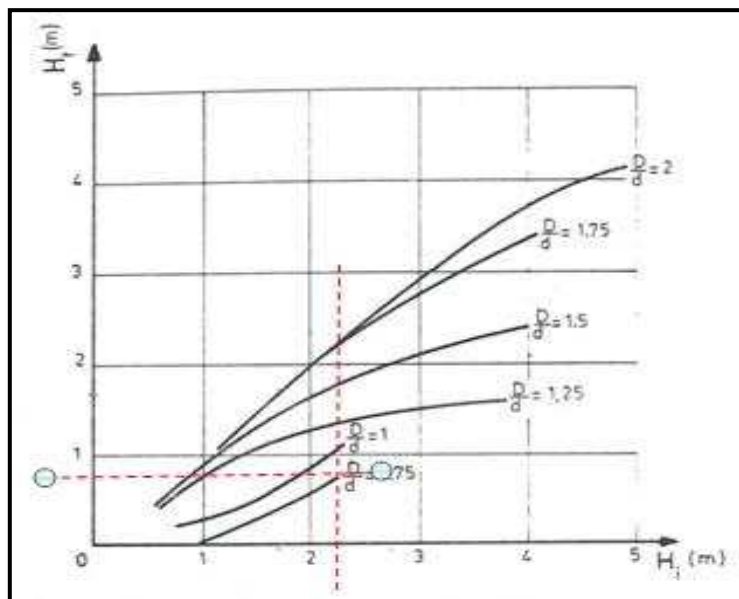


Figure n°48 : Détermination de la houle de dimensionnement.

→ Le coefficient de transmission est égal à : $0,8 / 2,44$

⇒ Coefficient de transmission = 0,33.

- **Stabilité de l'ouvrage :**

- **Carapace :**

-Poids des blocs de la carapace :

D'après Hudson, 1974 :

$$W_{\text{Carapace}} = (2,5 * (2,44)^3) / 3,5 * ((2,5/1,026) - 1)^3 * 1,5$$

→ $W_{\text{Carapace}} = 2,33 \text{ tonnes.}$

-Le diamètre nominal (D_{n50}) :

$$\rightarrow D_{n50} = (2,33 / 2,5)^{1/3}$$

⇒ $D_{n50} = 0,98 \text{ t}$

D'après ce diamètre nominal, on trouve que les enrochements auront un tonnage entre :

$$1,35 < 0 < 3,31$$

Remarque :

Il est à mentionner que dans les extrémités de l'ouvrage : le musoir, il est préférable d'utiliser un tonnage entre 2 et 3 tonnes, car c'est la partie la plus exposée à l'énergie de la houle.

-Epaisseur de la carapace : E :

On aura :

$$E = 2 * 1,15 * 0,98$$

$E = 2,25 \text{ m.}$

- **Noyau :**

$$\rightarrow W_{\text{Noyau}} = 1/200 * 2,33$$

$$\rightarrow W_{\text{Noyau}} = 0,01165 \text{ t}$$

Le poids du noyau sera 11,65kg de TVC.

Le tableau n°25 va reprendre toutes les dimensions du brise-lame.

Tableau N°25 : Résultats du dimensionnement du brise-lame :

		Symbole	Résultat
Longueur de l'ouvrage		l	225m
Longueur en tête de l'ouvrage		e	3m
Hauteur de la houle de dimensionnement		H_t	0,8m
Stabilité de l'ouvrage	Carapace	Poids	W
		Diamètre nominal	D_{n50}
		Epaisseur	E
	Noyau	Poids	W_{Noyau}
			2,33t
			0,98t
			2,25m
			11,65kg



Figure n°49 : Installation du brise-lame dans la plage d'Ain Franine. (Google Earth, 2015)

Le profil du brise-lame a été dessiné sur le logiciel Autocad 2014. (Figure n°50)

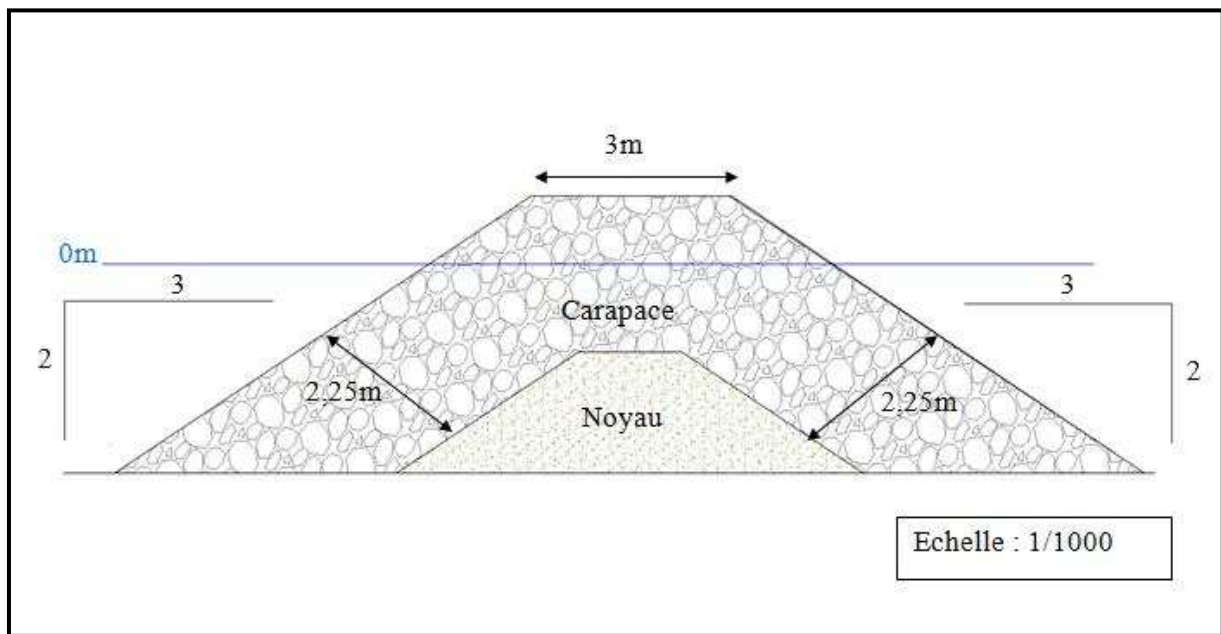


Figure n°50: Profil du brise-lame proposé pour la plage d'Ain Franine.

Il est à noter qu'il faut signaler l'existence de ce brise-lame par des bouées flottantes pour la sécurité des baigneurs.

b. Géo-tube immergé :

- **La profondeur d'implantation : d :**

→ $2,44/d=0,78 \rightarrow d=3,12\text{m}$

On va prendre la profondeur d'implantation $d = 3\text{m}$

- **La distance par rapport à la côte : l_c :**

→ $l_c = 242,19/2$

$l_c = 121,095\text{ m}$

- **La longueur du géo-tube : l :**

→ $l > 151,434$

$l = 152\text{ m}$

• **La largeur de la berme : B :**

• $\varepsilon_p = 1,5 / (2,44/242)^{1/2}$

$\Rightarrow \varepsilon_p = 14,94.$

$\rightarrow 0,49 = -0,4 * (-0,5/2,44) + 0,64 * (B/2,44)^{-0,31} * (1 - \exp(-0,5 * 14,94))$

$B = 13,14\text{m}$

$\Rightarrow 13,14 / 2,44 = 5,38 < 10$

\Rightarrow Et donc cette formule est valable.

• **Le diamètre : D :**

On a choisit un diamètre de 4m.

Le tableau qui suit indique les caractéristiques structurales.

Tableau N°26 : Détermination des caractéristiques des géo-tubes implantés :

Diamètre	Circonférence	Hauteur	Volume	Largeur max	Largeur base	Géosynthétique recommandé
D	C	H	F	W	W _b	
M	m	m	m ³ /ml	m	m	
1.60	5.0	1.0	1.7	2.0	1.7	PP120S
2.50	7.9	1.1	4.1	3.2	2.7	PP120S
3.25	10.2	2.0	6.9	4.2	3.5	PP200S
4.00	12.6	2.4	10.4	5.1	4.3	PP200S
5.00	15.7	3.0	16.3	6.4	5.4	PP200S

(LEM, 2012 in Mouhoubi, Ouabel, 2012).

Les paramètres structuraux sont :

-Le diamètre D = 4m ;

-La hauteur H = 2,4m ;

-La largeur maximale W = 5,1m.

On utilise l'abaque dans la figure n°51 pour voir si cette hauteur du géo-tube H va freiner la houle incidente.

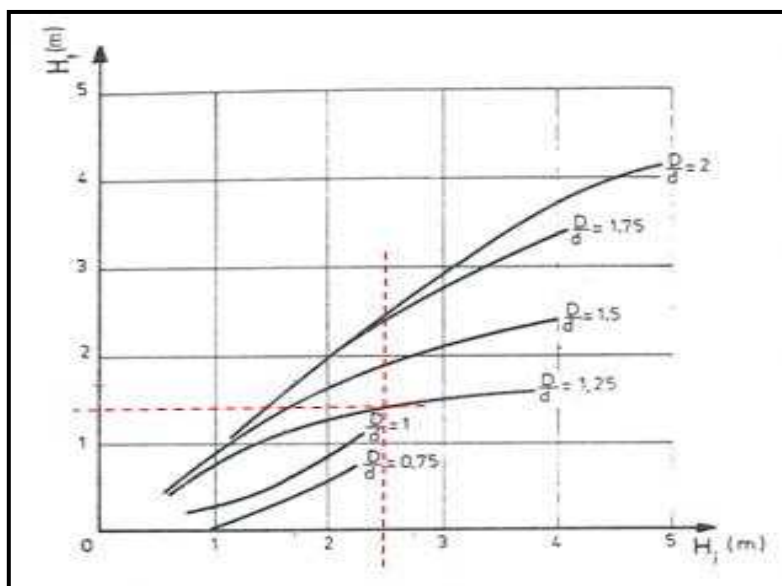


Figure n°51: Détermination de la houle de dimensionnement du géo-tube.

D'après la figure :

$$H_t = 1,4 \text{ m.}$$

→ Et donc le géo-tube assure ses fonctions.

➤ **Le nombre de géo-tube :**

La longueur du géo-tube est de 152m, mais vu que c'est compliquer de remplir un sac aussi long, on a choisi d'utiliser deux géo-tubes ayant chacun une longueur de 76m. Et pour pouvoir couvrir toute largeur de la berme qui est de 13,14m et avec une largeur maximale du géo-tube de 5,1m, on doit utiliser 6 géo-tube ayant les caractéristiques suivantes :

Longueur : 76m ; Hauteur : 2,4m ; Diamètre : 4m ; Et répartis comme le montre la figure n°52.

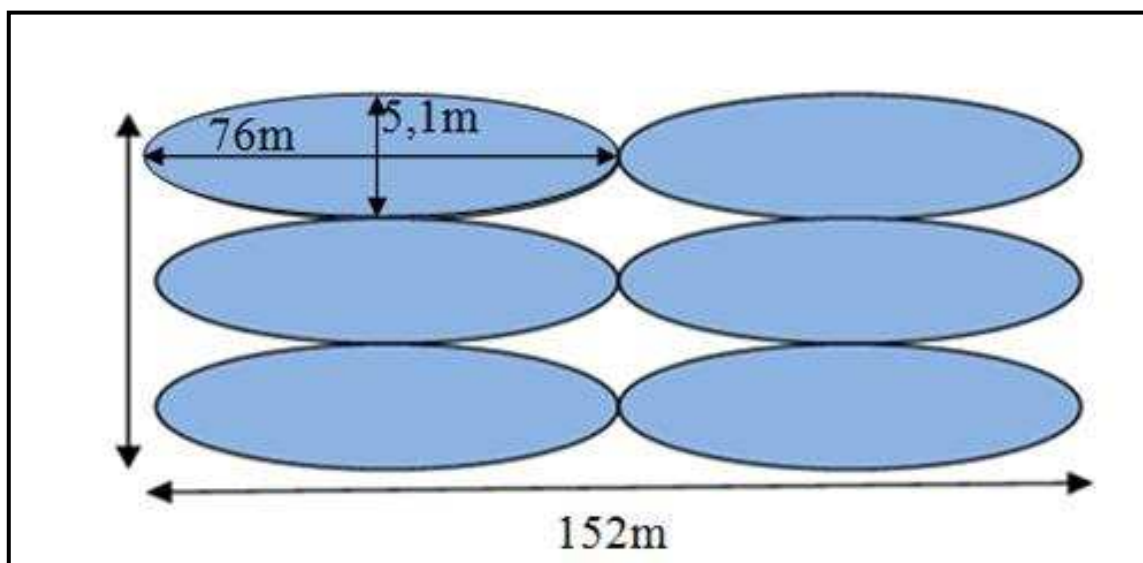


Figure n°52 : Schéma représentatif des géo-tubes et de leur emplacement (vue de haut).

➤ **La stabilité du géo-tube :**

→ $\Delta = 1,4025$.

→ $2,44 / (1,4025 * 5,1)$

→ $0,34 < 1$ → Géo-tube stable.

Tableau n° 27: Résultats de dimensionnement du géo-tube :

	Symbole	Résultat
La profondeur d'implantation	d	3m
La distance par rapport à la côte	l_c	121,095m
Longueur de l'ouvrage	l	76m
La largeur de la berme	B	13,14m
Le diamètre	D	4m
La hauteur	H	2,4m
Hauteur de la houle de dimensionnement	H_t	1,4m
La stabilité du géo-tube		$0,34 < 1$ → Géo-tube stable.

Remarque :

Le géo-tube est rempli par les matériaux ayant un diamètre de 0,04mm.



