

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MEMOIR DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER**

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

**Etude de protection de la zone de Club
des Pins**

Présenté par :

- Assassi Charafeddine
- Otmani Housseyn

Soutenu le 12/07 /10 devant le jury suivant :

Mme Bachari-Houma. F	Maître de conférences (ENSSMAL)	Présidente
Mr Belkessa. R	Maître de conférences (ENSSMAL)	Promoteur
Mme Matouk. T	(LEM)	Co- promotrice
Mr Larid. M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
Melle Amrouche.L	Maître assistante (ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : (2010)

Remerciements

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

Nos plus vifs remerciements à :

Madame HOUMA-BACHARI. F, maître de conférences (ENSSMAL), qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.

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

Madame MATOUK. T, (laboratoire d'étude maritime LEM) pour avoir accepté de nous recevoir au sein du laboratoire (LEM) et de co-encadrer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à monsieur LARID. M, Maître de conférences (ENSSMAL), Melle AMROUCHE. L, Maître assistante (ENSSMAL), pour leurs aides et leurs soutiens et pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.

Nos profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, du service de la documentation du LEM, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidés du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

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

Sommaire

Introduction générale	01
------------------------------------	----

Chapitre I : Cadre général d'évolution et diagnostic

I-1 Situation géographique	02
I-1-1 Baie d'El Djamila	02
I-1-2 Site d'étude.....	02
I-2 Le cadre géologique et géomorphologique	03
I-2-1 Géologie régionale	03
I-2-2 Cadre géologique et géomorphologique locale	05
I-3 Cadre climatologique et hydrologique	06
I-3-1 L'étude des vents.....	06
I-3-2 Les précipitations	07
I-3-3 Les températures.....	08
I-3-4 Hydrologie continentale	08
I-4 Cadre océanographique	09
I-4-1 La houle	09
I-4-2 Les courants.....	12
I-4-3 La marée.....	13
I-5 Aspect et évolution du trait de côte	14
I-5-1 Introduction.....	14
I-5-2 Evolution de la situation depuis 1970.....	14
I-5-3 Interprétation.....	15
I-6 Les causes d'érosion	17
I-6-1 Généralité et principes	17
I-6-2 Les facteurs d'érosion des plages.....	17
I-6-3 Les facteurs d'érosion les plus prépondérants à Club des Pin	19

Chapitre II : matériels et méthodes

II-1 La réfraction de la houle	22
II-1-1 introduction.....	22
II-1-2 Principe de calcul de la réfraction de la houle.....	22
II-1-3 Donnée de base.....	22
II-1-3-1 Données bathymétriques.....	22
II-1-3-2 Données de houles au large.....	22
II-1-3-3 Choix du secteur angulaire	23
II-1-4 Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction	23
II-2 Mode du levé bathymétrique	24
II-3 Mode du levé au sonar latéral	24

II-4 Etude sédimentaire	25
II-4-1 Positionnement des points de prélèvement.....	25
II-4-2 Méthode d'analyse au laboratoire.....	25
II-4-3 Les fractions fines.....	27
II-4-4 Les fractions grossières.....	27
II-4-4-1 Les paramètres de position.....	27
II-4-4-2 Les indices granulométriques.....	27
II-4-4-3 Analyse modale.....	27
II-4-4-4 Analyse calcimétrique :	28
II-5 Application de la modélisation du transport sédimentaire	29
II-5-1 Introduction.....	29
II-5-2 Procédure analytique.....	29
II-6 Etude microbiologique	32
II-6-1 Le choix des stations et échantillonnage	32
II-6-2 Méthodes d'analyse	32
II-6-2-1 Analyses physico-chimiques	32
II-6-2-2 Analyses bactériologiques.....	33
II-6-2-2-1 Méthodes de dénombrement	33
II-6-2-2 La recherche des germes pathogènes.	41
II-6-2-3 Techniques de caractérisation des bactéries.....	42
II-6-2-4 Isolement et l'identification de quelques bactéries.....	432
Chapitre III : analyses, résultats et discussions.	
III-1 Etude de la réfraction de la houle	44
III-1-1 Les houles au large de direction Ouest.	44
III-1-2 Les houles au large de direction Nord Est.	45
III-1-3 Les houles au large de direction Nord.	46
III-1-4 Les houles au large de direction Nord Ouest.	47
III-1-5 Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle.....	47
III-2 Etude bathymétrique	48
III-2-1 La morphologie sous marine.	48
III-2-2 Les profils.	49
III-2-3 Conclusion sur l'étude bathymétrique	51
III-3 Analyse du sondage sismique (sonar latéral).	51
III-3-1 Les faciès sous marins.	51
III-3-2 Conclusion sur l'étude de sonar latéral	52
III-4 Etude sédimentologique.	53
III-4-1 Analyse de la fraction fine.	53
III-4-2 Analyse de la fraction grossière.	53
III-4-2-1 Les courbes granulométriques.	53
III-4-2-2 Les quantiles.	55
III-4-2-3 Les indices granulométriques.....	59
III-4-2-4 Analyse modale.	60
III-4-2-5 Les carbonates.	61
III-4-3 Conclusion sur l'étude sédimentaire.	62

III-5 Modélisation du transport sédimentaire.	63
III-5-1 Les résultats du la modélisation.....	63
III-5-2 Conclusion sur la modélisation de transport sédimentaire.....	63
III-6 Etude microbiologique.	64
III-6-1 Evaluation des paramètres physico-chimiques.	64
III-6-1-1 La coloration.	64
III-6-1-2 Variation de la température.	64
III-6-1-3 Variation de la salinité.	65
III-6-1-4 Le potentiel d'hydrogène (pH).	65
III-6-1-5 La demande biologique en oxygène (DBO ₅).	66
III-6-2 Analyse microbiologique.	66
III-6-2-1 résultats de l'analyse de l'eau.	66
III-6-2-2 Résultats d'analyse sur les sédiments.	69
III-6-2-3 Normes de classification.	69
III-6-2-4 Synthèse des résultats.	70
III-6-3 Conclusion sur l'étude microbiologique.	70

Chapitre IV : aménagement et protection.

IV-1 Les brise-lames émergés.	71
IV-1-1 Définition.	71
IV-1-2 Prédimensionnement de l'ouvrage.....	72
IV-1-2-1 Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte.	72
IV-1-2-2 Longueur et espacement.	73
IV-1-2-3 Hauteur de la houle de dimensionnement (H _b).	73
IV-1-2-4 La hauteur du brise-lame.	74
IV-1-2-5 La largeur en crête.	74
IV-1-2-4 Stabilités des ouvrages de protection.	75
IV-1-3 Avantages	77
IV-1-4 Inconvénients.....	77
IV-1-5 L'objectif recherché.....	78
IV-2 Les brise-lames Immergées.	78
IV-2-1 Prédimensionnement	78
IV-2-1-1 La hauteur de la crête (h)	79
IV-2-1-2 La stabilité du brise-lames immergés.....	80
IV-2-2 Avantages.....	80
IV-2-3 Inconvénients.....	80
IV-3 Les épis.	81
IV-3-1 Définition.....	81
IV-3-2 Prédimensionnement de l'ouvrage.....	81
IV-3-2-1 Hauteur des épis.....	81
IV-3-2-2 La longueur	82
IV-3-2-3 Espacement.....	82
IV-3-2-4 Orientations des épis rectilignes.....	82
IV-3-2-5 Stabilités des ouvrages de protection.....	83
IV-3-3 Avantages.....	84
IV-3-4 Inconvénients	84
IV-3-5 L'objectif recherché.....	84

IV-4 Les ouvrages mixtes	85
IV-4-1 Prédimensionnement de l'ouvrage.....	85
IV-4-1-1 Hauteur des épis en arc.....	85
IV-4-1-2 La longueur des épis en arc.....	85
IV-4-1-3 Brise-lame.....	85
IV-4-1-4 L'alimentation artificielle de la plage.....	85
IV-4-1-5 Stabilités des ouvrages de protection.....	86
IV-4-2 Avantages.....	88
IV-4-3 Inconvénients.....	88
IV-4-4 L'objectif recherché.....	88
IV-5 Les Géotube	89
IV-5-1 Définition	89
IV-5-2 Prédimensionnement	89
IV-5-2-1 Le diamètre du géotube	90
IV-5-2-2 La stabilité des géotubes	90
IV-5-3 Avantages	91
IV-5-4 Inconvénients	91
Conclusion	92

A.F.N.O.R :	Association Française de Normalisation.
B.E.A :	Gélose Bile-esculine.
B.V.B.L :	Bouillon Lactosé au Vert Brillant.
C.E.R.C :	Coastal Engineering Research Center
C.F :	Coliformes Fécaux.
C.T :	Coliformes Totaux.
D.B.O :	Demande Biologique en Oxygène.
D_{CR} :	distance critique
D_n :	diamètre nominal.
D_p :	Profondeur au pied de l'ouvrage.
E.P.A :	Eau Peptonée Alcaline.
E.P.I :	Eau peptonée exempte d'indole.
G :	Gram.
G.P.S :	Global positioning system.
G.S.T.A :	Green Size Trend Analysis.
H_b :	Hauteur de la houle de dimensionnement.
H_i :	Hauteur incidente.
H_s :	Hauteur significative.
H_t :	Hauteur transmise.
K_d :	coefficient du dommage.
K.N.M.I :	Institut météorologique royal Néerlandais.
L.C.H.F :	Laboratoire Central Hydraulique de France.
LEM:	Laboratoire d'étude maritime.
M.F :	Filtration sur membrane.
N.P.P :	Nombre le plus probable.
O.M.S :	Organisation Mondiale de la Santé.
O.N.M :	Office National de Météorologie.
P.N.U.E :	Programme des Nations Unies pour l'environnement.
P.S.U :	Unité pratique de salinité.
R.T.K :	Real Time Kinematic
S₀ :	sorting de trask.
S/C :	Simple concentration.
S.F :	Streptocoque Fécaux.
S.F.B :	bouillon au sélénite de Sodium.
S_k :	Skewness de Trask
S.P.M :	Shore Protection Manual
S.S :	milieu d'isolement des Salmonelles et des Shigelles.
S.S.M.O:	Summary of Synoptic Météorological Observations.
S.W.A.N :	Simulating Waves Nearshore
T.C.B.S :	thiosulfate-citrate-sels biliaries-sucrose.
T.V.C :	tout venant de carrière.
U.F.C :	Unité Formant Colonies.
WTW :	Wissenschaftlich technische Werkstätten.
X_p :	la distance entre le début de déferlement et l'ouvrage implanté
γ_s :	La masse volumique des blocs.
γ_w :	La masse volumique de l'eau de mer.

Fig. n°01	Situation géographique de la zone d'étude « Club des Pins » (Google Earth, 2010).	2
Fig. n°02	Carte géologique régionale d'après (Bennie 1983 in Amghar et Sahraoui, 2005).	4
Fig. n°03	Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000°.	5
Fig. n°04	Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970).	6
Fig. n°05	Répartition annuelle des vents en pourcentage (ONM, Dar-El-Beida 1995- 2005).	7
Fig. n°06	Précipitations annuelles en mm (ONM, Dar-El-Beida 1995- 2005).	7
Fig. n°07	Profil de variation des températures moyennes de l'air (ONM, Dar-El-Beida 1995- 2005).	8
Fig. n°08	Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source :K.N.M.I in Zemenzer 2004).	10
Fig. n°09	Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004).	11
Fig. n°10	Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (2010).	13
Fig. n°11	Evolution du trait de côte entre 1921 et 1995 (Annane, 2007).	15
Fig. n°12	Illustration du principe de Brunn.	18
Fig. n°13	Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction	23
Fig. n°14	Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2010).	25
Fig. n°15	Modalité d'analyse granulométrique.	26
Fig. n°16	Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2010).	28
Fig. n°17	La grille d'entrée dans le model GSTA.	29
Fig. n°18	Positionnements des stations de prélèvement (Google Earth, 2010).	32
Fig. n°19	DBOmètre et Bouteilles de mesure	
Fig. n°20	Méthode de dénombrement des Coliformes fécaux et <i>Escherichia coli</i> dans les sédiments.	34
Fig. n°21	Méthode de dénombrement des Streptocoques Fécaux et <i>Escherichia coli</i> dans les sédiments.	35
Fig. n°22	dispositif de l'appareil de filtration sur membrane.	36
Fig. n°23	Disque « Ox » qui sert à la détermination de l'oxydase des bactéries	42
Fig. n°24	Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s (LEM, 2009).	44
Fig. n°25	Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s (LEM, 2009).	45
Fig. n°26	Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s (LEM, 2009).	46
Fig. n°27	Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s (LEM, 2009).	47
Fig. n°28	Carte bathymétrique de Club des Pins, 2009.	48
Fig. n°29	Carte bathymétrique en 3D de Club des Pins, 2009.	48
Fig. n°30	Carte bathymétrique et les profils tracés dans le secteur de Club des Pins.	49
Fig. n°31	profil sous marin n°01.	50
Fig. n°32	Carte schématique présentant les résultats acquis par sondage à balayage latéral (d'après LEM 2009).	51
Fig. n°33	Répartition des pélites dans la région Club des Pins.	53
Fig. n°34	Courbe unimodale.	54
Fig. n°35	Histogramme unimodale.	54
Fig. n°36	Courbe bimodale.	54
Fig. n°37	Histogramme bimodale.	54
Fig. n°38	Courbe plurimodale.	55
Fig. n°39	Histogramme plurimodale.	55
Fig. n°40	Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Club des Pins.	55
Fig. n°41	Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Club des Pins.	56
Fig. n°42	Répartition des médianes (Q50) dans la région de Club des Pins.	57

Fig. n°43	Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Club des Pins.	59
Fig. n°44	Répartition des quartiles supérieurs (D90) dans la région de Club des Pins.	59
Fig. n°45	Relation entre l'indice de classement et la médiane.	59
Fig. n°46	Relation entre le coefficient d'asymétrie et la médiane.	60
Fig. n°47	Fréquences d'apparition modale.	60
Fig. n°48	Répartition du mode 160µm dans Club des Pins.	61
Fig. n°49	Pourcentages des carbonates dans les sédiments de Club de Pins.	61
Fig. n°50	Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Club des Pins, 2009 « Model GSTA ».	63
Fig. n°51	Variations de la température de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.	64
Fig. n°52	Variations de la salinité de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.	65
Fig. n°53	Variations de PH de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.	65
Fig. n°54	Concentrations bactériennes en coliformes totaux et fécaux obtenus pour chaque station par la méthode de FM. (/100ml).	66
Fig. n°55	Concentrations bactériennes en streptocoques fécaux obtenus pour chaque station par la méthode de FM. (/100ml).	67
Fig. n°56	Concentrations bactériennes en staphylocoques pour chaque station. (/100ml).	68
Fig. n°57	Concentrations des spores des bactéries sulfito-réductrices pour chaque station.	68
Fig. n°58	Fonctionnement des brise-lames (Annane et al 2007) .	71
Fig. n°59	Détermination de la houle de déferlement (Weggel 1972).	73
Fig. n°60	Installation des brise-lames sur la zone de Club des Pins.	74
Fig. n°61	Profil de brise-lames proposés pour la protection de Club des Pins.	76
Fig. n°62	Schématisation d'un profil de brise-lames immergés.	79
Fig. n°63	Abaque mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i (Van der Meer 1992).	79
Fig. n°64	Profil de brise-lames immergés proposés pour la protection de Club des Pins	80
Fig. n°65	Fonctionnement d'un champ d'épis (Annane et al 2007).	81
Fig. n°66	Installation des épis sur la zone de Club des Pins.	82
Fig. n°67	Profil de la partie courante de l'épi proposé pour la protection de Club des Pins.	83
Fig. n°68	Profil de la partie musoir de l'épi proposé pour la protection de Club des Pins.	84
Fig. n°69	Installation de l'ouvrage mixte dans la zone de Club des Pins.	86
Fig. n°70	Profil du musoir d'un épi en arc proposé pour la protection de Club des Pins.	86
Fig. n°71	Profil de la partie courante de brise-lame proposé pour la protection de Club des Pins.	87
Fig. n°72	installation des géotubes dans la zone de Club des Pins.	90

Photo n° 1	Etat d'avancement de la mer sur une partie de la plage (vue de la côte).	21
Photo n° 2	Rejet d'eau usée dans la zone.	21
Photo n° 3	Etat de recul de la plage.	21
Photo n° 4	microfalaise formé sur site.	21
Photo n° 5	Recouvrement des escaliers par le sable.	21
Photo n° 6	Granulométrie grossière témoigne de la forte énergie de la houle.	21
Photo n° 7	Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne).	78
Photo n° 8	Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne).	84
Photo n° 9	Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne).	88
Photo n° 10	Installation d'un géotube, expérience à Al Kala 2008.	89

Tableau n°01	Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995 – 2005)	7
Tableau n°02	Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970).	9
Tableau n°03	Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970).	10
Tableau n°04	Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970).	11
Tableau n°05	Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude.	23
Tableau n°06	Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices.	38
Tableau n°07	Recherche de CT, CF, SF par la méthode des MF.	39
Tableau n°08	Recherche des Staphylocoques par la technique des MF.	40
Tableau n°09	Test de la catalase.	42
Tableau n°10	Principaux critères de qualité des eaux de baignade (normes algériennes extraites du journal officiel 1993).	69
Tableau n°11	Classification microbiologique de l'eau selon les normes AFNOR.	69
Tableau n°12	Classifications des eaux analysées selon les normes Algériennes.	70
Tableau n°13	Classifications des eaux analysées selon les normes AFNOR.	70
Tableau n°14	Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace (brises lame).	77
Tableau n°15	Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace (partie musoir des épis).	83
Tableau n°16	Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace (épis en arc).	87

Introduction Générale

Introduction Générale :

Le littoral est un lieu de rencontre, où s'expriment avec la plus grande diversité des écosystèmes façonnés par l'action des houles, du vent et des embruns (Paskoff. R, 2001).

Aujourd'hui, on a constaté que l'urbanisation du littoral s'est faite au détriment de toutes les règles de sécurité, puisque des bâtis y ont été construits en bordure de la mer sans que soient prises en compte les érosions auxquelles elles s'étaient exposées ; face à l'importance du recul de ces côtes, mais pire encore face à l'augmentation de la vulnérabilité des populations riveraines et de l'économie, il s'est avéré nécessaire de protéger ces infrastructures en réalisant des ouvrages de défense du littoral dont le choix dépend de la nature du site (hydrodynamisme...) et de l'usage ultérieur de ces ouvrages.

La dégradation côtière est un problème que l'on retrouve dans le monde entier, notre littoral n'est malheureusement pas épargné par ce phénomène de plus en plus fréquent sur nos côtes. Le danger de voir nos plages se défigurer et perdre de leur biodiversité est aujourd'hui encore plus réel, atteignant un niveau suffisamment alarmant pour que les autorités se décident à mettre en œuvre une stratégie qui permettra leur reconstitution et leur protection. C'est aussi l'objectif principal de notre étude qui va porter sur la protection de la plage du Club des Pins, après avoir identifié les causes et les conséquences de l'érosion sur ce site.

Le linéaire côtier de la plage de Club des Pins s'étend sur environ deux kilomètres et représente un exemple type du cas cité, où le phénomène d'érosion est déjà bien visible. Les travaux réalisés (selon une variété de thèmes) sur la baie d'El Djamila « la Madrague » sont très nombreux (notamment dans la zone de Sidi Fredj). Cependant, rares sont ceux qui visent notre site d'étude ; seul le L.E.M (laboratoire d'étude maritime) a réalisé des études dans le cadre de ces projets de travaux de protection dont on cite :

- Etude de la protection du rivage de Sidi Fredj, Club des Pins (août 1984).
- Etude de la protection de Club des Pins (2009).

L'évolution de la plage de Club des Pins dénote un recul constant depuis plusieurs années, les constructions ayant été réalisées trop près du bord de l'eau, de sorte que les fluctuations existantes entre l'hiver et l'été ne peuvent se produire naturellement sans atteindre les aménagements et inquiéter les riverains. De plus, ce site balnéaire est très agréable et présente des potentialités exceptionnelles : une première d'ordre politique (résidence d'état) et une seconde d'ordre touristique par la présence de l'hôtel Sheraton. Ceci confirme la nécessité d'une protection qui vise la sauvegarde des habitations sans perdre de vue l'amélioration de la plage existante.

Le but de ce projet de mémoire de fin d'étude dont l'intitulé « Etude de protection de la zone de Club des Pins », consiste en la présentation des ouvrages de protection après étude, puis du rôle que peuvent jouer les ouvrages de protection dans la stabilisation et le ralentissement du recul du tracé de côte en insistant sur leur intégration dans l'environnement.

Pour mener à bien notre travail, ce dernier a été partagé en trois grands volets :

- Une collecte de données de base et de terrain.
- Une étude analytique des données avec présentation des résultats.
- Des propositions de solutions d'aménagement et de protection.

Chapitre I

Cadre général d'évolution et diagnostic

I-1 Situation géographique

I-1-1 Baie d'El Djamila

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

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

I-1-2 Site d'étude

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

Le site choisi en vue de le protéger et de proposer des solutions contre l'érosion, représente la zone de Club des Pins, c'est une bande littorale d'un linéaire de 2Km et d'une largeur d'environ 25m (la plage de Club des Pins), il est limité :

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

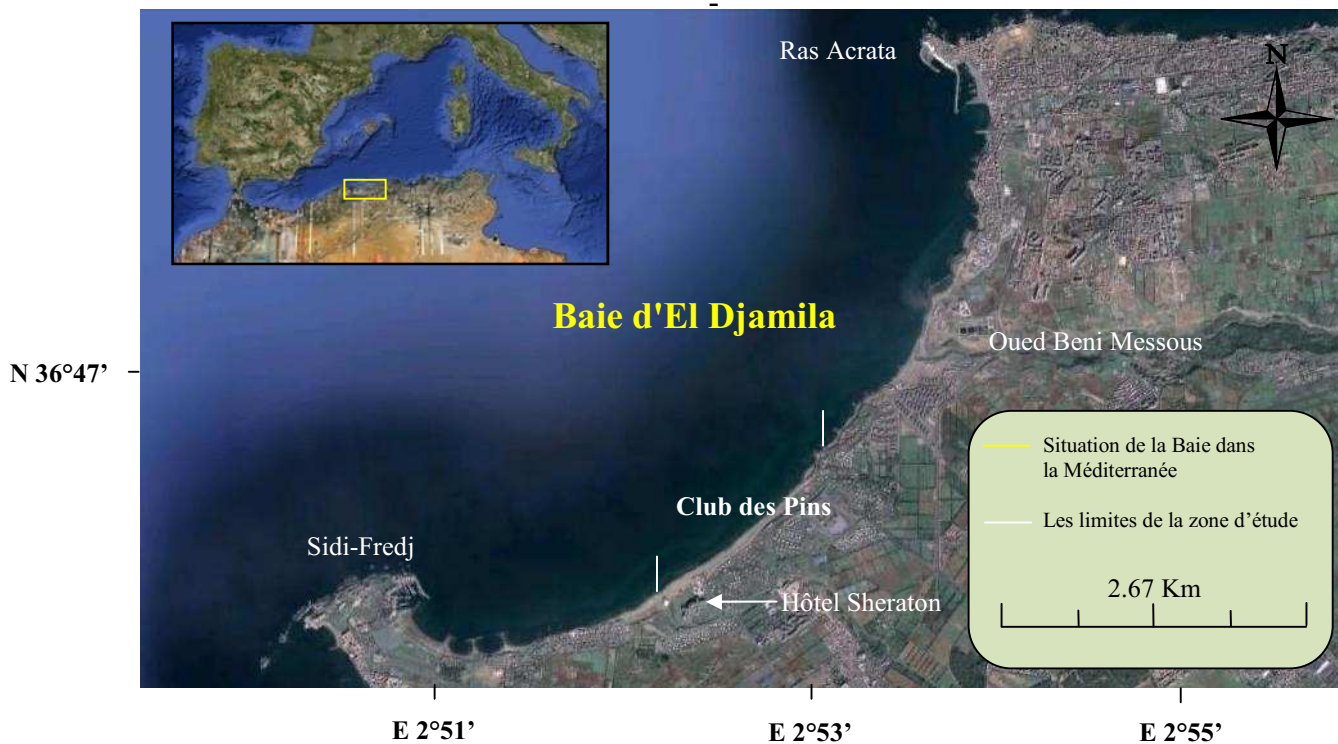


Figure n°1 : Situation géographique de la zone de Club des Pins (Google Earth, 2010)

I-2 Le cadre géologique et géomorphologique

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

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

I-2-1 Géologie régionale

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

- **Le Primaire**

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

- **Le Secondaire**

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

- **Le Tertiaire**

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

- **Le Quaternaire**

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

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

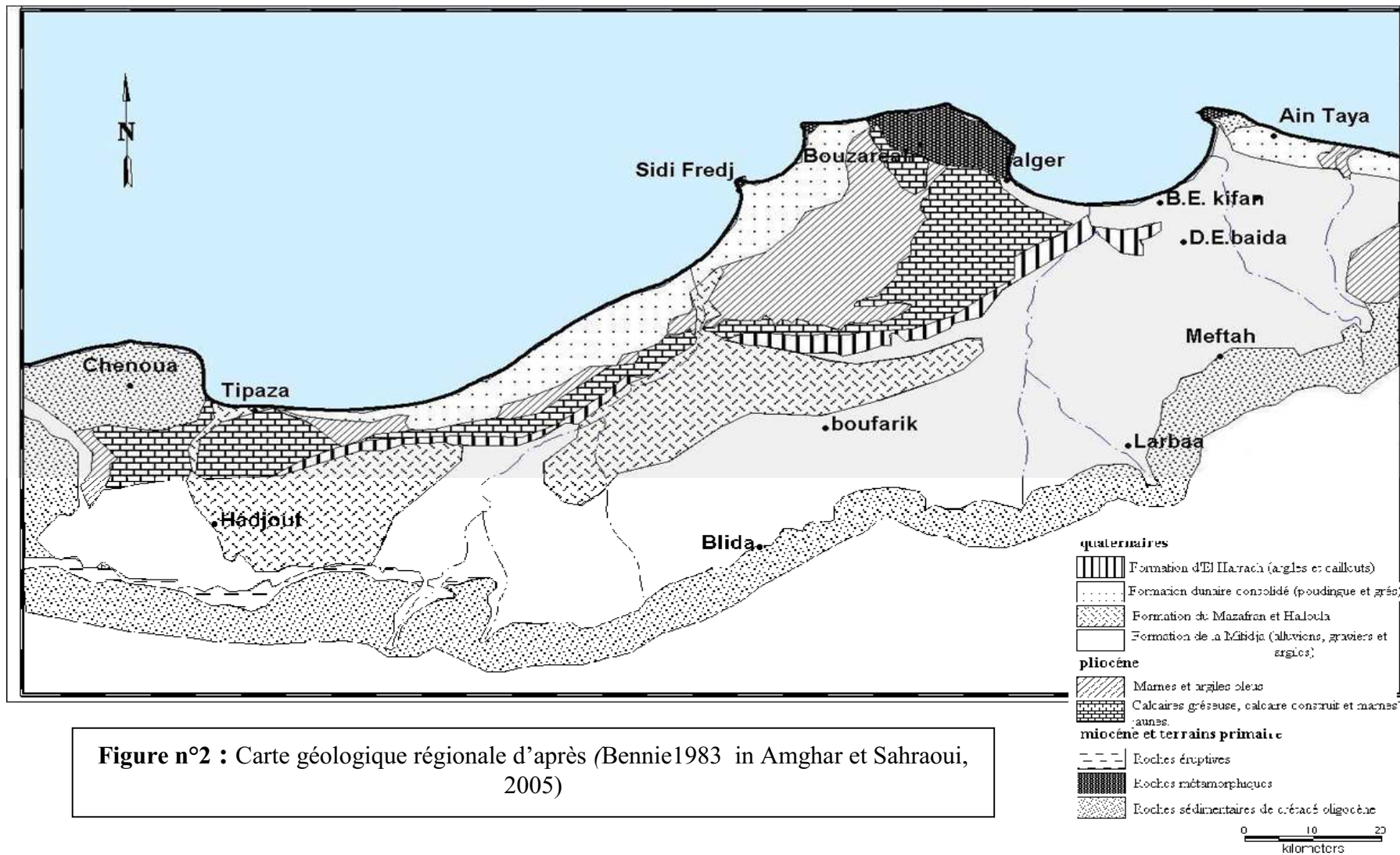


Figure n°2 : Carte géologique régionale d'après (Bennie 1983 in Amghar et Sahraoui, 2005)

I-2-2 Cadre géologique et géomorphologique locale

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

La portion littorale étudiée est formée par des faciès du Quaternaire marin, elle est formée de dunes consolidées en alternance avec des dépôts lacustres, lumachelliques, poudingues et grés. Son littoral est caractérisé par une importante accumulation de dunes actuelles, des alluvions récentes sous forme de sables argileux et graviers. En bordure de la mer, sur la plage des "Dunes" de très faible altitude, on constate la présence d'une formation de sable fin meuble à stratification oblique. A partir de la carte géologique de la région d'Alger-Chéraga, à l'échelle 1/50000, on a reporté les formations locales rencontrées au niveau du site d'étude et ses alentours (figure n°3).

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

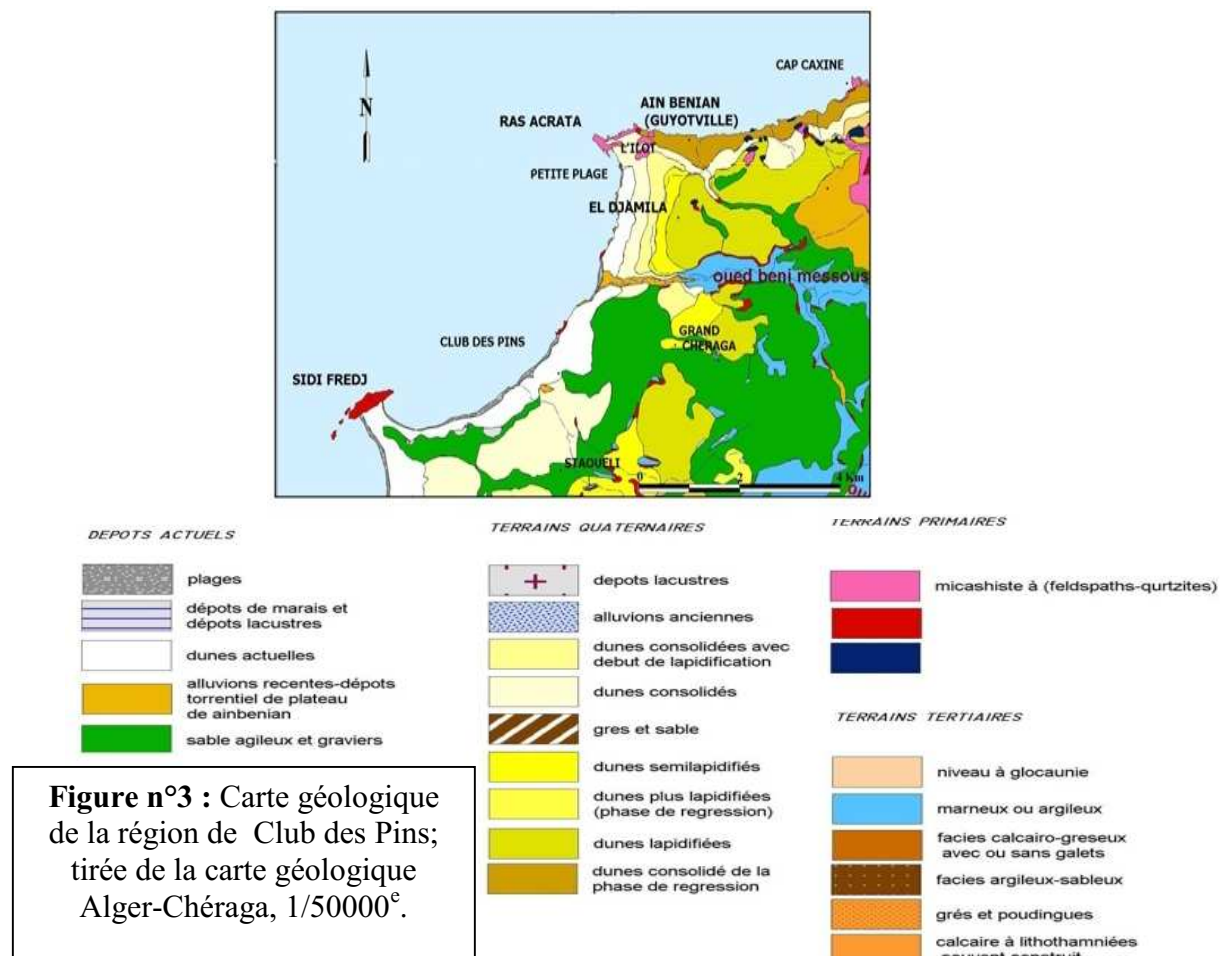


Figure n°3 : Carte géologique de la région de Club des Pins; tirée de la carte géologique Alger-Chéraga, 1/50000°.

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

I-3 Cadre climatologique et hydrologique

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

Les données de climat local sont fournies par O.N.M : Observations allant de 1995 jusqu'à 2005 (annexe n°1).

Station : Alger Dar-El-Beida

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

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

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

I-3-1 L'étude des vents :

A- Au large

Les vents sont générateurs de vagues et de courants, leur impact croît avec leur vitesse. Lorsque l'action des vents est continue, elle génère des houles. Dans la baie d'El Djamila, la répartition des vents est parfaitement liée au régime annuel des houles. Les données recueillies par le S.S.M.O (Summary of Synoptic Météorological Observations) au large d'Alger confirment l'existence de deux périodes distinctes (figure n°4) :

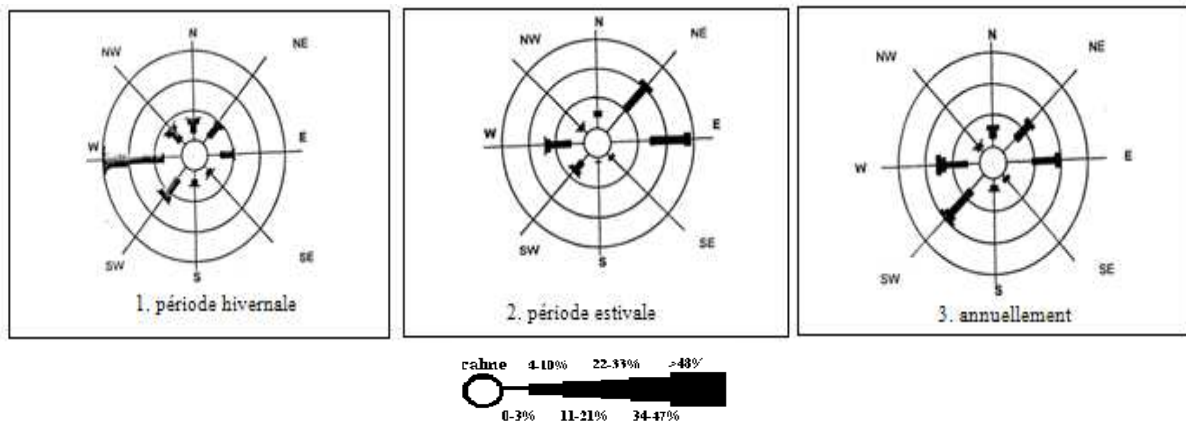


Figure n°4 : Roses récapitulatives saisonnières et annuelles des fréquences d'apparition du vent au large. (L'US Naval Weather service, de 1963 à 1970)

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

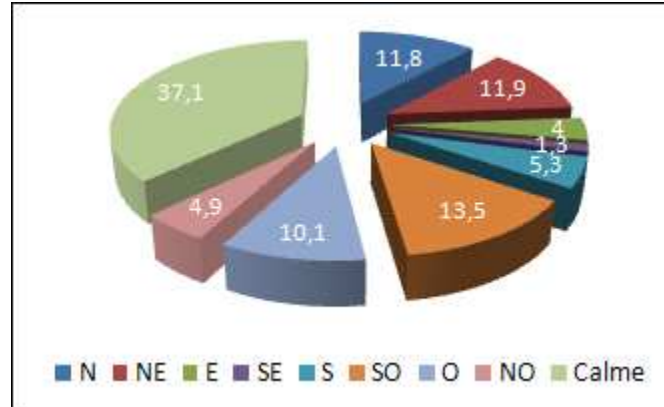
Une période estivale : (Avril-Septembre) les vents dominants sont de secteur Est et Nord Est, avec des fréquences de 45 à 75% pour le secteur Nord Est.

B- Données locales

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

Tableau n° 1 : Répartition annuelle des vents sur huit directions (ONM, 1995-2005).