Figure n°53 : Installation du géo-tube dans la plage d'Ain Franine. (Google Earth, 2015)

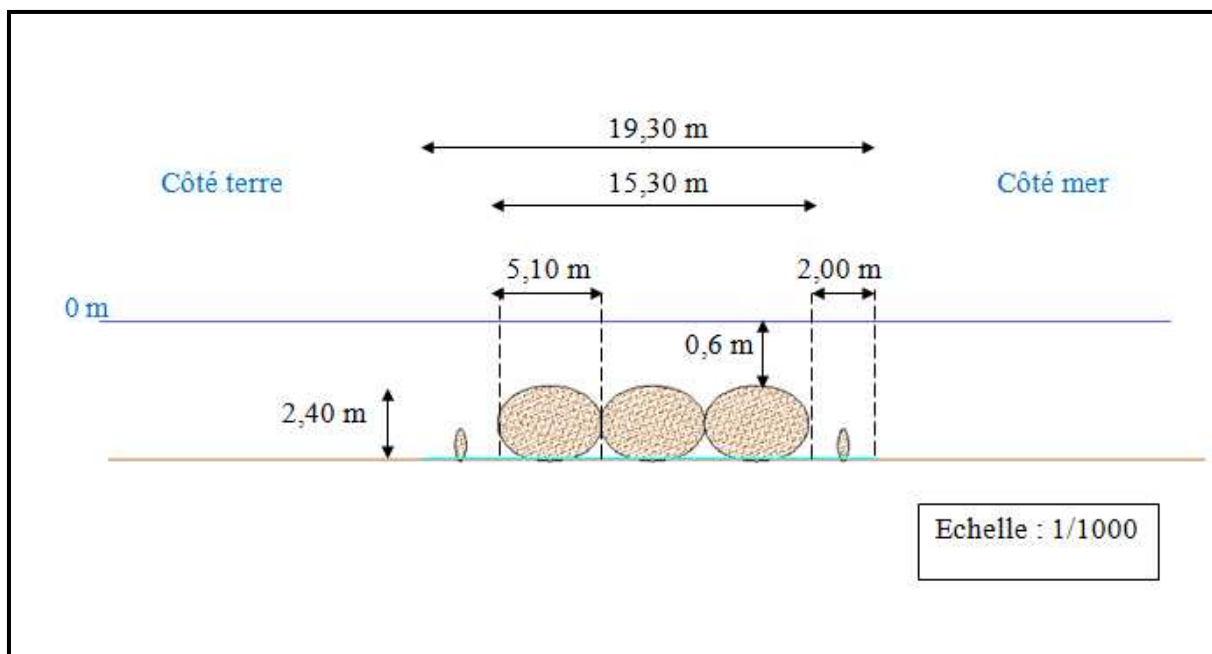


Figure n°54 : profil du géo-tube proposé pour la plage d'Ain Franine.

4. Les coûts des deux variantes :

Tableau n°28 : Coûts des deux variantes :

Variantes :			Coûts : (Da)	
Brise-lame	Carapace	Crête	4 008 400,00	41.884.200
		Musoir	33 020 700,00	
	Noyau		4 855 100,00	
Géo-tube			2 012 000,00	12.072.000

Ces coûts sont calculé sans prendre en considération la main d'œuvre, l'installation, l'entretien ...etc.

Et d'après ce tableau on peut dire que le brise-lame coûte plus cher qu'un géo-tube.

5. Comparaison entre les deux variantes :

La réalisation, le coût de réalisation, l'esthétique, la durabilité et l'impact font que les deux variantes retenus soit totalement différentes.

Pour pouvoir comparer entre les deux, des notations A, B et C sont attribuées respectivement au critère favorable, peu favorable et défavorable.

Tableau n°29 : Comparaison entre les deux variantes proposées :

	Variante n°01 :	Variante n°02 :
Critère	Brise-lame émergé	Géo-tube immergé
Réalisation (Délai, difficulté...)	B	A
Coût de réalisation	C	A
Esthétique	B	A
Durabilité	A	B
Impact	B	B
Total	A+3B+C	3A+2B

➤ **La réalisation :**

La différence réside d'une part dans la réalisation d'un cavalier pour exécuter le brise lame ou le géo-tube qui, et d'autre part dans le manque de moyens maritimes spécifiques.

➤ **Le cout de réalisation :**

Le coût de réalisation rend que la variante n°02 est favorable que la variante n°01.

➤ **Esthétique :**

Sur le plan esthétique le brise-lame est plus agressif que le géo-tube, ainsi que pour l'harmonie du paysage, un géo-tube garde l'aspect naturel de l'environnement contrairement à un brise-lame émergé.

➤ **La durabilité :**

Un brise-lame a une durée de vie plus longue qu'un géo-tube grâce à ses composantes plus dures que celle du géo-tube.

➤ **L'impact :**

Les deux variantes ont le même impact sur l'environnement.

6. Conclusion :

Malgré que le géo-tube à une durabilité moins importante que le brise-lame, il reste le favori grâce à son délai de réalisation court, ses coûts moins cher, son impact positif sur le tourisme et le développement de l'économie.

Conclusion Générale

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

L'origine de l'érosion dans la zone d'Ain Franine est d'une part naturelle telles que les tempêtes, les variations du niveau de la mer, et d'autre part anthropiques essentiellement de l'augmentation des besoins en sable et en gravier pour les projets d'aménagement, l'industrie et les différentes constructions entraînant une surexploitation des sédiments dans le lit des cours d'eau et sur la côte. De même, des travaux tels que l'ouverture de routes ou à la construction d'habitations.

L'évolution du trait de côte du littoral d'Ain Franine depuis 2001 à 2015 est marquée par un recul de 17m.

L'analyse bathymétrie révèle que la morphologie est irrégulière entre 0 et -4 m et régulière au de-là de -4 m. Cette analyse a permis de mettre en évidence une barre sableuse à environ 100m de la côte à l'Est et à l'Ouest de la zone d'étude, un léger replat et une ride d'avant plage au centre du site.

La modélisation numérique de la réfraction démontre que la houle de secteur 315°N et 360°N sont les plus menaçantes sur la zone, elles vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

L'étude sédimentologique a montré que la distribution des sédiments est classique, à savoir, une diminution de la taille des sédiments de la côte vers le large. Ces sédiments présentent un faible taux de pélites.

Les courbes granulométriques de la fraction grossière sont de type unimodal à plurimodal révélant la présence d'un à plusieurs stocks de sédiment.

Trois (03) modes ont été déterminées. Le mode M1 (125-315µm) présente un fort pourcentage au large. Les pourcentages des modes M2 (400µm-1000µm) et M3 (2000-4000µm) sont importants à la côte.

Le transit littoral est de 11952, 43 m³/an venant du Nord-Ouest et se dirigeant vers l'Est.

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

- La justification de l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens dommageables.
- La connaissance de l'évolution du milieu littoral, souvent influencé par des actions anthropiques.
- L'appréciation des contraintes économiques qui pondèrent la mise en place des dispositifs de protection par rapport au fonctionnement du milieu physique, notamment du point de vue environnemental.

Les ouvrages proposés présentent chacun des avantages et des inconvénients. Toutefois, nous favorisons le choix de l'ouvrage le plus convenable qui assure une meilleur protection pour notre plage.

Annexes

Annexe A :

Procédure :

Sous ArcCatalog, nous avons créé quinze couches "layers" pour chaque année.

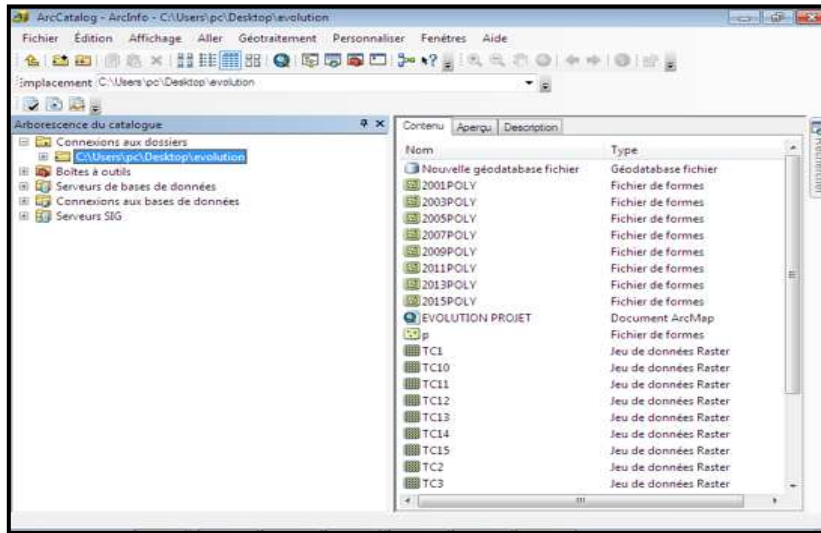


Figure n°01: Création des couches sous ArcCatalog.

Puis, nous les avons géo-référencées sous le système de coordonnées horizontales projetées: Nord_Sahara_1959_UTM_Zone_30N. (ArcMap10).

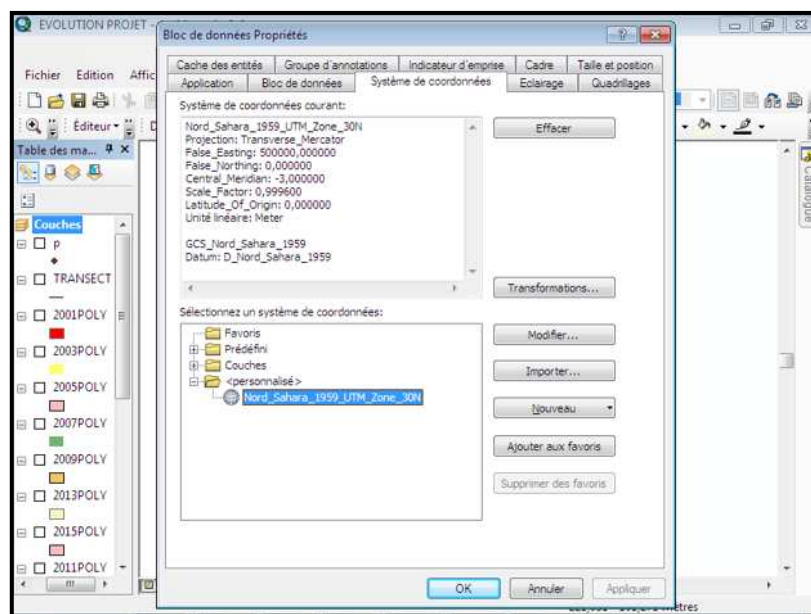


Figure n°02: Géo-référencement des couches sous ArcMap10.

A l'aide d'ArcMap, nous avons pu digitaliser les traits de côte des huit cartes (2001, 2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2013 et 2015).

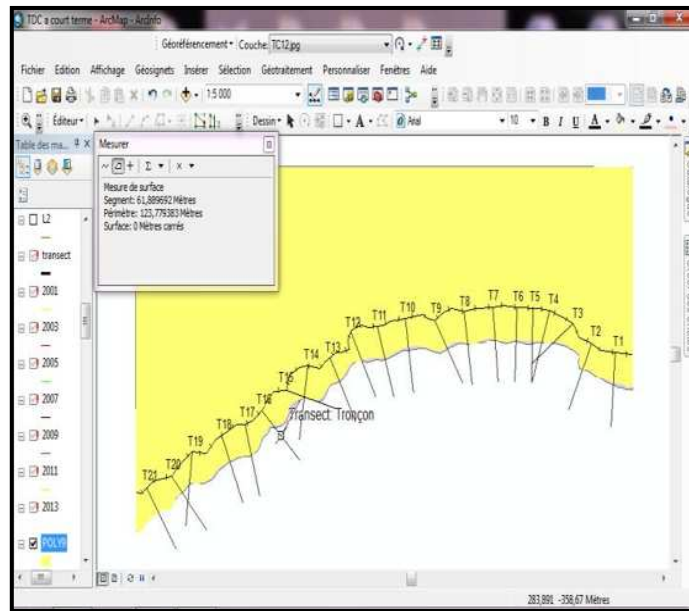


Figure n°05: Mesure des distances par la règle numérique sous ArcMap 10.

Annexe B:

Procédure :

L'ouverture de Surfer aboutit à la fenêtre Plot document. (Figure n°06) ; C'est une fenêtre active de modélisation et visualisation des données.

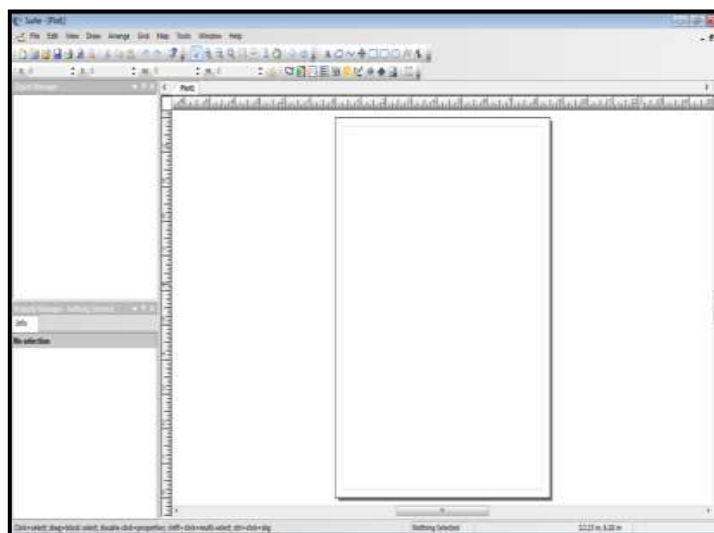


Figure n°06: La fenêtre active Plot Document.

Une simulation et modélisation topo-bathymétrique après la mission de terrain.

Grid → Data → Open (Ouvrir le fichier Excel : topo-bathymétrie Oran)

➤ Fenêtre de dialogue. (Figure n°07).

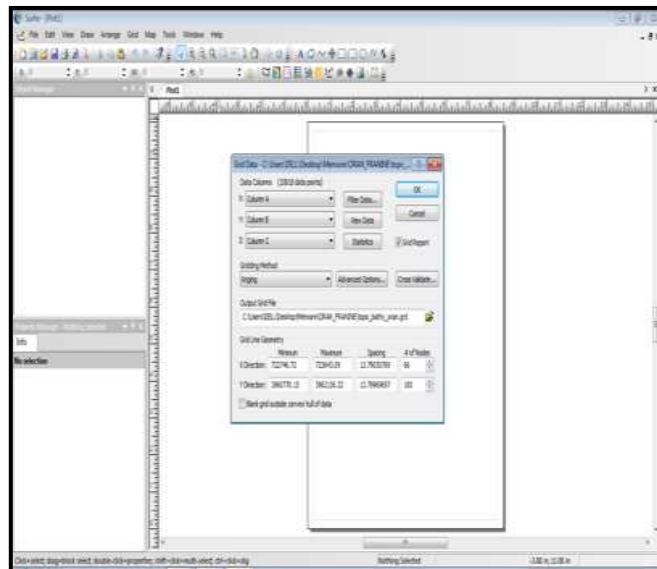


Figure n°07: fenêtre de dialogue Grid Data.

Une fois que l'opération est terminée, un fichier sous forme .GRD est créé. Ainsi, Surfer vient de réaliser une simulation de la bathymétrie.

Pour accéder à ce fichier .GRD et avoir le résultat sous forme de carte :

New file contour → choisir le fichier .GRD dans la fenêtre de dialogue (Figure n°08) → Une carte bathymétrique est affichée.

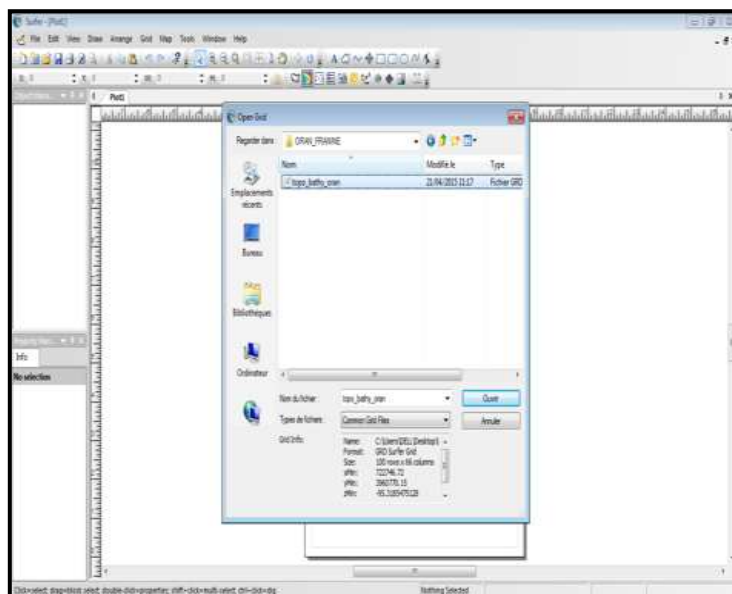


Figure n° 08: La fenêtre de dialogue pour choisir le fichier .GRD.

Annexe C :

Procédure :

En utilisant Surfer, des profils ont été dessinés sur la carte topo-bathymétrique.

Clic droit sur la carte : Add → profils (Figure n°09)

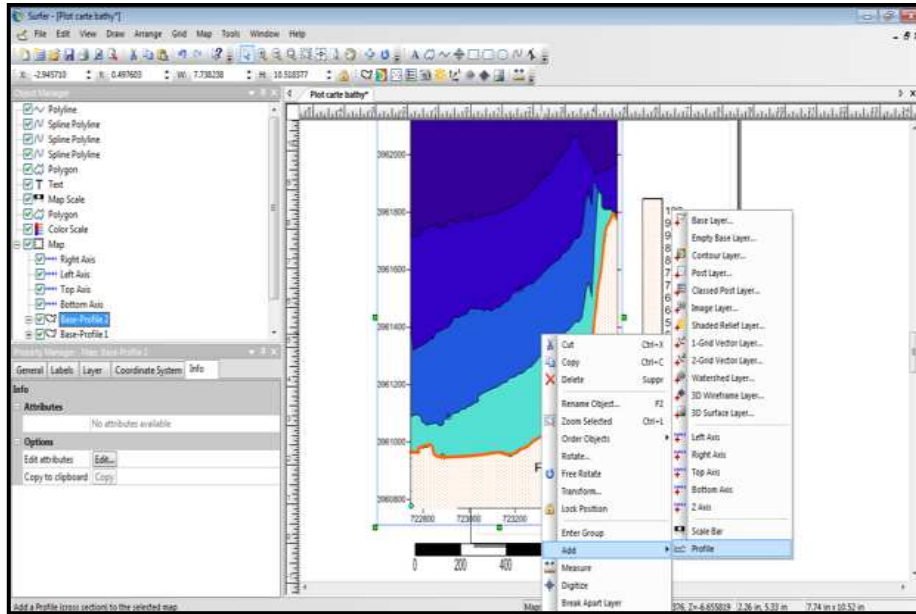


Figure n°09: La création d'un profil.

Annexe D :

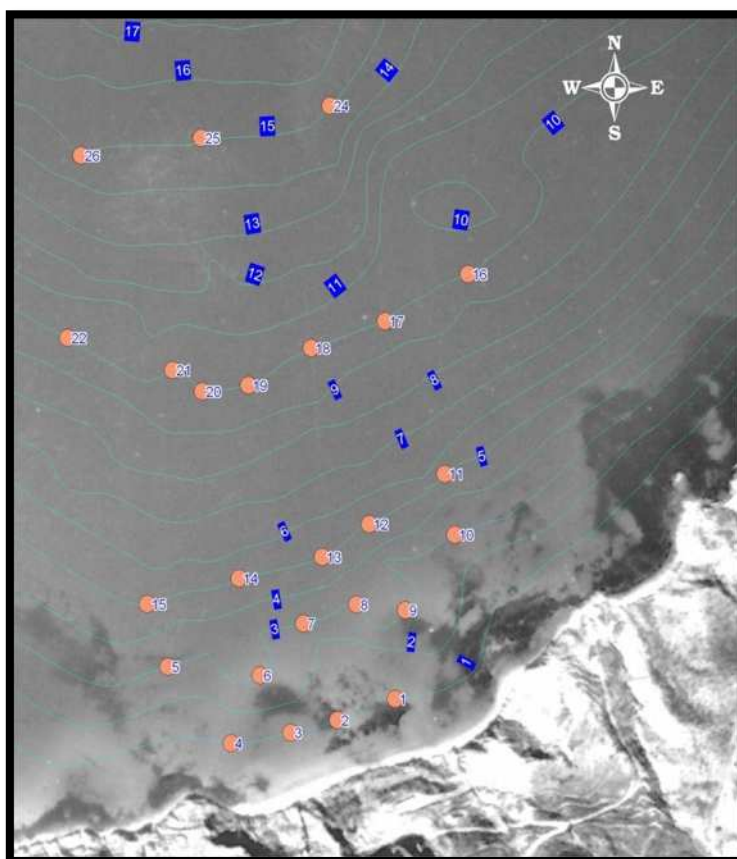


Figure n°09 : Carte de positionnement des points d'extraction.

Houles annuelles

- **La houle de secteur Nord Ouest : 315°N :**

Caractéristiques de la houle au large Dir : 315°N Tp = 6s H = 1,11m							
N ° point	X (utm)	Y (utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	723379	3961081	0,22	5,99	0,19	275,74	-0,9
2	723301	3961041	0,21	5,99	0,19	277,38	-0,9
3	723237	3961015	0,14	6,25	0,13	267,50	-0,9
4	723155	3960989	0,13	6,25	0,12	259,45	-0,9
5	723057	3961078	0,15	6,25	0,14	317,80	-3,0
6	723187	3961085	0,14	6,25	0,13	315,99	-3,0
7	723241	3961163	0,15	6,25	0,13	317,82	-3,0
8	723313	3961199	0,16	6,25	0,15	319,36	-3,1
9	723382	3961201	0,14	6,25	0,13	316,85	-3,0
10	723441	3961311	0,16	5,99	0,14	314,91	-3,0
11	723419	3961390	0,18	5,99	0,16	312,58	-5,2
12	723320	3961308	0,16	5,99	0,14	308,60	-5,0
13	723259	3961255	0,18	5,99	0,16	309,67	-5,0
14	723145	3961210	0,18	5,99	0,17	309,53	-5,1
15	723020	3961157	0,21	5,99	0,19	306,26	-4,9
16	723426	3961660	0,24	5,99	0,22	304,70	-10,0
17	723316	3961581	0,27	5,99	0,24	304,04	-9,9
18	723216	3961530	0,26	5,99	0,23	309,37	-10,1
19	723133	3961468	0,33	5,99	0,30	324,14	-9,9
20	723069	3961451	0,31	5,99	0,28	329,24	-9,9
21	723025	3961473	0,33	5,99	0,30	331,86	-10,2
22	722874	3961495	0,35	5,99	0,31	333,72	-10,0
23	723267	3962025	0,42	5,99	0,38	332,91	-15,1
24	723211	3961856	0,42	5,99	0,37	331,14	-15,0
25	723035	3961787	0,37	5,99	0,33	322,40	-15,1
26	722869	3961740	0,48	5,99	0,44	330,97	-14,7
27	722693	3961805	0,60	5,99	0,54	337,67	-14,9

Caractéristiques de la houle au large Dir : 315°N Tp = 8s H = 2,49m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	723379	3961081	0,9945	8,686	0,38	261,92	-0,9
2	723301	3961041	0,95	8,686	0,36	267,81	-0,9
3	723237	3961015	0,7062	8,686	0,27	262,34	-0,9
4	723155	3960989	0,6936	8,686	0,26	255,97	-0,9
5	723057	3961078	0,7165	7,8632	0,27	304,50	-3,0
6	723187	3961085	0,6911	7,8632	0,26	305,22	-3,0
7	723241	3961163	0,6845	7,8632	0,26	308,02	-3,0
8	723313	3961199	0,6908	7,8632	0,26	309,01	-3,1
9	723382	3961201	0,6578	7,8632	0,25	308,63	-3,0
10	723441	3961311	0,6174	7,8632	0,23	305,08	-3,0
11	723419	3961390	0,6434	7,8632	0,24	300,23	-5,2
12	723320	3961308	0,6306	7,8632	0,24	295,04	-5,0
13	723259	3961255	0,669	7,8632	0,25	295,82	-5,0
14	723145	3961210	0,6952	7,8632	0,26	295,47	-5,1
15	723020	3961157	0,7468	7,8632	0,28	292,93	-4,9
16	723426	3961660	0,8073	7,8632	0,31	292,44	-10,0
17	723316	3961581	0,8703	7,8632	0,33	291,56	-9,9
18	723216	3961530	0,9244	7,8632	0,35	294,37	-10,1
19	723133	3961468	1,0837	7,8632	0,41	305,12	-9,9
20	723069	3961451	1,1615	7,8632	0,44	311,97	-9,9
21	723025	3961473	1,2436	7,8632	0,47	315,99	-10,2
22	722874	3961495	1,2318	7,8632	0,47	316,89	-10,0
23	723267	3962025	1,2241	7,8632	0,46	317,54	-15,1
24	723211	3961856	1,1459	7,8632	0,43	315,56	-15,0
25	723035	3961787	1,095	7,8632	0,41	304,82	-15,1
26	722869	3961740	1,5444	8,686	0,59	313,87	-14,7
27	722693	3961805	1,8547	8,686	0,70	323,28	-14,9

Caractéristiques de la houle au large Dir : 315°N Tp = 10s H = 4,53m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	723379	3961081	2,78	10,1678	0,61	274,20	-0,9
2	723301	3961041	2,72	10,1678	0,60	272,76	-0,9
3	723237	3961015	2,22	10,1678	0,49	258,52	-0,9
4	723155	3960989	2,22	10,1678	0,49	255,02	-0,9
5	723057	3961078	2,15	10,1678	0,48	291,81	-3,0
6	723187	3961085	2,14	10,1678	0,47	293,45	-3,0
7	723241	3961163	2,03	10,1678	0,45	297,51	-3,0
8	723313	3961199	2,00	10,1678	0,44	299,00	-3,1
9	723382	3961201	1,91	10,1678	0,42	299,51	-3,0
10	723441	3961311	1,75	10,1678	0,39	296,61	-3,0
11	723419	3961390	1,79	10,1678	0,40	291,06	-5,2
12	723320	3961308	1,81	10,1678	0,40	286,05	-5,0
13	723259	3961255	1,89	10,1678	0,42	286,97	-5,0
14	723145	3961210	1,98	10,1678	0,44	286,39	-5,1
15	723020	3961157	2,13	10,1678	0,47	282,87	-4,9
16	723426	3961660	2,21	10,1678	0,49	281,01	-10,0
17	723316	3961581	2,28	10,1678	0,50	279,97	-9,9
18	723216	3961530	2,55	10,1678	0,56	282,57	-10,1
19	723133	3961468	3,01	10,1678	0,67	292,79	-9,9
20	723069	3961451	3,13	10,1678	0,69	300,47	-9,9
21	723025	3961473	3,33	10,1678	0,74	304,44	-10,2
22	722874	3961495	3,42	10,1678	0,76	305,74	-10,0
23	723267	3962025	3,43	10,1678	0,76	302,96	-15,1
24	723211	3961856	3,28	10,1678	0,72	298,11	-15,0
25	723035	3961787	3,18	10,1678	0,70	290,88	-15,1
26	722869	3961740	4,13	10,1678	0,91	299,95	-14,7
27	722693	3961805	4,00	10,1678	0,88	309,66	-14,9