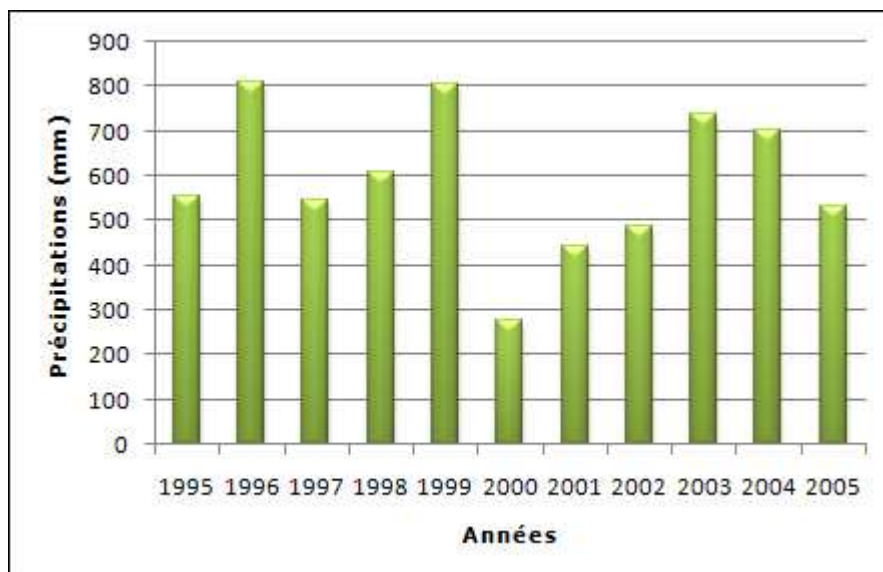
Secteurs	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	Calme
Pourcentage par direction	11,8	11,9	4	1,3	5,3	13,5	10,1	4,9	37,1

**Figure n°5 :** Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2005)

I-3-2 Les précipitations

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

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

**Figure n°6 :** Précipitations annuelles en mm (ONM, Dar-El-Beida, 1960-2005)

I-3-3 Les températures

La température est soumise à l'influence de la mer qui adoucit le climat. On distingue deux saisons, une saison chaude qui s'étale de juin à octobre où les températures moyennes de l'air varient entre 20°C et 27°C, et se rafraichissent en novembre et une autre saison qui débute en décembre et s'achève en mars où les températures moyennes varient entre 11°C et 18°C.

Sur la figure suivante nous pouvons apprécier la variation moyenne des températures maximales et minimales entre 1995 et 2005.

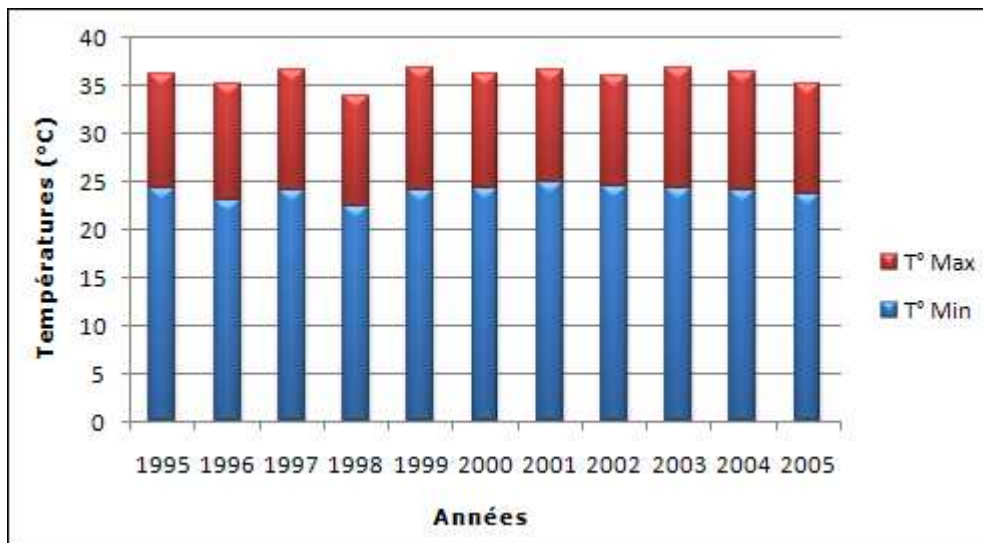


Figure n°7 : Profil de variation des températures moyennes de l'air (ONM, Dar-El-Beida, 1960-2005)

I-3-4 Hydrologie continentale

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

I-4 Cadre océanographique

I-4-1 La houle

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

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

Tableau n°2 : Fréquence mensuelle de la houle au large par direction en pourcentage (SSMO, 1963-1970)

direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Mois								
janvier	8,1	12,9	18,2	18,2	6,5	13,2	28,8	7,3
février	8,8	10,3	10,3	12,6	6,1	16,9	35,6	5,8
mars	11,3	12,6	12,6	15,8	4,5	12,3	30,5	9,2
avril	11,7	15,4	15,4	16	4,4	13,7	26,7	10,2
mai	8,2	26,3	26,3	31,9	3,3	7,2	13,9	5,2
juins	9,2	29,1	29,1	29,8	1,4	8,2	16,4	4,2
juillet	5,9	32,5	32,5	35,1	1	5,9	16,3	2
août	8,8	27,7	27,7	37,3	1,1	5	13,4	4,9
septembre	6,7	26,4	26,4	40,5	2,3	4,6	14,8	2,5
octobre	7,8	14,1	14,1	20,3	4,2	14,8	28,8	6,8
novembre	5,5	5,8	5,8	10	8	15,9	40,4	9,4
décembre	10,2	6,2	6,2	9,4	7,5	15	37,1	10
Moyenne	8,52	18,28	18,72	23,08	4,19	11,06	25,23	6,46

- Les houles de direction Ouest, Sud-Est, Est et le Nord-Est sont les plus fréquemment observées, les fréquences d'apparitions sont plus faibles pour le secteur Nord, Sud et Nord-Ouest.
- La direction Nord à une répartition assez régulière au cours de l'année
- Durant l'année, les fréquences correspondant aux directions Est et Ouest sont sensiblement identiques avec toute fois une légère prédominance du secteur Ouest.
- En été les houles d'Est, Nord-Est et Sud-Est prédominent alors qu'en hiver le secteur d'Ouest est privilégié

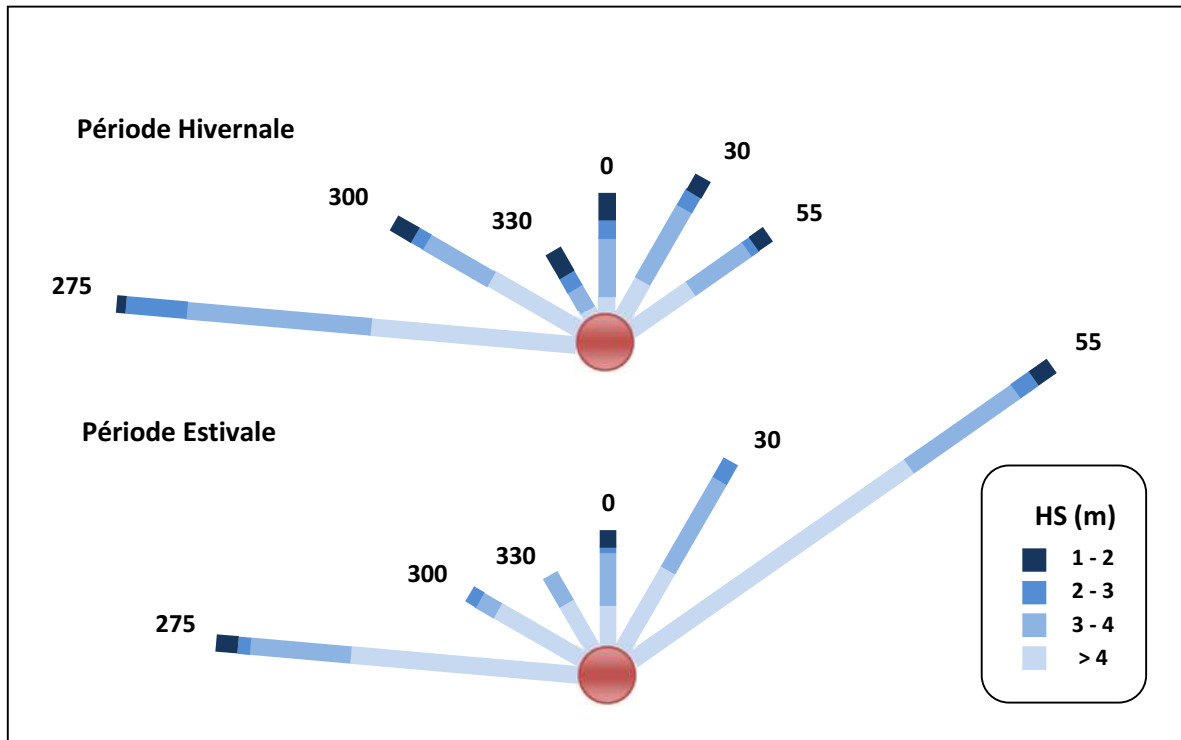


Figure n°8 : Roses récapitulatives de direction des houles au large du secteur (275°-55°) (source : K.N.M.I in Zemenzer 2004)

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

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

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

L’analyse des données du S.S.M.O présentées sous forme de (tableau n°2) et celles du K.N.M.I (Institut météorologique royal Néerlandais), (Figure n°9) confirment parfaitement cette répartition :

Tableau n°3: Amplitudes des houles en fonction des directions et leurs périodes de retour (SSMO, 1963-1970)

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

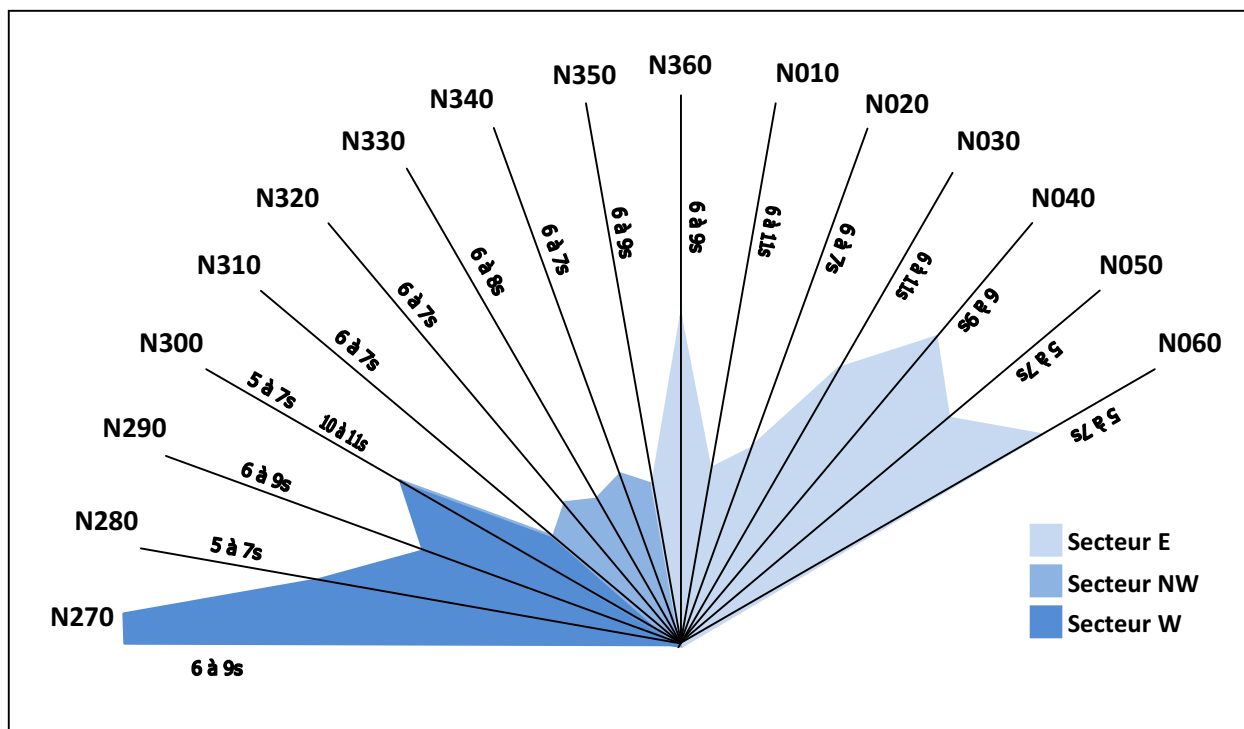


Figure n° 9 : Répartition des énergies des houles en fonction de la direction et des périodes les plus courantes. (Source : K.N.M.I in Zemenzer 2004)

Les données de tableau n°3 concordent avec celles observées auparavant (tableau n°2), pour les périodes de retour biennales on observe que ce sont les houles essentiellement de direction Ouest qui sont les plus énergétiques avec une valeur de 7.36m. Par contre les houles de direction Est sont les plus faibles avec des valeurs même centennales ne dépassant pas 7m.

Puisque la zone d'étude se trouve presque au centre de la baie d'El Djamilia, elle est donc exposée aux houles de directions suivantes (Nord, Ouest, et Nord-Ouest).

La répartition des périodes de la houle est donnée par état de la mer dans le tableau ci-dessous

Tableau n°4 : Répartition des états de mer par période (SSMO, 1963-1970)

Etat de la mer	Périodes de la houle					
	< à 6s	6-7s	8-9s	10-11s	11-12s	13s
calme	5,2	0,1	-	-	-	-
0	20,8	1,9	0,4	-	-	-
1	24,6	13,1	2,7	0,5	0,2	-
2	2,6	5,4	3,1	0,9	0,2	-
3	0,4	1,1	1,00	0,6	0,2	-
4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,3	-
Totale (%)	53,7	22,1	7,5	2,3	0,9	-

Les houles observées ont pour la majorité une période courte (pour 75% la période est $\leq 7s$), seuls 3% des houles ont une période comprise entre 10 et 13s.

- **Les données de la Houle de Météo France :**

Les cartes présentées sont issues des données mensuelles des hauteurs totales de la mer ($H_{1/3}$) (résolution DG) dans la Méditerranée occidentale. Ces cartographies sont faites à partir du modèle de vagues ERA-Interim du Centre Européen de Prévision et portent sur la période 1989-2008 soit 20 ans, (annexe n°2).

Les valeurs notées dans le bassin méditerranéen semblent faibles, elles atteignent les deux mètres durant le mois de janvier et ce jusqu'au mois d'avril, elles déclinent de virulence au mois de juillet où les hauteurs relevées sont très faibles (inférieurs à un mètre), au mois d'octobre, elles recommencent à augmenter mais dans un espace beaucoup plus réduit (sud de la France). Il est important de mentionner que les valeurs schématisées sont des moyennes (entre 1989-2008).

La mer méditerranée constitue un bassin abrité loin d'être exposé aux vents mise à part les saisonniers dont on cite : le Mistral, le Levante et La Lombarde.

I-4-2 Les courants

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

- **Le courant Algérien :**

C'est un courant général (qui domine au large de la région d'étude), d'origine atlantique, il se déplace d'Ouest en Est le long des côtes algériennes sous l'effet de la force de Coriolis. Ce courant général entre 1° et 2° Est devient instable pour former des tourbillons anticycloniques accompagnés de phénomènes d'upwelling (La remontée d'eau). (Millot et al 1990),

- **Le courant côtier de retour :**

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

- **Les courants de la dérive littorale :**

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

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

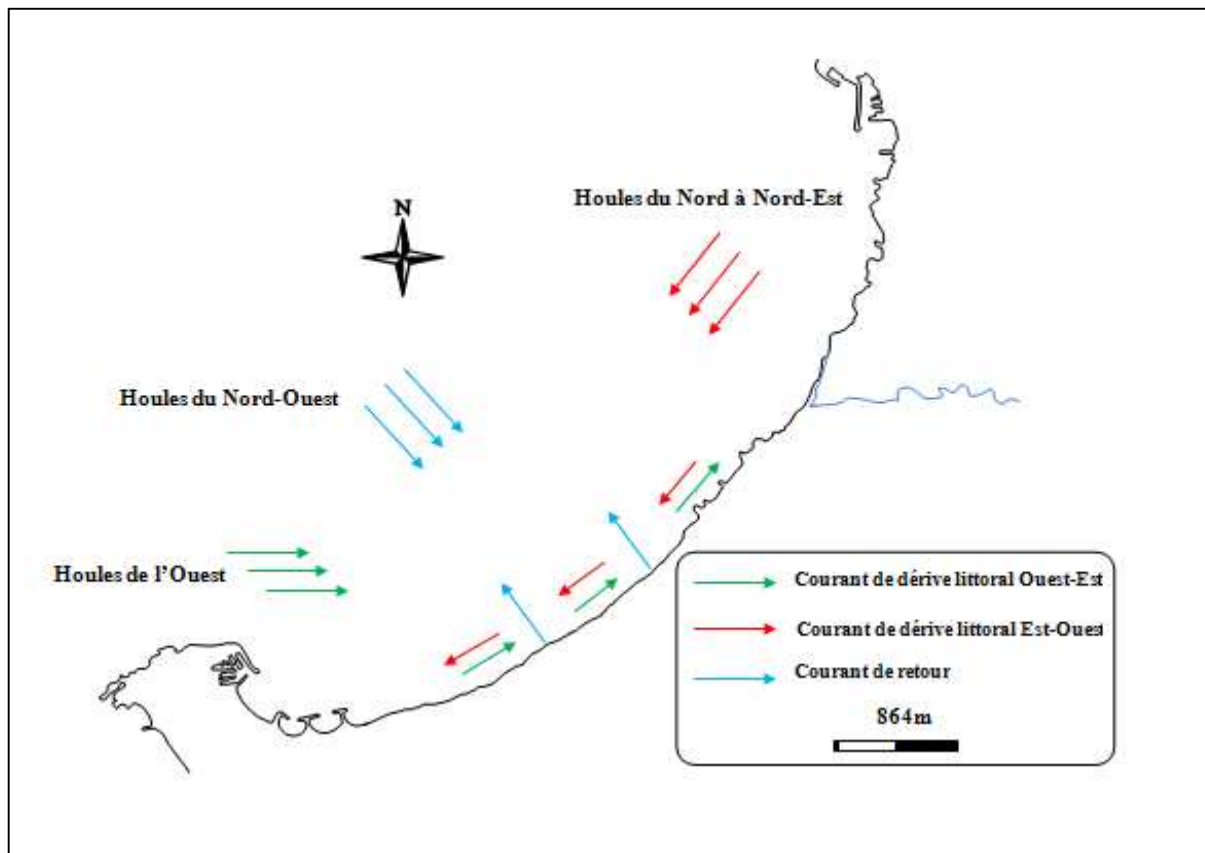


Figure n°10: Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude (Assassi et Otmani, 2010)

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

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

I-4-3 La marée

Bien que la marée soit faible sur la côte Algérienne, elle dépasse rarement les 35cm avec des périodes d'environ 12h à 24h, et que notre littoral soit de type microtidal, il est recommandé de prendre en considération ce marnage surtout que notre zone d'étude (Club des Pins) est caractérisée par une pente douce, ce qui conduit à une amplification des phénomènes d'inondation.

I-5 Aspect et évolution du trait de côte :

I-5-1 Introduction :

La difficulté de définir le trait de côte résulte du fait que sous ce vocabulaire « trait de côte », qui semble une notion des limpides (la ligne qui sépare l'océan des continents), se cache une réelle ambiguïté. En effet « dans un milieu qui doit son existence à un mouvement, celui de la mer, qui détermine une frange d'indécision, le rivage, il est bien difficile de placer une limite entre la terre et la mer » (Lacoste, 1993).

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

I-5-2 Evolution de la situation depuis 1970 (LEM 1987) :

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

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

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

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

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

Au niveau du village touristique de Moretti, mise à part la disparition des 50 derniers mètres du chemin de promenade au pied du Night club .El Yasmina, disparition dont la date est impossible à préciser, aucun dégât supplémentaire n'est apparu.

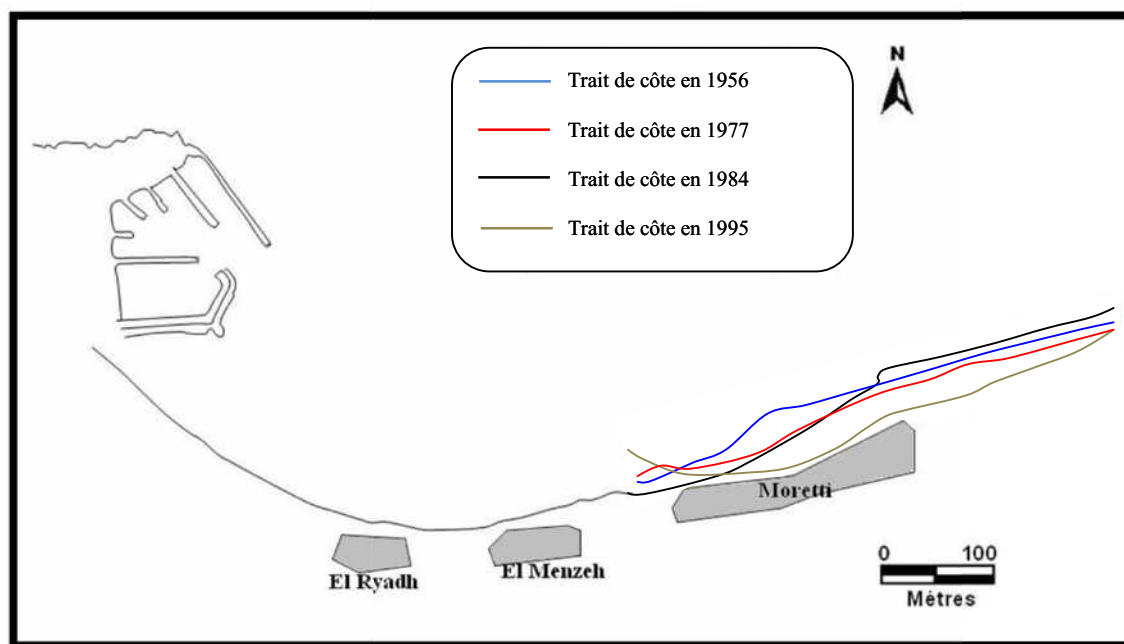


Figure n°11 : Evolution du trait de côte entre 1921 et 1995 (Annane, 2007)

I-5-3 Interprétation

Le trait de côte change constamment, et des facteurs tels que la taille des vagues, la vitesse du vent, la profondeur de la mer, la force des marées et les variations relatives du niveau de la mer, ainsi que les pluies et la fréquence et l'intensité des tempêtes, sont tous des facteurs influents.

La figure n°11 montre une évolution rapide et importante érosion dans notre zone d'étude. Le résultat de la superposition des traits de côte a permis d'identifier deux entités de cette frange littorale : la première caractérisant une entité côtière à tendance érosive, la deuxième entité représentant un comportement d'une tendance accumulative. Ce résultat a été intégré dans l'établissement de la cartographie de la dynamique côtière de la zone d'étude.

- **Fraction de côte à tendance à l'accrétion :**

L'entité s'étend du port de plaisance jusqu'à la frontière avec Moretti ; l'accrétion dont on qualifie d'artificielle est due à l'implantation du port de plaisance notamment sa jetée secondaire qui a permis l'engraissement en sable de la plage Est, en l'occurrence ceci témoigne de la présence d'un flux sédimentaire très important dans la zone.

Arrivant à l'hôtel el Riyadh l'implantation des ouvrages de protection de type brise-lame reliés à la terre (épis, brise-lame) a permis l'accrétion dans l'entité du fait de la réduction de l'agitation (brise lame) et le piégeage du flux sédimentaire passant.

Comme, dans ce type d'ouvrage, l'implantation fait appel à une deuxième en aval, on constate donc les mêmes observations sur le reste de la zone d'accrétion.

Les implantations reflètent des résultats satisfaisants sur les zones protégées, mais dégradent la naturalité de l'entité elle-même en artificialisant une grande partie du linéaire côtier.

- **Fraction de côte à tendance à l'érosion :**

S'étendant de Moretti et avançant vers l'Est sur tout le reste de la zone, l'érosion évolue à une cadence agressive menaçant toutes les structures urbaines dans la zone.

L'hypothèse principale concordante avec les observations est la dégradation de l'ensemble dunaire ; responsable du maintien de l'équilibre en termes d'échange sédimentaire estran-petit fond.

Du fait de l'exposition de la zone, différents facteurs rentrent en jeu, Ces derniers comprennent les fluctuations du niveau de la mer. Ceci a, à son tour, a influencé la nature et la sévérité de l'érosion côtière, qui joue un rôle important dans la transformation du paysage côtier. L'influence de la pluviosité est également particulièrement importante car les pluies et le ruissellement entraînent les sédiments de l'arrière pays à la côte, alors que le long de la côte elle même l'érosion et le transport de matériaux par les vagues et les courants ont entraîné la formation de plages créant des accumulations dans certains endroits et des érosions dans d'autres.

I-6 Les causes d'érosion :

I-6-1 Généralité et principes :

Une plage est un milieu mobile qui correspond à des zones de dépôts et de transfert incessant de sédiments meubles. Son budget sédimentaire est défini comme la somme algébrique de l'alimentation et de l'ablation des matériaux détritiques.

La côte algérienne subit aussi des transformations en raison de l'intervention d'agents morphogéniques qui ne leurs sont pas spécifiques, tels que les vents, les eaux de ruissellement et d'infiltration etc. dont l'efficacité, peut s'avérer accrue, au contact terre/mer.

I-6-2 Les facteurs d'érosion des plages :

En générale les causes de l'érosion et les menaces qui pèsent sur la zone se résument en :

a- Facteurs naturels

- **L'épuisement du stock sédimentaire côtier :**

Le budget sédimentaire, fait la balance entre les sédiments entrant et sortant du système côtier. Si ce budget est positif, la plage s'élargit et la côte prograde. S'il est négatif, la plage démaigrît et la côte recule.

L'activité humaine intense sur les zones côtières est à l'origine du déséquilibre des écosystèmes littoraux, et l'aménagement des bassins versants conjugués à certains facteurs naturels entraînent l'érosion des plages et la détérioration des herbiers. Ces actions provoquent une rupture du régime sédimentaire qui se manifeste par une « pénurie sédimentaire ».

Le stock sédimentaire côtier d'aujourd'hui est pour l'essentiel hérité, ainsi, nous connaissons une pénurie en apport « frais » de sédiments, accentué par les éléments naturels (courant houle et vent).

- **Les phénomènes tectoniques :**(mouvement des plaques, séismes sous-marins...)

Ils peuvent avoir des conséquences non négligeables sur l'évolution du trait de côte. Ils provoquent des mouvements tant horizontaux que verticaux. Ils peuvent par conséquent créer des déformations de quelques centimètres par siècle (~10cm par siècle), susceptibles de modifier la disposition d'un rivage et d'en augmenter l'érosion.

- **Élévation contemporaine du niveau marin**

Le niveau de la mer augmente d'une façon permanente par dilatation thermique, mais aussi par la surcote et lors des tempêtes.

L'élévation du niveau de la mer provoque un démaigrissement et un recul des plages (principe de Brunn). Le profil transversal de la plage migre parallèlement à lui-même vers la terre par érosion de la partie haute. Le matériau enlevé s'accumule sur l'avant plage de telle sorte que l'épaisseur de la tranche d'eau littorale reste constante (figure n°12).

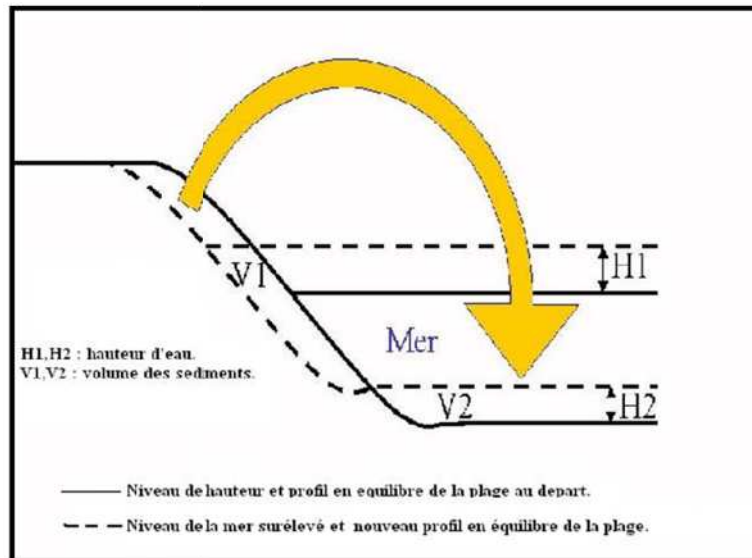


Figure n°12: Illustration du principe de Brunn.

- **Les tempêtes :**

Les houles et les vagues associées à des pleines mers de vives eaux, attaquent les hautes plages et peuvent emporter le cordon littoral et submerger l'arrière plage causant des dégâts parfois irréversibles.

b- Facteurs anthropiques :

- **Les aménagements et L'artificialisation du littoral :**

Favorise l'accélération de l'érosion en bordure des ouvrages, tout en augmentant le déficit sédimentaire.

- **La fréquentation humaine :**

Elle concerne sur-fréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, aussi l'extraction des matériaux modifie les échanges sédimentaires.

- **L'exploitation de dunes sableuses :**

Les dunes constituent, dans les zones où elles existent, une bonne protection naturelle par :

- Le barrage qu'elles offrent aux houles et marées de tempête, empêchant les eaux d'inonder des zones basses intérieures ;
- La réserve de sable qu'elles constituent pour l'alimentation de la plage.

L'extraction et l'utilisation de sable des plages et des dunes pour les besoins de constructions (ce phénomène était constaté autre fois dans notre zone d'étude) contribuent à l'accélération de l'érosion côtière.

L'arasement des dunes bordières déstabilise les plages, or les dunes participent activement à l'équilibre des plages du fait qu'elles constituent une réserve en sable, ce qui leur procure un rôle protecteur en cas de déferlement des vagues de tempêtes, ce déséquilibre a été observé dans la zone où on remarque des recouvrements des escaliers par le sable.

- **Les constructions très proches du trait de côte :**

Les édifices construits trop proche du trait de côte ne tiennent pas longtemps. L'attaque de la construction commence à sa base par déflation du sable sous jacent et affaissement, la fondation petit à petit se trouve à découvert et déstabilisent les édifices ; à la moindre tempête l'effondrement commence.

- **La pollution :**

Principale contrainte pour le développement récréatif, purement de nature anthropique, causé par tous rejets domestiques ou industriels (solides qu'ils soient ou liquides), provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu.

I -6-3 Les facteurs d'érosion les plus prépondérants à Club des Pins :

Parmi tous ces facteurs naturels et anthropiques qu'on vient de citer, certains d'entre eux sont les plus prépondérants dans notre zone d'étude :

A- Les facteurs naturels :

Le transport sédimentaire est causé par :

- **Les houles :**

Par l'énergie qu'elles dissipent à l'approche de la côte et suivant l'obliquité de leurs attaques vis-à-vis le rivage provoquant des transits perpendiculaires à la plage, et puisque aucune alimentation plus ou moins importante ne vient compenser ce transit, celui-ci à, par des quantités importantes de matériaux mises en mouvement, entraîne un déficit sédimentaire et une érosion de la plage, avec formation des microfalaises (photo n°3 et 4)

Une visite sur le site révèle la présence d'une granulométrie de grande taille jusqu'à 3 cm témoignant de la forte énergie de la houle, (photo n°6).

- **Les vents :**

Loin d'être négligeables, puisqu'ils sont à l'origine d'importants mouvements de sable, l'action de ces deux facteurs s'accroît lors des creux de tempêtes.

B- Les facteurs anthropiques:

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

La construction des complexes touristique de Moretti, Sidi Fredj et Club des Pins n'a fait qu'aggraver le problème, puisque toutes les constructions touristiques et urbaines ne représentent qu'une nouvelle source de rejets de déchets dans la baie (photo n°2). Le ruissellement et l'infiltration des eaux usées déversées au niveau des plages a accentué le phénomène de l'érosion, il est à noter que la station d'épuration de Béni Messous est très proche (800 à 1000m).

- **La pollution :**

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

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

- **La dégradation de l'ensemble dunaire :**

En partant de Club des Pins jusqu'à Mazafran, tout au long du littoral, on observait un cordon dunaire assez large qui sépare les zones internes marécageuses de la plage actuelle. Ces grandes étendues sableuses ont été exploitées d'une manière abusive au cours des proches années précédentes par la création de carrière de sable. Des tonnes de sables étaient prélevées chaque jour, cette surexploitation a accéléré le processus d'érosion dans la région où on voit à présent des terres agricoles détruites par la mer lors des tempêtes. Le processus d'érosion dépasse déjà la plage pour passer à l'intérieur des terres (photo n°5)

Conclusion :

Les mouvements dynamiques (l'érosion côtière), dans la zone de Club des Pins sont provoqués par des facteurs naturels, avec une très grande importance au facteur houle à laquelle elle peut causer des dégâts sur les infrastructures côtières lors d'une tempête, mais aussi accélérés par des facteurs anthropiques générant ainsi des problèmes d'ordre environnemental, susceptibles de s'aggraver dans le future.



Photo n°1 : Etat d'avancement de la mer sur une partie de la plage (vue de la côte).



Photo n°2 : Une embouchure d'eau usée dans la zone.



Photo n°3: Etat de recule de la plage.



Photo n°4 : Microfalaise formé sur site.



Photo n°5 : Recouvrement des escaliers par le sable.



Photo n°6 : Granulométrie grossière témoigne de la forte énergie de la houle.

Chapitre II

Matériel et méthode d'analyse

II-1 La réfraction de la houle

II-1-1 introduction

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

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

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

II-1-2 Principe de calcul de la réfraction de la houle

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

$$K_r = \frac{Hs_{local}}{Hs_{large}}$$

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

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

II-1-3 Donnée de base

II-1-3-1 Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte SHOM n°3030 intitulée « carte septentrionale d'Afrique partie comprise entre Alger et Cherchell-échelle : 1/100720 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois de juillet 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de protection du rivage du Club des Pins.

II-1-3-2 données de houles au large

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

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

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes (>10S), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles (tableau n°5).

Tableau n°5 : Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude :

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

II-1-3 Choix du secteur angulaire

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

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (tableau n°3) :

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

II-1-4 Déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction :

Afin de procéder à l'étude de la réfraction deux logiciels sont couplés il s'agit du logiciel des SIG *Mapinfo version 7.8* comme surface de saisie de données et d'acquisition de résultats, ainsi que le logiciel *SWAN* (Simulating waves Nearshore) comme calculateur. L'étude de la propagation de la houle sur un site réel comporte trois phases principales, présentées schématiquement sur l'organigramme ci-dessous:

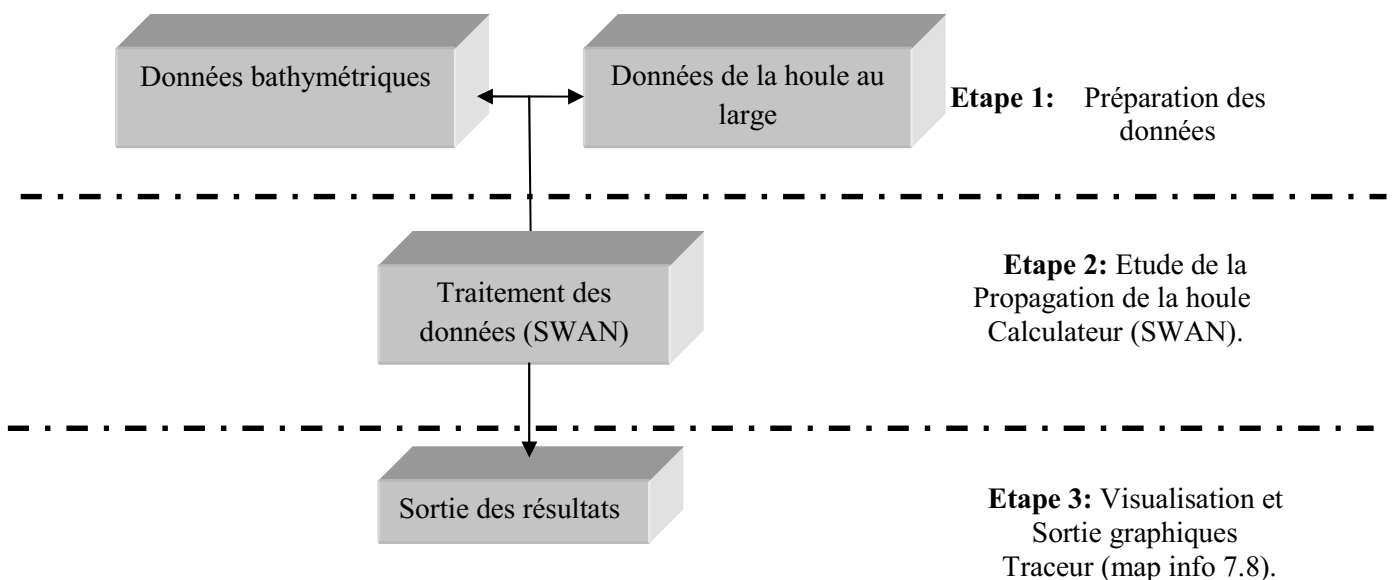


Figure n°13 : Organigramme du déroulement des étapes de la réalisation de la réfraction.