• Houle de secteur Nord : 360°N :

Caractéristiques de la houle au large Dir : 360°N Tp = 6s H = 1,07m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	723379	3961081	0,88491	7,8632	0,83	274,85	-0,9
2	723301	3961041	0,91432	7,8632	0,85	270,01	-0,9
3	723237	3961015	0,79683	7,8632	0,74	255,36	-0,9
4	723155	3960989	0,75568	7,8632	0,71	253,48	-0,9
5	723057	3961078	0,97331	7,8632	0,91	268,86	-3,0
6	723187	3961085	0,97866	7,8632	0,91	269,12	-3,0
7	723241	3961163	0,98061	7,8632	0,92	269,50	-3,0
8	723313	3961199	0,97621	7,8632	0,91	269,77	-3,1
9	723382	3961201	0,97654	7,8632	0,91	269,74	-3,0
10	723441	3961311	0,96878	7,8632	0,91	269,78	-3,0
11	723419	3961390	0,95734	7,8632	0,89	269,48	-5,2
12	723320	3961308	0,95732	7,8632	0,89	268,48	-5,0
13	723259	3961255	0,95992	7,8632	0,90	268,44	-5,0
14	723145	3961210	0,95659	7,8632	0,89	268,50	-5,1
15	723020	3961157	0,94232	7,8632	0,88	267,75	-4,9
16	723426	3961660	0,92638	7,8632	0,87	266,91	-10,0
17	723316	3961581	0,91558	7,8632	0,86	265,81	-9,9
18	723216	3961530	0,93366	7,8632	0,87	266,66	-10,1
19	723133	3961468	0,9609	7,8632	0,90	267,95	-9,9
20	723069	3961451	0,97039	7,8632	0,91	268,85	-9,9
21	723025	3961473	0,9733	7,8632	0,91	269,37	-10,2
22	722874	3961495	0,97454	7,8632	0,91	269,60	-10,0
23	723267	3962025	0,96677	7,8632	0,90	269,26	-15,1
24	723211	3961856	0,95901	7,8632	0,90	268,76	-15,0
25	723035	3961787	0,95557	7,8632	0,89	268,24	-15,1
26	722869	3961740	0,96398	7,8632	0,90	268,65	-14,7
27	722693	3961805	0,97242	7,8632	0,91	269,53	-14,9

Caractéristiques de la houle au large Dir : 360°N Tp = 8s H = 2,68 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	723379	3961081	1,48588	6,8092	0,55	273,76	-0,9
2	723301	3961041	1,77158	6,9206	0,66	267,92	-0,9
3	723237	3961015	2,01928	6,7508	0,75	249,86	-0,9
4	723155	3960989	1,38	6,9538	0,51	250,14	-0,9
5	723057	3961078	2,50031	6,5376	0,93	264,60	-3,0
6	723187	3961085	2,56308	6,6016	0,96	265,73	-3,0
7	723241	3961163	2,56652	6,6013	0,96	267,25	-3,0
8	723313	3961199	2,52566	6,5621	0,94	268,26	-3,1
9	723382	3961201	2,5421	6,5822	0,95	268,08	-3,0
10	723441	3961311	2,47017	6,5126	0,92	268,59	-3,0
11	723419	3961390	2,36812	6,406	0,88	268,07	-5,2
12	723320	3961308	2,40327	6,4544	0,90	265,38	-5,0
13	723259	3961255	2,41924	6,4694	0,90	265,04	-5,0
14	723145	3961210	2,38118	6,4259	0,89	265,38	-5,1
15	723020	3961157	2,2923	6,3368	0,86	264,02	-4,9
16	723426	3961660	2,24717	6,3118	0,84	262,39	-10,0
17	723316	3961581	2,26043	6,3579	0,84	260,23	-9,9
18	723216	3961530	2,32595	6,4055	0,87	260,91	-10,1
19	723133	3961468	2,45089	6,5066	0,91	263,19	-9,9
20	723069	3961451	2,49769	6,5435	0,93	265,51	-9,9
21	723025	3961473	2,49558	6,5324	0,93	267,33	-10,2
22	722874	3961495	2,50489	6,5405	0,93	268,04	-10,0
23	723267	3962025	2,4444	6,4835	0,91	267,16	-15,1
24	723211	3961856	2,40031	6,4436	0,90	266,07	-15,0
25	723035	3961787	2,39171	6,439	0,89	264,93	-15,1
26	722869	3961740	2,45579	6,5028	0,92	265,50	-14,7
27	722693	3961805	2,48572	6,5205	0,93	267,87	-14,9

Caractéristiques de la houle au large Dir : 360°N Tp = 10s H = 7,12 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	723379	3961081	1,75032	10,1678	0,25	271,47	-0,9
2	723301	3961041	2,11083	10,1678	0,30	266,11	-0,9
3	723237	3961015	2,72358	10,1678	0,38	246,22	-0,9
4	723155	3960989	1,65019	10,1678	0,23	247,90	-0,9
5	723057	3961078	4,57182	10,1678	0,64	259,06	-3,0
6	723187	3961085	4,78311	10,1678	0,67	260,94	-3,0
7	723241	3961163	4,77963	10,1678	0,67	263,64	-3,0
8	723313	3961199	4,64627	10,1678	0,65	265,55	-3,1
9	723382	3961201	4,72818	10,1678	0,66	265,10	-3,0
10	723441	3961311	4,51778	10,1678	0,63	266,34	-3,0
11	723419	3961390	4,18626	10,1678	0,59	266,17	-5,2
12	723320	3961308	4,33068	10,1678	0,61	262,16	-5,0
13	723259	3961255	4,39157	10,1678	0,62	261,40	-5,0
14	723145	3961210	4,24319	10,1678	0,60	262,13	-5,1
15	723020	3961157	3,95754	10,1678	0,56	260,32	-4,9
16	723426	3961660	3,90231	10,1678	0,55	258,23	-10,0
17	723316	3961581	4,04602	10,1678	0,57	255,22	-9,9
18	723216	3961530	4,22083	10,1678	0,59	255,63	-10,1
19	723133	3961468	4,51009	10,1678	0,63	258,22	-9,9
20	723069	3961451	4,63006	10,1678	0,65	261,45	-9,9
21	723025	3961473	4,57071	10,1678	0,64	264,65	-10,2
22	722874	3961495	4,58311	10,1678	0,64	265,81	-10,0
23	723267	3962025	4,4186	10,1678	0,62	264,77	-15,1
24	723211	3961856	4,29376	10,1678	0,60	263,28	-15,0
25	723035	3961787	4,26725	10,1678	0,60	261,75	-15,1
26	722869	3961740	4,463	10,1678	0,63	262,19	-14,7
27	722693	3961805	4,50441	10,1678	0,63	265,71	-14,9

Houle vintennale

Caractéristiques de la houle au large Dir : 315°N Tp = 13,75s H = 8,10 m							
N ° point	X(utm)	Y(utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof.(m)
1	723379	3961081	1,16	13,75	0,14	342	-0,9
2	723301	3961041	1,12	13,75	0,14	335	-0,9
3	723237	3961015	1,21	13,75	0,15	340	-0,9
4	723155	3960989	1,28	13,75	0,16	352	-0,9
5	723057	3961078	2,42	13,75	0,30	351	-3,0
6	723187	3961085	2,04	13,75	0,25	345	-3,0
7	723241	3961163	2,59	13,75	0,32	343	-3,0
8	723313	3961199	2,52	13,75	0,31	338	-3,1
9	723382	3961201	2,08	13,75	0,26	334	-3,0
10	723441	3961311	2,56	13,75	0,32	332	-3,0
11	723419	3961390	3,60	13,75	0,44	334	-5,2
12	723320	3961308	3,58	13,75	0,44	338	-5,0
13	723259	3961255	3,44	13,75	0,42	341	-5,0
14	723145	3961210	3,55	13,75	0,44	346	-5,1
15	723020	3961157	3,26	13,75	0,40	355	-4,9
16	723426	3961660	5,33	13,75	0,66	333	-10,0
17	723316	3961581	4,92	13,75	0,61	336	-9,9
18	723216	3961530	5,54	13,75	0,68	342	-10,1
19	723133	3961468	5,50	13,75	0,68	346	-9,9
20	723069	3961451	5,40	13,75	0,67	347	-9,9
21	723025	3961473	5,47	13,75	0,67	348	-10,2
22	722874	3961495	5,52	13,75	0,68	354	-10,0
23	723267	3962025	7,03	13,75	0,87	340	-15,1
24	723211	3961856	6,63	13,75	0,82	341	-15,0
25	723035	3961787	6,83	13,75	0,84	345	-15,1
26	722869	3961740	6,65	13,75	0,82	349	-14,7
27	722693	3961805	6,65	13,75	0,82	351	-14,9

Caractéristiques de la houle au large Dir : 360°N Tp = 12,65 s H = 6,70 m							
N ° point	X (utm)	Y (utm)	Hs	Tp	Kr	Angle d'arrivé	Prof. (m)
1	723379	3961081	1,07	12,46	0,16	346	-0,9
2	723301	3961041	1,05	12,46	0,16	344	-0,9
3	723237	3961015	1,16	12,46	0,17	346	-0,9
4	723155	3960989	1,18	12,46	0,18	356	-0,9
5	723057	3961078	2,36	12,46	0,35	356	-3,0
6	723187	3961085	1,95	12,46	0,29	350	-3,0
7	723241	3961163	2,44	12,46	0,36	349	-3,0
8	723313	3961199	2,34	12,46	0,35	344	-3,1
9	723382	3961201	1,93	12,46	0,29	340	-3,0
10	723441	3961311	2,41	12,46	0,36	338	-3,0
11	723419	3961390	3,40	12,46	0,51	341	-5,2
12	723320	3961308	3,24	12,46	0,48	345	-5,0
13	723259	3961255	3,22	12,46	0,48	347	-5,0
14	723145	3961210	3,34	12,46	0,50	352	-5,1
15	723020	3961157	3,13	12,46	0,47	360	-4,9
16	723426	3961660	4,81	12,46	0,72	343	-10,0
17	723316	3961581	4,08	12,46	0,61	344	-9,9
18	723216	3961530	4,52	12,46	0,68	350	-10,1
19	723133	3961468	4,63	12,46	0,69	353	-9,9
20	723069	3961451	4,76	12,46	0,71	355	-9,9
21	723025	3961473	4,89	12,46	0,73	356	-10,2
22	722874	3961495	4,98	12,46	0,74	1	-10,0
23	723267	3962025	5,08	12,46	0,76	351	-15,1
24	723211	3961856	4,85	12,46	0,72	351	-15,0
25	723035	3961787	5,28	12,46	0,79	357	-15,1
26	722869	3961740	5,53	12,46	0,82	360	-14,7
27	722693	3961805	5,77	12,46	0,86	3	-14,9

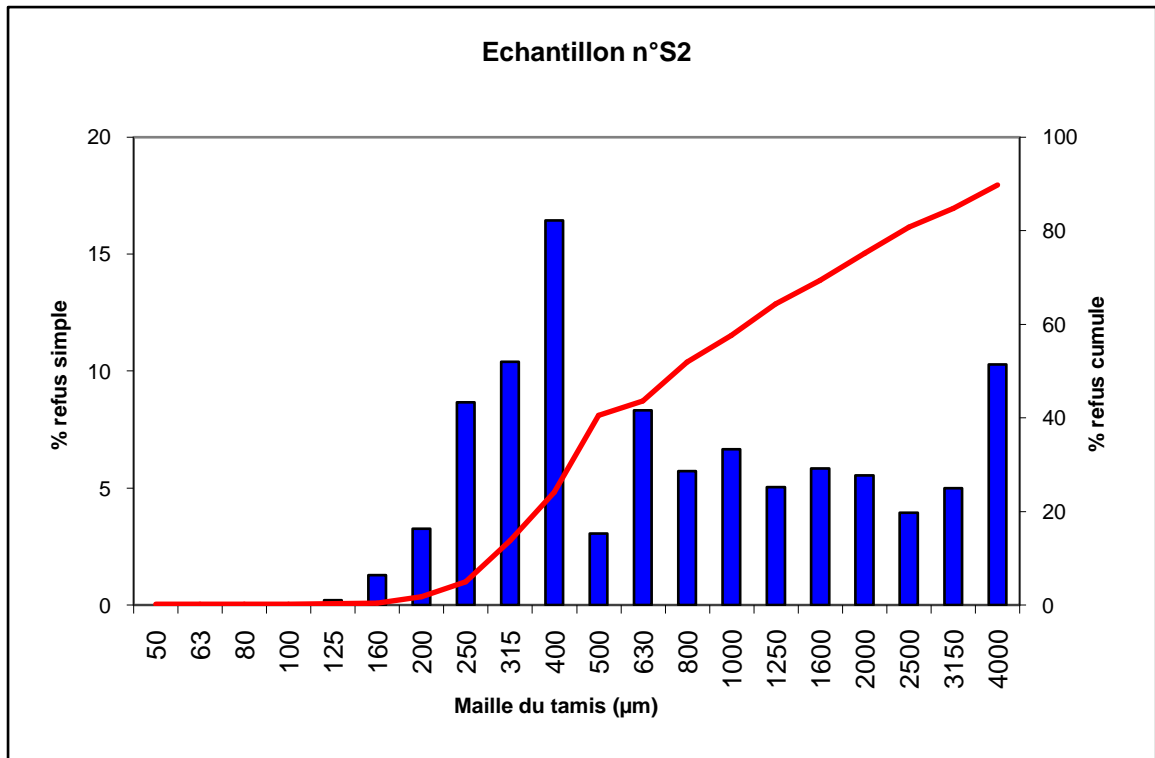
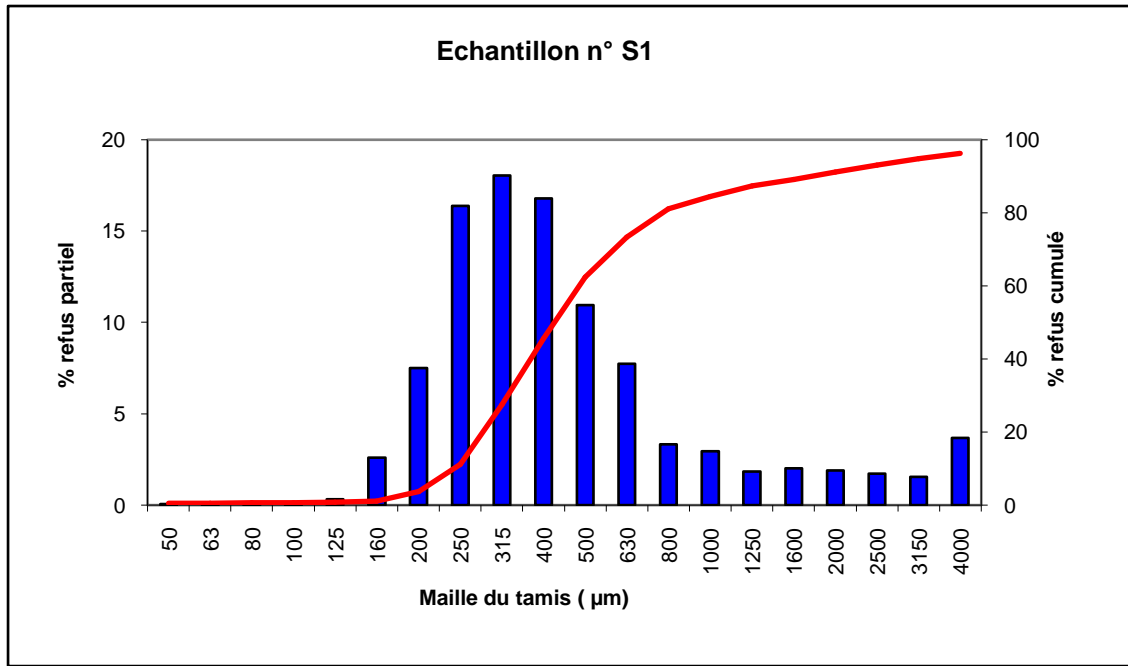
Annexe E :