II-2 Mode du levé bathymétrique

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

Le récepteur GPS cinématique en temps réel (RTK ; Real Time Kinematic) permet de mesurer un point à une précision inférieure à cinq centimètres (<5 cm). Cette précision verticale permet de déterminer les corrections du niveau de l'eau (corrections des marées).

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

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

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

Ces données fournies par le LEM ont été exploitées à l'aide du logiciel Surfer pour la réalisation d'une carte d'isobathes et une carte en 3D de la bathymétrie

II-3 Mode du levé au sonar latéral

Le sonar à balayage latéral est un moyen d'exploitation qui a pour principe l'émission d'ondes acoustiques par un transducteur à partir d'un appareillage tracté (« le poisson ») sous la forme d'un faisceau oblique. Ces ondes se propagent vers le fond de l'eau, de part et d'autre du navire tracteur, jusqu'à la rencontre d'un obstacle correspondant aux fonds et/ou à des obstacles. La réflexion des ondes s'opère selon différentes directions, mais seule l'onde réfléchi suivant le même axe que l'onde incidente est reçue par le transducteur, qui joue alors le rôle de récepteur. Le signal rétrodiffusé est enregistré et visualisé sur un enregistrement sous forme de lignes successives juxtaposées suivant le déplacement du navire. Il en résulte une image, comparable à une photographie du fond en vue oblique qui aurait été réalisée avec un éclairage rasant. Le sonar à balayage latéral donne donc des informations capitales sur la nature des fonds par l'intensité de l'écho réfléchi et sur sa morphologie.

Des levés ont été exécutés suivant 41 profils parallèles espacés de 20m sur une longueur totale de profils de 50Km par le LEM à l'aide du sonar C-MAX 2 et d'un GPS cinématique en temps réel (RTK) qui permet le positionnement du levé utilisant la même méthodologie que celle du levé bathymétrique.

II-4 Etude sédimentaire

II-4-1 Positionnement des points de prélèvement

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

Pour réaliser l'étude sédimentologique. 50 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés au niveau de la zone d'étude.

L'étude sédimentologique a été effectuée sur 39 échantillons de sédiments superficiels prélevés en mer à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen, et 10 échantillons sur la plage (figure n°13), Les échantillons sont ensuite mis dans des sacs en plastique et étiquetés. Ces échantillons ont été analysés au laboratoire et les résultats ont permis d'établir la carte de répartition spatiale des sédiments.



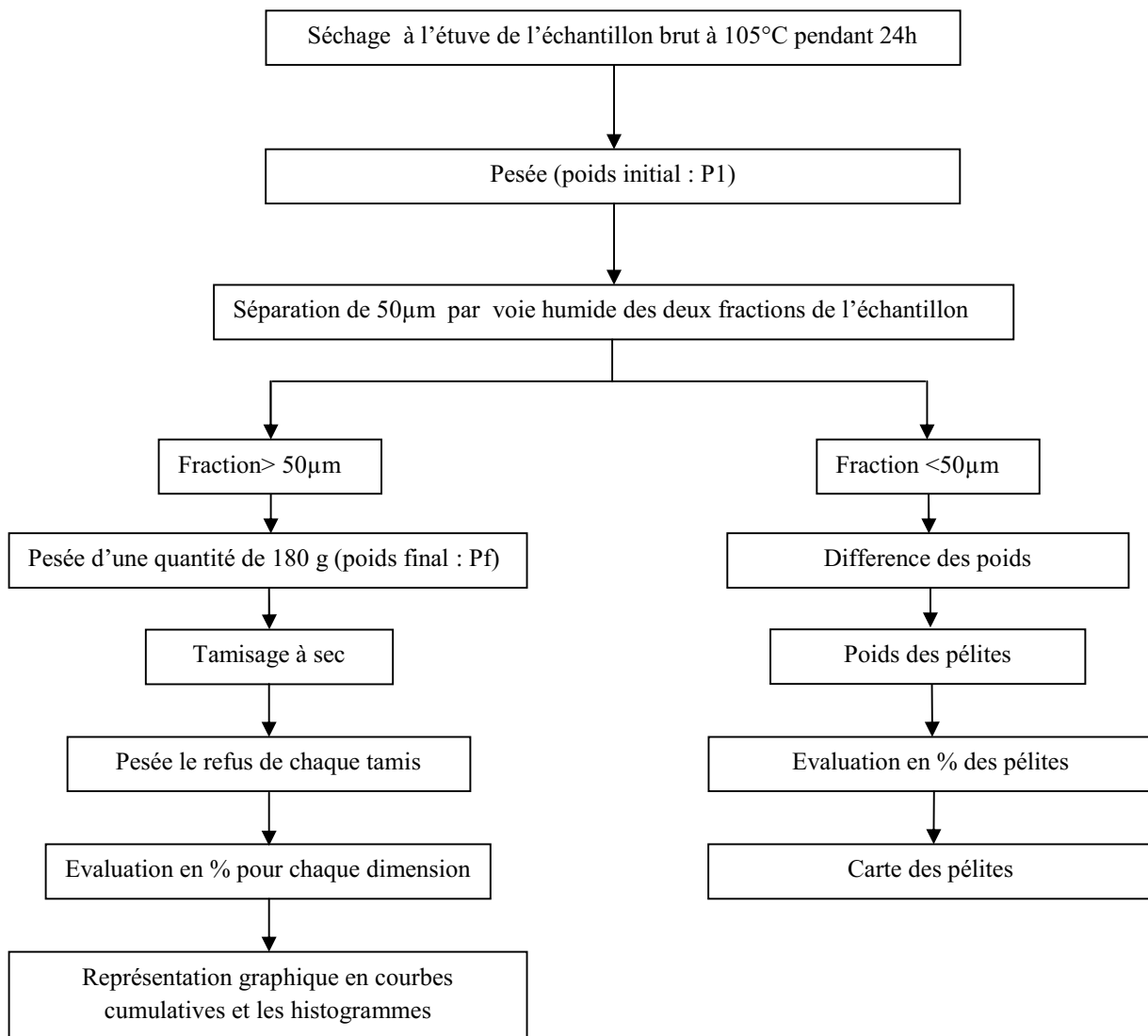
Figure n°14 : Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2010).

II-4-2 Méthode d'analyse au laboratoire

Chaque échantillon est mis dans le fond d'une boîte de pétri, et placé dans une étuve à 105°C pendant 24h. Une fois séchés, les échantillons sont passés sous un courant d'eau dans un tamis de 50µm de diamètre afin de soustraire les fractions fines. Les échantillons sont remis à l'étuve pendant 24h à 105°C. Une quantité de 180g de sédiment pour chaque station est tamisé par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant : 4000-3150-2500-2000-1600-1250-1000-800-630-500-400-315-250-200-160-125-100-80-63-50-40.

Chaque tamisage dure 10 minutes et le refus de chaque tamis est pesé et le pourcentage pondéral est calculé pour chaque classe granulométrique.

Remarque : les prélèvements d'échantillons et le tamissage à été effectués par le LEM



Exploitation des résultats :

- Cartes modales.
- Carte des médianes.
- Représentation des indices et des paramètres granulométriques.

Figure n° 15: Modalité d'analyse granulométrique.

II-4-3 La fraction fine

L'étude de la fraction fine consiste, d'abord à évaluer pour chaque échantillon le pourcentage de cette fraction fine inférieure à 50 µm dans un poids considéré, ensuite à établir une carte des pétilites qui montre la répartition de cette fraction au sein de la zone de Club des Pins.

II-4-4 la fraction grossière

II-4-4-1 Les paramètres de position

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

a- Les quantiles

- Q₁ : 25% : diamètre du grain à l'ordonnée 25% (quartile)
- D₅₀ : 50% : diamètre du grain à l'ordonnée 50% (médiane)
- Q₃ : 75% : diamètre du grain à l'ordonnée 75% (quartile)
- D₉₀ : 90% : diamètre du grain à l'ordonnée 90% (décile)
- D₁₀ : 10% : diamètre du grain à l'ordonnée 10% (décile)

b- Le mode granulométrique :

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

II-4-4-2 Les indices granulométriques

a- Indice de classement (S₀ ; sorting de trask) :

Cet indice S₀ permet d'apprécier le degré de classement d'un sédiment (TRASK, 1932)

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_{75}}{Q_{25}}}$$

Pour le classement, les valeurs adoptées sont les suivantes :

So < 1	très bien classé
1 < So < 2.5	bien classé
2.5 < So < 3	normalement classé
3 < So < 4	mal classé

b- Le coefficient d'asymétrie (SK ; Skewness de Trask):

Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane. Il est défini par la relation suivante :

$$SK = \frac{Q_{25} * Q_{75}}{(D_{50})^2}$$

- si Sk < 1, le classement est maximum vers les fines ;
- si Sk = 1, la symétrie est parfaite ;
- si Sk > 1, le classement est maximum vers les grossiers.

II-4-4-3 Analyse modale :

Le mode correspond à la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment. La carte de la répartition des modes permet d'apporter des précisions importantes quant à la sédimentologie générale. Elle montre le mélange des populations sédimentaires d'origines différentes et peut expliquer leurs modalités de mise en place.

II-4-5 Analyse calcimétrique :

L'étude calcimétrique a été effectuée sur 7 échantillons de sédiments superficiels prélevés en mer à l'aide d'une benne preneuse de type Van Veen, Les échantillons sont ensuite mis dans des sacs en plastique et étiquetés.



Figure n°16 : Situation des stations de prélèvements (Google Earth, 2010).

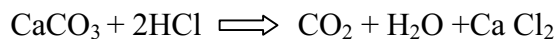
- **Définition**

La calcimétrie consiste à mesurer de la proportion de carbonates de Calcium (pourcentage CaCO_3 présents dans le sédiment). Elle donne des indications sur la productivité de surface et éventuellement des apports de carbonates détritiques. Elle permet de connaître la part des sédiments biogènes, ou débris de coquilles, et donc de suivre les migrations des sédiments nés dans des régions riches en faune et/ou en flore fabriquant du calcaire.

- **Principe de la méthode**

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

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



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

- **Mode opératoire**

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

- **Traitement des données :**

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

II-5 Application de la modélisation du transport sédimentaire

II-5-1 Introduction

Récemment de nombreuses études (McLaren et Bowles, 1985; Lanckneus, 1992; Gao et al., 1994; Ehrhold, 1994) ont utilisé un modèle de transport sédimentaire semi-quantitatif dont les principes émis par McLaren (1981) reposent sur la comparaison entre échantillons de trois paramètres sédimentologiques les plus usuels; la moyenne, l'indice de tri ("Sorting") et l'indice de dispersion ("Skewness"). L'originalité réside dans l'utilisation simultanée de ces trois paramètres statistiques dans la procédure de traitement analytique des données pour mettre en évidence les filiations entre les échantillons prélevés selon une maille à pas régulier, et les exprimer ensuite sous la forme de vecteurs de transport sédimentaire.

Une méthode de vecteur a été développée avec des modèles de tendances variées pour prendre en considération les modèles de transport possible qui ne peuvent être dérivé qu'empiriquement, puisque leur rapport avec les conditions hydrodynamique est inconnu (Gao et Collins 1994) ce qui permet pas d'estimer le mouvement du sédiment.

II-5-2 Procédure analytique

La réalisation de cette étude se fait en trois (3) étapes.

- **Etape n°1 : La préparation des données d'entrées (Shu 1996)**

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

	A	B	C	D	E	F
1	39	1	400			
2	2	488221	4068958	2,3866667	0,4559848	0,2437562
3	3	487826	4069423	2,7333333	0,7003788	0,0306031
4	4	488438	4068857	0,2266667	-0,6151515	0,1485772
5	5	488159	4069186	2,5733333	0,5338636	0,0813272
6	7	488376	4069085	2,3566667	0,4734091	0,2718616
7	8	487995	4069531	2,6433333	0,6706061	-0,1549423
8	9	488590	4068988	-0,8	-0,5269697	-0,2598001
9	10	488322	4069303	2,7133333	0,6289394	0,0237510
10	12	488531	4069211	2,3033333	0,4091667	0,3809135
11	13	488167	4069640	2,74	0,7044697	-0,0182387
12	14	488742	4069118	2,3366667	0,5152273	0,2365079
13	15	488485	4069420	2,4833333	0,4281061	0,2165472
14	17	488686	4069337	2,4733333	0,5134848	0,1195741
15	18	488337	4069748	2,6566667	0,6903030	-0,1909938
16	19	488893	4069249	2,6466667	0,6259848	-0,0987941
17	20	488648	4069536	2,0666667	0,4053030	0,2105263
18	22	488840	4069465	2,4066667	0,4802273	0,2246595

Figure n°17 : La grille d'entrée dans le model GSTA.

1 : le nombre des stations de prélèvement

2 : Un coefficient qui dépend de type des coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques on prend le numéro un (1)

3 : La distance critique (D_{CR}) ; est prise comme l'intervalle de l'échantillonnage spatial, maximal et spécifique. Les échantillons à comparer sont considérés comme étant des voisins, si ils sont égaux ou inférieurs à cette distance.

4 : les coordonnées en format métriques (X, Y)

5, 6, 7 : Sont des indices granulométriques

Les paramètres granulométriques suivants ont été obtenus à l'aide de la méthode de Folk et Ward (1957) :

$$5 : \text{Le diamètre moyen } (M_z) : \quad M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

$$6 : \text{L'indice de tri } (S_i) : \quad S_i = \frac{\phi_8 - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6,6}$$

$$7 : \text{L'indice d'asymétrie } (S_k) : \quad S_k = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(95\phi - \phi_5)}$$

Avec : $\phi(x)$ étant le diamètre en échelle Phi correspondant au pourcentage cumulé de x exprimé en millimètre ($\phi(x) = -\log_2 x$).

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

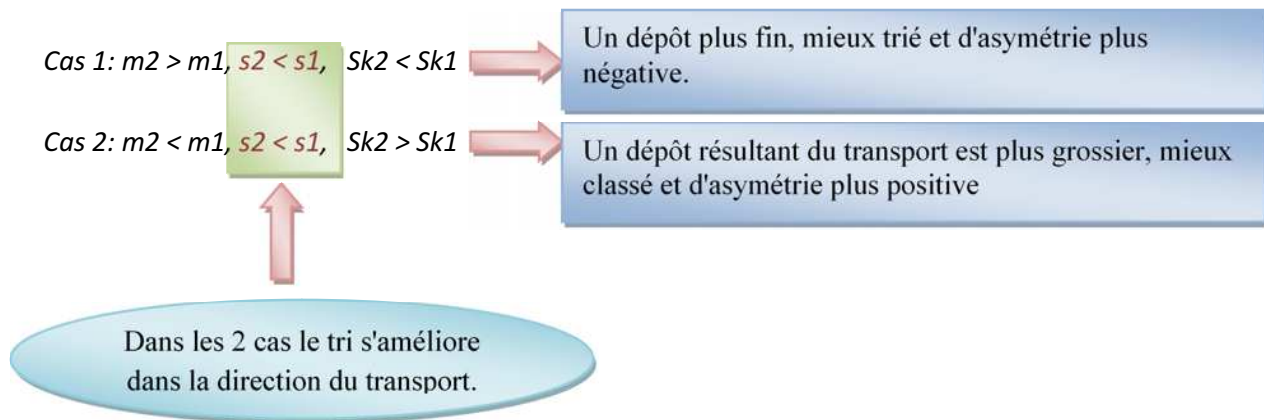
- **Etape n°2 : Utilisation du GSTA (Shu 1996)**

Le logiciel GSTA est un programme de Fortran dédié pour l'analyse de transport sédimentaire. Il suffit de spécifier le fichier d'entrée nommé GSTA.dat et le nom de sorti, pour qu'à la fin on obtienne un fichier qui contient les coordonnées des stations avec les directions de transport sédimentaire.

Le modèle mathématique GSTA est programmé pour faire les opérations suivantes :

Premièrement, les paramètres d'un échantillon sont comparés avec ceux des sites environnants tels que la distance entre les deux points soit inférieure ou égale à une Distance Critique d'échantillonnage (D_{cr}) qui correspond à la distance maximum séparant deux points adjacents. Un vecteur de grandeur unitaire ou vecteur de tendance $r(x,y)$ est dessiné à chaque fois que l'un des 2 cas sont observés entre 2 points, dans les 2 cas le tri s'améliore de l'amont vers l'aval du transport, qu'il s'agisse d'une diminution des tailles des grains ou d'une augmentation.

Le principe est de faire une comparaison unidirectionnelle entre deux prélèvements, et puisque on a trois paramètres à comparer, on se trouve avec 8 cas possibles, or les différentes applications en nature ont mené les deux auteurs à ne considérer comme significatif d'un transport sédimentaire que deux cas possibles. Lorsqu'un des deux cas est identifié entre les deux sites, un vecteur de tendance $r(x,y)$ est dessiné.



Deuxièmement, si un point d'échantillonnage génère plusieurs vecteurs, une sommation finale est faite de manière à obtenir un vecteur unique résultant tel que:

$$R(X, Y) = \sum_{i=1}^n r(X, Y) i$$

Enfin, une opération de filtrage est appliquée pour réduire une nouvelle fois le bruit causé par les vecteurs dont les directions sont éloignées de la direction générale du modèle, également pour faire participer au transport les sites qui ne répondent pas à l'un des deux cas. Les vecteurs sommations de chaque point sont additionnés au vecteur des points voisins situés toujours à une distance comprise dans Dcr.

$$R_{av}(X, Y) = \frac{1}{K+1} [R(X, Y) + \sum_{j=1}^K R_j]$$

R_j : est le vecteur sommation obtenu sur la base de l'équation (1)

K : le nombre total de sites pris en compte pour le calcul sur un point.

- **Etape n°3 : L'exploitation des données de sorti**

Les résultats doivent être traités avec Excel, puis exploités avec le logiciel surfer, l'option « vecteur map » permet de dessiner une carte des vecteurs modélisant le transport sédimentaire.

II-6 Etude microbiologique :

II.6-1 Le choix des stations et échantillonnage :

La détermination de la qualité bactériologique des eaux de la plage de Club des Pins, est conditionnée par le choix du site de prélèvement. Les points de prélèvement ont été choisis le 12 Mai 2010 initialement en fonction des zones de fréquentation maximale par les baigneurs et par les points de rejets. On a déterminé 03 points de prélèvements représentatifs de la qualité d'eau de cette zone (Figure n°18).



Figure n°18: Positionnements des stations des prélèvements (Google Earth, 2010)

- **Méthodes de prélèvement des échantillons :**

Les échantillons destinés à l'examen microbiologique sont prélevés au moyen de bouteilles stériles en verre, d'une contenance de 250 à 500 ml. Le prélèvement a été fait à la main, la bouteille est tenue d'une main, près de la base et plongée dans l'eau, le goulot vers le bas. La bouteille est penchée légèrement vers le haut pour déloger l'air et poussée en avant, afin d'éviter toute contamination. L'échantillonnage a été effectué à une profondeur de 15 à 30 cm sous la surface. Ensuite le bouchon est remis, la bouteille est étiquetée, placée dans une glacière (+04°C).

II-6-2 Méthodes d'analyse :

II-6-2-1 Analyses physico-chimiques :

- **Coloration :**

La coloration de l'eau de mer a été appréciée visuellement.

- **Température :**

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

- **Potentiel d'hydrogène pH :**

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

- **Salinité**

La salinité a été mesurée "*in situ*" par un salinomètre de marque *Wissenschaftlich technische Werkstätten « WTW »*.

- **La demande biologique en oxygène (DBO₅) :**

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

Un volume de 250 ml d'échantillon est introduit dans des flacons bruns en verre avec agitation magnétique. La consommation d'oxygène induit une production de CO₂ absorbé par un piège à soude créant ainsi une dépression enregistrée par le manomètre. Cette dépression est liée par corrélation à la DBO en fonction du volume de l'échantillon. La température est équilibrée par un thermostat réglé à 20°C.

- **Lecture :**

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

$$DBO_5 = X * F$$

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



Figure n°19: DBOmètre et Bouteilles de mesure

II-6-2-2 Analyses bactériologiques

Les germes test recherchés sont les coliformes totaux, coliformes thermotolerants, *E.coli*, streptocoques du groupe D, les staphylocoques, les vibrions et les salmonelles.

II-6-2-2-1 Méthodes de dénombrement :

Dans notre étude nous avons optés pour deux méthodes de dénombrement : la méthode de fermentation en tubes multiples appelée aussi méthode du nombre le plus probable (NPP) pour les échantillons de sédiment, et la méthode de filtration sur membrane pour les échantillons de l'eau de mer afin d'avoir une estimation plus exacte sur la charge bactérienne dans la zone d'étude.

a- Dénombrement par la technique du NPP

La méthode du NPP, avec mise en culture sur milieu sélectif, a été utilisée pour la numération des coliformes et les streptocoques fécaux dans les sédiments. (OMS/PNUE, 1995).

- **Dénombrement des coliformes totaux et des coliformes fécaux**

25g de sédiment étai misent dans un flacon contient 225 ml d'eau stérile. Les coliformes ont été dénombrés par ensemencement sur bouillon lactosé avec cloche de Durham, puis incubés à 37 °C pendant 48 heures (pour les coliforme totaux). Les cultures positives sont mises en bouillon lactosé bilié au vert brillant et dans de l'eau peptonée exempt d'indole et incubés à 44°C pendant 24h (Coliformes thermotolerants et *E. coli*) (figure n°20)

- **Dénombrement des streptocoques fécaux :**

La numération des Streptocoques du groupe D de la classification de Lancefield a été réalisée sur milieu de Rothe (test présomptif) avec subculture sur milieu d'Eva-Litsky à l'azide et Ethyl violet (test confirmatif), incubation à 37°C. (Figure n°21).

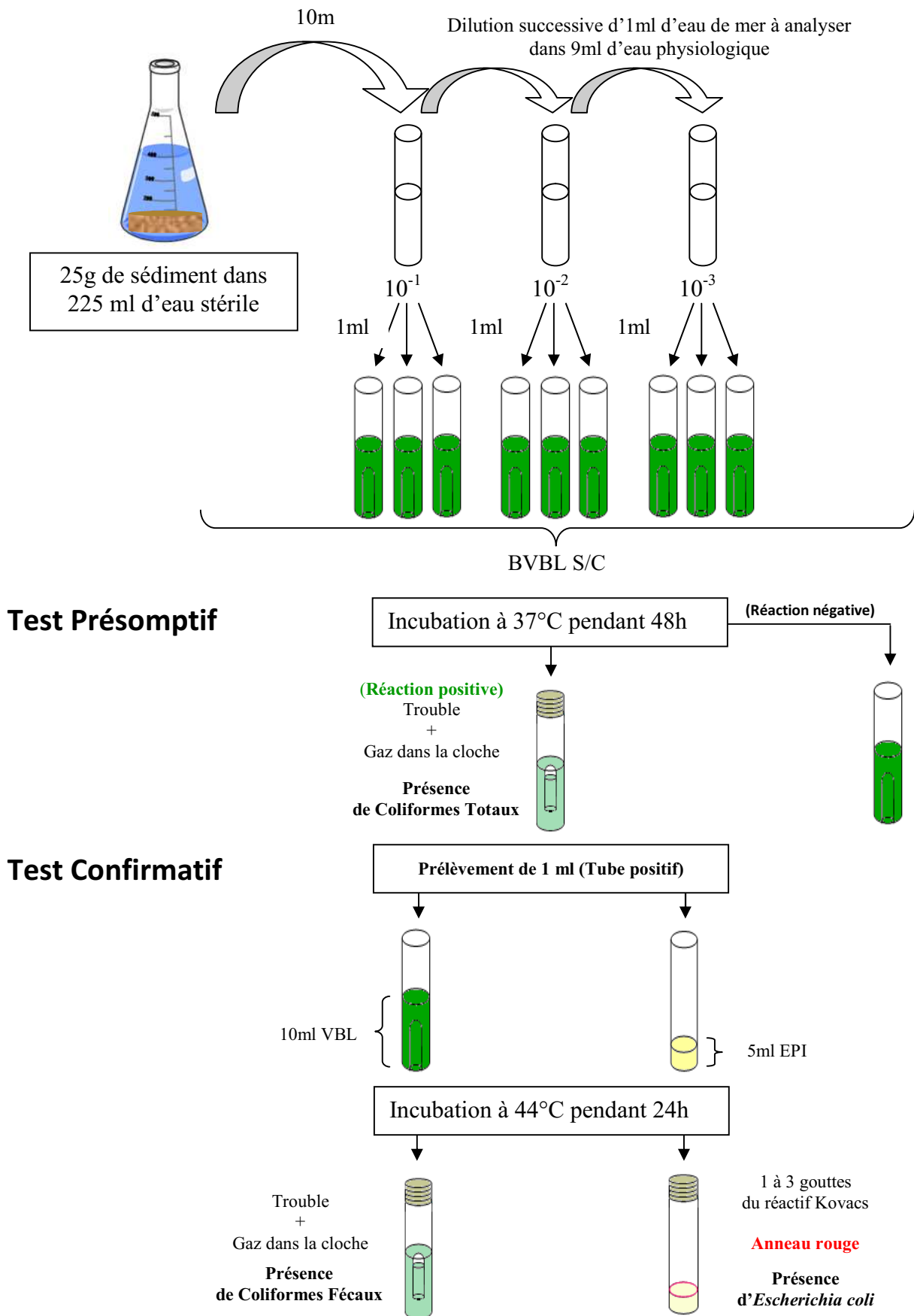


Figure n°20: Méthode de dénombrement des Coliformes fécaux et *Escherichia coli* dans les sédiments

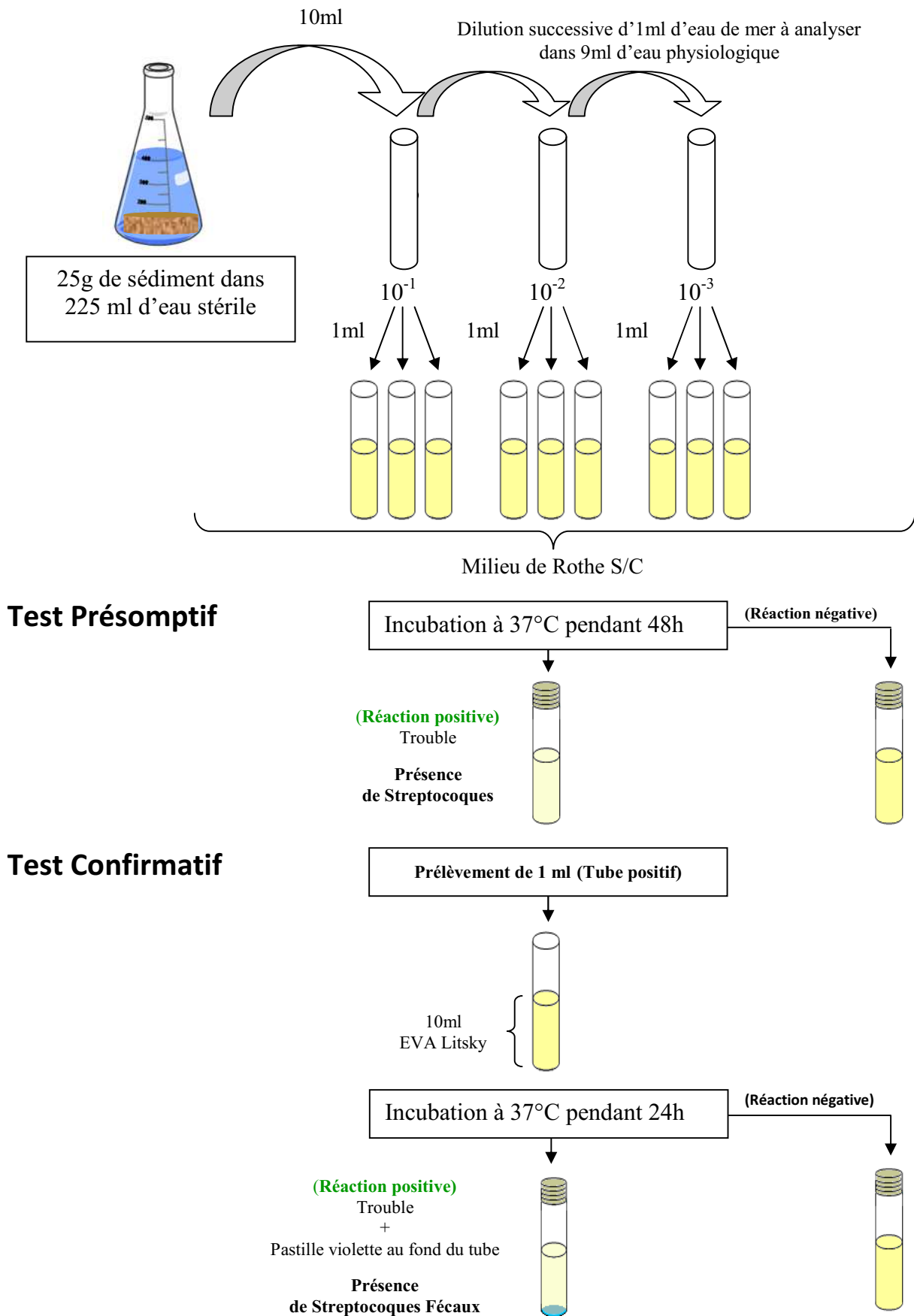


Figure n° 21: Méthode de dénombrement des Streptocoques Fécaux et *Escherichia coli* dans les sédiments

b- Dénombrement par la technique de filtration sur membrane MF :

- **Matériel :**

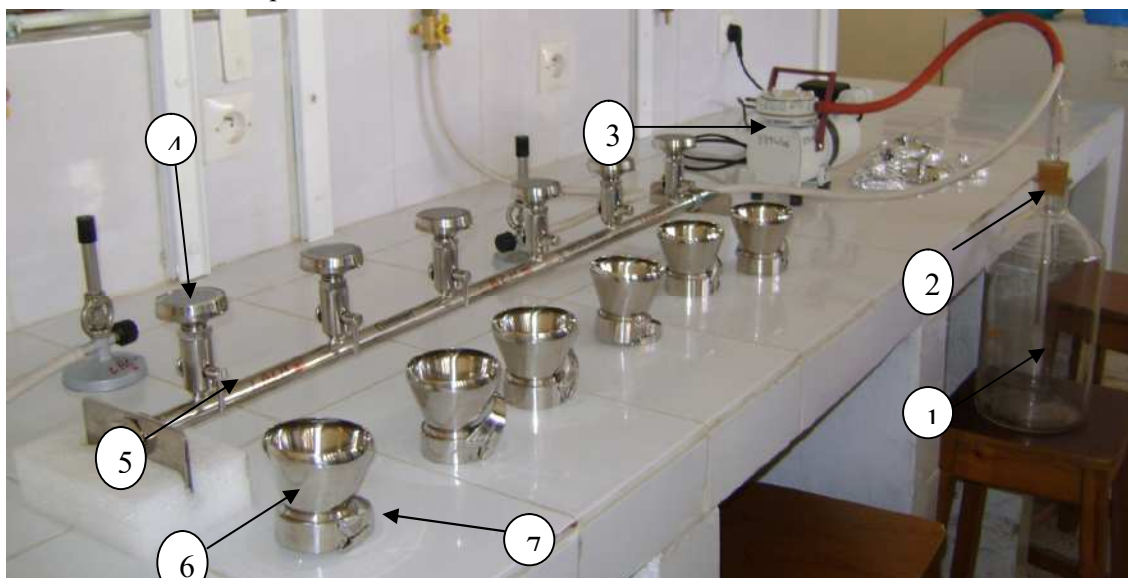
L'appareil est un simple système de filtration de marque **Sartorius** fonctionnant sous pression réduite (pompe à vide), Il contient un support à filtre qui reçoit la membrane de filtration et un flacon pour récupérer l'eau filtrée (figure n°22). Les membranes utilisées sont de marque millipore avec un diamètre de 0.45 μm .

- **Mode opératoire :**

La réalisation de la technique de filtration sur membrane a été faite selon les recommandations suivantes :

Devant un bec-bunsen et sur une paillasse javellisée

1. Lavage et stérilisation de l'équipement de filtration de pour flambage et mise en place de la pompe à vide ;
2. Prendre une membrane filtrante stérile près du bord à l'aide d'une pince stérilisée par flambage à la flamme et la déposer sur le support du filtre ;
3. Placer l'entonnoir sur le support et le fixer fermement verser dans chaque entonnoir un volume 100 ml de l'échantillon bien homogénéisé ;
4. Faire le vide jusqu'à filtration totale de l'échantillon ;
5. Retirer l'entonnoir et déposer la membrane filtrante à l'aide d'une pince stérile sur un milieu adapté bactéries recherchées ;
6. Déposer la membrane en la déroulant pour tenir un contact étroit avec la gélose (la présence de bulles d'air est signalée par des taches blanches) ;
7. Incrire sur la boîte de Pétri le numéro de l'échantillon et la date de filtration ;
8. Placer les boîtes de Pétri en position inverse et les incuber à une température donnée et pendant une durée spécifique pour chaque germe.
9. Flambage du dispositif par le bec-benzène après chaque échantillon filtré, afin d'éviter toute contamination possible.



1 : Fiole de récupération
3 : pompe à vide
5 : robinet

2 : bouchon
4 : plaque poreuse
6 et 7 : entonnoir

Figure n°22: dispositif de l'appareil de filtration sur membrane

- **Dénombrement des Coliformes totaux et Coliformes thermotolerants**

Un volume de 100 ml d'échantillon a été filtré, la membrane est déposée sur un milieu gélosé sélectif Tergitol-TTC. L'opération est répétée deux fois. L'une des boîtes est incubée à 37°C pendant 24-48h pour la recherche des coliformes totaux, et l'autre à 44°C pour la recherche des coliformes thermotolerants, (Tableau n°7)

- **Lecture :**

- ✓ **Pour les coliformes totaux :**

Après la durée d'incubation, les boîtes de Pétri sont retirées de l'étuve, et sur une pailleuse javellisée devant un bec bunsen, on compte les colonies rouges et jaunes.

- ✓ **Pour les coliformes fécaux :**

Après la durée d'incubation, on dénombre uniquement les colonies jaunes typiques.

- **Test confirmatif**

Cinq colonies jaunes ont été prélevées ont fait l'objet du test à l'urée-indole et d'une identification biochimique complète.

- **Dénombrement des Streptocoques:**

La réalisation de la technique de filtration est identique au précédent. Un volume de 100ml d'échantillon a été filtré. La membrane est déposée sur le milieu Slanetz, gélose glucosée contenant de l'azide et du TTC, et incubée à 37°C pendant 24 - 48h, (Tableau n°7).

- **Test confirmatif**

- A partir des boîtes des cultures sur gélose de Slanetz et Bartley précédentes, les membranes filtrantes sont retirées et déposées stérilement sur un autre milieu gélose BEA (Bile et Esculine Azide)

- Incubation environ 20 minutes devant le (CEAE, 2005a).à température ambiante

- **Lecture :**

L'apparition des colonies noires avec un halo clair confirme la présence des Streptocoque

- **Dénombrement des Staphylocoques:**

De la même manière, un volume de 100ml d'échantillon a été filtrée, la membrane est déposée sur un milieu gélosé de Chapman et incubée à 37°C pendant 24h, (Tableau n°8).

- **Dénombrement des anaérobies sulfito-reductrices :**

Les Sulfito-réducteurs sont souvent considérés comme témoins de pollution fécale ancienne. En effet, la forme sporulée est beaucoup plus résistante que les formes végétatives des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux. Ce test permet de détecter une pollution fécale ancienne ou intermittente. Pour le dénombrement des spores, on utilise le milieu à base de viande- foie additionné d'une ampoule d'Alun de Fer et une ampoule de Sulfite de Sodium par flacon de 250ml, les spores se manifestent sous forme de colonies entourées d'un halo noir. Le résultat s'exprime en nombre de spore par 20 ml (Rodier, 2005).