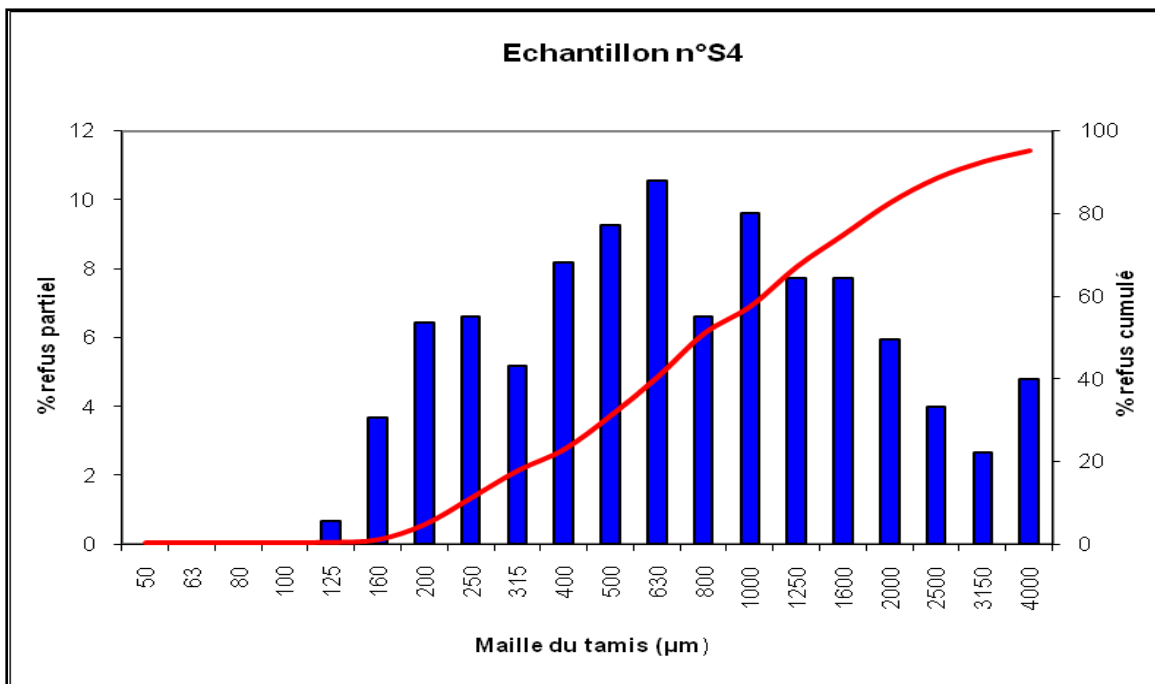
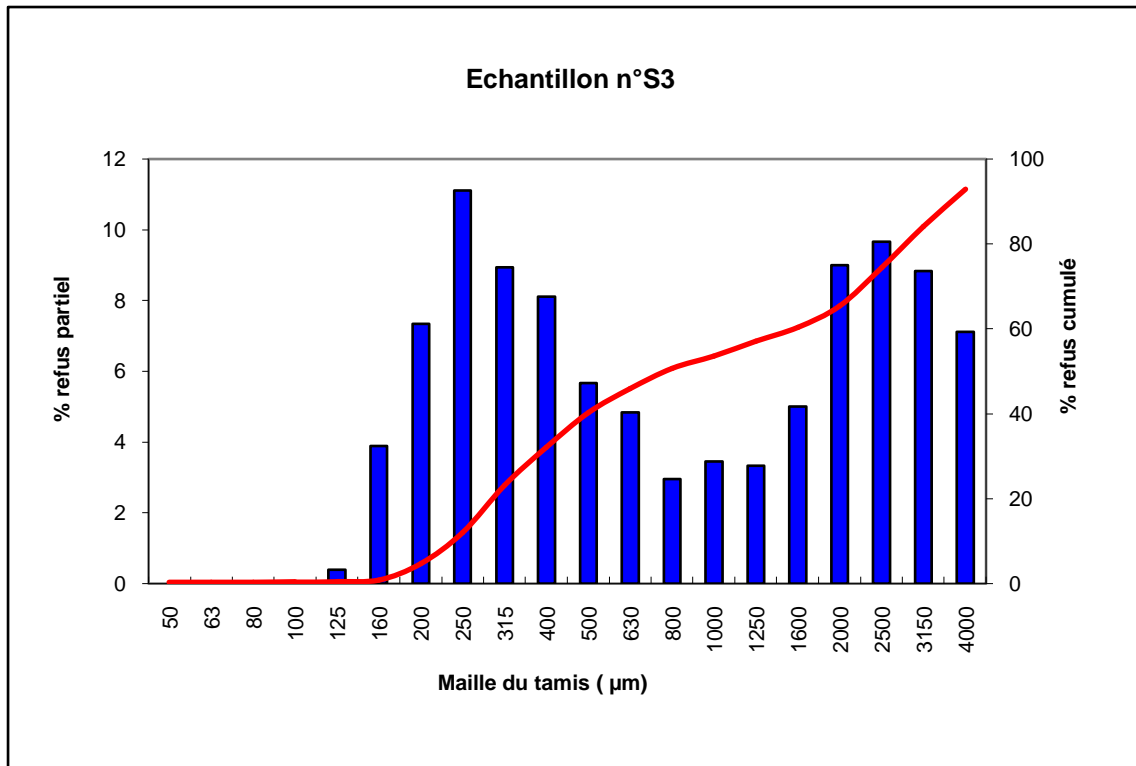
Coordonnées géographiques des stations de prélèvement :

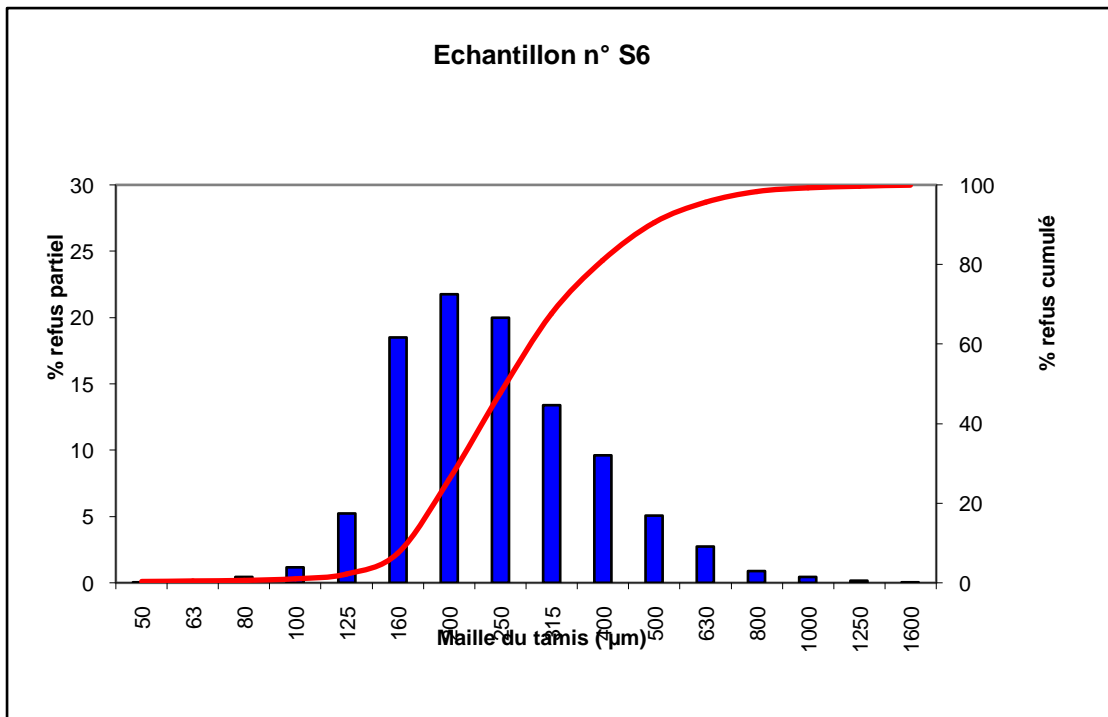
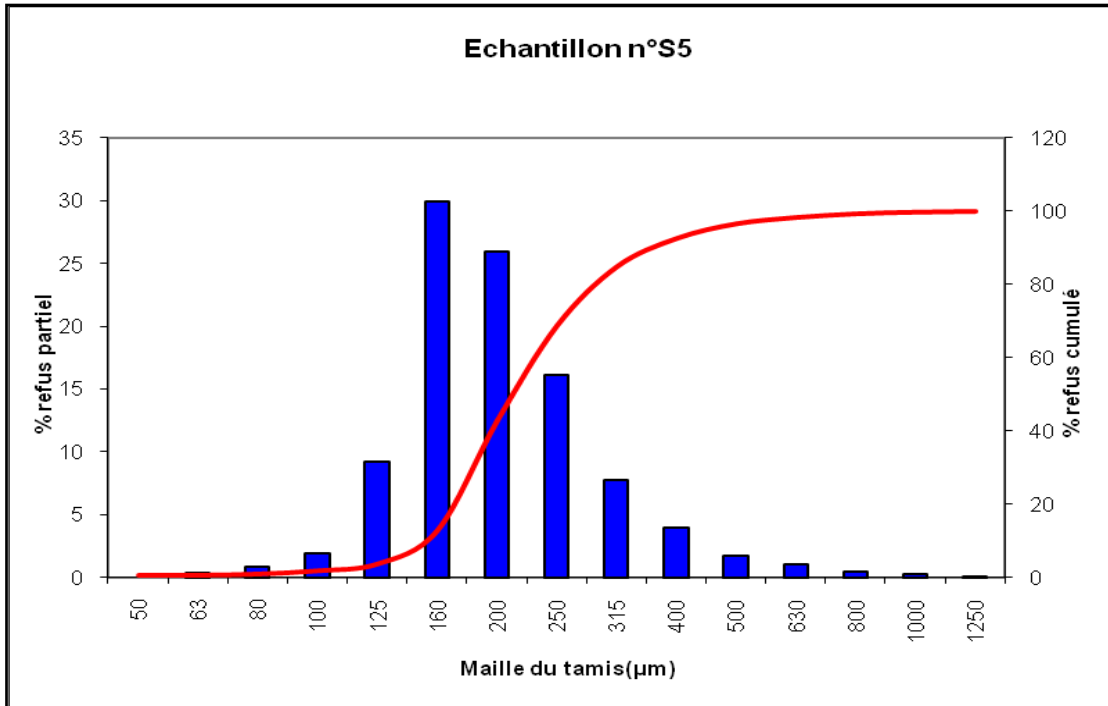
Station	X	y
1	723207,744	3960961,58
2	723297,518	3961005,83
3	723386,07	3961052,83
4	723473,932	3961099,14
5	723436,738	3961308,93
6	723377,113	3961196,58
7	723176,223	3961177,44
8	723180,568	3961146,49
9	723107,472	3961189,03
10	723198,852	3961228,7
11	723285,608	3961279,76
12	723368,663	3961339,19
13	723376,185	3961445,7
14	723292,228	3961388,32
15	723203,667	3961341,33
16	723114,834	3961294,96
17	722991,232	3961450,65
18	723098,711	3961454,9
19	723184,881	3961507,28
20	723275,862	3961548,8

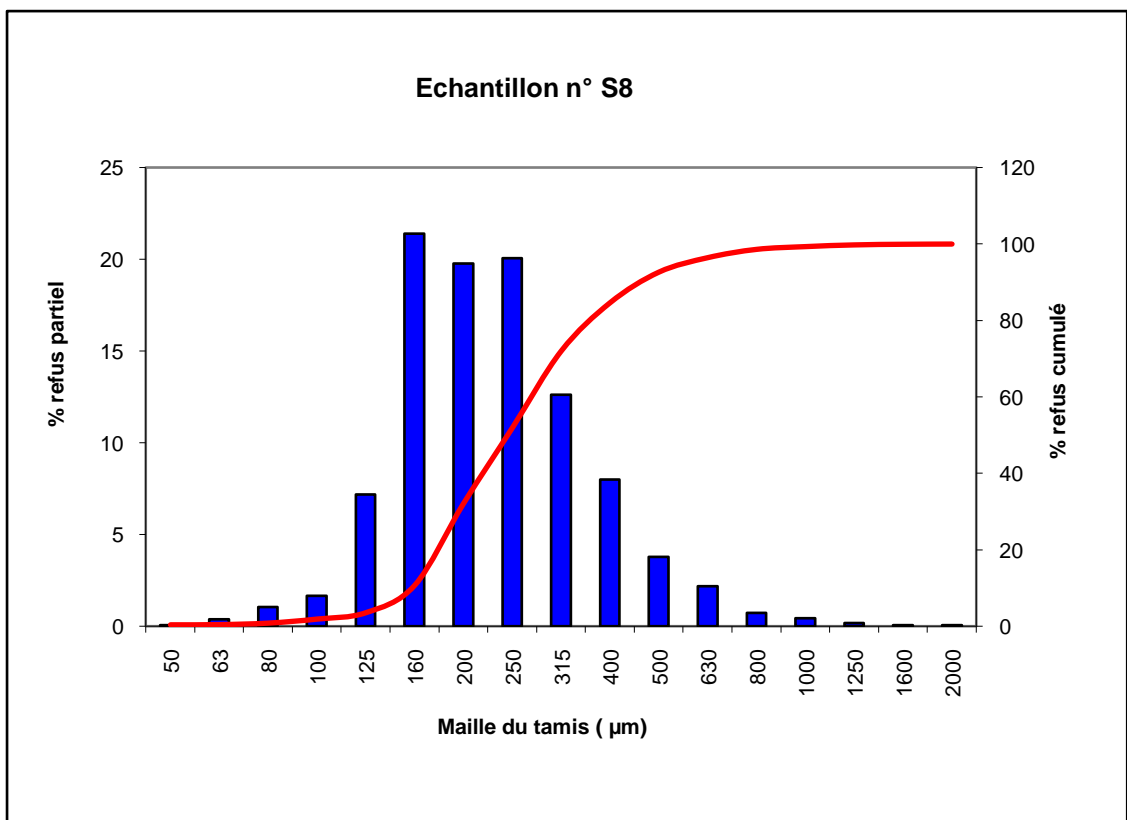
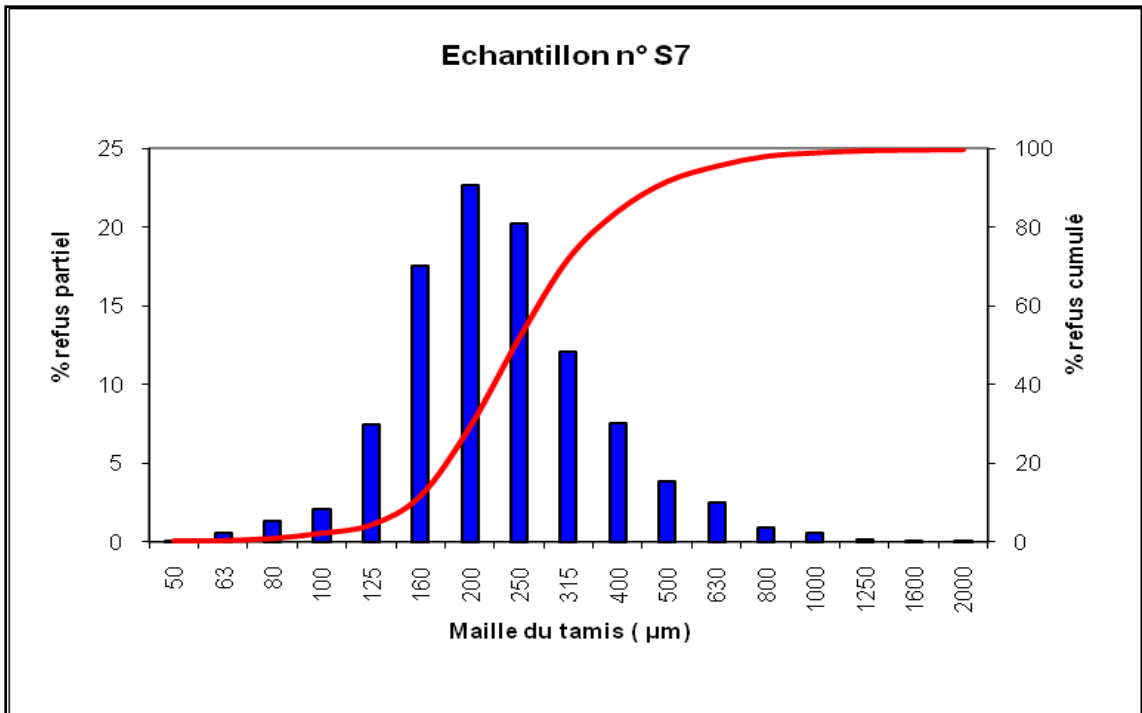
Les courbes granulométriques :

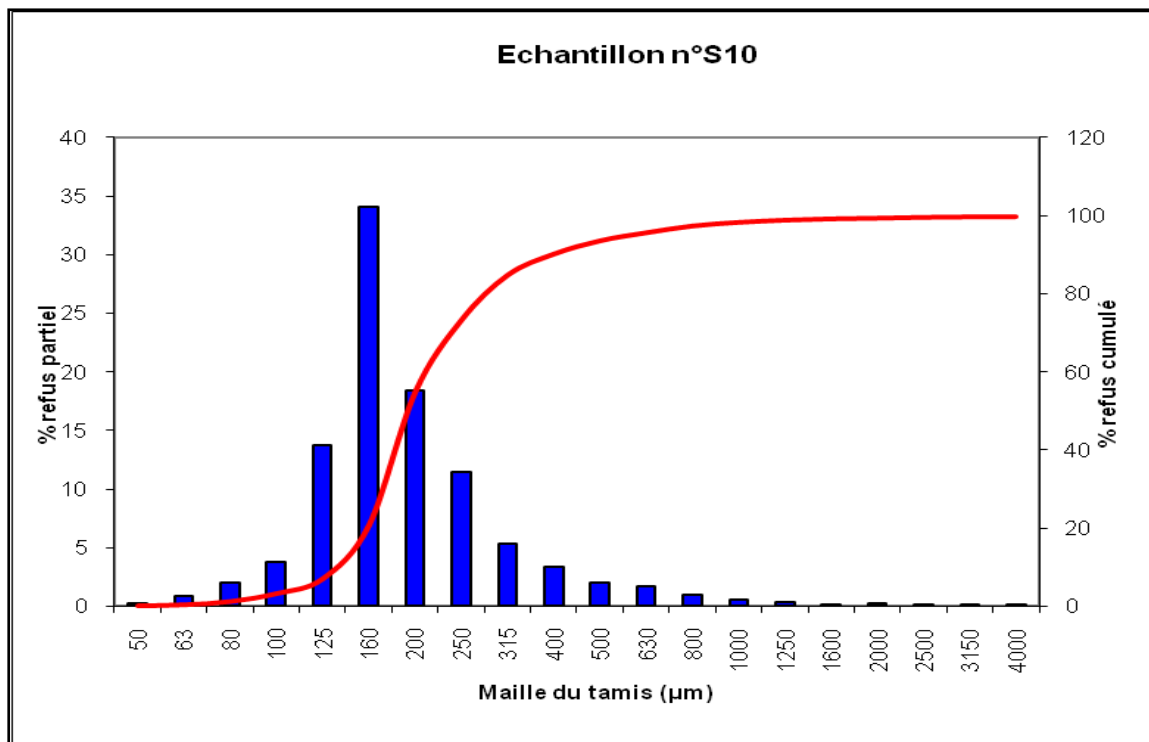
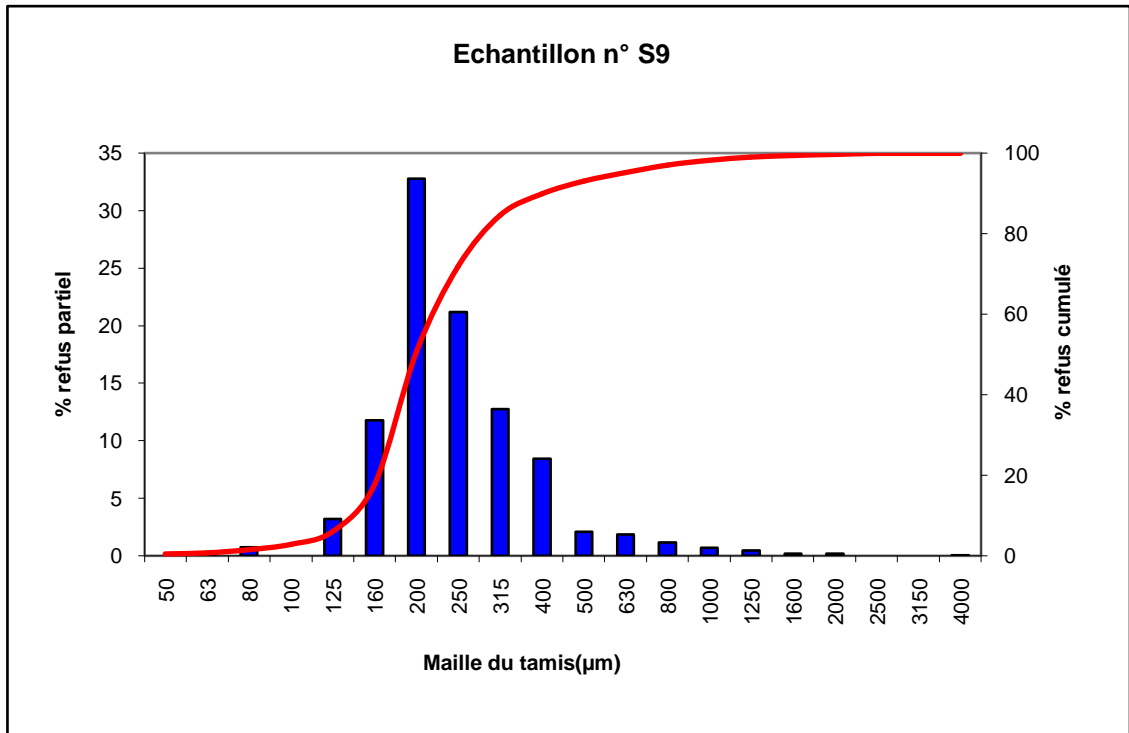
Ces courbes sont fournies par le LEM.

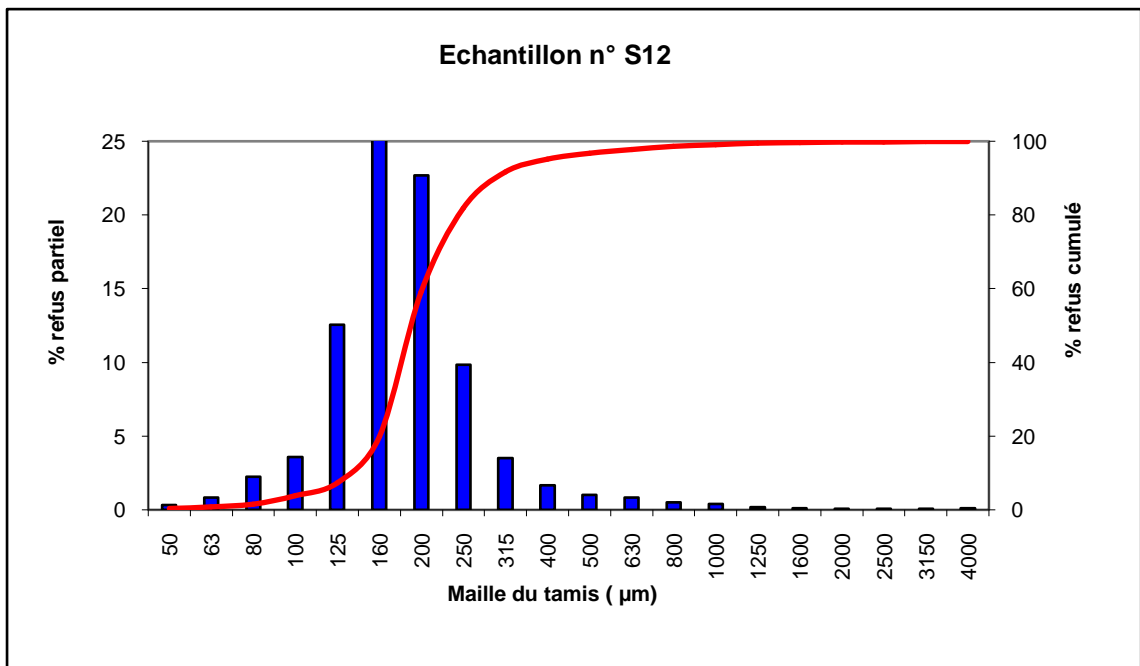
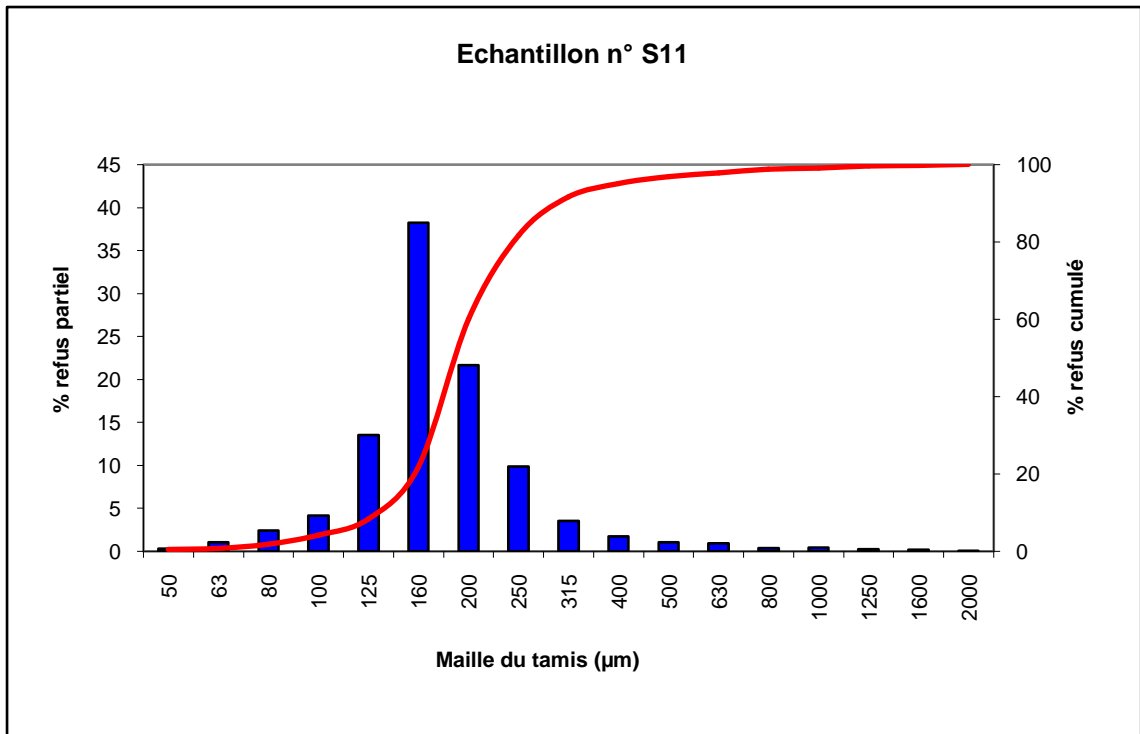