Tableau n°6 : Dénombrement des bactéries sulfito-réductrices



Milieu	Technique	Lecture	Tubes dénombrables	
			Test (+)	Test (-)
Milieu de viande- foie + Alun de fer et sulfite de sodium	<ul style="list-style-type: none"> -Tubes remplis de 20ml solution mère, maintenues au bain marie à 80°C , pendant 10mn(destruction des formes végétatif). - Refroidir directement les tubes. - Repartir le tube de 20 ml en 4 tubes de 5 ml. - Introduire dans chaque tube 15 ml de gélose Viande-foie liquéfiée, homogénéiser. -Incubation a 37°C 	<ul style="list-style-type: none"> -1^{ère} Lecture : après 24H - 2^{ème} lecture : après 48h <p>Apparitions des colonies noires.</p> <p>Les spore qui se sont développées en anaérobiose sont des bactérie produisant a partir des sulfite, des sulfures qui ont précipités avec les ions de fer : <i>Clostridium</i> sulfitoréducteurs</p>		

Tableau n°7: Recherche de CT, CF, SF par la méthode des MF


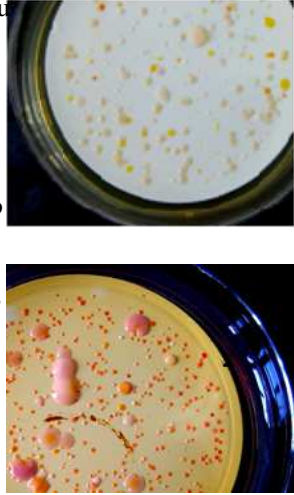

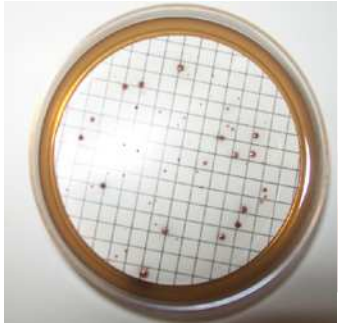


Germe recherché	Sélectivité du milieu d'ensemencement	Mode opératoire	Aspect du milieu avant utilisation	Aspect du milieu après
Coliformes	Le Tergitol 7 est un agent tensioactif inhibiteur de nombreux Gram+	- Filtration de 100ml de l'échantillon. A travers une membrane millipore stérile de 0.45µm.		<p>-Colonie rose rouge : réduction du TTC.</p> <p>-Colonie jaune : absence de réduction du TTC.</p> <p>Halo bleu-vert : lactose (-). Halo jaune : lactose+</p> <p><i>E. coli</i> et <i>Enterobacter aerogenes</i> donnent des colonies jaunes Les autres coliformes donnent des colonies rouges</p> 
Streptocoques fécaux	Le milieu de Slanetz et Bartley : milieu gélosé, qui sélectionne les Streptocoques Il contient du TTC et l'Azide de sodium un inhibiteur des gram -. Le TTC qui lors de sa réduction donne une coloration des bactéries en rouge	-Filtration de 100ml de l'échantillon. A travers une membrane stérile de 0.45µm.		<p>Les Entérocoques donnent des colonies de taille moyenne, rouges. Les <i>Bacillus</i> peuvent pousser et donner le même aspect de colonies, mais de taille plus importante.</p> 

Tableau n°8 : Recherche des Staphylocoques par la technique des MF

Germe recherché	Sélectivité du milieu d'ensemencement	Mode opératoire	Aspect du milieu avant utilisation	Aspect du milieu après
<p>staphylocoques</p>	<p>-milieu de Chapman - contient Une teneur élevée en NaCl qui permet la sélection des bactéries halophiles (comme les Staphylococcus) et inhibe la grande majorité des autres bactéries. - Un critère de différenciation : la fermentation du mannitol révélé grâce au virage de l'indicateur coloré de pH</p>	<p>-Filtration de 100ml de l'échantillon a travers une membrane stérile de 0.45µm.</p>		<ul style="list-style-type: none"> - Pas de virage (le milieu reste rouge): les colonies mannitol - car elle ne fermentent pas le mannitol. - Virage au jaune du milieu : les colonies sont mannitol + car elles fermentent le mannitol dans leur métabolisme énergétique avec acidification du milieu. 

II-6-2-2 La recherche des germes pathogènes :

La recherche des Salmonelles et des Vibrions est effectuée par la méthode qualitative, réalisée en trois étapes successives : Enrichissement, isolement et identification biochimique (CEAEQ, 2003.d).

a- Les Vibrions :

Les vibrions sont des germes pathogènes pour l'Homme, leur présence est intolérable dans le milieu marin.

- **1^{er} enrichissement :**

Le milieu d'enrichissement des Vibrions est l'Eau Peptonée Alcaline (EPA) concentrée 10 fois, 50 ml d'EPA, est complété avec 450 ml d'eau de mer, puis incubé à 37 °C, pendant 24h-48h.

- **1^{er} isolement :**

A partir du premier enrichissement, on procède à un isolement en stries très serrées d'une goutte prélevée en surface d'EPA positif (trouble), sur gélose TCBS, l'incubation est réalisée à 37°C pendant 24h.

- **Lecture sur TCBS:**

Les colonies apparaissent en :

- Petites colonies Vertes claires avec virage du milieu vers l'orange (réduction du saccharose).
- Colonies jaune brunes : *Vibrio cholerae*
- Colonies jaunes translucides de grande taille
- Colonies incolore au centre vert : *Vibrio parahaemolyticus*
- Colonies orange saumon
- Colonies marron de grande taille
- Colonies orange bombées, d'autres sont transparentes.

b- Les Salmonelles :

Leur recherche a été réalisée en trois étapes : enrichissement, isolement, identification biochimique.

- **1^{er} Enrichissement :**

Un premier enrichissement des Salmonelles est effectué par filtration d'un volume de 500 ml d'échantillon sur bouillon au sélénite de Sodium+Cystéine (SFB).

Le SFB favorise leur développement en inhibant par l'action du sélénite de Sodium, la croissance des coliformes et des Entérocoques (Merck ,1986). L'incubation est effectuée à 37°C pendant 18H à 48h

- **1^{er} Isolement :**

Du premier enrichissement, un isolement est réalisé sur un milieu d'isolement des Salmonelles et des Shigelles, bien que de nombreuses bactéries à Gram négatif puissent s'y développer. L'identification d'entérobactéries pathogènes repose sur le non utilisation des glucides présents dans la gélose. L'incubation est effectuée à 37°C pendant 24H.

- **La lecture :**

L'identification des bactéries isolées est basée sur l'attaque des trois sucres suivants : Salicine, lactose, et saccharose et la production d'H₂S à partir de thiosulfate. Sachant que les Salmonelles n'attaquent aucun de ces sucres.

- La présence de colonies bleues-verte à centre noir ou vert présume la présence de Salmonelles.
- Les colonies vertes sont : *Shigella* ou *Providencia, pseudomonas*.
- Les colonies saumon ; *Escherichia, Citrobacter, Klebsiella, Enterobacter, Serratia*
- Les colonies saumon a centre noir ; *Proteus, citrobacter*.

II-6-2-3 Techniques de caractérisation des bactéries :

a- La coloration de Gram :

C'est un test signalé par Christian Gram en 1884 et reste utilisable jusqu'à l'heure actuelle. Il permet la distinction entre deux groupes bactériens, les Gram + et les Gram -.

La paroi des Gram- semble contenir 20 % de lipides qui se dissolvent dans l'alcool augmentant ainsi la perméabilité cellulaire, ce qui facilite l'élimination du colorant violet du cytoplasme. La fuschine, colorant basique, permettra au G- d'acquérir une nouvelle coloration rose.

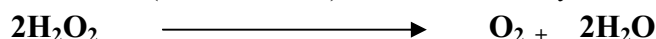
La paroi des Gram+ ne contient que 05 % de lipides, l'alcool entraîne l'élimination d'eau et le rétrécissement des pores et donc la rétention du violet de Gentiane au niveau du cytoplasme (Joffin et Leyral, 2001).

• Protocole de la coloration de Gram

Un frottis fixé à la chaleur et coloré pendant une minute avec une solution de violet de gentiane, le frottis coloré est rincé rapidement avec une solution iodo-ioduré de Lugol, et il y est maintenu pendant une minute. Le frottis est ensuite décoloré avec l'alcool à 95 % pendant quelques secondes jusqu'à élimination de l'excès du colorant puis rincé immédiatement avec l'eau du robinet. Le frottis est ensuite traité avec un colorant qui est une solution de Fushine, rincé rapidement au robinet et séché. Après ce traitement, les cellules Gram négatif apparaissent roses et les cellules Gram positif apparaissent sous une couleur violette (Singleton et Sainsbury, 1984).

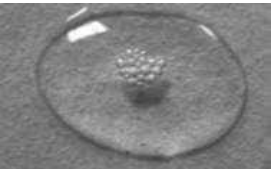
b- Test de la catalase:

Cette enzyme catalyse la décomposition du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) qui est produit par certaines réactions cellulaires et est très toxiques, donc c'est l'une des enzymes chargée d'éponger l'eau oxygénée par la dis mutation (Pelmont, 1993). La réaction catalysée est la suivante :



Le test de la catalase consiste essentiellement à ajouter du peroxyde d'hydrogène à des bactéries : la présence de catalase donne lieu à l'apparition de bulles d'oxygène.

Tableau n°9 : Test de la catalase

Recherche de la catalase			
Milieu et réactif	Technique	Résultats	
- Peroxyde d'hydrogène : Eau oxygénée a 10 volumes (H_2O_2).	- A l'aide d'une pipette de pasteur, transférer à partir d'une gélose, une partie d'une colonie si les colonies sont moyennes et plus d'une colonie si les colonies sont petites. Sur une lame de verre propre ajouter une goutte de peroxyde d'hydrogène (H_2O_2 à 10%) sur la colonie placée sur la lame.	Catalase (+).  effervescence (bulles de gaz).	Catalase (-) absence d'effervescence.

a- Test de la catalase

Imbiber un disque « Ox » commercialisé avec une goutte d'eau distillée ou d'eau physiologique stérile, puis prélever une partie de la colonie à étudier à l'aide d'une pipette Pasteur boutonnée stérile et l'étaler sur le disque. Une coloration violet foncée, apparaît immédiatement ou en quelques secondes : Test oxydase⁺.

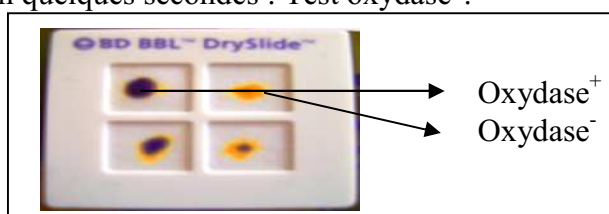


Figure n°23 : Disque « Ox » qui sert à la détermination de l'oxydase des bactéries.

II-6-2-4 Isolement et l'identification de quelques bactéries

L'isolement est une technique qui nécessite des milieux gélosés, contenant de nombreux facteurs de croissance et parfois des inhibiteurs les rendent sélectifs. Il permet :

- La séparation des bactéries d'un mélange polymicrobien.
- L'obtention des colonies d'espèces différentes espacées les unes les autres.
- L'identification biochimique des bactéries a été réalisée à l'aide des galeries API 20.

a- Isolement et l'identification des Entérobactéries :

- **Les coliformes** : L'isolement des coliforme totaux et fécaux a été effectué à partir des boites de filtration sur membrane du milieu de Tergitol-TTC sur gélose Endo-Agar et incubation à 37°C, pendant 24H.
 - Teste d'oxydase et de catalase ;
 - Coloration de Gram et observation au microscope photonique au grossissement 100 ;
 - Identification biochimique par la galerie Api 20E.
- **Les salmonelles** : à partir des boites de SS (milieu d'isolement des Salmonelles et des Shigelles), les colonies typiques ont été réisolées.
 - Coloration de Gram et observation au microscope au grossissement 100.
 - Identification biochimique par le lancement de la galerie Api 20E

b- Isolement et l'identification des non Entérobactéries :

L'isolement et l'identification des Vibrions ont été effectué à partir des flacons positifs d'EPA par ensemencement en stries serrées sur gélose TCBS, incubé à 37°C, pendant 24H.

- Test d'oxydase;
- Coloration de Gram observation au microscope photonique au grossissement *100 ;
- Identification biochimique par la galerie Api 20E et API 20 NE

d- Isolement et l'identification des Staphylocoques :

L'isolement des Staphylocoques a été effectué à partir des boites de filtration sur membrane du milieu de Chapman. L'incubation a été faite à 37°C, pendant 24H. La coloration de Gram a été effectuée pour les colonies typiques jaunes dorées isolées sur Chapman.

- Test de catalase
- Coloration de Gram observation au microscope photonique au grossissement *100
- Identification biochimique par la galerie Api 20 STAPH.

Chapitre III

Etudes, résultats et discussions

III-1 Etude de la réfraction de la houle

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

III-1-1 Les houles au large de Direction Ouest

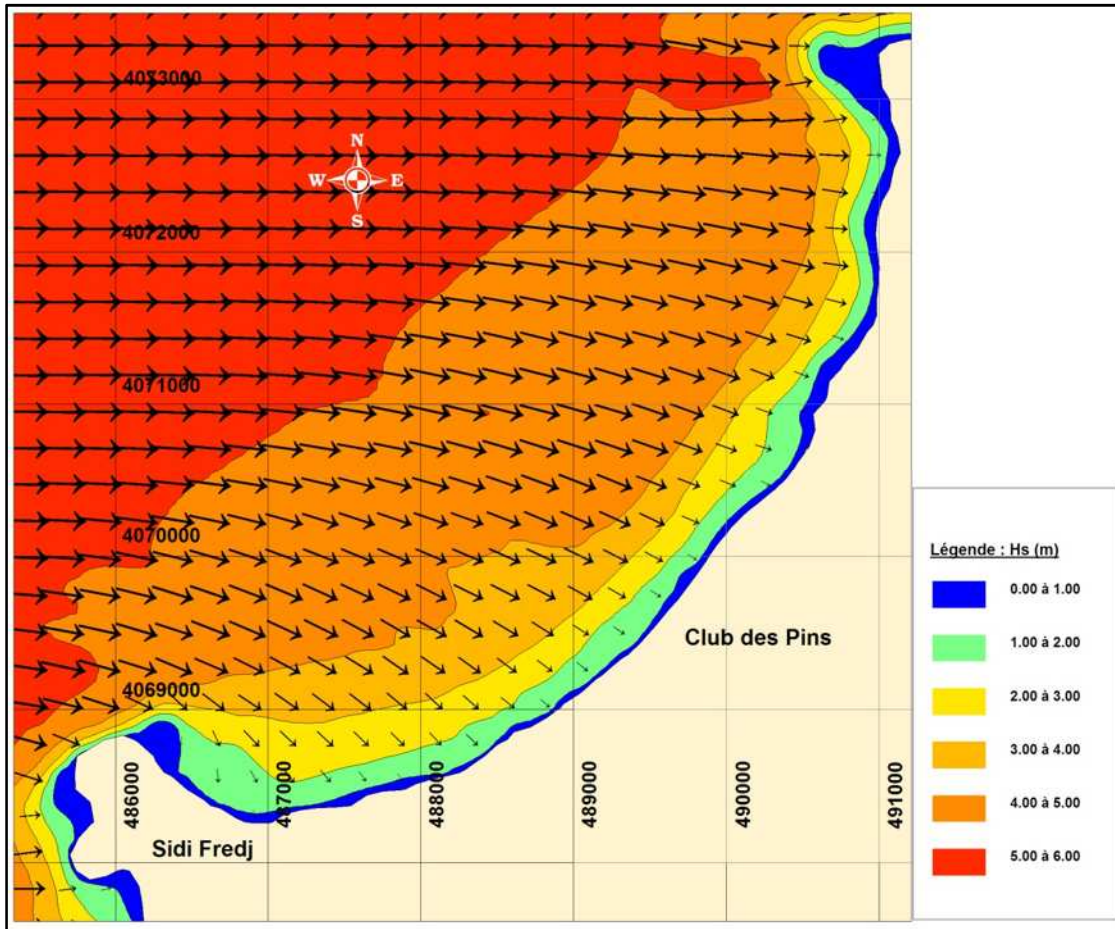


Figure n°24: Réfraction de la houle pour une direction 270°N et une période de 10s (LEM, 2009)

Commentaire :

Les houles de direction Ouest sont les plus énergétiques (tableau n°3), et peuvent atteindre la zone de Club des Pins, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,74 à 10 m de profondeur (annexe n°3). Elles perdent que peu de leur énergie de large qui s'opèrent sur cette figure de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte.

La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord-Ouest à Nord avec un angle moyen de 22°. Les houles de l'Ouest atteignent notre zone frontalement, c'est la houle qui va être utilisée dans le dimensionnement.

III-1-2 Les houles au large de direction Nord-Est

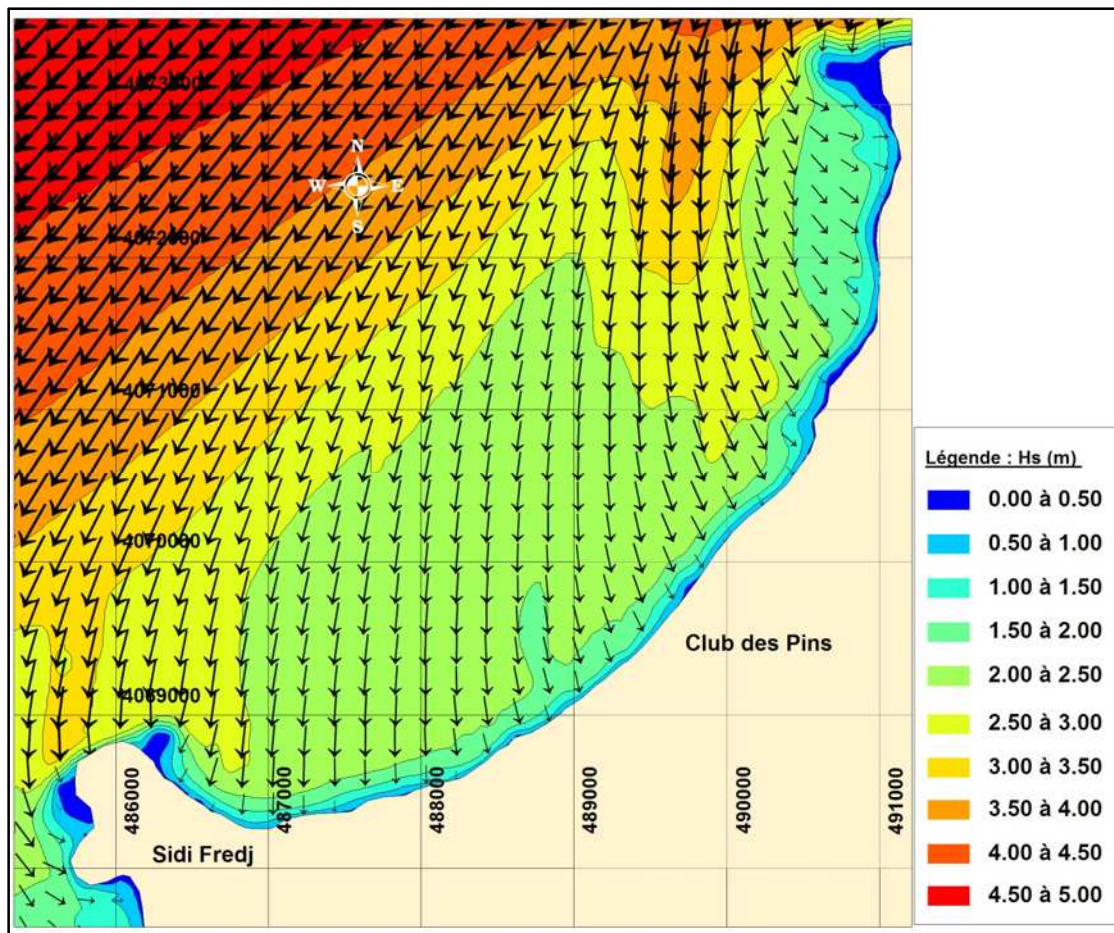


Figure n°25: Réfraction de la houle pour une direction 45°N et une période de 10s (LEM, 2009)

Commentaire :

L'étude de la réfraction sur ce cas démontre que pour une houle de secteur Nord-Est et de période de 10 secondes, la réfraction s'opère sur cette dernière de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte, avec un coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,45 à 10m de profondeur. Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie de large, qui apparaît naturellement abrité par la présence du Ras Acrata.

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

III-1-3 Les houles au large de direction Nord

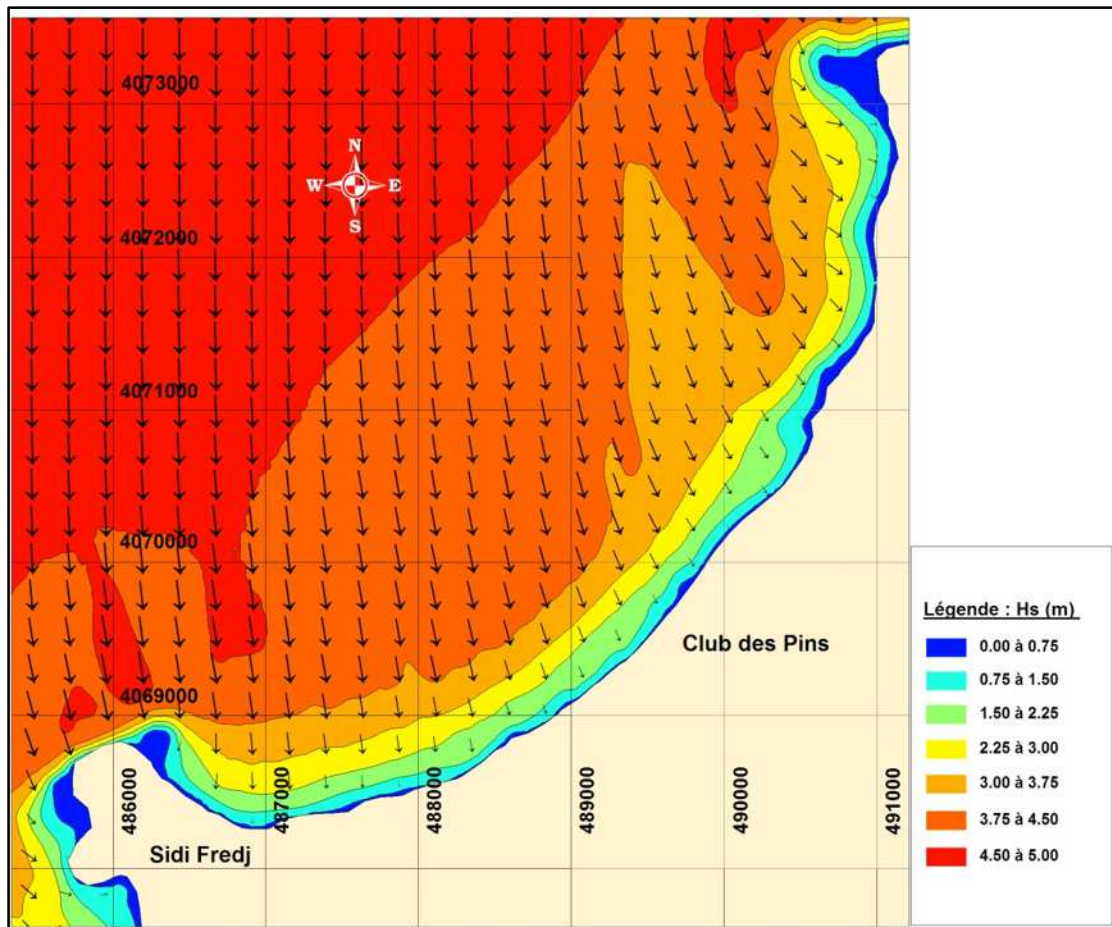


Figure n°26: Réfraction de la houle pour une direction 360°N et une période de 10s (LEM, 2009)

Commentaire :

La figure présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord et de période de 10 secondes, la propagation se fait de façon quasi frontale, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.77 à 10 m de profondeur, donc les houles ne perdent que peu de leur énergie.

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

III-1-4 Les houles au large de direction Nord-Ouest

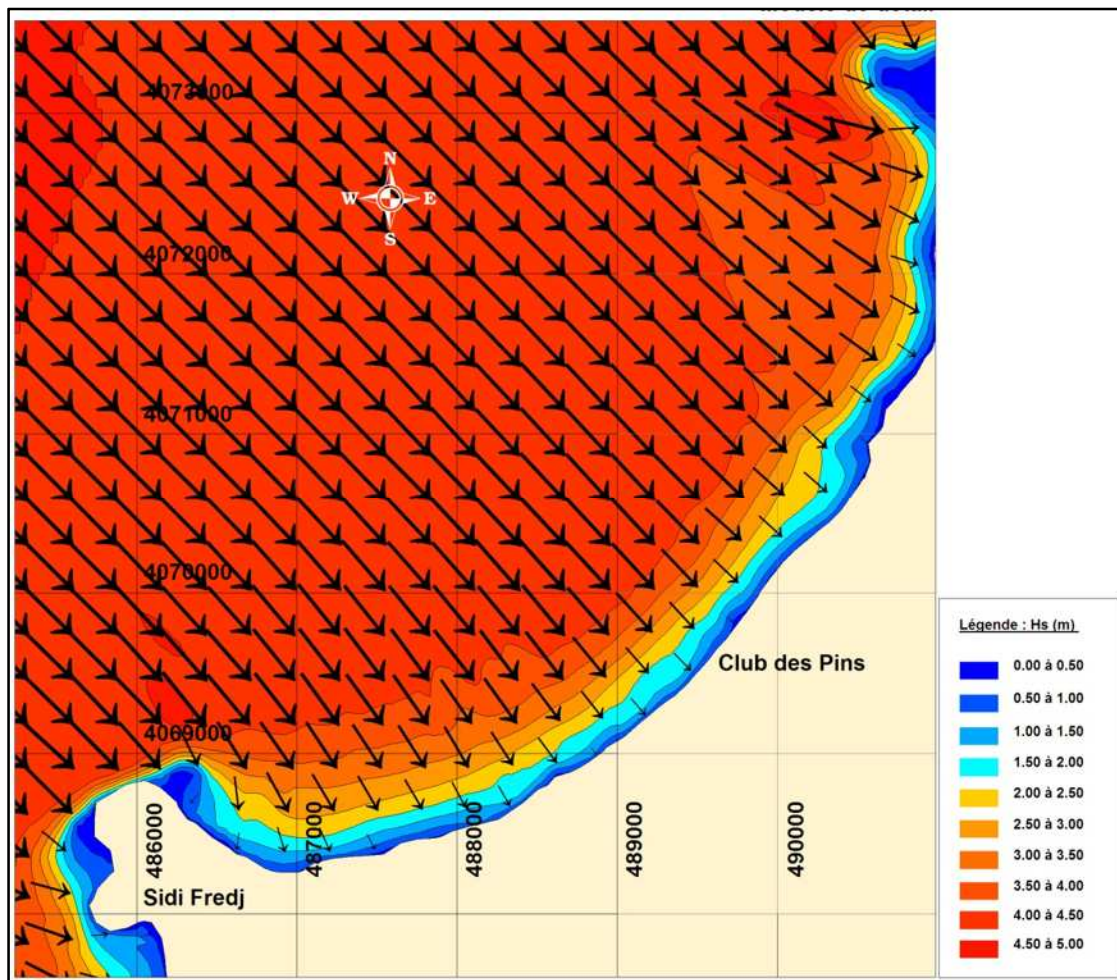


Figure n°27: Réfraction de la houle pour une direction 315°N et une période de 10s (LEM, 2009)

Commentaire :

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

III-1-5 Conclusion sur l'étude de la réfraction de la houle:

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer sur la zone de Club des Pins sont les houles de l'Ouest, elles sont responsables de transit littoral, et elles vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

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

III-2 Etude bathymétrique

III-2-1 La morphologie sous marine

La carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières, espacées et parallèles à la côte. La morphologie sous marine est régulière jusqu'à l'arrivée au transect A (- 4m), cependant, elle est marquée entre les deux transects A et B (isobathes -4 m et -3 m) par la présence de barres régressives comprises entre P2 et P4 et des creux plongeants (fosses de lévigation), disposés parallèlement à la côte.

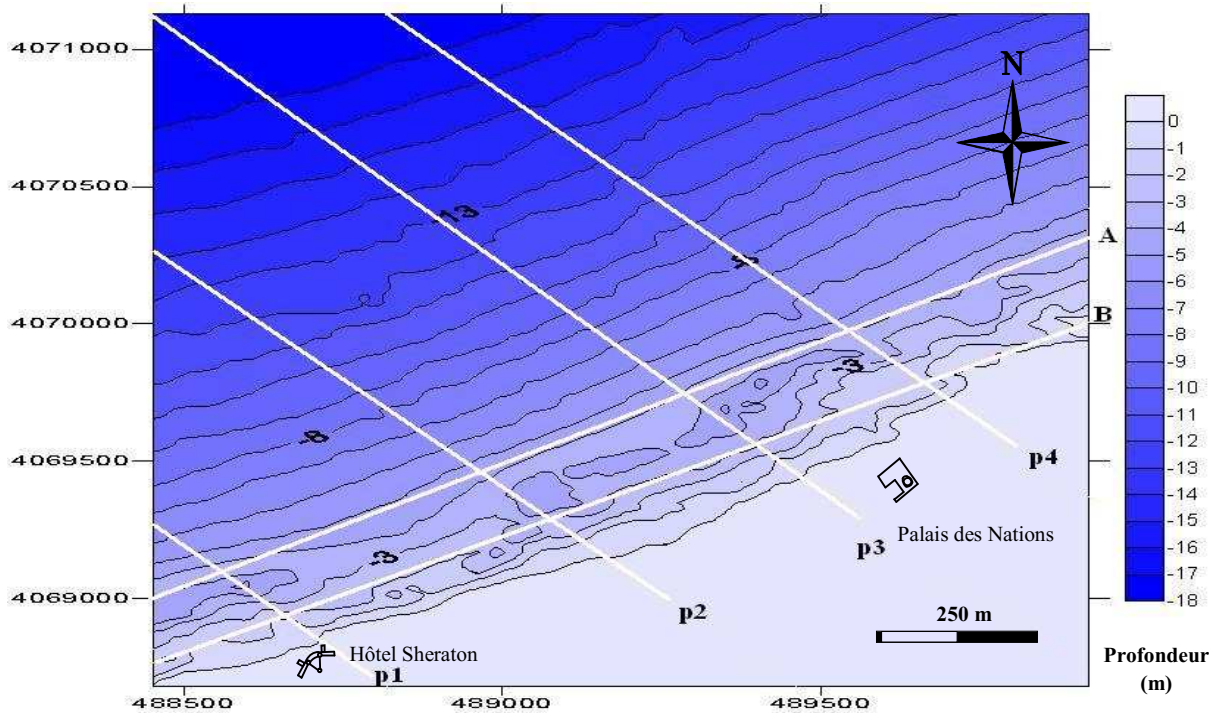


Figure n°28 : Carte bathymétrique de Club des Pins, 2009

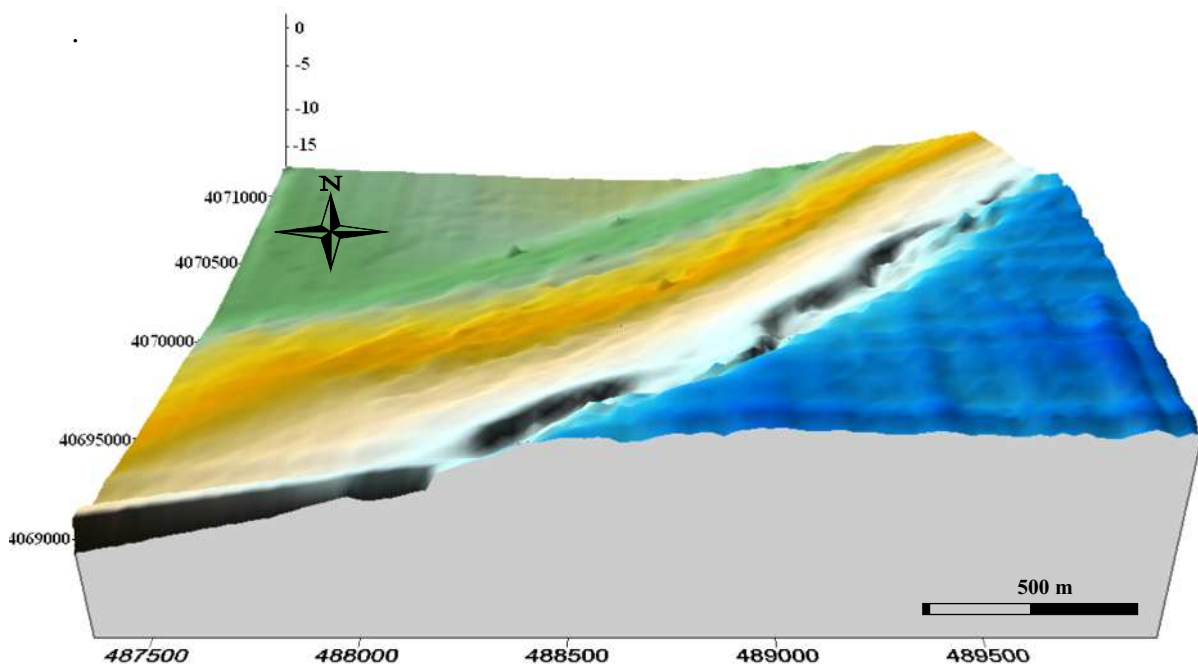


Figure n°29: Carte bathymétrique en 3D de Club des Pins, 2009

- **Processus de formation des barres :**

Lors des fortes turbulences, causés par les tempêtes et les vents locaux, le haut de plage et la dune se dégarnissent, et les sables arrachés ainsi s'accumulent dans la zone externe au déferlement, en donnant un nouveau profil de plage défini par une barre et une fosse. La barre, alimentée par le courant de dérive littoral s'étend latéralement tout en restant parallèle au rivage. L'extension latérale de la barre est interrompue par la formation d'espace inter-barre causé par le courant de retour.

Dans les mers à faible marées et généralement en plage droite, il existe un état morphologique caractérisé par un profil ayant une barre et une fosse disposées parallèlement au rivage.

Le flanc interne de la barre où se produit le premier déferlement descend abruptement vers la fosse de lévigation où se processus s'avère absent car la profondeur est très grande pour l'énergie restante, le déferlement reprend une série successif sur le talus de la plage jusqu'à la ligne de rivage. (L.D.Wright et P.Nilesen, 1986).

Lors du déferlement des courants de dérive et des particules en suspension sont mis en évidence. Le transport de ces particules à lieu sur la première ligne par des rouleaux, par conséquent, c'est sur la barre où s'observe les éléments les plus grossiers.

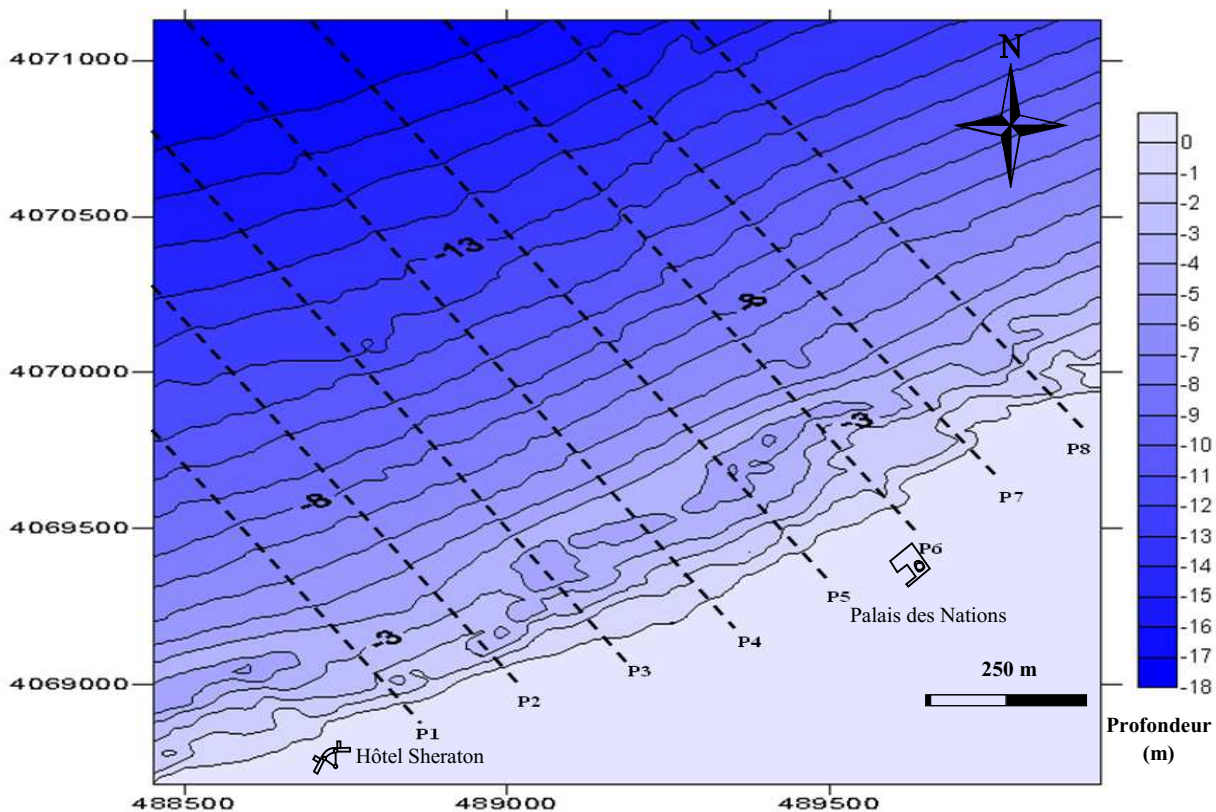


Figure n°30: Carte bathymétrique et les profils tracés dans le secteur de Club des Pins.

III-2-2 Les profils :

Huit profils sont tracés sur la carte bathymétrique afin d'étudier au mieux la morphologie sous marine et comprendre l'évolution du fond (annexe n°4).