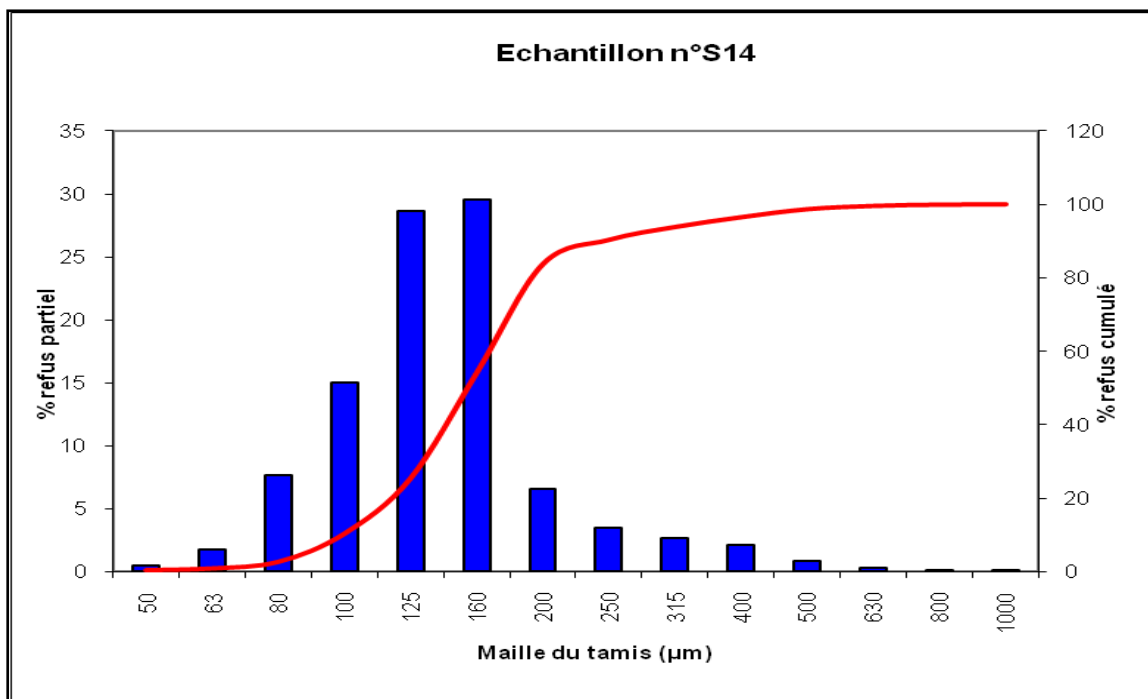
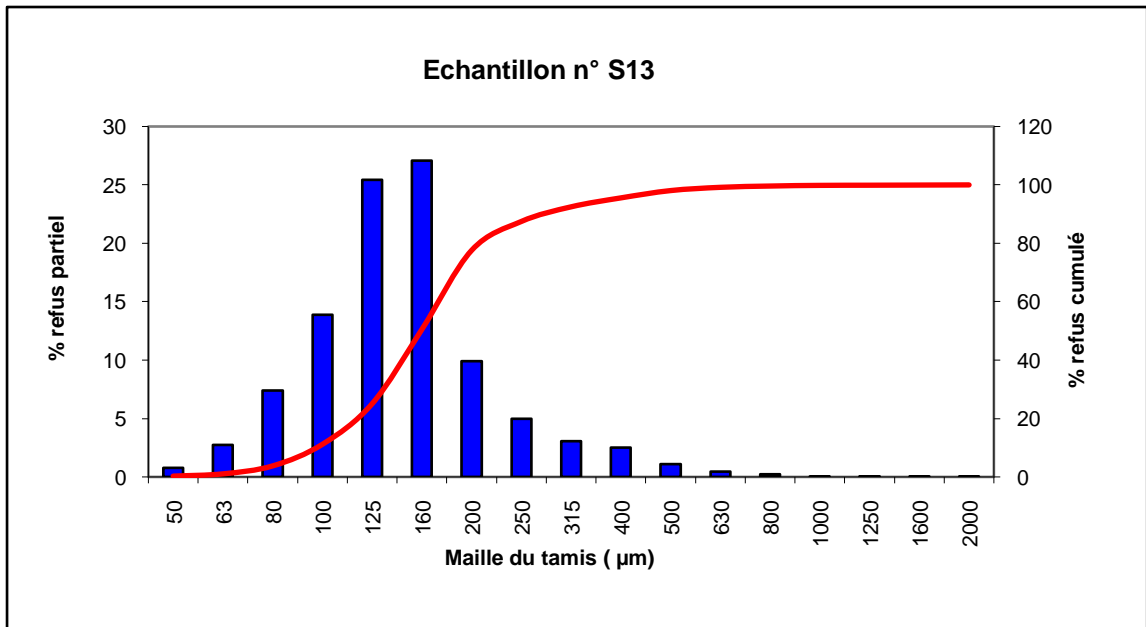


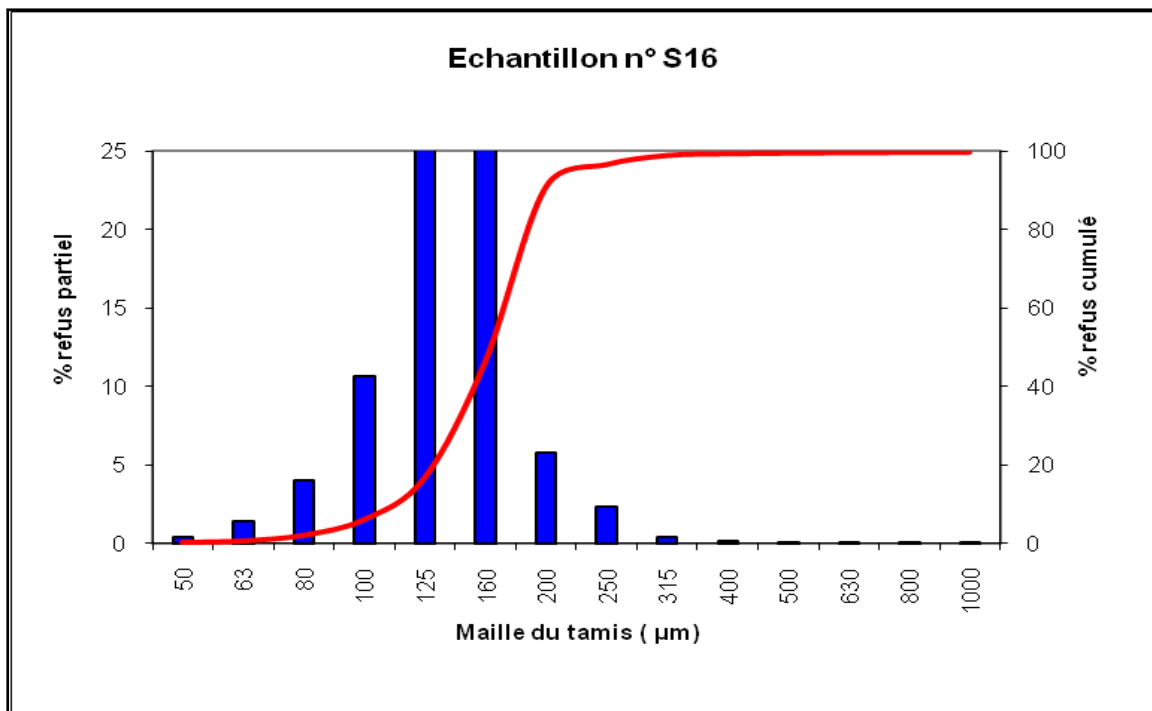
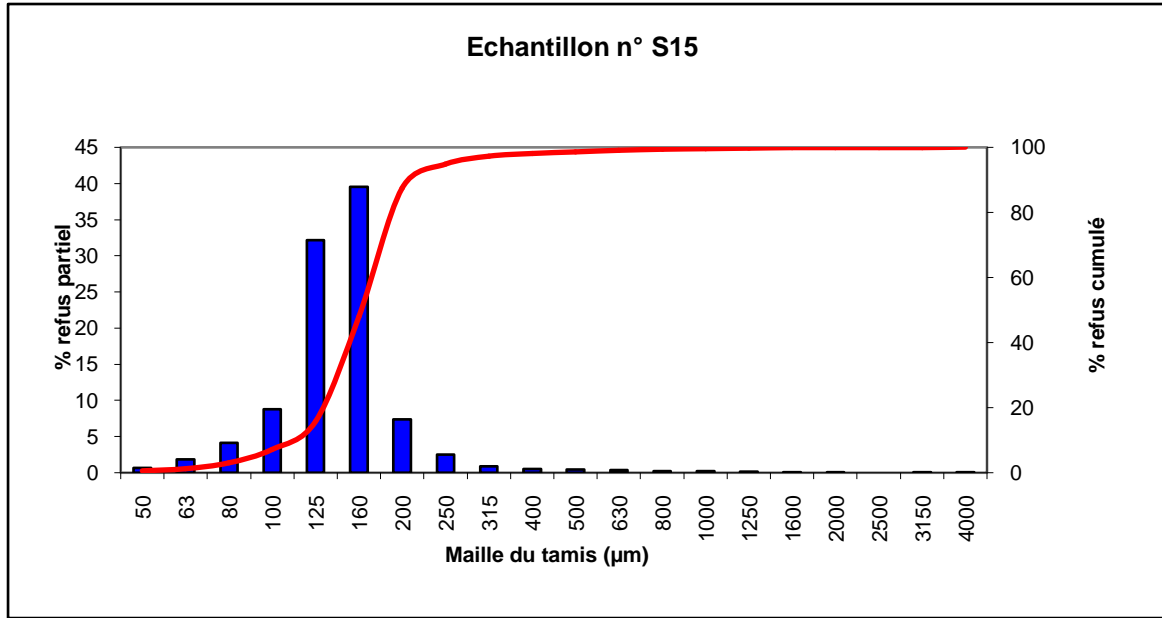