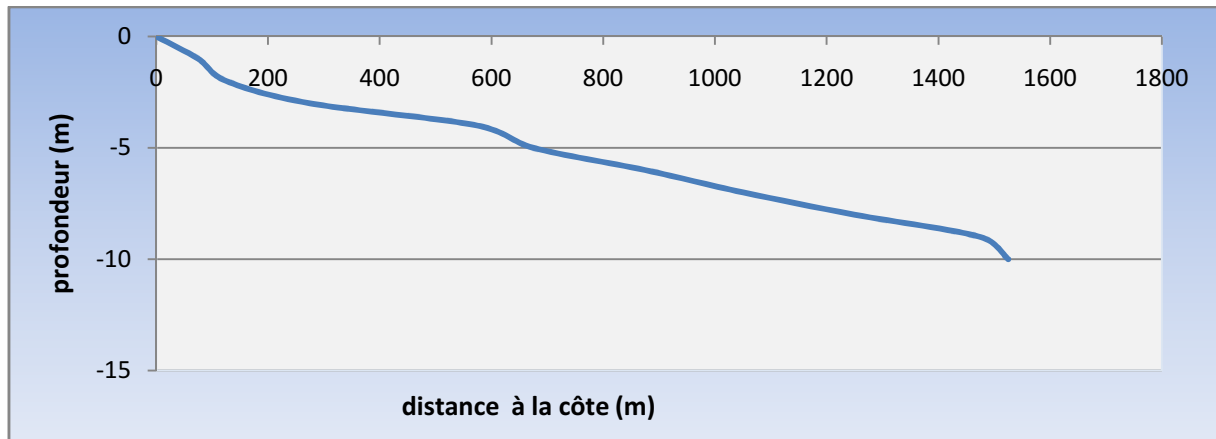


Figure n°31 : profil sous marin n°01

- **Profil 01 :**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 2 mètres de profondeur, puis continue à descendre en pente douce jusqu'à -4m où il présente une première rupture de pente modérée, puis il continue à évoluer en pente douce jusqu'à -9m de fond, où s'amorce une seconde rupture de pente allant jusqu'à 12 m de profondeur. La pente générale est de 0,99 %.

- **Profil 02**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 2 mètres de profondeur, évolue en pente douce sur un mètre de profondeur, puis entame une rupture de pente modérée jusqu'à -4m et continue par un replat vers le large. La pente générale est de 0,91 %.

- **Profil 03**

Le profil descend en pente raide qui s'accroît entre -2 et -3 m mètres de profondeur, avance en pente douce, puis entame une rupture de pente à -4m de fond pour descendre en pente douce jusqu'à 11 mètres de profondeur où il entame une seconde rupture de pente jusqu'à -12m et redescend en pente douce vers le large. La pente générale est de 0,80 %.

- **Profil 04 et 05**

Les profils évoluent normalement en pente douce jusqu'au environ de 3 mètres de profondeur où ils chutent de façon brutale pour former une fosse de lévigation suivi d'une barre de déferlement, vers le large, les deux profils ne présentent aucune morphologie particulière ; ils descendent en pente douce. La pente générale est respectivement de 0,87%et 0.90%.

- **Profil 06**

Le profil descend en pente douce jusqu'à -3 mètres de fond où il plonge pour former une fosse de lévigation suivi d'une barre de déferlement, le profil continue à descendre en pente douce vers le large. La pente générale est de 0.90%.

- **Profil 07**

Sur tout le profil, l'évolution se fait en pente douce avec rupture de pente notamment entre -2 et -3 mètres de fond, à -4 mètres et à -13 mètres. La pente générale est de 0,90%.

- **Profil 08**

Le profil descend en pente raide jusqu'à ce qu'il s'accroisse entre -2 et -3 m mètres de profondeur, il descend en pente douce, il n'y a aucune morphologie particulière ; il descend en pente douce vers le large. La pente générale est de 0,90%.

III-2-3 Conclusion sur l'étude bathymétrique

D'une manière générale, le fond marin de notre zone d'étude se caractérise par un relief monotone et étagé par endroits. Les profils 4, 5 et 6 présentent une morphologie particulière caractérisée par des profils ayant une barre et une fosse disposées parallèlement à la côte. A partir de -4 mètres, les isobathes sont généralement parallèles à la côte, la pente générale du fond est de l'ordre de 1%.

III-3 Analyse du sondage sismique (sonar latéral)

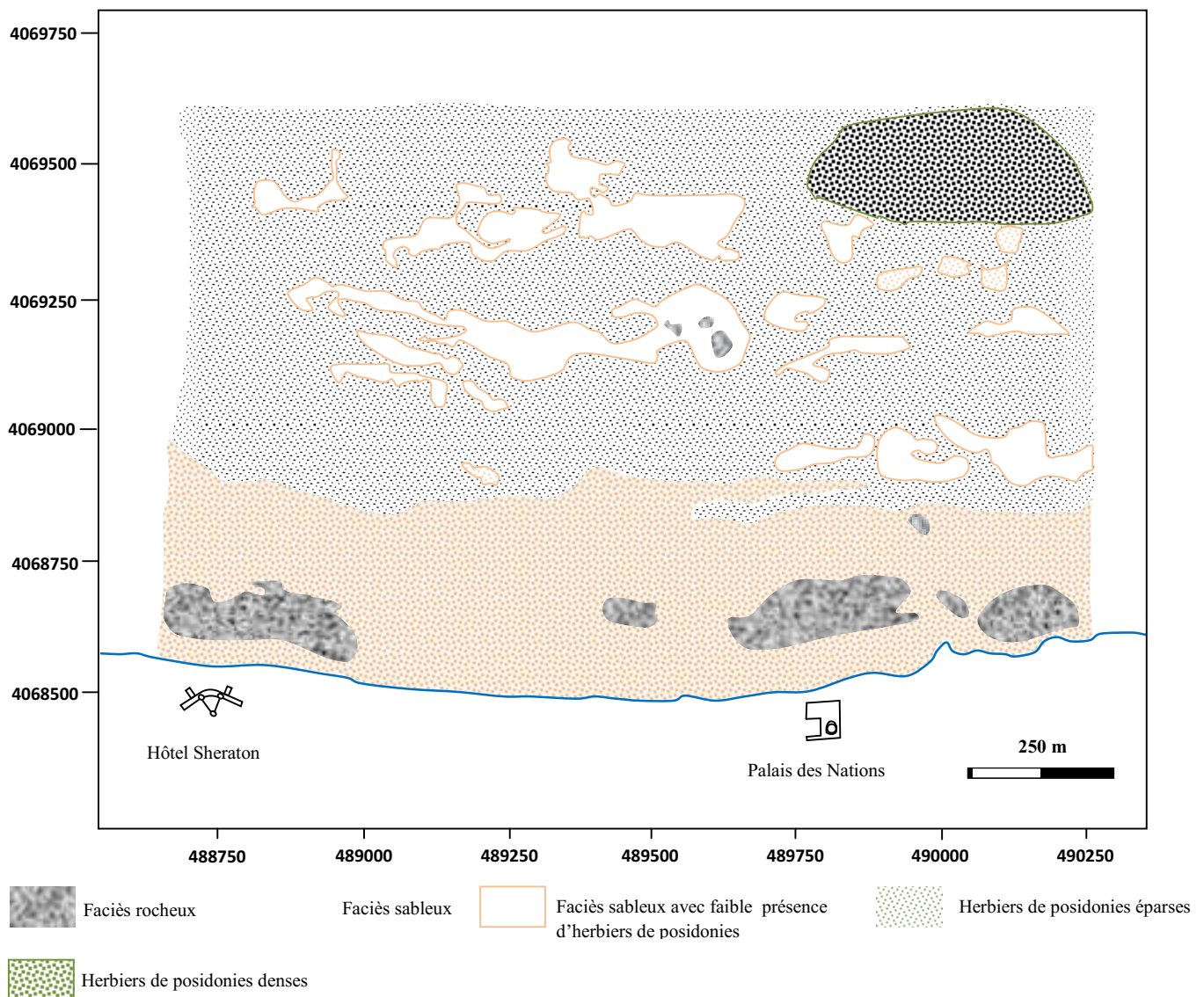


Figure n°32 : Carte schématique présentant les résultats acquis par sondage à balayage latéral (d'après LEM 2009)

III-3-1 Les facies sous marins

Les informations recueillies sur cette figure concernent la nature et le relief du fond de notre zone, ainsi, cinq facies sont distingués:

- **Facies à substrat dure (rocheux) :** qui se répartisse séparément de façons parallèles au trait de côte, on distingue aussi un petit affleurement au centre de notre zone.
- **Facies à substrat meuble (sableux) :** il se présente sur toute la partie près du rivage et évolue jusqu'à l'apparition de substrat présentant l'herbie à posidonie.
- **Herbier à posidonie épars:** recouvre le reste de la zone et évolue vers le large, il inclut les deux derniers facies, dans lequel l'herbier se présente avec un recouvrement variable entre dense, moyen et très peu présent.
- **Facies sableux avec faible présence d'herbier à posidonie :** c'est un substrat où la présence d'herbie est faible et qui se limite à quelques touffes. Le passage à ce facies s'accompagne par un changement de pente (une rupture), ceci confirme que la présence de l'herbier procure au fond l'option de flexibilité vis-à-vis de l'activité hydrodynamique.
- **Herbier à posidonie dense :** se limite à une petite portion à l'extrême Nord Est sur notre carte, dans cette zone l'herbier présente une densité assez considérable.

III-3-2 Conclusion sur l'étude de sonar latéral

L'étude au sonar à balayage latéral réalisée dans notre zone d'étude revêt une approche innovante pour l'étude des sédiments superficiels, malgré les profondeurs d'eau parfois faibles, cette méthode de prospection a permis de réaliser une couverture assez bonne dans la majeure partie de la zone. Les barres et les fosses observées sur la carte bathymétrique se situent entre les faciès rocheux et prennent leurs formes.

III-4 Etude sédimentologique

III-4-1 Analyse de la fraction fine

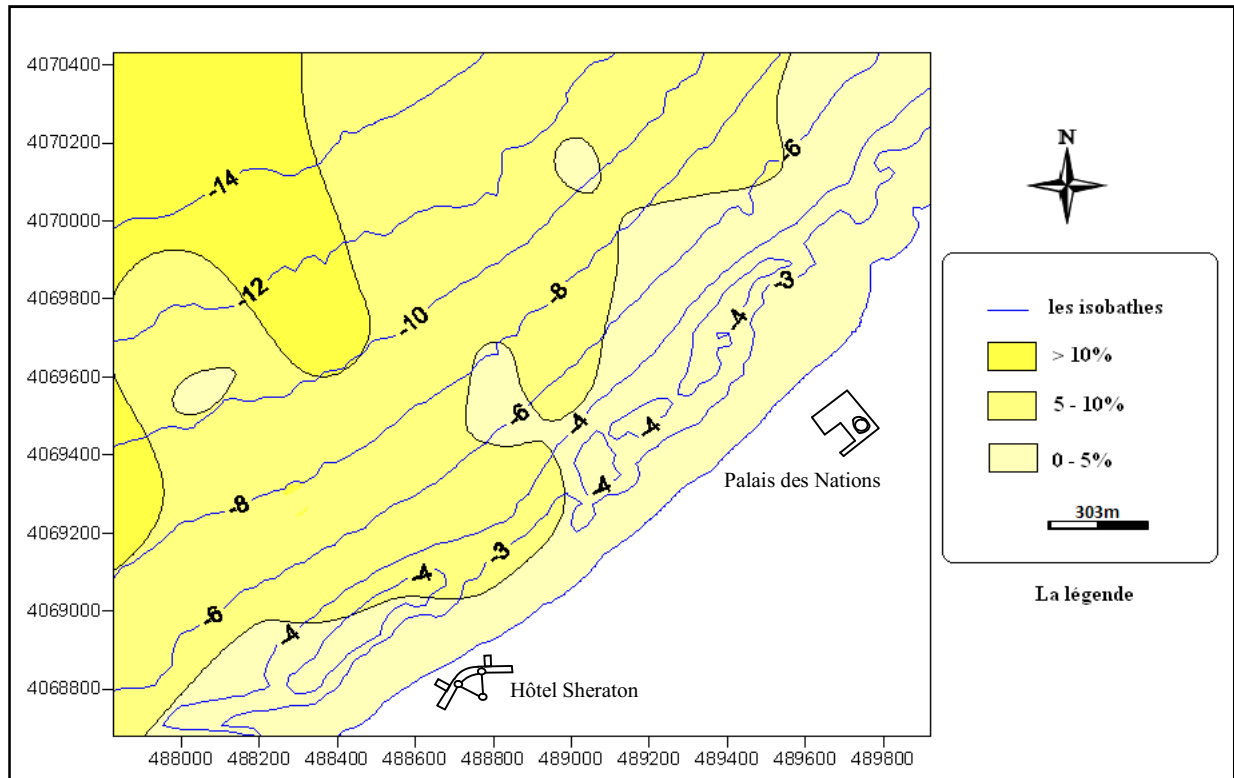


Figure n°33: Répartition des pélites dans la région de Club des Pins

Bien que les teneurs soient très faibles sur les échantillons prélevés, la carte d'isopélites montre une répartition spatiale des pélites conforme au schéma classique généralement admis, à savoir une augmentation graduelle des teneurs en pélites de la côte vers le large.

Dans la frange côtière comprise entre 0 et 5m (avec des pénétrations allant jusqu'à -8m) de profondeur, les teneurs en pélites varient tout en restant sous les 5%, une frange intermédiaire se présente entre 6 et 13m de profondeur dont les teneurs en pélites sont comprises entre 5 à 10%, puis vont en augmentant vers le large pour atteindre des valeurs allant jusqu'à 16%.

Les faibles teneurs en éléments fins observées dans les petites profondeurs s'expliquent par l'augmentation de l'énergie de la houle, qui favorise la remise en suspension des sédiments et l'élimination d'une partie importante de la fraction fine vers les zones calmes permettant leur décantation.

III-4-2 Analyse de la fraction grossière:

III-4-2-1 Les courbes granulométriques

- **Aspect général des courbes cumulatives :**

Dans l'ensemble, Les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés (annexe n°5).

- Courbes unimodales :

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

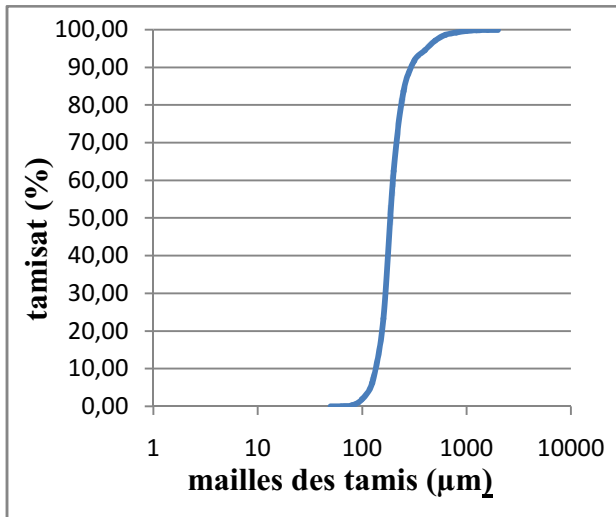


Figure n°34: Courbe unimodale

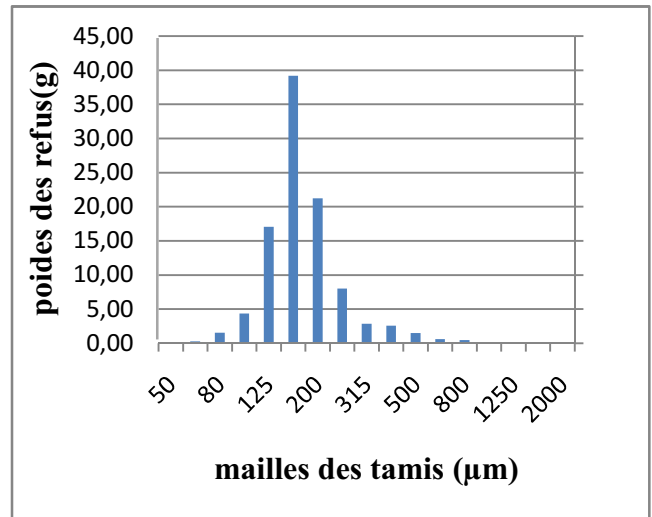


Figure n°35: Histogramme unimodale

- Courbes bimodales :

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

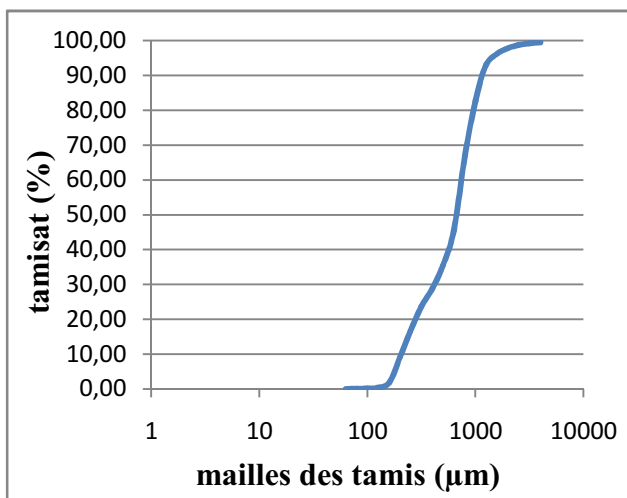


Figure n°36: Courbe bimodale

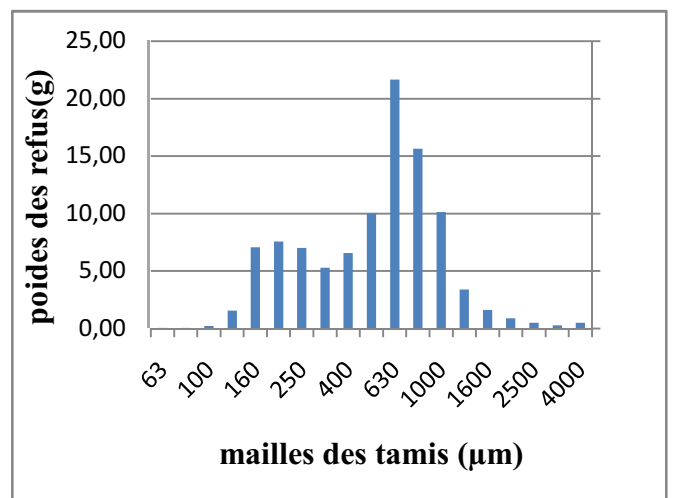


Figure n°37: Histogramme bimodale

- Courbes plurimodales :

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

Cette hétérogénéité serait due à la nature des sédiments grossiers, où le mode le plus grossier est représenté par des coquilles entières ou par des biocalcites ou par des petits galets. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques représentatifs du sédiment.

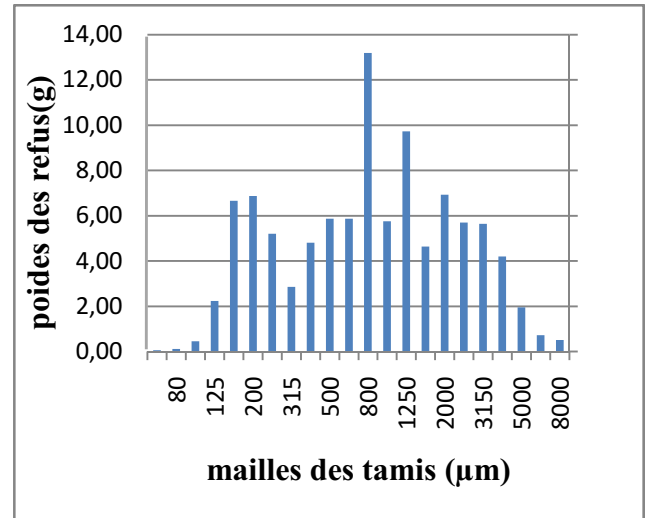
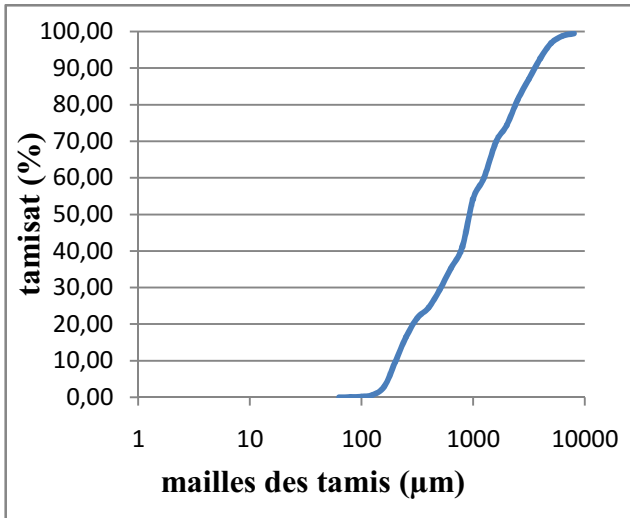


Figure n°38: Courbe plurimodale

Figure n°39: Histogramme plurimodale

III-4-2-2 Les quantiles

a- Le décile inférieur (D10) :

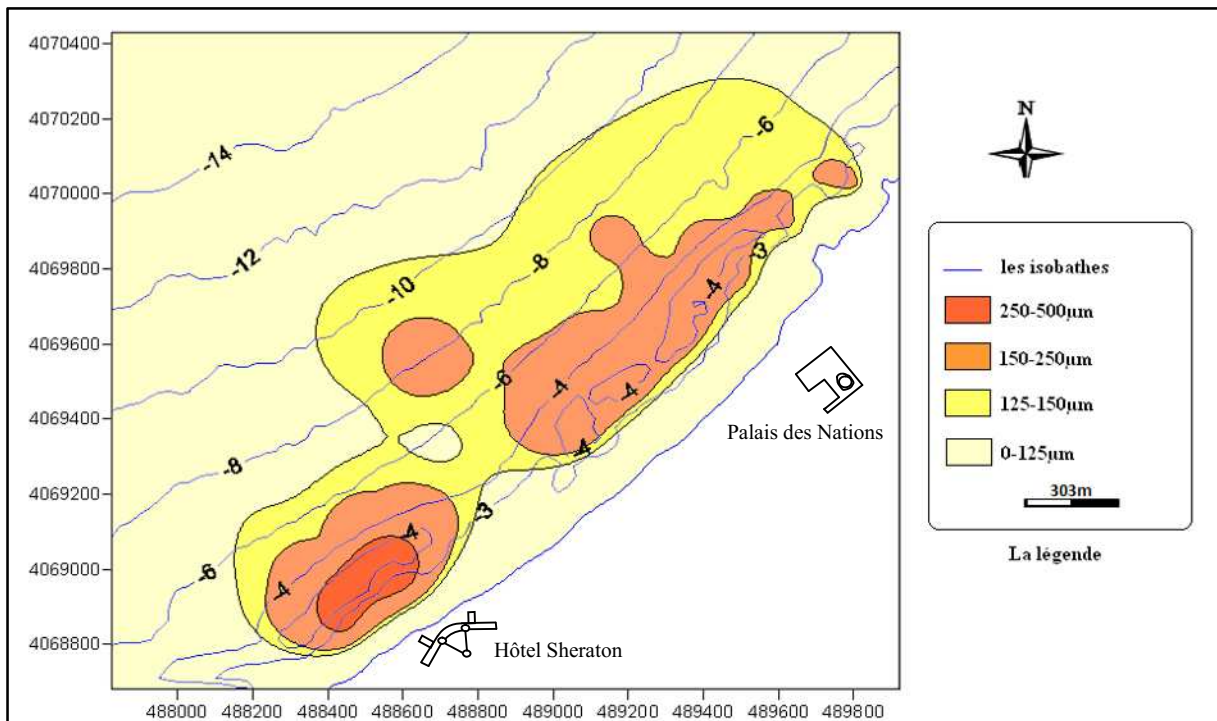


Figure n°40: Répartition des déciles inférieurs (D10) dans la région de Club des Pins

La répartition apparait centrique dégageant 3 facies avec dominance des diamètres inférieurs à $125\mu\text{m}$ qui évoluent du rivage vers le large sur les deux extrémités de la zone, vers les -9m , un second facies apparait (diamètres entre 125 et $150\mu\text{m}$) s'arrêtant à 5m de profondeur ou la morphologie sous marine présente des barres et des fosses plongeantes et où les diamètres varient entre 150 et $250\mu\text{m}$, voir $500\mu\text{m}$.

b- Le quartile inférieur (Q25)

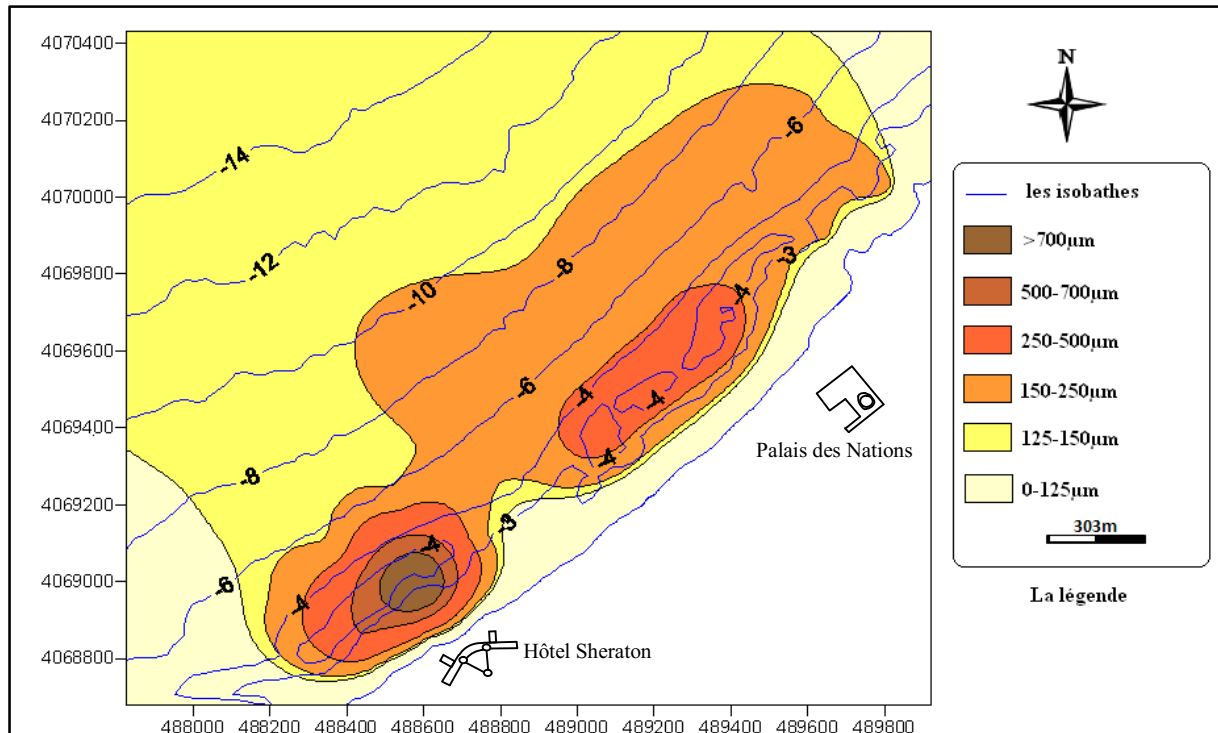


Figure n°41: Répartition des quartiles inférieurs (Q25) dans la région de Club des Pins

La distribution est plus au moins circulaire, les valeurs varient entre 120 et $1140\mu\text{m}$, quatre facies sont distingués : un premier de diamètre très fin ($0-125\mu\text{m}$) qui se distribue sur le rivage (-1m) puis évolue vers le large dans les deux extrémités de notre zone d'étude, un second (diamètre entre 125 et $150\mu\text{m}$) où la limite se situe au environ de -9m (voir -6m à l'Ouest) et une troisième de diamètre moyen ($150-250\mu\text{m}$) dont la répartition est entre -1m et -9m (-6m vers l'Ouest), le quatrième facies est représenté par des diamètres grossiers $>250\mu\text{m}$ et se repartit dans la zone où on a noté la présence des barres de déferlement.

c- La médiane (Q50)

D'une façon générale, les sédiments sont relativement homogènes et la médiane varie entre 140 et 1917 μm (Figure n°41). La moyenne de la médiane est de 237,97 μm , ceci montre donc que la constitution du sédiment est majoritairement du sable moyen.

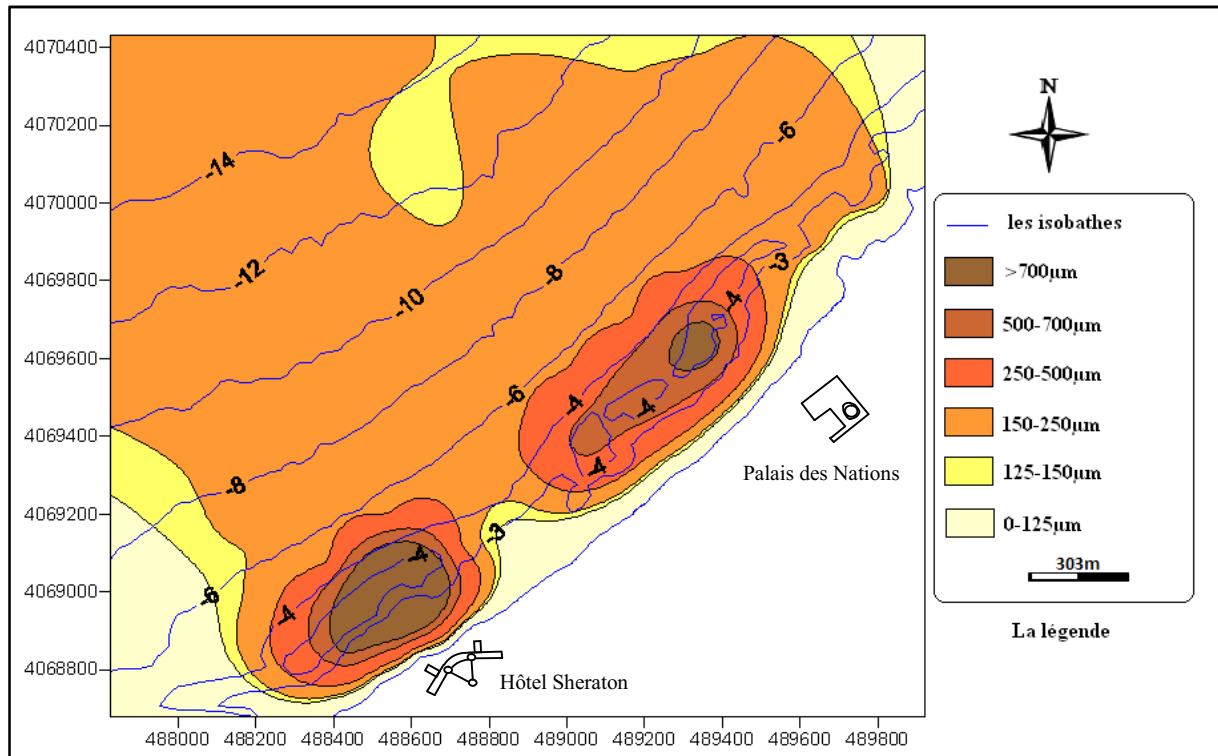


Figure n°42: Répartition des médianes (Q50) dans la région Club des Pins

La figure est établie à partir des médianes granulométriques tirées des courbes cumulatives, Elles montrent la répartition spatiale des sédiments dans la zone d'étude.

Cette répartition montre une décroissance du diamètre du grain de la côte vers le large. Les sédiments grossiers dont le diamètre médian est compris entre (140 et 1917 μm), sont repartis sur la carte jusqu'au alentour de l'isobathe (-5m) qui se présente comme étant une limite dynamique pour la répartition de ces classes de sédiment dans la zone.

La répartition spatiale de ce paramètre obéit au schéma classique de la répartition des sédiments en mer par une décroissance de la taille des particules de la côte vers le large.

d- Le quartile supérieure Q75

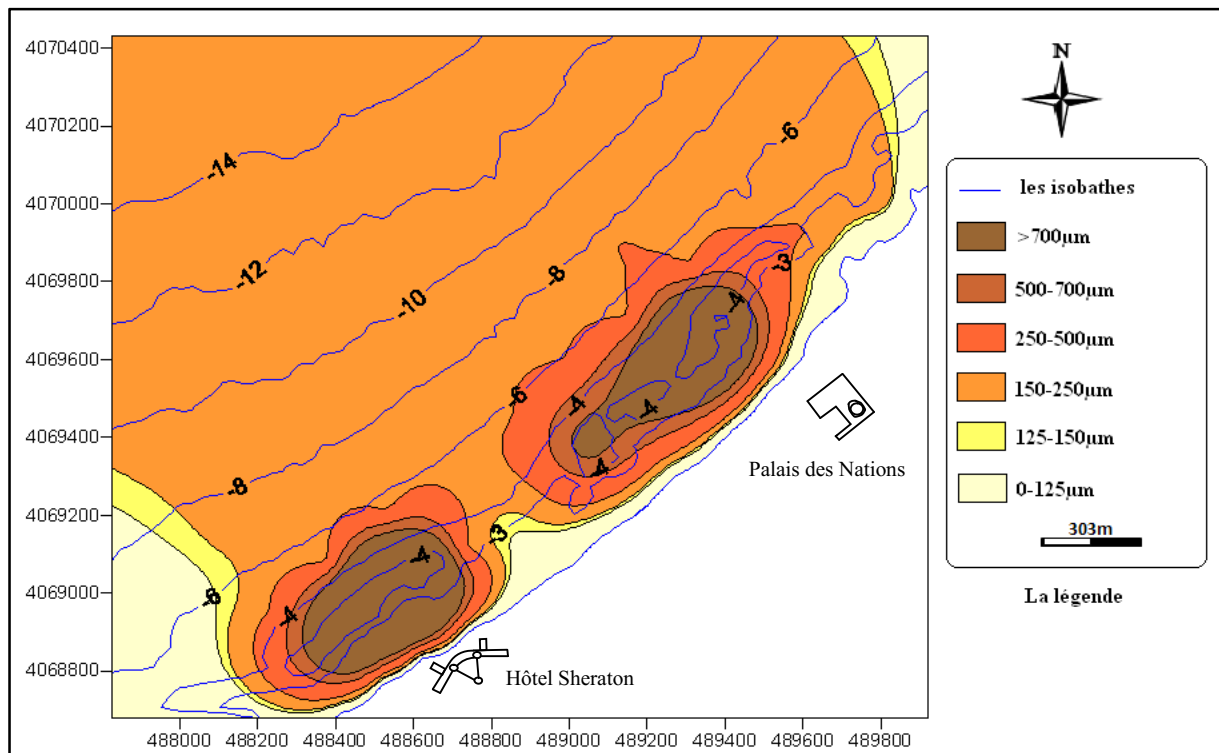


Figure n°43: Répartition des quartiles supérieurs (Q75) dans la région de Club des Pins

La distribution garde la forme circulaire, les valeurs variant entre 160 et 2080 μm dégagent quatre facies distingués : un premier de diamètre très fin (0-125 μm) qui se distribue sur le rivage (-1m) puis évolue vers le large dans les deux extrémités de notre zone d'étude. Les deux franges qui suivent (diamètre entre [125 - 250 μm]) présentent la même évolution que le précédent facies. Le dernier facies comprend 3 catégories de diamètre [250-500-700], et se répartit sur deux franges qui présente une topologie particulière selon l'analyse bathymétrique, les limites se situent dans les -6m vers le large.

e- Le décile supérieur (D90)

La répartition garde l'aspect concentrique dégagant 4 facies dominants, le premier de diamètre inférieur à 125 μm (voir 150 μm) qui évolue du rivage vers le large sur les deux extrémités de la zone, vers les -10m. Un second facies apparaît (diamètre entre 150et 250 μm) et domine vers le large. Le troisième facies évolue sur la frange de 2 à 3 m de profondeur jusqu'à -10 m voire -5m du côté Ouest (figure n°43).

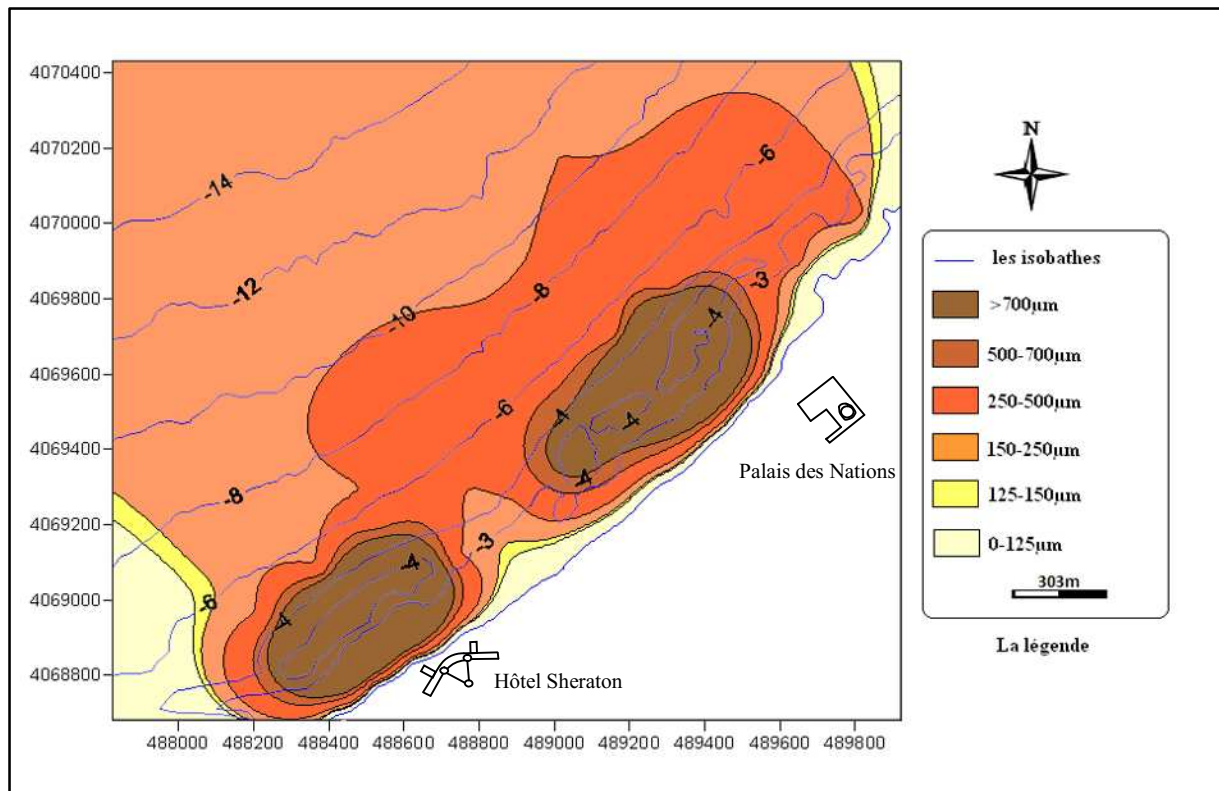


Figure n°44: Répartition des quartiles supérieurs (D90) dans la région de Club des Pins

III-4-2-3 Les indices granulométriques

a- Indice de classement

Dans la zone de Club des Pins, les valeurs de S_0 varient entre 1 et 2,5. Ces résultats traduisent un sédiment bien classé.

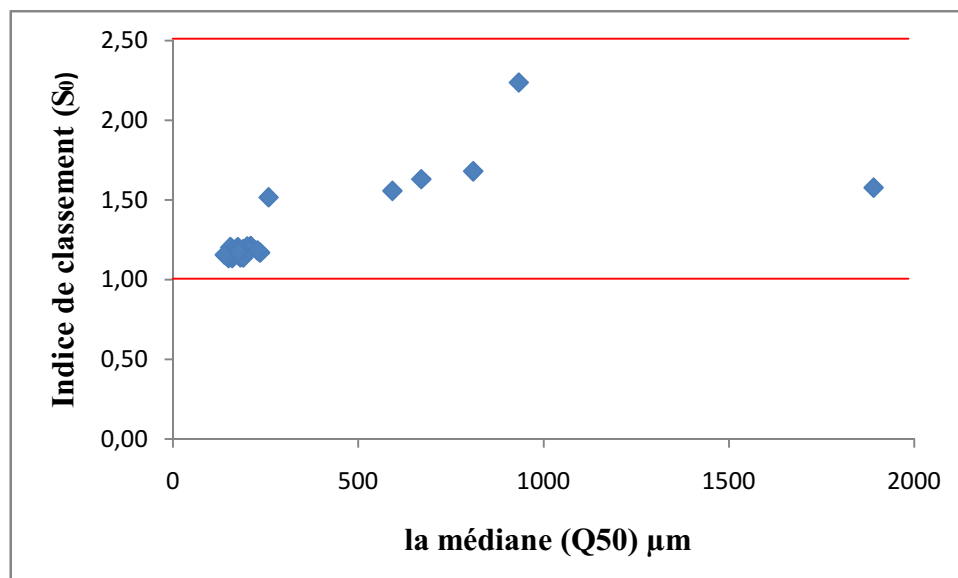


Figure n°45: Relation entre l'indice de classement et la médiane

b- Le coefficient d'asymétrie

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons de Club des Pins sont supérieures à 1, à l'exception de quelques stations de prélèvements, ce qui traduit un tri maximum vers les grossiers.

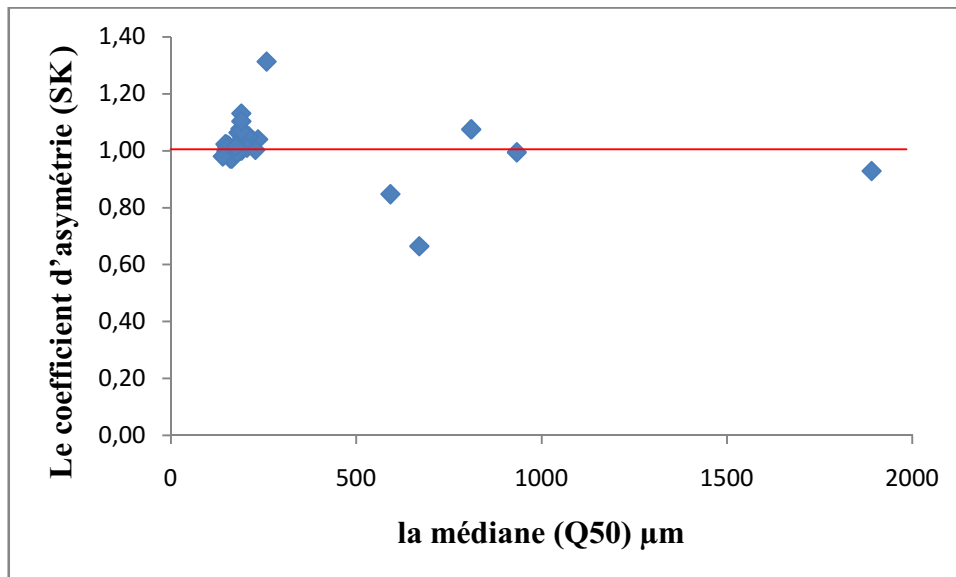


Figure n°46: Relation entre le coefficient d'asymétrie et la médiane

III-4-2-4 Analyse modale

La couverture sédimentaire est caractérisée par la présence d'un seul faciès granulométriques des sables fins (26 stations sur 39 ont un mode de 160μm), correspondant à un seul mode granulométrique représentatif des sédiments. L'histogramme qui suit illustre les fréquences des répartitions dimensionnelles des modes.

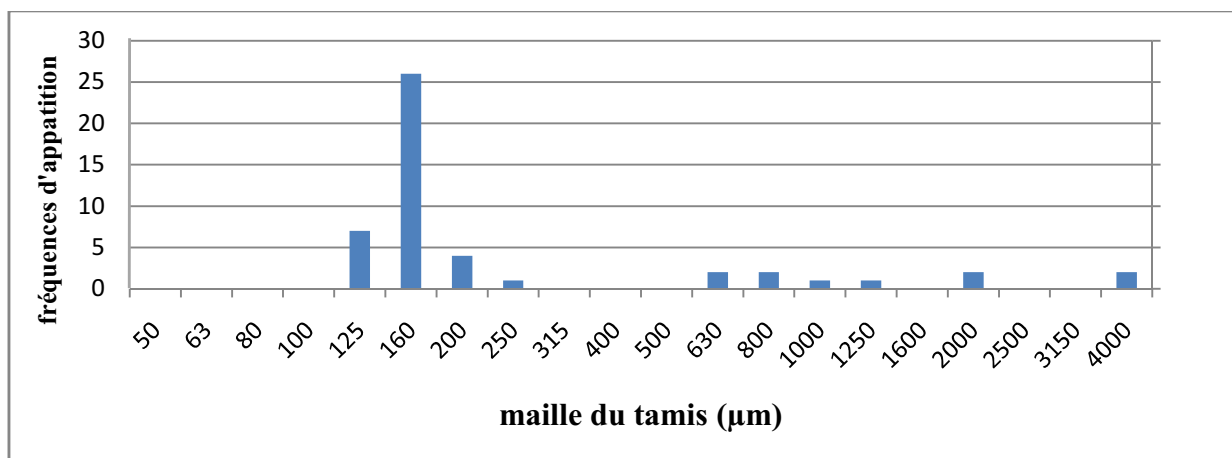


Figure n°47: Fréquences d'apparition modale

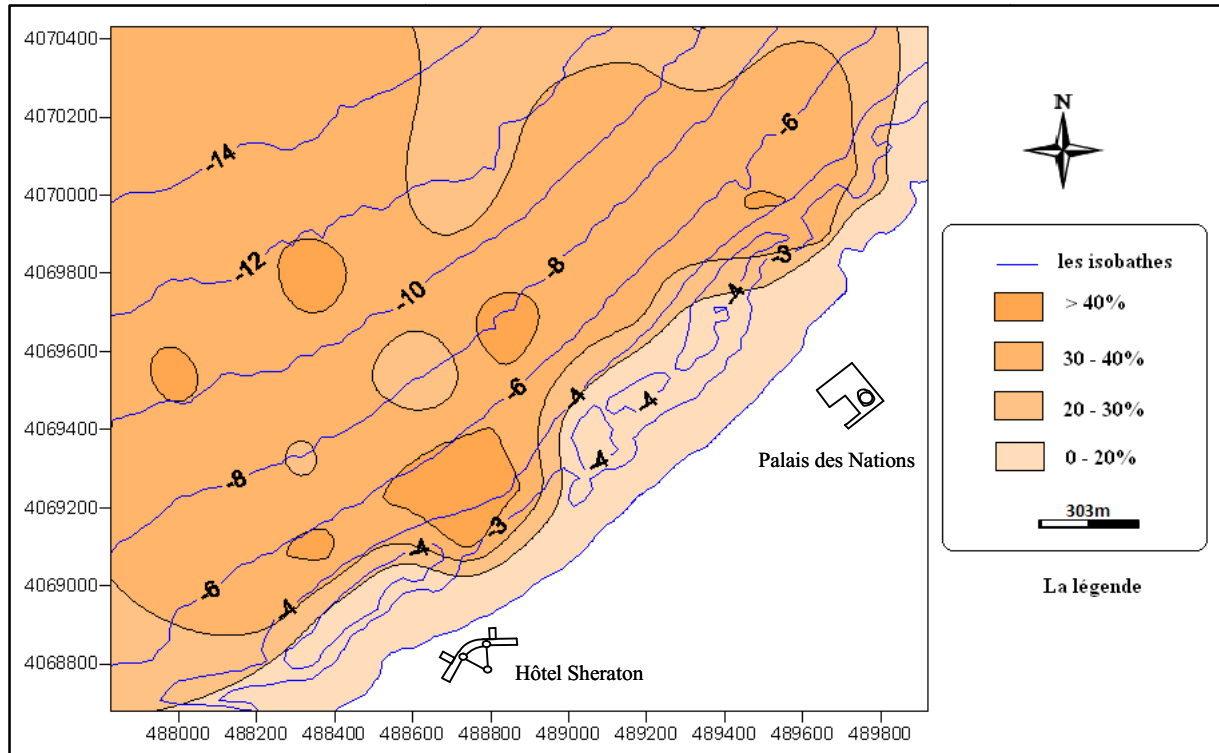


Figure n°48: Répartition du mode 160µm dans Club des Pins

Le mode 160µm est le plus largement représenté dans la zone d'étude, il se concentre beaucoup plus à l'Ouest de la zone. La répartition de ce mode suit un gradient croissant, les plus hauts pourcentages se situent au centre de la zone de prélèvement ou ils apparaissent de façon hétérogène, puis tendent à diminuer vers le large (Figure n°47.). En conditions hydrodynamiques constantes, il est normal de trouver une répartition qui tend à distribuer la fraction grossière vers la côte tandis que la fraction fine est transférée vers le large. Cependant, la distribution concentrique que présente la figure renseigne sur un hydrodynamisme qui dégrade d'intensité à l'approche du rivage.

III-4-2-5 Les carbonates

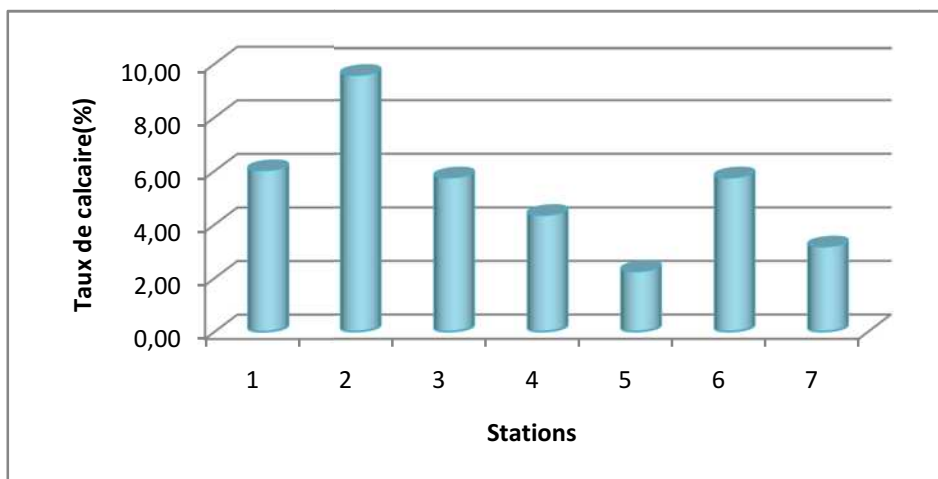


Figure n°49: Pourcentage des carbonates dans les sédiments de Club des Pins

En général, les teneurs en carbonates des sédiments sont faibles, elles varient entre 2,25 et 9,57%. Les calcaires ont un poids faible par rapport aux poids des grains de sédiment ne jouent pas un rôle important dans le transport sédimentaire.

III-4-3 Conclusion sur l'étude sédimentaire :

Il apparaît pour l'ensemble des échantillons soumis à l'analyse granulométrique que les teneurs de la fraction fine (<50 μ m) sont très faibles, et ne dépassent guère les 16% et reflètent ainsi l'importance de l'hydrodynamisme dans la zone de Club des Pins.

L'étude des quantiles (D10, Q25, Q50, Q75, D90) fait apparaître un granoclassement de l'extérieur (sable fin) à l'intérieur (sable grossier).

L'analyse modale et des courbes granulométriques, qui sont pour la plus part de type unimodale, indiquent la dominance d'un seul stock sédimentaire (sable fin de 160 μ m) dans la plus part des stations.

Il est à noter que des prélèvements saisonniers permettaient de mieux apprécier la qualité granulométrique dans notre zone d'étude.

L'analyse des carbonates montre une faible quantité, cette petite quantité ne joue pas un rôle important comme traceur dans les sédiments.

Le mécanisme du transport responsable de la mise en place et la distribution des sédiments est la houle. Le gradient des médianes, décroissant vers l'Ouest, est dû au vannage, ou tri sélectif par la houle, qui décroît d'intensité vers l'Ouest, le tri sélectif, par transport en suspension semble être effectué surtout par la houle de Nord-Est.

III-5 Modélisation du transport sédimentaire

III-5-1 Les résultats de la modélisation

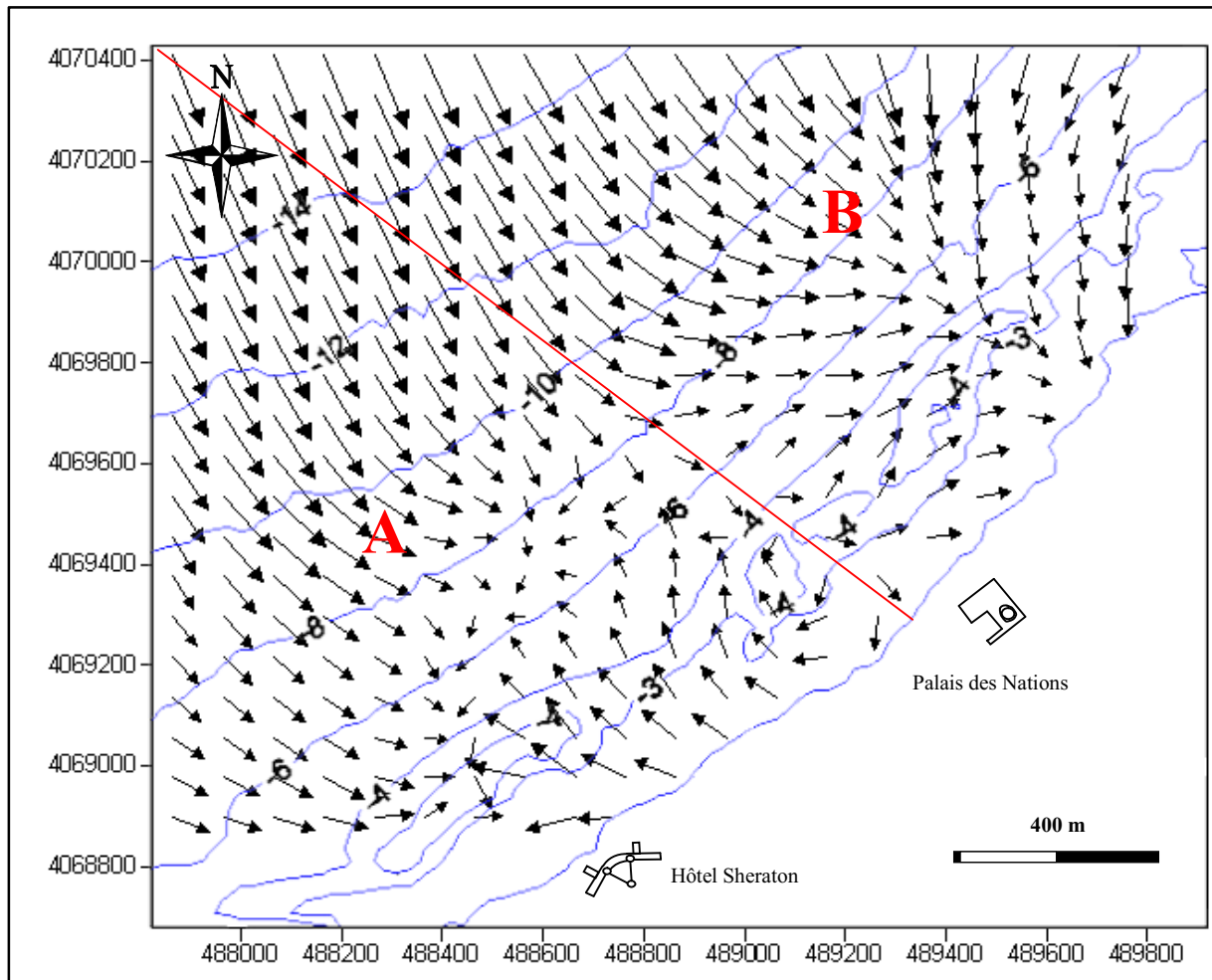


Figure n° 50: Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Club des Pins, 2009
« Model GSTA »

- **La zone A :**

Il y'a une tendance de perte de sédiment, c'est la zone abritée par le presque île de Sidi Fredj où les houles de secteur Ouest n'arrivent pas, mais plutôt les houles de Nord-Ouest transversales qui sont responsables d'un transport sédimentaire vers le large dans le profil. Au delà de - 6 mètres de profondeur, le transport semble perturbé, cela est du probablement au début de déferlement, en effet c'est une zone où le fond et les creux des vagues s'influencent mutuellement, (résultat concordant avec le levé bathymétrique) où ils définissent des formes de circulation plus au moins tourbillonnaires.

- **La zone B :**

Les sédiments ont tendance à s'accumuler vers la côte, c'est la zone exposée à la houle Ouest (figure n°23), qui va se réfracter et arriver au Club des Pins ramenant les sédiments du large vers la côte.

III-5-2 Conclusion sur la modélisation de transport sédimentaire

Le model GSTA dans la zone 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.

III-6 Etude microbiologique

L'étude microbiologique a été effectuée afin d'évaluer la qualité de l'eau de mer et des sédiments dans la plage. Cette dernière étant d'une part une zone de baignade, elle présente un potentiel touristique appréciable notamment en période estivale. D'autre part, elle permet d'apprécier la qualité de l'eau avant l'implantation d'ouvrages de protection en vue d'apporter un complément (préalable) pour l'étude d'impacts qui sont susceptibles de se présenter après implantation des ouvrages.

III-6-1 Evaluation des paramètres physico-chimiques :

L'analyse des paramètres physico-chimiques permet de mieux apprécier l'évolution physico-chimique des milieux d'une part et d'autre part de distinguer les secteurs non agités par rapport à d'autres.

III-6-1-1 La coloration :

La coloration de la mer était pratiquement normale pendant toute la période d'étude.

III-6-1-2 Variation de la température:

Les températures de l'eau de mer relevées le 12 Mai 2010 au niveau de la plage de Club des Pins ont été prises dans un climat relativement chaud et concordent avec les valeurs mesurée.

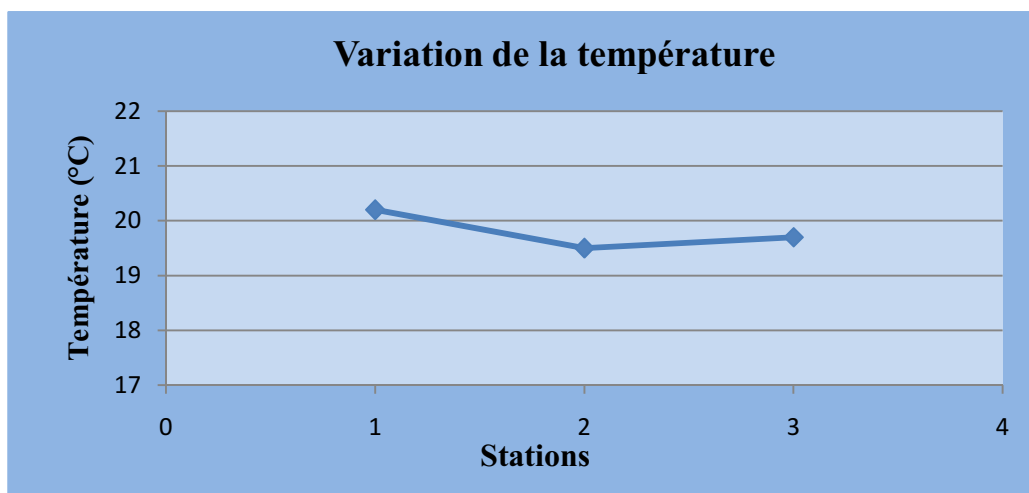


Figure n°51 : Variations de la température de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.

Les valeurs des moyennes de la température de l'eau de mer ne présentent que de légères fluctuations entre 19,5 et 20,2°C, ceci est dû à la faible profondeur où les prélèvements ont été réalisés.

D'une manière générale, les températures enregistrées restent normales et inférieures aux normes Algériennes (J.OA, 2006).

III-6-1-3 Variation de la salinité :

La salinité conditionne la présence d'une espèce bactérienne par rapport à une autre, à titre d'exemple les Staphylocoques sont des halophiles.

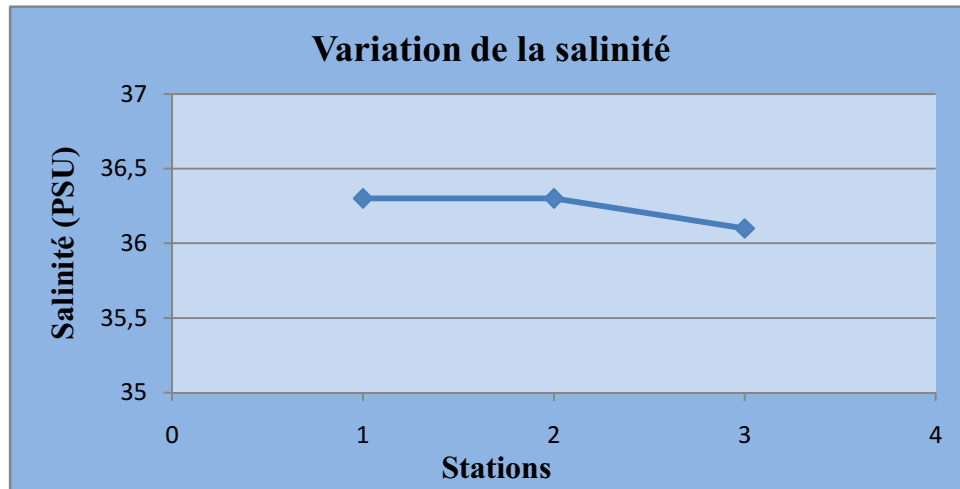


Figure n°52: Variations de la salinité de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.

Les résultats obtenus indiquent que la salinité varie de 36,1 à 36,3 PSU (Practical Salinity Unit).

Dans notre zone d'étude, les valeurs de salinité enregistrées sont normales pour la période d'échantillonnage.

III-6-1-4 Le potentiel d'hydrogène (pH) :

Le pH est considéré comme étant l'un des paramètres les plus importants de la qualité des eaux. Il doit être étroitement surveillé au cours de la période de prélèvement. (Brisou et Denis, 1980).

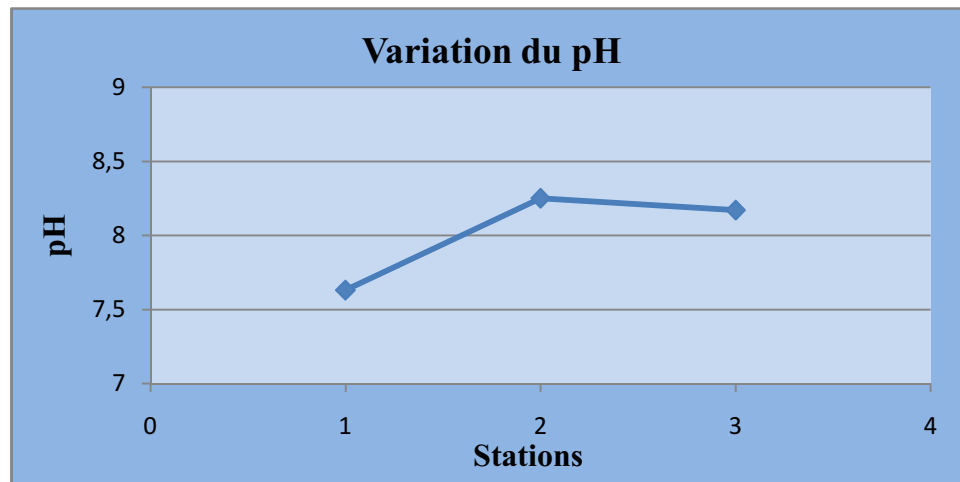


Figure n°53 : Variations du PH de l'eau de mer suivant les stations dans la plage de Club des Pins.

D'après l'illustration ci-dessus, nous constatons que le pH de la station « S1 » (7.63) est faible comparé à celui des deux autres stations (8.17 et 8.25). Ces résultats peuvent être dus à l'émissaire d'eau usée relativement proche de cette station.

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2, indique que les zones sont conformes aux normes algériennes 2006, limitées entre 6 à 8,5.

III-6-1-5 La demande biologique en oxygène (DBO₅) :

La demande biologique en oxygène (DBO₅) constitue un moyen valable pour l'étude du phénomène de biodégradation de la matière organique. Elle renvoie sur les teneurs de la matière organique présente dans l'eau et donne une idée sur l'activité bactérienne dans l'eau.

Faute de matériel, l'analyse DBO₅ n'a pu être pratiquée que sur une seule station (la station 02), la DBO est nulle ce qui reflète la bonne qualité de l'eau de mer.

III-6-2 Analyse microbiologique :

III-6-2-1 résultats de l'analyse de l'eau :

L'eau peut contenir des micro-organismes pathogènes (des virus, des bactéries, des parasites) dont le potentiel de danger sur la santé humaine varie pour chaque genre, et limite donc les usages que l'on peut faire de l'eau (baignade, élevage de coquillage).

Les résultats du dénombrement sont consignés dans les figures ci-dessous.

a- Les coliformes :

Les concentrations moyennes des CF ne sont pas aussi importantes que celles des CT, c'est tout à fait logique car les CF sont un sous groupe des CT.

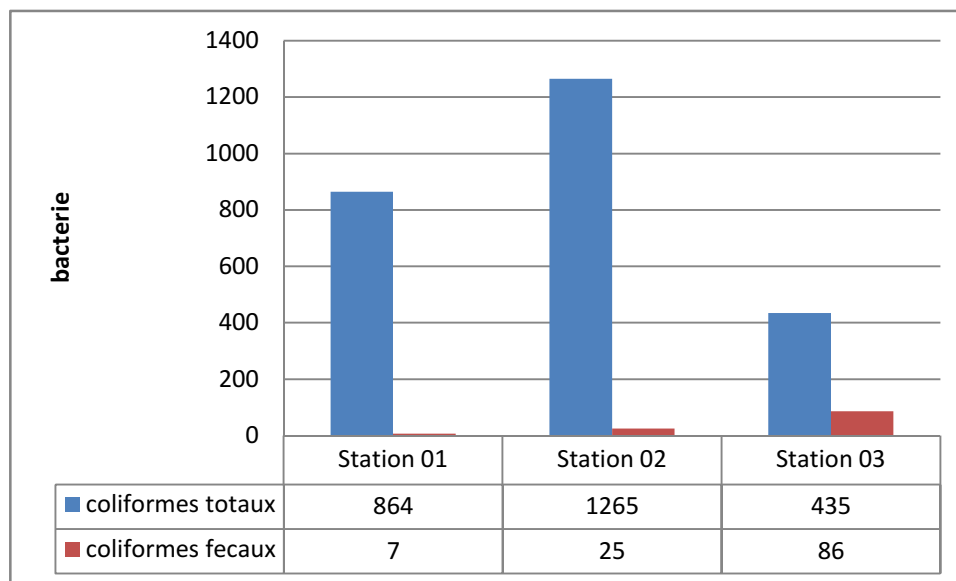


Figure n°54 : Concentrations bactériennes en coliformes totaux et fécaux obtenus pour chaque station par la méthode de FM. (/100ml)

Les valeurs enregistrées au niveau des stations 01 et 02 sont relativement faibles par rapport à la station 03 qui présentent des concentrations plus élevées en CF.

Les trois stations sont de bonne qualité microbiologique (normes AFNOR) et leurs charges bactériennes sont comprises entre la valeur guide (500 CT/100ml) et la valeur limite (10000 CT/100ml) pour les coliformes totaux, normes Algériennes (tableau 10).

b- Les streptocoques fécaux :

Des colonies de taille moyenne, rouges sont observées sur le milieu Slanetz ; cela suggère la présence des streptocoques fécaux, bien que par fois, le genre *Bacillus* peut donner des colonies semblables.

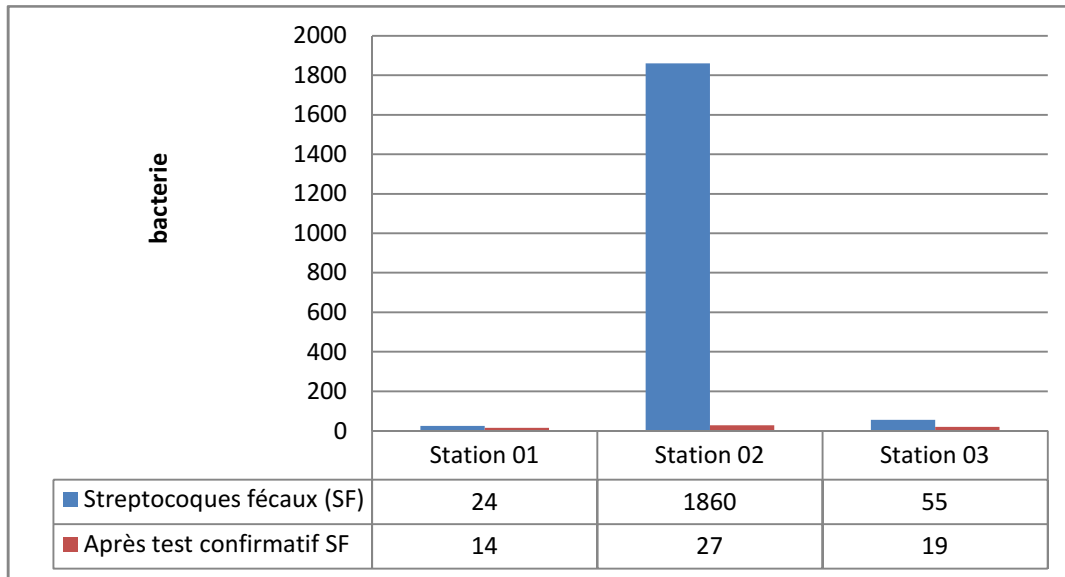


Figure n°55 : Concentrations bactériennes en streptocoques fécaux obtenus pour chaque station par la méthode de FM. (/100ml).

Le dénombrement des streptocoques fécaux, révèle des valeurs enregistrées sont très faibles. Cependant ; une forte concentration en SF est enregistré au niveau de la station 02. Mais les tests montrent que les eaux présentent une très faible charge en SF, et une qualité microbiologique bonne selon les normes AFNOR et que les autres colonies dans la station 2 ne sont que des *Bacillus* de couleur rouge.

c- Les staphylocoques

Seules les deux stations 1 et 2 présentent la possibilité d'effectuer les tests (erreur de manipulation pour la station 3). Les colonies apparaissent jaunes dorées sur le milieu gélosé de Chapman avec virage du milieu vers la couleur jaune.

Les tests de catalase sont positifs pour les deux stations et l'observation microscopique montre des cocci Gram positif regroupés en amas.

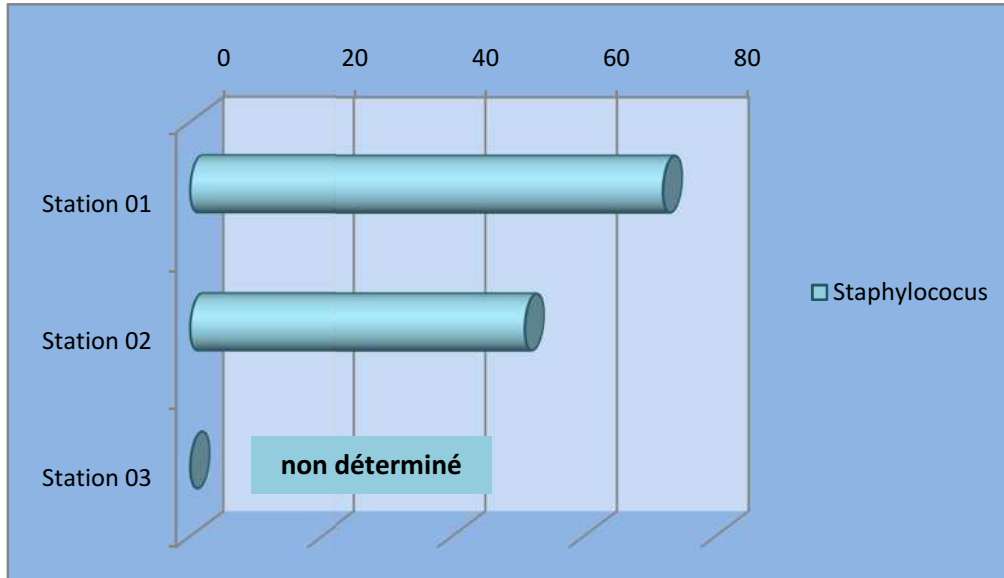


Figure n°56 : Concentrations bactériennes en staphylocoques pour chaque station. (/100ml).

d- Les bactéries sulfito-réductrices

Toutes les stations comportent des spores de bactéries sulfito-réductrices, ceci témoigne d'une contamination fécale ancienne. Les résultats sont consignés ci-dessous :

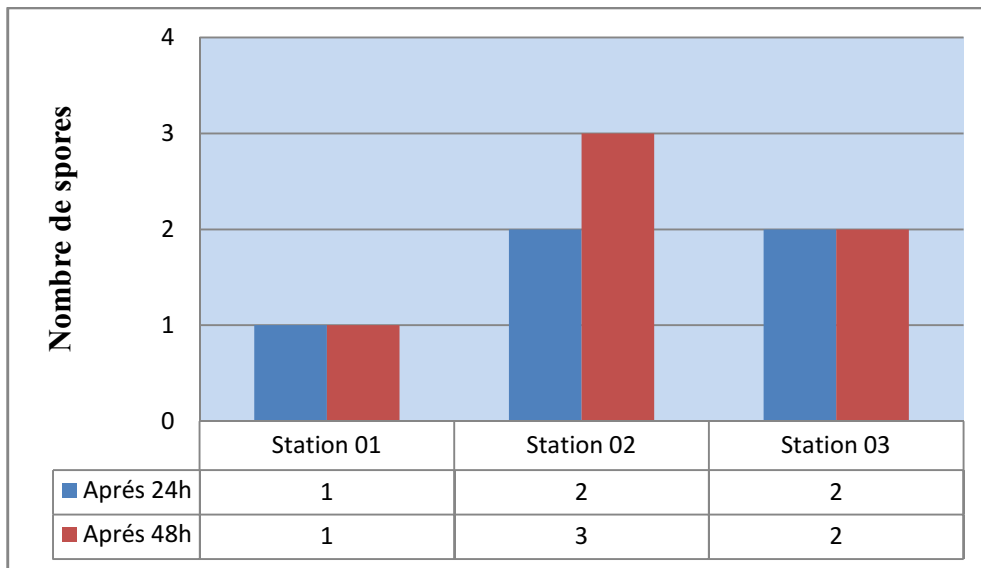


Figure n°57 : Concentrations des spores des bactéries sulfito-réductrices pour chaque station.

e- Les vibrions :

Pour les vibrions, il y'a apparition de colonies jaunes, on note aussi un virage de couleur du milieu (TCBS) ver l'orange, cependant, le test négatif de l'oxydase nous permet de conclure qu'il y a absence de vibrions dans la zone de Club des Pins.

f- Les salmonelles :

Après incubation, on note l'apparition de colonies violettes sur les boîtes, ceci semble déferent de l'aspect caractéristique des salmonelles (colonies rose ou rouge sur SS à centre noir), les résultats se sont avérés négatifs pour les salmonelles après le test d'oxydase et de catalase.