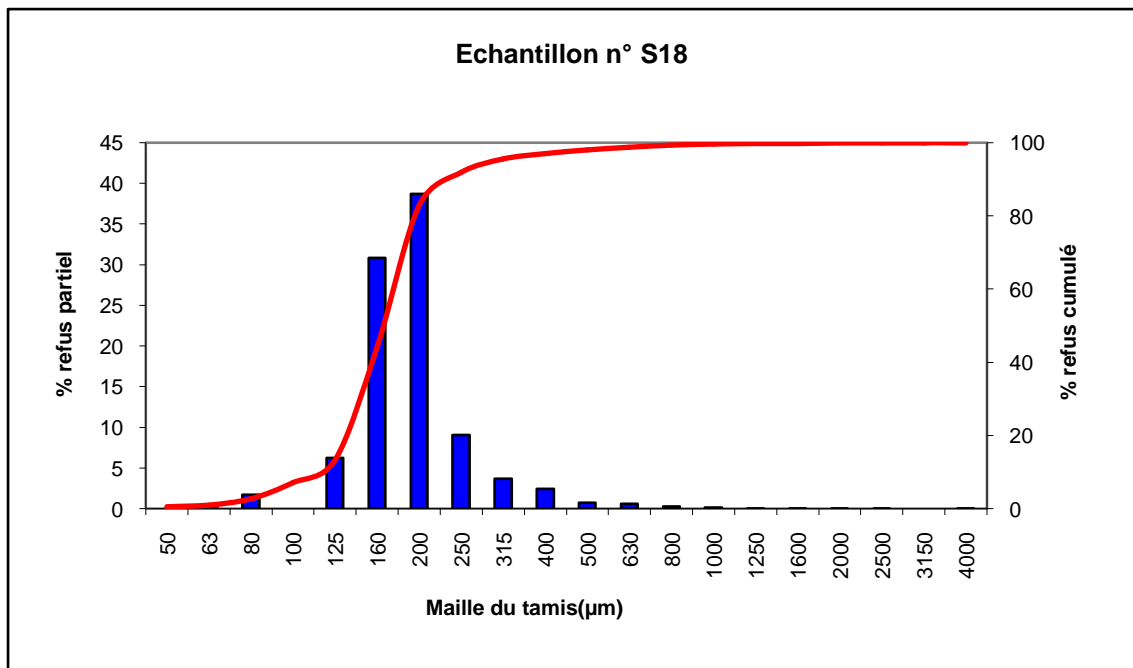
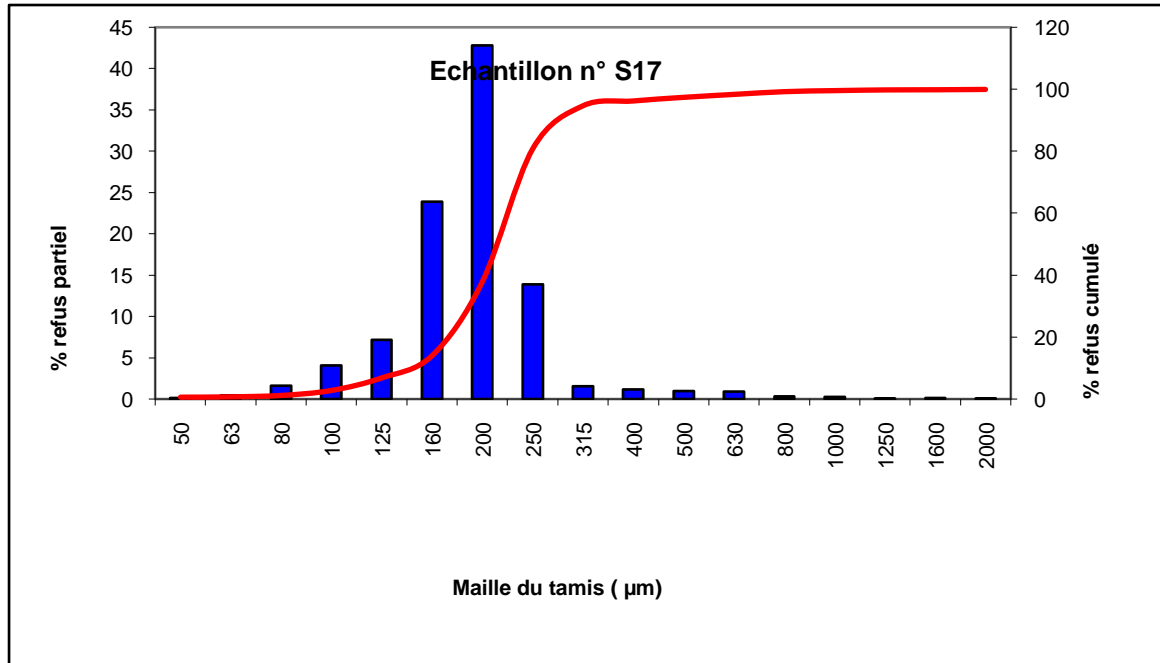


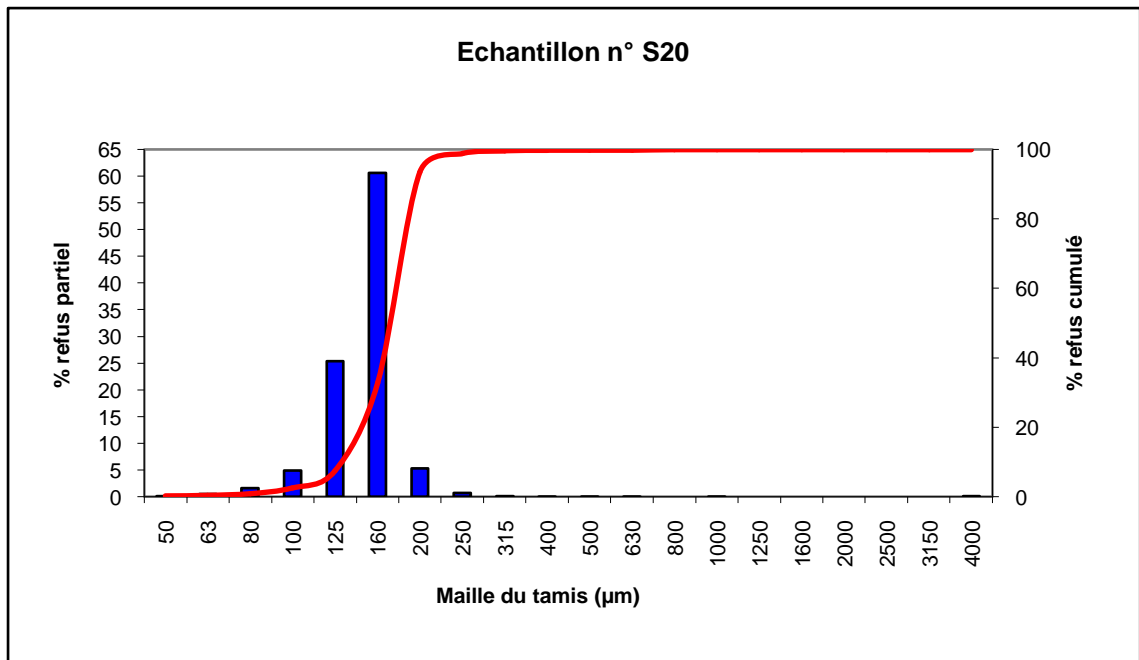
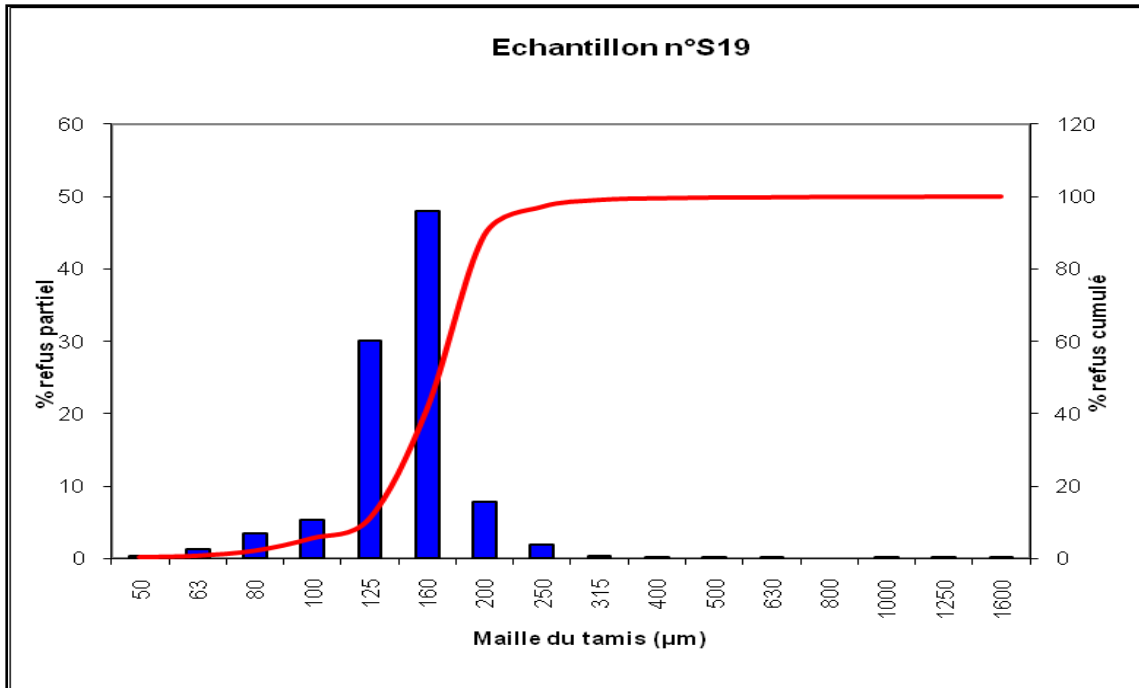












Références
Bibliographiques

- **Ainas, S. et Dricia, A.(2006).** Contribution à l'aménagement durable et intégré d'un littoral sableux d'importance écologique. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Albert, K. et al. (2009).** Un atténuateur de houles en tubegéosynthétique pour limiter l'érosion de la plage ; de la capte à Hyères. *Rencontres Géosynthétiques.*
- **Amroune, S.(2010).** Erosion du littoral de Fouka Marine, causes, conséquences et Solutions d'aménagement. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Aoudj, C. et Bouaziz, T.(2014).** Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Bejaïa. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Asbai, R. (2013).** Les étapes de la conception et la modélisation d'une base de données SIG sur le littoral.
- **Assassi, C. et Otmani, H. (2010).** Etude de protection de la zone de Club des Pins. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Belloulou, B.(2012).** Etude de protection du rivage du site de Hadjret Enous. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Benderradji, A. et Ferhat, A. (2011).** Erosion du littoral de Cherchell : causes, conséquences et solutions d'aménagement. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Berkenoun, N. et Sallay, M. (2012).** Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua. *Mémoire d'ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Bonfille, R. (1980).** Cours d'hydraulique maritime 3^{ème} ed. France : *Masson.*
- **Boulouata, S. et Gasmi, O.(2013).** Etude de protection du rivage maritime de Stora Skikda. *Mémoire d'Ingéniorat, ENSSMAL.*
- **Bourti, H. et Henda, S. (2014).** Evolution et dynamique de la falaise Est de Boumerdes et proposition des solutions. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Delmi, N. (2012).** Proposition d'ouvrages de protection par méthodes douces (géotextiles) de la plage d'Azeffoun. *Mémoire d'Ingéniorat, ENSSMAL.*
- **Caminade, D. (1982).** Ouvrages de protection des côtes. *l'Université du Havre.*
- **Caulet, J. (1972).** Les sédiments organogènes du pré-continent algérien. *Mémoire du Muséum National d'Histoire Naturelle. 289p.*
- **Chabi, A. et Sadaoui, M. (2011).** Diagnostic et paramètres environnementaux du littoral Ouest de Sidi Fredj, *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Chauchat, J. (2007).** Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuaires. *Thèse de doctorat, Université de CAEN/Basse-Normandie.*

- **Dattari, J. et Raman, H. et Shakar, N.J. (1979).** performance characteristics of Submerged Breakwaters, *Proceeding 16th International Conference on Coastal Engineering, Hamburg, Germany, pp.2152-2171.*
- **Delmi, N. et Kioui, H. (2012).**La protection du littoral urbain d’Azzefoun par des atténuateurs géosynthétiques,*Mémoire d’Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Gao, S. et Collins, M. (1992).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size. *Sedimentary Geology.*
- **Gao, S. et Collins, M. (1994a).** Analysis of grain size trends for defining sediment transport. *Journal of coastal research.*
- **Gao, S. et Collins, M. (1994b).** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of “transport vectors“- reply. *Sedimentary Geology.*
- **Hemdane, Y. (2014).** *cours aménagement du littoral, 4^{ème} année aménagement du littoral, ENSSMAL, Alger.*
- **La défense des plages contre l’érosion** dans la zone RAMOGE.
- **Leclaire, L. (1972).** Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien). Paris : Mémoire du *Muséum national d’histoire naturelle. pp.62-232.*
- **LEM, (2014).** Etude d’impact sur l’environnement sur le projet de l’extension du terminal a conteneurs du port d’Oran (Wilaya d’Oran).
- **Mclaran, P. (1981).** An interpretation of trends in grain size. *J. Sed. Pet.*
- **Mezouar, K. (2015).** *Cours génie côtier, 5^{ème} année aménagement du littoral, ENSSMAL, Alger.*
- **Mezouar, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Romain. *Thèse de doctorat, Université technique de construction de Bucarest. Faculté de Hydrotechnique, Département de Géotechnique et Fondations.*
- **Mezouar, K. (2015).** *Stage Master, 5^{ème} année aménagement du littoral, ENSSMAL, Alger.*
- **Migniot, C. et Ouloc, J. (1981).** Erosion et sédimentation en mer et en rivière. *In "La Pratique des Sols et Fondations de Filliat, G."* Paris : *Moniteur.*
- **Millot, C. (1987).** Circulation in the western Mediterranean sea. *Oceanologica Acte. Vol.10, n°2.*
- **Mouhoubi, N. (2012).** Modélisation du transit sédimentaire sur la plage de Sidi Ghiles par la méthode de L.C.H.F. *Mémoire de master. ENSSMAL.*

- **Mouhoubi, N. et Ouabel, K. (2012).** Etude d'une solution de protection pour la plage centre de Sidi Ghiles(Cherchel). *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*
- **Olivier, S.(2007).** Efficacité et impacts des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales, lecas du Languedoc et du delta du Rhône. *Thèse de doctorat.Université Aix-Marseille.*
- **S.S.M.O. (1963-1970).**Summary of synoptiquemeterogical observations. US Naval Weather Service command.Mediterranean marine areas. Vol. 2.
- **Paskoff, R. (1993).** Les littoraux, impacts des aménagements sur leur évolution. France : *Masson.*
- **Paskoff, R. et Clus-Auby, C. (2007).** L'érosion des plages : les causes, les remèdes. Paris :*Institut océanographique.*pp.66-69.
- **Paskoff, R. (1992).** Côtes en danger. France : *L'Harmattan.*
- **Riviere, A. (1977).** Méthodes granulométriques, techniques et interprétations. France : *Masson.*
- **Taibi,K. EtHandi, K. (1993).** Contribution à l'étude de protection et d'aménagement du littoral de Bordj El Bahri. *Mémoire d'Ingéniorat. ENSSMAL.*