III-6-2-2 Résultats d'analyse sur les sédiments :

Tous les résultats concernant l'analyse de la qualité bactériologique des sédiments se sont avérés négatifs. Il n'y a pas ni apparition de trouble, ni dégagement de gaz dans le milieu BVBL pour les coliformes totaux et fécaux, et il n'y a pas de trouble dans le milieu Rothe pour les Streptocoques Fécaux. La granulométrie grossière des sédiments des stations de prélèvement peut expliquer l'absence des bactéries.

III-6-2-3 Normes de classification :

La qualité et la quantité de ces germes définissent une eau, précisent et limitent son aptitude aux diverses applications.

Globalement, la qualité de l'eau doit obéir aux normes définies par les réglementations. Les normes algériennes découlent du décret n°93-164 du 10 juillet 1993. Ces normes indiquent les critères de qualité des eaux de baignade.

Tableau n°10 : Principaux critères de qualité des eaux de baignade (normes algériennes extraites du journal officiel 1993).

Paramètres : microbiologiques	Unités	Valeurs guide	Valeur impérative
Coliformes totaux	/100ml	500	10 000
<i>Escherichia coli</i> / 100 ml	/100ml	100	2 000
Streptocoques fécaux/ 100 ml	/100ml	100	-
Salmonelles	1L	-	0
Vibron cholérique	/450ml	-	0
Physico-chimiques			
Coloration	mg/l	-	Pas de changement anormal de la couleur (0)
Huiles minérales	mg/l	0,3	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur
pH	-	-	6 – 8,5

- Valeur guide G caractéristique d'une eau de bonne qualité pour la baignade.

- Valeur impérative I : limite supérieure au delà de laquelle la baignade est interdite.

Les eaux contenant des concentrations intermédiaires sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance rigoureuse.

Tableau n°11: Classification microbiologique de l'eau selon les normes AFNOR. :

Paramètres	Classes de qualité microbiologique				
	Très bonne	Bonne	Moyenne	Suspecte	Dangereuse
Coliformes totaux/ 100ml	50	500	5000	10000	>
Coliformes thermotolérants assimilables à <i>E.coli</i> / 100ml	< 50	50 - 200	200 - 1000	1000 - 2000	> 2000
Streptocoques fécaux	< 5	5 - 20	20 - 100	100 - 200	> 200

III-6-2-4 Synthèse des résultats :

Les résultats obtenus doivent être discutés en prenant en compte que l'analyse microbiologique a été faite de façon ponctuelle et que les prélèvements ont été réalisés dans des conditions où on note l'absence de précipitations depuis plus de 48 heures. Ces résultats ont été comparés aux normes Algériennes et normes AFNOR

- **Selon les normes Algériennes**

Tableau n°12 : Classifications des eaux analysées selon les normes Algériennes.

Paramètres microbiologiques	Unités	Valeurs guide	Valeur impérative	Résultats		
				ST01	ST02	ST03
Coliformes totaux	/100ml	500	10 000	864	1265	435
<i>Escherichia coli</i> / 100 ml	/100ml	100	2 000	-		
Streptocoques fécaux/ 100 ml	/100ml	100	-	14	27	19
Salmonelles	1L	-	0	Pas de Salmonelles dans les 3 stations		
Vibrion cholérique	/450ml	-	0	Pas de Vibrion		
Physico-chimiques						
Coloration	mg/l	-	Pas de changement anormal de la couleur (0)	Pas de changement anormal de couleur		
Huiles minérales	mg/l	0,3	Pas de film visible à la surface de l'eau et absence d'odeur	Pas de film visible à la surface de l'eau		
pH	-	-	6 – 8.5	7.63	8.25	8.17

- **Selon les normes AFNOR**

Tableau n°13 : Classifications des eaux analysées selon les normes AFNOR.

Stations	Estimation des colonies CF obtenus	Estimation des colonies SF obtenus	Qualité microbiologique
Station 01	< 50	5 - 20	Bonne
Station 02	< 50	20 - 100	Moyenne
Station03	50 - 200	5 - 20	Bonne

III-6-3 Conclusion sur l'étude microbiologique:

Selon les normes Algériennes, les bactéries indicatrices de contamination et les paramètres physico-chimiques se situent entre les valeurs guides et les valeurs impératives, avec absence totale des germes pathogènes (Vibrions, Salmonelles). La classification AFNOR en ressort que les eaux de la zone de Club des Pins sont de bonne qualité bactériologique.

Chapitre IV

Les ouvrages de protection

• Introduction

L'évolution naturelle d'une plage, qui n'est soumise à aucune contrainte d'aménagement, reste le moyen de défense le plus efficace, mais la forte anthropisation de la bande littorale a rendu nécessaire la lutte contre le phénomène érosif pour protéger les infrastructures construites à proximité des rivages. On a désormais pris l'habitude de structurer les plages par des ouvrages de défense tels que les épis et les brise-lames et de les recharger en matériaux.

Les ouvrages de défense ont pour rôle essentiel de s'opposer à l'attaque de la mer en recevant directement le choc des lames (murs, brise mer), en dissipant leur énergie sur un talus d'enrochement (digue à talus).

IV-1 Les brise-lames émergés

IV-1-1 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).

Les ouvrages longitudinaux de bas de plage et de petits fonds, dénommés brise-lames, ont pour objet (Olivier 2007) :

• Pour les sédiments

- Limiter la dissipation transversale des 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.
- Ils provoquent la diffraction des houles à ses extrémités.

Ces actions provoquent le développement d'une avancée à partir de ligne de 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.

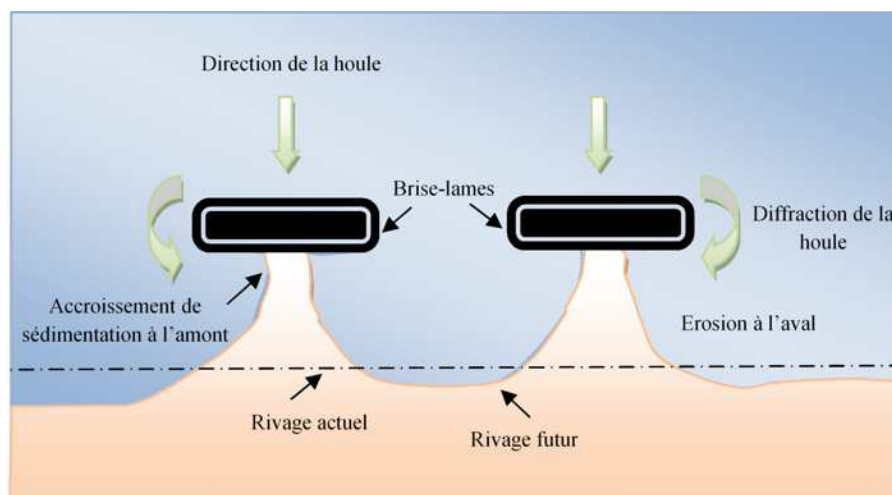


Figure n°58 : Fonctionnement des brise-lames (Annane et al 2007)

IV-1-2 Prédimensionnement de l'ouvrage

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

Différentes études effectuées par le LCHF (Laboratoire Central Hydraulique de Frane) (Migniot, 1982, 1989), le CERC (Shore protection Manual, 1984) ont permis de proposer des valeurs seuils concernant leur implantation dans le profil, leur longueur et espacement, leur hauteur et leur largeur en crête.

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.

IV-1-2-1 Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte :

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

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

l : longueur du brise-lames

l_c : distance du brise-lames à la côte

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

Le CERC montre que la formation d'un tombolo peut habituellement être évitée si $l < l_c$. En revanche si la longueur de l'ouvrage devient supérieure à sa distance à la côte, la probabilité de formation d'un tombolo augmente, et pour $l > 2l_c$ un tombolo se forme.

• Exemple de calcul

- La période (T) des houles longues susceptible d'exister sur la côte de Club des Pins est estimée à 12s (tableau n°4).
- Pour une distance à la côte $l_c=110\text{m}$ (pour qu'un brise lames fonctionne bien, la distance à la côte doit être prise égale en moyenne à la moitié de la longueur d'onde de la houle au large, sachant que $L \text{ au large} = 1.56T^2 = 225\text{m}$).
- Cette distance correspond à une profondeur moyenne $D_p=3\text{m}$

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 D_p}{T^2 g}\right)}$$

$$L \approx 65 \rightarrow l > 155.4$$

On prend

$$l=160 \text{ m}$$

IV-1-2-2 Longueur et espacement

Des brise-lames séparés constituent une solution très fonctionnelle pour une longue ligne de côte. Le LCHF recommande pour qu'il n'y ait pas d'érosion du rivage entre deux brise-lames successifs, un espacement entre deux brise-lames tel que :

$$e < 0.83l_c + 0.5L$$

Le CERC recommande un espacement égal à deux fois la longueur d'onde de la houle ($2L$) avec une longueur de chaque ouvrage inférieure à sa distance au rivage.

- Exemple de calcul

$$\text{Pour } l_c = 110 \text{ m et } L = 65 \quad \rightarrow \quad e < 123.8$$

On prend

$$e = 120 \text{ m}$$

IV-1-2-3 hauteur de la houle de dimensionnement (H_b)

Pour un ouvrage de défoncé 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 lame 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, et qui correspond à notre cas (pente douce).

La figure n°58 permet de déterminer H_b directement à partir de la hauteur d'eau D_p au pied de l'ouvrage et de la pente m de la plage.

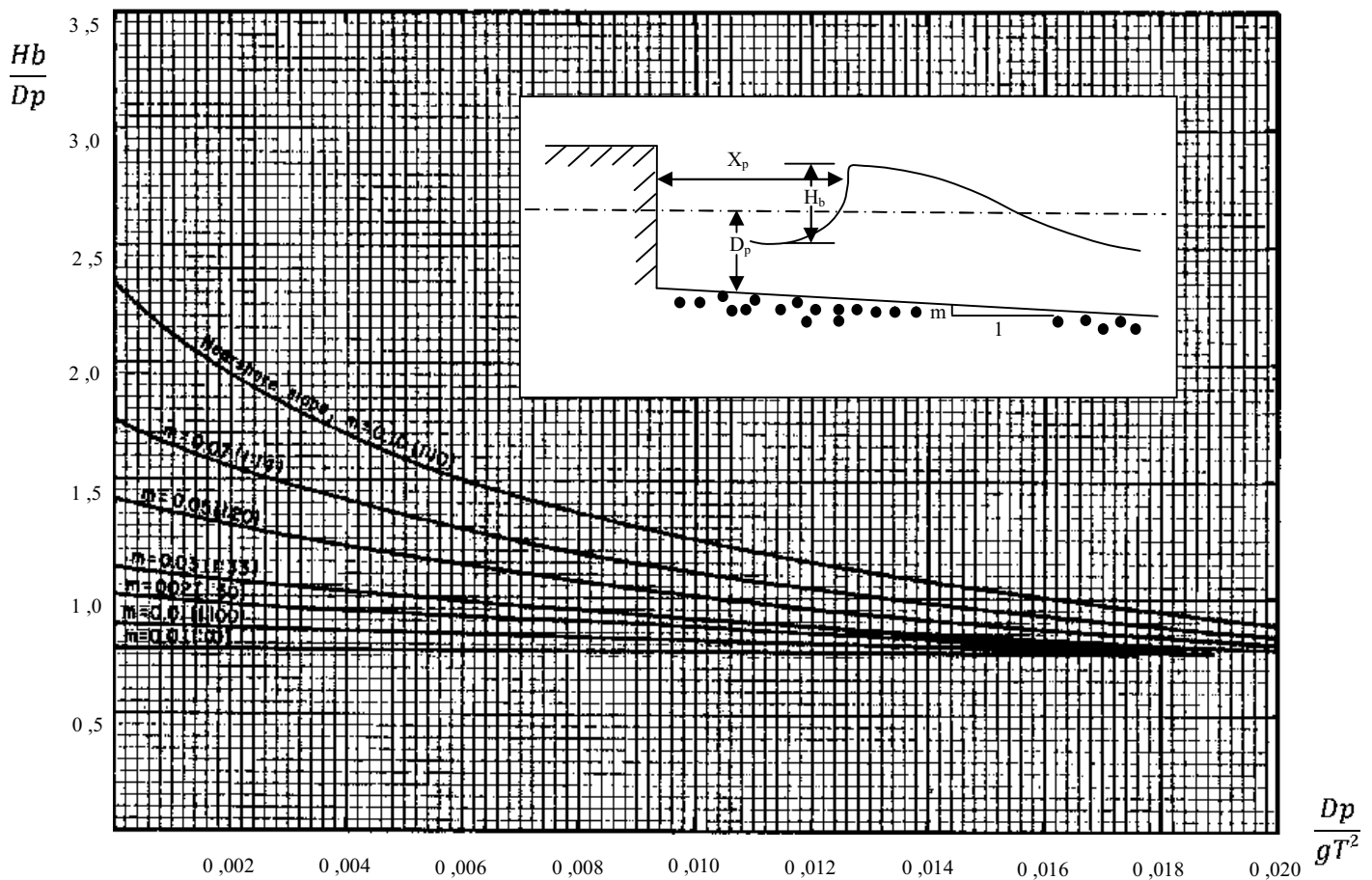


Figure n°59 : Détermination de la houle de déferlement (Weggel 1972)

• **Exemple de calcul**

- La pente des fonds (m) à proximité du rivage est de 1% (m=0,01).
- La profondeur (D_p) d'implantation des ouvrages maritimes ($D_p=3$ m)

$$\frac{D_p}{gT^2} = \frac{3}{9,81 \cdot 12^2} = 0.002$$

$$\frac{H_b}{D_p} = 0.86 \longrightarrow H_b = 3 \cdot 0.86 = 2.58\text{m}$$

$$H_b = 2.58\text{m}$$

IV-1-2-4 La hauteur de brise-lame

Pour un ouvrage, la stabilité du talus côté mer est fondamentale, ce qui nous amène à examiner le franchissement. En effet, celui-ci peut être un facteur de destruction de la crête de la digue, et des fondations derrière la digue.

La hauteur du brise-lames peut être déterminée pour éviter tout franchissement par la houle de projet. En 1^{er} approche on pourra fixer l'arase supérieure des brise lames infranchissable à une hauteur de H_b à $1.5H_b$ au dessus de l'eau (j. Chapon 1984).

Dans la zone de Club des Pins on accepte un taux de franchissement faible

On prend $h = 2$ m

IV-1-2-5 La largeur en crête

En prévoyant une largeur de structure de $4H_b$ au niveau de l'eau

• **Exemple de calcul**

$$B = 4 \cdot 2.58$$

On prend $B = 10$ m

Avec ces dimensions on prévoit une installation de 5 brise-lames sur le long de la plage de Club des Pins comme indique la figure suivante :

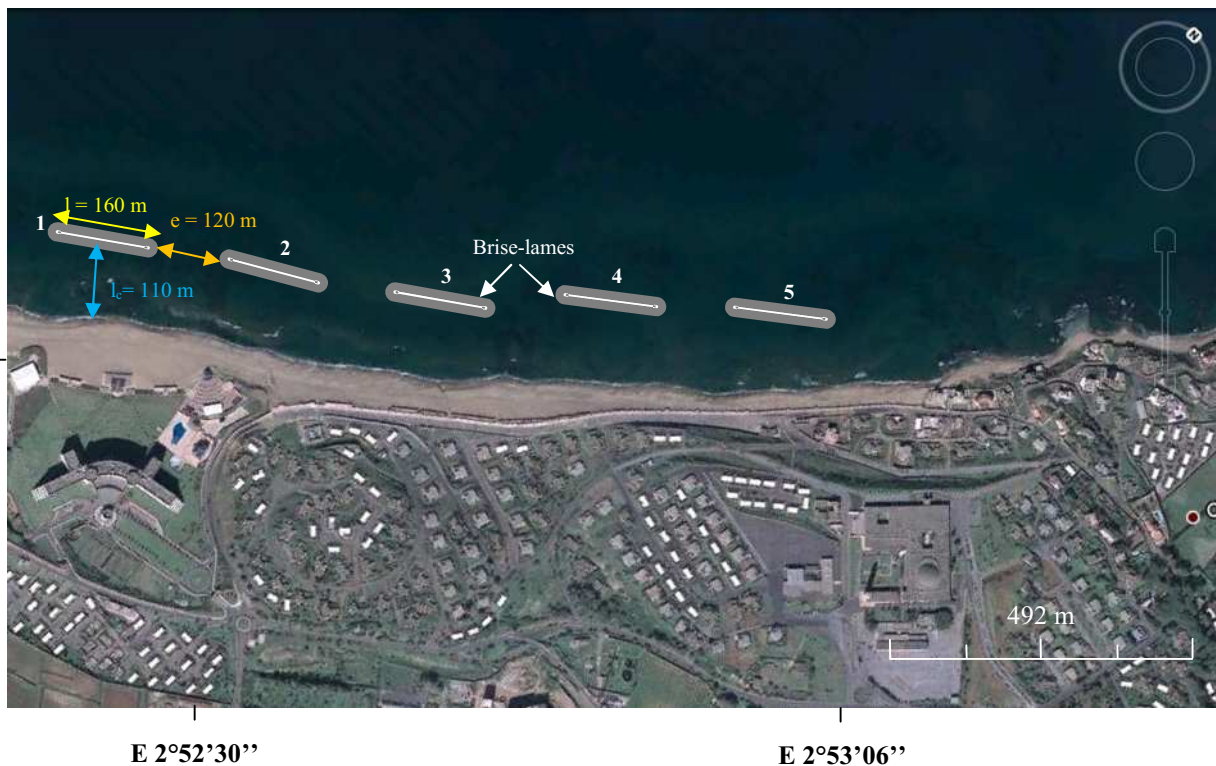


Figure n°60 : Installation des brise-lames sur la zone de Club des Pins

IV-1-2-6 Stabilités des ouvrages de protection

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 supporte directement l'action de la houle, le noyau (généralement massif en tout venant) constitue le corps de la digue, enfin le filtre disposé entre le noyau et la carapace, assure la transition entre ces 2 couches et le poids des ses éléments ne doit pas être inférieure 1/10 de ceux constituant la carapace.

a- Carapace

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- **Le diamètre nominal (D_{nB})**

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

- **L'épaisseur de la carapace**

$$E = n * K_t * D_{n50}$$

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

n : nombre de couche

b- La butée de pied

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

- **Poids de butée de pied**

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

c- Le soubassement

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

d- Le Noyau

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

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

e- Le Filtre

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

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

f- La largeur des bermes(l)

$$l \geq 5m$$

Remarque :

Les brise-lames sont implantés entre 2-3m de profondeur, donc on prend $H_b = 2.58m$ pour le dimensionnement de toutes les parties des brise-lames (extérieur, intérieur et la partie musoir).

L'application numérique a été faite et présenté dans le (tableau n°14).

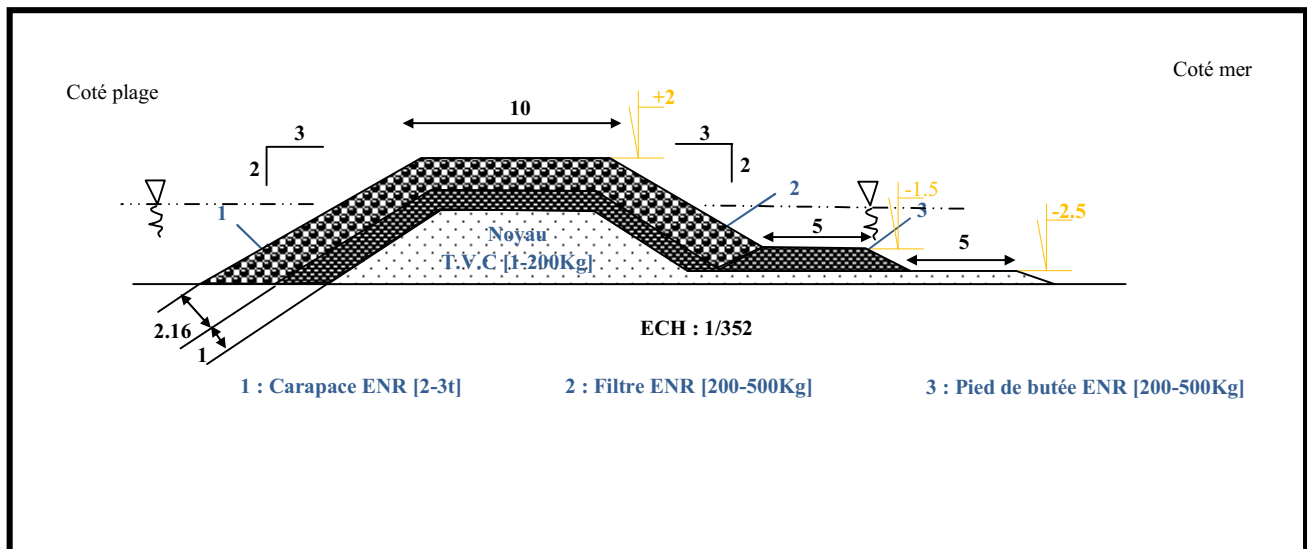


Figure n°61 : Profil du brise-lames proposés pour la protection de Club des Pins

Tableau n°14: Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de la carapace (brises lame)

brise-lames	Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
					catégorie
	Carapace	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma w \cdot Hd^3}{Kd \left(\frac{\gamma r}{\gamma w} - 1 \right)^3 \cdot \cot g \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma s}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 \cdot 2,58^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 \cdot 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{2,2}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,94$	<p>W= 2,2t</p> <p>Dn₅₀= 0,94m</p> <p>E=2,16m</p>	[2-3t]
	Butée de pied	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma r}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} \cdot 2,2$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,22}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,44$	<p>W= 220Kg</p> <p>Dn_B=0,44m</p> <p>E=1m</p>	[200-500kg]
	Filtre				
	Le noyau	$W_{\text{Noyau}} = \frac{1}{200} W_{\text{carapace}}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{200} \cdot 2,2$	<p>W_{noyau} = 11Kg</p>	[1-200kg]
	La largeur en crête	$4 \cdot H_b$	$4 \cdot 2,58$	B = 10 m	
	La largeur des bermes(l)	$L \geq 5m$	$L \geq 5m$	l = 5m	

IV-1-3 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.
- L'engraissement du trait de côte est favorisé et peut aboutir à la formation d'un tombolo.

IV-1-4 Inconvénients :

- L'inconvénient des brise-lames est qu'ils accroissent la sédimentation dans la zone amont qu'ils créent, et provoquent 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). Comme ils favorisent un recul du rivage entre deux ouvrages voisins, contre lesquels il faudra lutter si des aménagements sont menacés.
- L'agitation est réduite du côté de la plage et le renouvellement des eaux n'est pas favorisé ce qui peut impliquer des répercussions négatives du point de vue sanitaire.
- Des phénomènes importants de réflexion peuvent être constatés sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voire son écroulement.
- Le coût est très élevé.
- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).

IV-1-5 L'objectif recherché :

L'objectif d'implanter ces brise-lames est de protéger la façade maritime de la plage de Club des Pins grâce à l'implantation des ouvrages off-shore (5 brise-lames) parallèlement à la côte. Ces brise-lames ont pour but de briser les houles avant d'arriver sur la plage et de permettre aux sédiments de trouver un plan d'eau calme pour se déposer.



Photo n°7 : Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne)

IV-2 Les brise-lames Immergées

L'utilisation des structures à talus en enrochement ayant leurs crêtes égales ou inférieures au niveau moyen de l'eau, a augmenté récemment. Souvent, ils consistent simplement d'une masse homogène de grande classes de la pierre.

Leur rôle est de provoquer une diminution de l'énergie de la houle en arrière du brise-lame qui réduit le débit solide par dépôts des matériaux en mouvement. Ils peuvent provoquer la formation d'atterrissements, sous forme de tombolos et protéger ainsi un rivage érodé par l'action de la houle et en particulier des houles obliques.

IV-2-1 Prédimensionnement

Un certain nombre d'expériences de laboratoire sur les ondes transmission dernières structures immergées à talus en enrochement ont été menées. Les résultats sont résumés dans Seelig (1980) et Van der Meer, Angremond (1992).

IV-2-1-1 La hauteur de la crête (h)

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

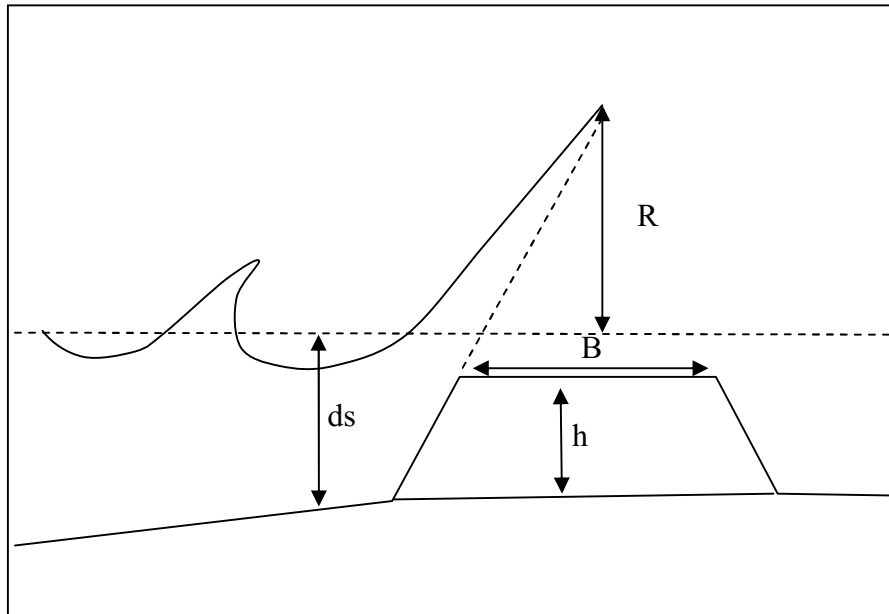


Figure n°62 : Schématisation d'un profil de brise-lames immergés

Pour le dimensionnement de la hauteur de la crête de la digue, il faut tout d'abord tenir compte de la dissipation d'énergie souhaitée. Autrement dit, la transmission des vagues. A ce titre, on peut utiliser l'abaque suivant (figure n°62) mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i où F est la hauteur de la surface libre, (CERC 2006).

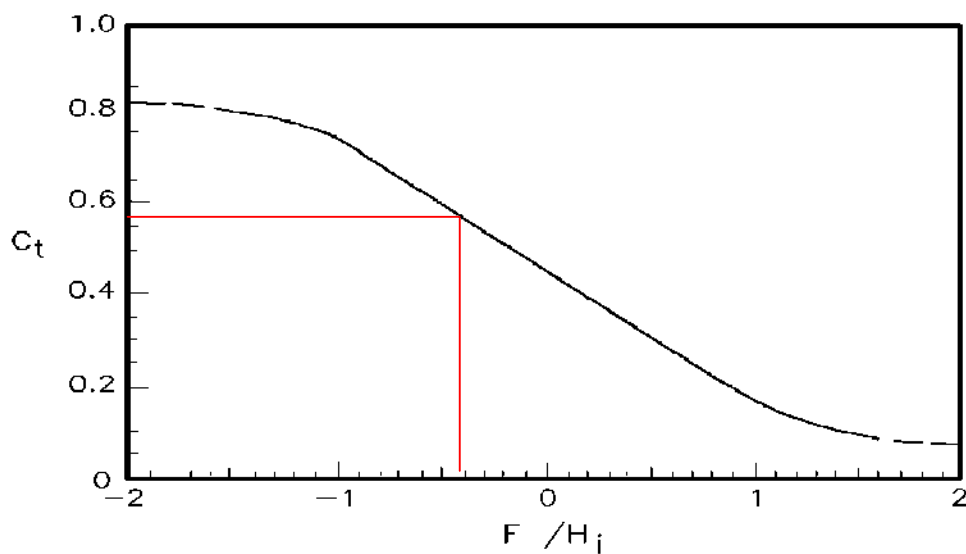


Figure n°63 : Abaque mettant en relation le coefficient de transmission $C_t = H_t/H_i$ avec F/H_i (Van der Meer 1992)

- **Exemple de calcul**

Avec une Profondeur $D_p = 3\text{m}$, $H_i = 2.58\text{m}$ et pour une hauteur h de l'ouvrage = 2m on a $F = -1\text{m}$
 $F/H_i = -0.39$

$$C_t = H_t/H_i = 0.56 \longrightarrow H_t = 1.45\text{ m}$$

Donc pour une diminution de la hauteur de la crête de 1m au dessous de niveau 0 de l'eau de mer on aura une diminution de l'énergie de la houle de 44% .

IV-2-1-2 La stabilité du brise-lames immergés

Pour le poids et l'épaisseur de la carapace et du filtre on va laisser les mêmes dimensions que les brise-lames émergés (tableau n°14), comme pour la largeur de crête, la longueur des brise-lames et leur espacement à la côte (on aura 5 brise-lames immergés), par contre on va diminuer la hauteur de la crête au dessous de niveau 0 de l'eau de mer par 1 m (figure n°63)

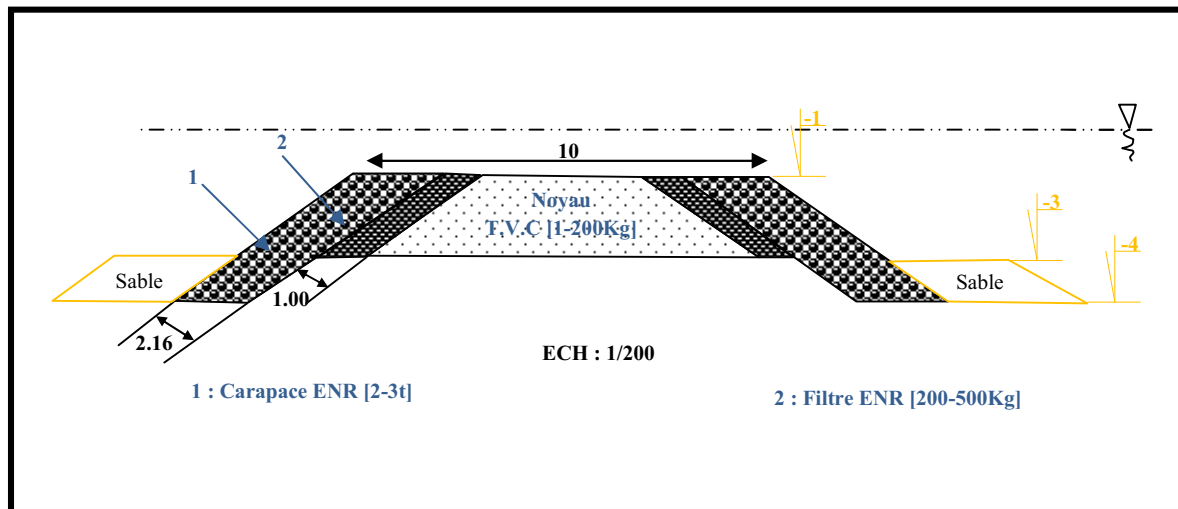


Figure n°64: Profil de brise-lames immergés proposé pour la protection de Club des Pins

IV-2-2 Avantages

- Favorisent en général un meilleur renouvellement de l'eau.
- Leur coût est moins élevé que les brise-lames émergés.
- Meilleure solution dans le plan esthétique (pour le cas des ouvrages en enrochements).

IV-2-3 Inconvénients :

- Des phénomènes importants de réflexion sont constatés sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voir son écoulement.
- Le danger qu'ils peuvent présenter pour les baigneurs, et pour la navigation de plaisance (jet ski).
- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).

IV-3 Les épis

IV-3-1 Définition

Les épis sont des ouvrages de défense transversaux enracinés au trait de côte. Ils constituent des obstacles, pour la dérive littorale qui se trouve freinée, le plus souvent perpendiculaires au rivage, parfois obliques quand l'incidence des houles dominantes est forte (Paskoff, 1993).

Les ouvrages transversaux, dénommés épis, ont pour objet d'arrêter, au moins partiellement, le débit solide et sont généralement mis en œuvre lorsque les mouvements sédimentaires prédominants sont parallèles à la côte. Bien que l'interaction entre les phénomènes côtiers et un épi ou un système d'épis soit mal connu, quelques principes de base peuvent être retenus en ce qui concerne leur fonctionnement (Olivier 2007)

- Les épis ne peuvent être utilisés que pour arrêter le transport littoral, ils n'interrompent pas le transport dans le profil et n'attirent pas, sur une zone, de sable qui autrement n'y serait pas passé.
- L'angle d'incidence prédominant des lames fixe la direction du transport littoral net. Si elle est normale à la ligne de rivage, ou bien si la ligne de rivage s'ajuste de façon à être normale à l'incidence des lames par accumulation sédimentaire contre un épi, le débit de transport littoral est alors nul.

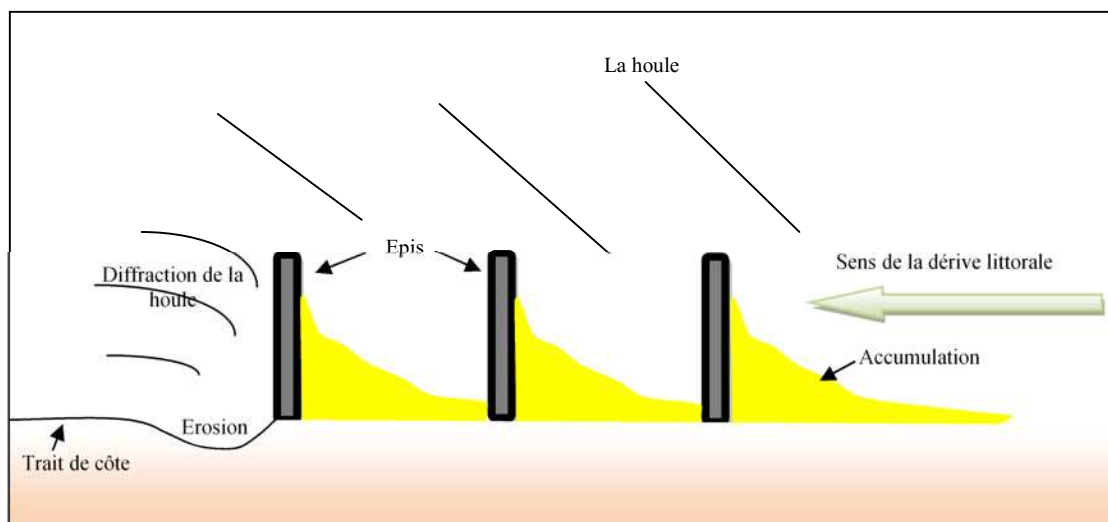


Figure n°65 : Fonctionnement d'un champ d'épis (Annane et al 2007)

IV-3-2 Prédimensionnement de l'ouvrage

Les dimensions de ce type d'ouvrage varient avec les conditions hydrodynamiques et sédimentaires locales ainsi que la bathymétrie.

IV-3-2-1 Hauteur des épis

Côté terre, le niveau supérieur de l'épi doit être supérieur ou égal à celui de la berme désirée, ce qui correspond habituellement au niveau maximum de l'eau augmenté de la hauteur d'ascension normale de la houle. Ensuite l'épi doit être assez haut pour demeurer saillant au dessus de la plage en cas d'ensablement important, sa hauteur doit aussi être suffisante pour arrêter tout transport par régime de suspension. Des épis courts et émergents dépassant de 0,5 m à 1 m le niveau moyen de la mer en partie courante devraient donner satisfaction.

Dans notre cas on prend

$$h = 1 \text{ m}$$

IV-3-2-2 La longueur

La longueur d'un épi devrait logiquement être telle que l'ouvrage barre la zone où des transports importants de matériaux se produisent, c'est-à-dire jusqu'à la ligne de déferlement de la houle à basse mer (Chapon 1984).

- **Exemple de calcul**

Pour une hauteur de houle de dimensionnement $H_b=3.9$ m qui correspond à une distance à la côte égale à 110m, on applique la formule de Galvin

$$X_p = (4-9.25m) * H_b$$

X_p : la distance de plongée (la distance entre le début de déferlement et l'ouvrage implanté)

m : pente de la plage

Avec une pente de 5% on prend

$$X_p = 15$$

Donc la longueur de l'épi correspond à 15+110m

On prend

$$l = 125 \text{ m}$$

IV-3-2-3 Espacement

L'espacement entre les épis représente un paramètre important. S'ils sont très rapprochés, le matériel transporté par la dérive littorale risque d'être dévié vers le large et donc être perdu pour le prisme sédimentaire côtier, s'ils sont trop écartés, ils peuvent être déchaussés. D'une façon générale, pour les épis courts, on adopte un espacement voisin du double de leur longueur.

On prend

$$e = 250$$

IV-3-2-4 Orientations des épis rectilignes

Les conclusions des essais effectués au Laboratoire National de Génie Civil de Lisbonne, sont les suivants :

- En présence de houles d'incidence faible (5° à 10°) ou variable, les épis normaux à la côte sont les plus efficaces.
- En présence de houles d'incidence forte (20°) les épis inclinés à 70° en sens opposé à la provenance de la houle sont les plus efficaces

Dans notre cas, l'ouvrage doit être perpendiculaire au rivage, du fait de la faible incidence de la houle. Avec ces données on prévoit une série de 6 épis comme montre la (figure n°65).



Figure n°66 : Installation des épis sur la zone de Club des Pins

IV-3-2-5 Stabilités des ouvrages de protection

Pour la partie courante de l'épi on va utiliser les mêmes dimensions prises pour les brise-lames, excepté pour la hauteur qui est égale à 1m et on ajoute un couronnement en béton de 4m qui permet l'accès aux piétons (figure n°66),

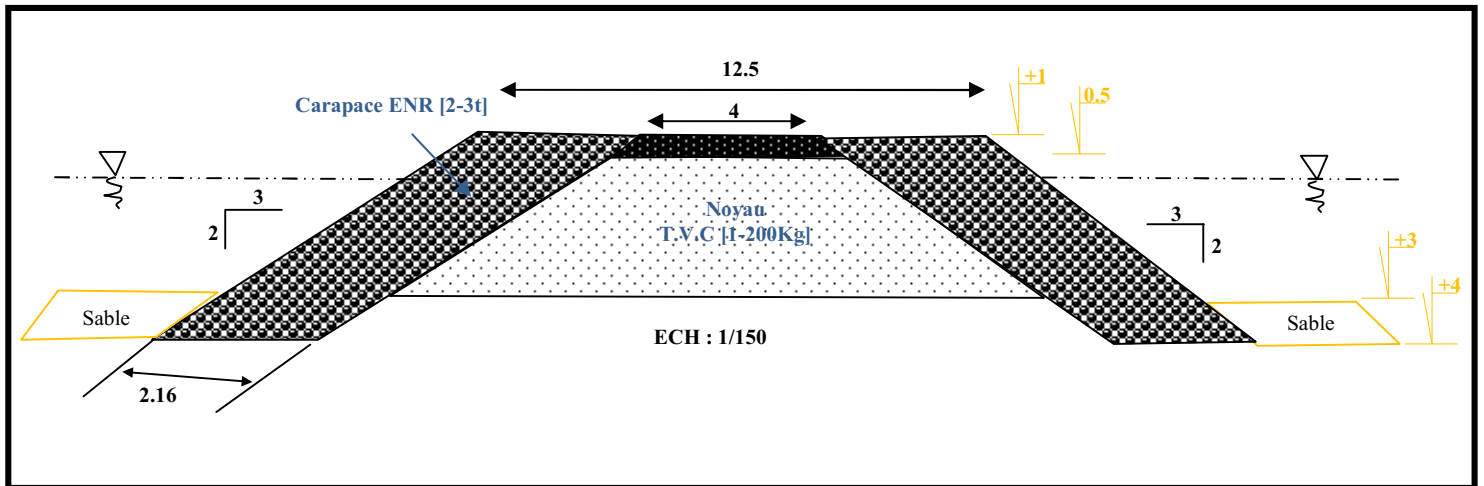


Figure n°67 : Profil de la partie courante de l'épi proposé pour la protection de Club des Pins

Pour la partie musoir de l'épi qui peut aller jusqu'à 3.5m de profondeur on va dimensionner avec une hauteur $H_b = 3.01m$ (on utilisant l'abaque de Weggel)

Tableau n°15 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace (partie musoir des épis)

Partie de l'ouvrage	Symbole	Application numérique	résultats	
				catégorie
Carapace	$W_{carapace}$	$W_{carapace} = \frac{2,65 \cdot 3,01^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3 \cdot 1,5}$	$W = 3,5t$	[3-4t]
	Diamètre (Dn)	$Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{3,5}{2,65}}$	$Dn_{50} = 1,1m$	
	Epaisseur (E)	$E = 2 \cdot 1,15 \cdot 1,1$	$E = 2,52 m$	
Le noyau	W_{noyau}	$W_{butée} = \frac{1}{200} \cdot 3,5$	$W_{noyau} = 17,52Kg$	[1-200kg]
La hauteur de brise-lame	h	$0,5 < h < 1m$	h = 1 m	
La largeur en crête	$4 \cdot H_b$	$4 \cdot 3,01$	B = 12.5 m	

- Conception du musoir**

Le musoir est l'extrémité côté mer à tracé circulaire d'une digue à talus connectée à la côte ou les deux extrémités d'une digue foraine. Les musoirs sont fortement exposés aux tempêtes à cause, d'une part, des vagues diffractées et, d'autre part, des franchissements ; il faut donc y prêter une attention particulière lors du choix de la taille des blocs d'enrochement.

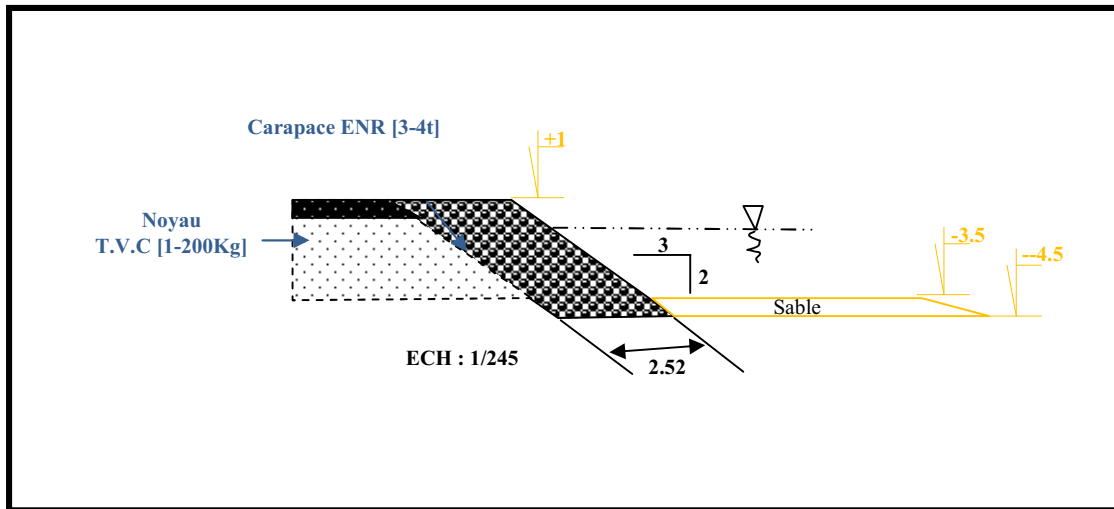


Figure n°68 : Profil de la partie musoir de l'épi proposé pour la protection de Club des Pins

IV-3-3 Avantages

L'épi présente un seul avantage : en bloquant le transit du sable, il engraisse la plage et met ainsi le trait de côte en arrière qui est ainsi plus souvent éloigné du déferlement des vagues.

IV-3-4 Inconvénients

Les épis ont cependant des effets induits : en bloquant les sables à l'amont de l'ouvrage ; ils provoquent inévitablement une érosion à l'aval, d'autant que l'épi provoque une diffraction de la houle et aggrave alors l'impact des vagues en arrière. En plus Le coût est très élevé.

Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes et des impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).

IV-3-5 L'objectif recherché :

Créer une plage à l'Est par l'implantation des épis, en même temps protéger les sédiments déposés dans le plan d'eau contre des courants qui se dirigent d'Ouest en Est.



Photo n°8 : Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne)

IV-4 Les ouvrages mixtes

Pour améliorer l'efficacité des interventions de protection, on adopte souvent des défenses de natures mixtes (aménagement d'épis stabilisateurs et engraissement avec des matériaux naturels). Chacune de ces solutions exige des conditions particulières pour être efficace.

Dans notre cas, on va adopter deux épis en forme d'arc avec une alimentation artificielle de plage. Les épis en arc associent les caractéristiques des brise-lames à la fonction classique de barrière des épis. Ils peuvent également être considérés comme un type de cap artificiel. Leur utilisation est fréquente lorsque le marnage est faible (p. ex. en Méditerranée) dans le but de créer des plages de poche (baie ou crique), par association à un rechargement de plage.

IV-4-1 Prédimensionnement de l'ouvrage

Le dimensionnement de la section des différentes parties d'un épi en arc implique une combinaison des concepts abordés ci-dessus pour les épis et les brise-lames.

IV-4-1-1 Hauteur des épis en arc

Dans le but de contourner le sable, on adopte une hauteur des épis entre 0,5 m à 1 m de niveau moyen de la mer.

Dans notre cas on prend

$$h = 1 \text{ m}$$

IV-4-1-2 La longueur des épis en arc

La longueur d'un épi en arc pour former une plage en poche et couvrir toute notre plage (de 2 Km de longueur) va être calculée de la manière suivante :

La longueur représente le quart d'un cercle d'un diamètre D de 500 m.

Le périmètre (p) de ce cercle égale $\pi \cdot D$ $P=1571\text{m}$

On prend

$$l = 393 \text{ m}$$

IV-4-1-3 Brise-lame

Un brise-lame a été ajouté d'une part à cause de la longueur de plage, d'autre part pour protéger la plage des houles frontales.

- Distance à la côte de 250m
- L'espacement entre brise-lame et les épis en arc est calculé par la formule $e < 0.83l_c + 0.5L$ Ce qui nous donne un espacement de 240m
- Une longueur du brise-lame égale à 250m (c'est la longueur qui permet un espacement de 240 m entre les épis en arc et le brise-lame).
- la hauteur de la houle de dimensionnement à une distance de 250m de la côte correspond à une profondeur de 4m, et une pente de 1%, avec l'abaque de Weggel on trouve $H_b=3.44\text{m}$
- la hauteur de brise-lame, on prend la valeur 2.6m.
- la largeur $B=15\text{m}$

IV-4-1-4 L'alimentation artificielle de la plage

Dans le choix des carrières de prélèvement situées en mer ou sur terre il faut tenir compte des caractéristiques pétrographiques et de la granulométrie du sédiment et plus particulièrement, du pourcentage des sédiments fins. Outre l'évaluation de la compatibilité du sédiment d'un point de vue physique, il faut également évaluer les qualités chimiques et bactériologiques.

- Pour une largeur de berme de 30 m et une pente de 1% (correspond à 1, 1.5m de profondeur) on estime un volume de rechargement égal à 45000 M³ de sable.
- Pour des rechargements ponctuels de sables, Le matériau d'apport doit avoir une médiane plus forte que les matériaux naturels, ou une granulométrie plus étendue, dans notre cas on prévoit un sable de 500µm de diamètre.
- Pour la source de sable, les sédiments de dragage du port de Cap Djinet qui sont extraits tous les jours constituent une bonne source car ils sont très propres (aucune pollution et taux de pétilite très faible).



Figure n°69 : Installation de l'ouvrage mixte dans la zone de Club des Pins

IV-4-1-5 Stabilités des ouvrages de protection

Pour la partie courante des épis en arc on va utiliser les mêmes dimensions prises pour les épis voir (figure n°66). Pour la partie musoir des épis en arc, elle sera dimensionnée avec une hauteur de houle H_b=3.44m (figure n°69).

Pour la côté plage de brise-lame, on va utiliser les mêmes dimensions prises pour l'ouvrage des brise-lames (figure n°60), pour la partie musoir et le côté mer on va dimensionner avec une hauteur de houle H_b=3.44m (tableau n°16).

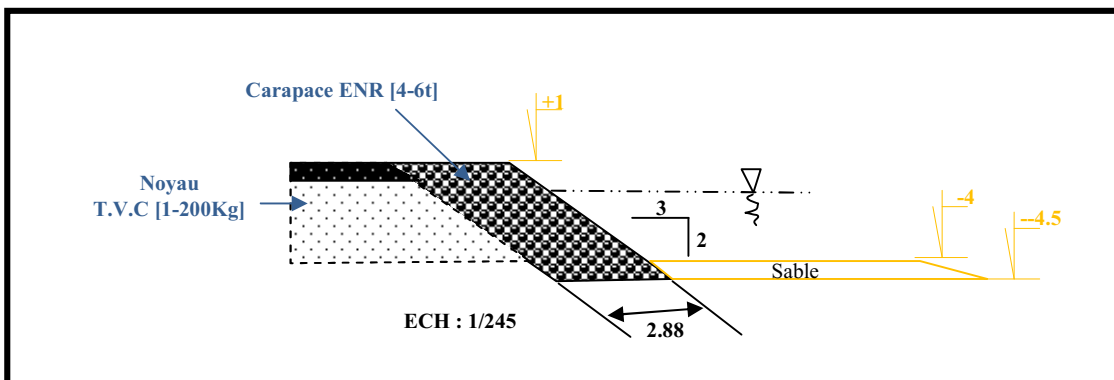


Figure n°70 : Profil du musoir d'un épî en arc proposé pour la protection de Club des Pins

Tableau n°16 : Résultats obtenus pour le dimensionnement de la stabilité de carapace (épis en arc)

	Partie de l'ouvrage	Symbole	Application numérique	résultats	
					catégorie
brise-lame	Carapace	$W_{carapace}$	$W_{carapace} = \frac{2,65 \cdot 3,44^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1 \right)^3} \cdot 1,5$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{5,23}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 1,25$	W= 5,23t Dn ₅₀ = 1,25m E=2,88m	[4-6t]
	Butée de pied	$W_{butée}$	$W_{butée} = \frac{1}{10} \cdot 5,23$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,523}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,58$	W= 523Kg Dn _B =0,58m E=1,34m	[0.5-1t]
	Filtre				
	Le noyau	W_{noyau}	$W_{butée} = \frac{1}{200} \cdot 5,23$	$W_{noyau} = 26.1Kg$	[1-200kg]
	La largeur en crête	B	4*3.9	B = 15 m	
	La largeur des bermes(l)	l	$L \geq 5m$	l = 5m	

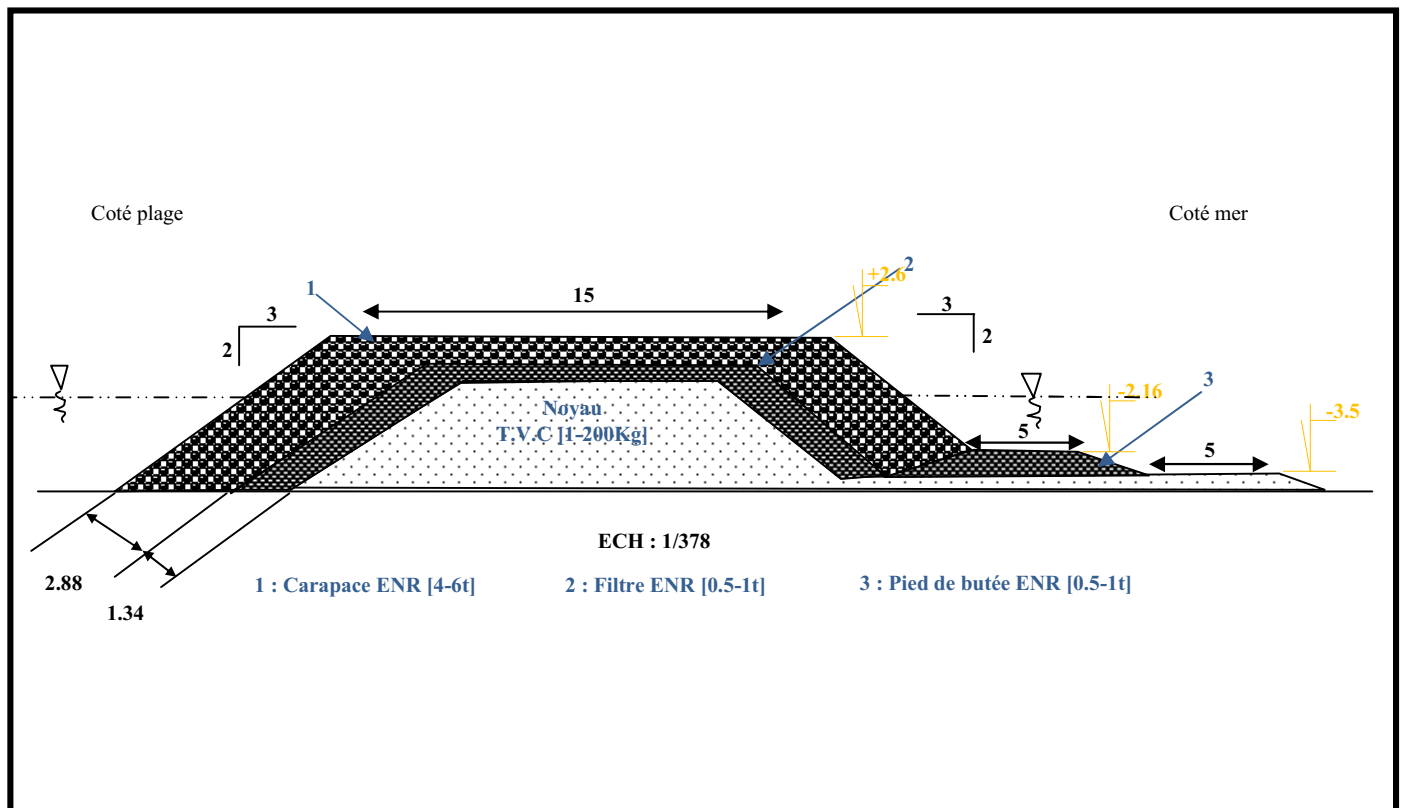


Figure n°71 : Profil de la partie courante du brise-lame proposé pour la protection de Club des Pins

IV-4-2 Avantages

- Formation d'une zone calme à l'intérieur, ce qui permet un arrêt de dégraissage de la plage, et augmente la stabilité.
- minimiser les effets de la réflexion de la houle sur le côté concave de l'épi
- Permettre une accessibilité à la plage quelque sois la direction de la houle même si la mer est très agitée
- Le sable injecté ne risque pas d'être perdu.

IV-4-3 Inconvénients

- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes
- Le coût est très élevé plus le coût de rechargement artificiel de sable.
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).
- Affecte la qualité du paysage naturel
- Ce type d'ouvrage ne favorise pas un meilleur renouvellement de l'eau

IV-4-4 L'objectif recherché :

Créer une plage en poche par l'implantation des épis en arc, en même temps protéger les sédiments de partir.

Les bras de l'épi horizontal et du brise-lame servent à dissiper l'énergie de la houle tandis que les bras verticaux interceptent le transport longitudinal.



Photo n° 9: Illustration de l'objectif à atteindre dans la plage de Club des Pins, (expérience en Espagne)

IV-5 Géotube

Pour toute défense contre l'érosion, il est plus efficace 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.

Parmi les méthodes nouvelles de protection des plages, une large part est faite par l'utilisation des géotextiles. Ces utilisations consistent essentiellement, soit à conforter des mouvements de matériaux, soit à favoriser des phénomènes de transport et de dépôt estimés souhaitables, soit en utilisation sous forme d'ouvrages tels que des épis ou brise-lames.

IV-5-1 Définition :

Il s'agit de tubes ou boudins géotextiles d'une enveloppe géotextile tissé de haute résistance remplie de sable. La structure est réalisée in situ et remplie par pompage hydraulique avec des matériaux locaux, à l'intérieur de l'enveloppe (Koffler et al, 2002). Le Géotube est fabriqué sur mesure selon les besoins de l'ouvrage et il est disponible en dimensions et longueurs variables pour correspondre aux spécifications de l'ouvrage et de l'étude. Il est idéal pour une installation à sec ou à des profondeurs d'eau n'excédant pas 5 mètres.



Photo n°10. Installation d'un géotube, (expérience à El Kala 2008)

IV-5-2 Prédimensionnement

Les géotubes peuvent être utilisés pour les 4 ouvrages de protection proposées. Afin de proposer une solution légère, économique et réversible, on a opté pour la réalisation d'un atténuateur de houles en tubes géotextiles (la réalisation de l'ouvrage n°2 avec des géotubes).

IV-5-2-1 Le diamètre du géotube (Albert et al 2009)

Le tube est préfabriqué selon une grande variété de diamètres et de longueurs selon les applications spécifiques. La structure est caractérisée normalement par son diamètre théorique, sa circonférence et sa longueur. Le diamètre théorique du tube va de 1,50 m à 5m.

Pour notre cas on prend un diamètre théorique de 3m

Après remplissage, la structure du tube n'atteint pas la même hauteur que son diamètre théorique, mais peut atteindre un maximum de 60 à 70% de son diamètre, selon la mise en œuvre et les techniques de remplissage.

Le diamètre qu'on peut atteindre est entre $1.8 \text{ m} < D < 2.1 \text{ m}$

On prend D = 2 m

IV-5-2-2 La stabilité des géotubes

Pour la stabilité des géotubes on va utiliser la formule suivante (W. Pilarczyk, 2000)

$$\frac{H_s}{\Delta D} < 1$$

$$\Delta = \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right)$$

D : épaisseur du géotube

γ_w : la masse volumique de l'eau de mer ; $\gamma_w = 1.028 \text{ t/m}^3$

γ_s : La masse volumique de sable utilisé pour remplir le géotube ; $\gamma_s = 2.65 \text{ t/m}^3$

La profondeur d'implantation est de 3 m, correspond à une hauteur de houle de dimensionnement de $H_b = H_s = 3.9 \text{ m}$, et pour une $\Delta = 1.58$

On trouve $\frac{H_s}{\Delta D} = \frac{3.9}{1.58 * 2} = 1.23$

Cette valeur est en bon accord avec les résultats expérimentaux

- Pour la largeur des géotubes on va prendre 4.5 m avec un espacement de 0.5m entre 2 géotubes
- Pour la longueur des géotubes on va prendre 160 m avec un espacement de 120 m pour couvrir toute la longueur de la plage.
- A la fin Le nombre des géotubes installés sera de 10.

On peut ajouter un tapis anti-affouillement en géotextile tissé polypropylène afin d'assurer la stabilité de l'ouvrage et d'éviter les phénomènes d'affouillement sous les tubes.

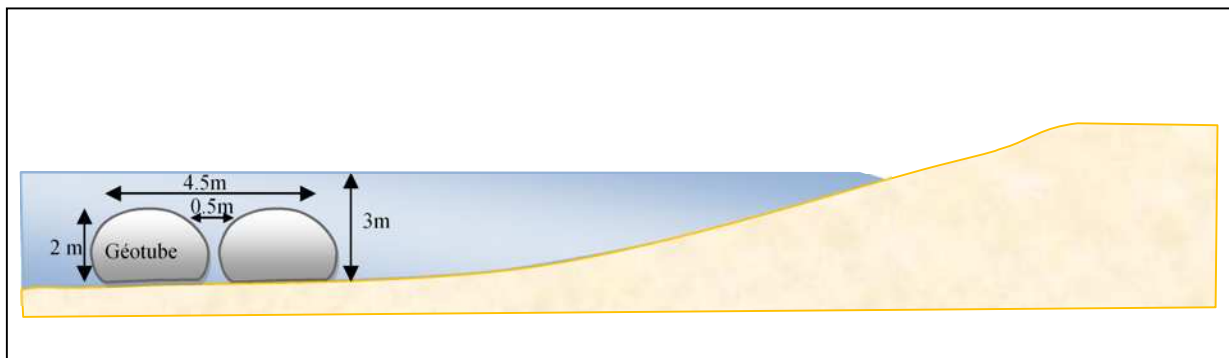


Figure n°72 : Installation des géotubes dans la zone de Club des Pins

IV-5-3 Avantages :

- Le rechargement facile des géotextiles en un 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 coûtait 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

IV-5-4 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 toujours convenablement connues.

Conclusion Générale

Conclusion générale :

La zone de Club des Pins a connu dans un passé récent une soudaine érosion où il est difficile de trouver des causes. Notre travail a consisté à faire un diagnostic sur notre zone, en évaluant les paramètres physiques et hydrodynamiques dans un premier temps, ensuite de proposer des solutions pour la protection de ce littoral dans un deuxième temps.

Ce projet initié par le LEM, nous a permis en nous associant à leur équipe de comprendre la gestion et le suivi d'un projet d'une telle envergure.

La diversité des facteurs à l'origine de l'érosion du littoral fait aboutir à une diversité de moyens de protection qui ne s'opposent pas forcément les uns aux autres, mais sont souvent complémentaires.

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

Notre étude nous a permis de constater que l'érosion côtière dans la zone de Club des Pins résulte en effet d'une combinaison de plusieurs facteurs à la fois d'origine naturelle et humaine, opérant à plusieurs échelles de temps et d'espace. Ce sont les tempêtes, les courants littoraux, les variations du niveau de la mer à terme plus au moins long, qui seraient à l'origine de cette érosion.

L'étude bathymétrique a révélé une morphologie particulière caractérisée par des profils ayant une barre et une fosse disposées parallèlement à la côte dans les quatre mètres de profondeur, susceptibles d'influencer l'évolution hydrodynamique et de ce fait l'effet érosif des vagues.

La modélisation numérique de la réfraction de la houle démontre que la houle de secteur Ouest est la plus menaçante sur la zone, responsable du transit littoral, elle va être prise dans le dimensionnement des ouvrages de protection, et que la houle de Nord-Ouest responsable de transport sédimentaire dans le profil, et par la suite de l'érosion de la plage.

L'étude sédimentaire indique la dominance d'un seul stock fin, aussi le mécanisme du transport responsable de la mise en place et la distribution de ce stock est principalement la houle.

La modélisation du transport sédimentaire par le model GSTA « Grain Size Trend Analysis» dans la zone a donné des résultats satisfaisants, qui semblent concorder avec les résultats obtenus au cours de notre étude notamment dans la bathymétrie et la réfraction de la houle.

L'étude microbiologique dénote une absence totale des germes pathogènes. La classification AFNOR met les eaux de la zone dans une catégorie de bonne qualité bactériologique.

Une approche courantologique aurait été un complément non négligeable dans notre étude notamment dans le volet hydrodynamique.

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

- la justification de l'opportunité de la protection envisagée par rapport à la valeur des biens domageables.
- 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 mixte qui, en combinant la souplesse et la stabilité semble le plus adéquat pour notre zone d'étude.

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

En définitive, ce travail est une tentative de réponse aux enjeux exprimés en ces termes :

- saurons-nous garder un espace côtier où nous pourrions vivre en harmonie avec le littoral qui le compose ?
- saurons-nous assurer un développement soutenable sans compromettre notre littoral, évitant ainsi les impacts négatifs sur cet espace ?

Bibliographie

Aichiou. L, Echchatabi. A ; 2006 - Evaluation de la qualité bactériologique des eaux de baignade de deux plages de la commune de Bab El Oued ; R'Mila et El Kettani. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p29-64.*

Ait Kaci. M, Hamdi. M. S ; 2008 – Contribution à l'étude des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'embouchure de l'oued « Béni-Messous ». *Mémoire de DEUA, ISMAL, p38-49.*

Albert. K, Edwin. Z, Jean-Christophe. A, Jean-Michel. B ; 2009 - Un atténuateur de houles en tube géosynthétique pour limiter l'érosion de la plage de la capte à Hyères. *Rencontres Géosynthétiques, p301-304.*

Amari. S, Guessab R ; 2005 -Travaux de protection du complexe touristique de Zeralda contre l'érosion côtière. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, P25-35.*

Amghar. L, Sahraoui. E ; 2005 - Etude géologique et géotechnique d'un projet de complexe hôtelier à **Staoueli** (Alger). *Mémoire d'ingénieur, Usthb/ I.S.T.*

Akhzeroun. A, Bouarfa D ; 2005 - Travaux de protection de la plage de Ain Chorb (Ex Surcouf). *mémoire d'ingénieur, ISMAL, p21-28.*

Annane. G, Kemila A, Ladjimi. F ; 2007 - Inventaire et impacts des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou Ismail. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p6, 11-15, 38.*

Benallal, Ourabia. K ; 1989 - Etude hydrogéologique et géotechnique de la zone côtière de Staoueli-Sidi Fredj (Ouest Algérois). *Mémoire d'ingénieur. u.s.t.h.b / i.s.t.*

Ben Boudiaf. Y, Hadjarab. R ; 2006 - Caractérisation géotechnique d'une portion littorale d'El Djamila ; conséquences sur l'aménagement. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p5-13.*

Bellahsene. Y, Messaoudi. S ; 2005 - Etude bathymétrique, sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p13, 19-41.*

Bonnefille. R ; 1992 - Cours D'Hydraulique Maritime. *Edition Masson, 208 pages.*

Boutiba. M ; 1996 - Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). *Thèse de magister ISMAL, p122-123.*

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec ; 2003.d - Dénombrement des salmonelles; méthode par tubes multiples. MA. 700 – Sal-tm 1.0, *Ministère de l'Environnement du Québec, p19.*

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

Département de la Martinique direction départementale de l'équipe arrondissement opérationnel ; 1981 - La houle comment s'en protéger, volume protection des côtes en enrochements, p4-23. Volume la houle de projet, p15-21. Volume Epis, Brise-lames, p6-18.

Fernane. A, Terki. C ; 2003 -Utilisation d'un modèle mathématique vectorielle de Gao & Collins (1994). Dans les petits fonds d'une plage de la rive sud de la Méditerrané, Azur plage Algérie. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p18-29.*

Gao. S ; 1996 - A fortran program for grain-size trend analysis to define net sediment transport pathways, *Computers & Geosciences Vol. 22, No. 4. Elsevier Science Ltd, p449-452.*

Gao, S, Collins. M. B ; 1994 - Analysis of grain-size trends for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of Coastal Research*, , p10, 70-78.

Ghezali. F ; 2004 - Dynamique sédimentaire dans la zone de déferlement de la houle. Application du modèle mathématique vectoriel de : Mc Laren et Bowles développé par Gao et Collins entre le port de Jijel et Oueds Jen Jen. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL*, p47-56.

Glangeaud. L ; 1932 - Etude géologique de la région littorale de la province d'Alger. Bull. série. Carte géologique. Algérie, Alger 1932. 2^{ème} série. n°08.

Glangeaud. L, Ayme. A, Caire. A, Mataeur. M, Muraour. P ; 1952 - Histoire géologique de la province d'Alger. publ. XIX^{ème} CGI. Monogr. Région, 1^{ère} sér. Algérie. n° 25, p142.

Guerouahen.L, Haya. S ; 2009 - Contribution à l'étude de la baie d'El Djamila : étude des caractéristiques physico-chimiques et chimique de l'eau. *Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL*, p4, 19-25.

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

Joffin. J. N, Guy. L ; 2001 - Microbiologie technique tome I, *dictionnaire des techniques*, p312.

Koffler, Bendriss, Zengerink ; 2002. Les géosynthétiques en protection contre l'érosion des berges et en construction d'ouvrages hydrauliques et maritimes. Paris.

Krystian W. P ; 2000 - Geosynthetics and Geosystems in Hydraulic and Coastal Engineering, p342-364.

L.E.M ; 1984 - Etude de protection de Rivage Sidi-Fredj Club des pins, p8-14.

L.E.M ; 1987 - Etude de protection de Rivage Sidi-Fredj Club des pins, p1-31.

L.E.M ; 1999 - Carte sédimentaire du littoral Algérien, Etude de la 1^{ère} mission collecte et analyse des données de base Wilaya de Tipaza, p7-24, 29, 41.

L.E.M ; 1999 - Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (mission 5, wilaya de Tipaza. 1^{ère} tranche), p 21-52.

L.E.M ; 1999 - Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (mission 6, wilaya de Tipaza. 1^{ère} tranche), p 7-12, 15-27, 33-54.

L.E.M ; 1997 - Etude de protection du site « Les sablettes », p6-16, 21-39.

LEM ; 2004 - Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (Mission 1 Inventaire et analyse des informations et données de base), p8-13.

L.E.M ; 2008 - Etude d'Impact sur l'environnement de la réalisation de la plage artificiel à El Djamila, p5-11.

L.E.M ; 2008 - Etude de l'établissement de la carte sédimentaire du littoral Algérien (mission 4, wilaya de Tipaza. 1^{ème} tranche), p 6-44.

Millot. C, Taupier-Letage. I, et Benzohra. M ; 1990 - The Algerian eddies. *Earth Sciensa Reviews*, p27, 203-219.

Météo France ; 1989-2008 - direction de la production, département services.

Olivier. S ; 2007 - Efficacité et impacts des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales, le cas du Languedoc et du delta du Rhône. *Thèse de doctorat. Université Aix-Marseille, p32-28.*

O.M.S/P.N.U.E ; 1995 - Recommandation pour la surveillance sanitaire des zones côtières à usage récréatif et des zones conchylicoles : recommandations générales, I (041), p45-47.

Pelmont. J ; 1993 - Bactéries et environnement : adaptations physiologiques Collections Grenoble Sciences p899.

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

Paskoff. R ; 2001 - L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers.

Ramoge ; 2002 - La défense des plages contre l'érosion, p9-14.

Rodier. J, Bzin C, Broutin. J. P, Chmbon. P, Champsaur. H, Rodi. L ; 2005 - L'analyse de l'eau ; eau naturelle, eaux résiduelles, eau de mer. Ed DUNOD. p1383.

Safari, F. Ropert, D. Mouazé, A. Ezersky ; 2008 - Historique du bloc artificiel utilisé dans les digues à talus (Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis), p805-820.

Sabri. F ; 2004 - Travaux de protection de la côte de Ain Beida (Ex Suffren). *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p33-42,72.*

Singleton. P, Sainsbury. D ; 1984 - Bactériologies. MASSON .ed, p158.

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

TarmouL. F, Sadi. M ; 2007 - Détermination de la pollution résiduelle d'une station d'épuration par lagunage naturel "Cas de la lagune de Béni-Messous". *Mémoire de DEUA, ISMAL, p33-36 + annexe.*

Ten Cate Nicolon - Geosystems : exemples d'application, p1-13.

Yahi. A ; 2009 - Vérification de la dynamique hydrosédimentaire entre les isobathes -20 à -30 m pour l'exploitation des granulats marins. *Mémoire d'ingénieur, Enssmal, p19-20.*

Zemenzer. S ; 2004 - Ensablement du port par transport sédimentaire simulation et application du modèle de Gao et Collins (1994) au port de Sidi Fredj. *Mémoire d'ingénieur, ISMAL, p6-7, 31-41.*

Annexe

DONNEES METEOROLOGIQUES

Station : ALGER DAR-EL-BEIDA

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

Précipitations : Précipitations mensuelles et annuelles exprimées en millimètres (mm).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	171	40	107	29	00	24	00	49	18	19	58	39	554
1996	94	232	57	161	36	32	07	04	38	86	27	34	808
1997	38	24	09	95	22	10	09	33	37	45	130	93	545
1998	29	52	37	76	151	01	00	08	22	49	103	82	610
1999	121	133	86	47	01	2	00	04	19	22	170	202	807
2000	16	06	19	17	53	0	01	01	04	47	74	41	279
2001	126	73	0	34	14	01	00	03	45	39	49	57	441
2002	39	15	34	39	14	00	00	34	12	54	145	102	488
2003	200	133	22	87	20	00	00	28	40	38	58	110	736
2004	90	46	79	56	149	01	02	01	12	43	116	109	704
2005	85	115	50	26	01	00	00	00	15	57	102	81	532

Températures : Températures maximales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	162	194	187	210	260	272	312	329	282	269	232	197	242
1996	190	156	189	204	233	267	308	310	272	231	216	197	231
1997	182	190	197	221	247	283	289	315	298	268	210	185	240
1998	179	192	197	216	230	279	315	320	301	247	203	18	225
1999	167	154	194	218	266	290	318	333	303	280	188	170	240
2000	147	191	203	230	258	275	322	338	295	252	217	198	244
2001	184	178	241	228	247	322	323	332	297	290	194	165	250
2002	178	186	213	221	266	297	306	308	297	259	216	194	245
2003	155	157	198	216	246	312	340	348	299	257	216	170	243
2004	174	184	184	213	219	288	312	337	317	292	198	176	241
2005	149	141	185	215	260	301	325	322	294	271	200	167	236

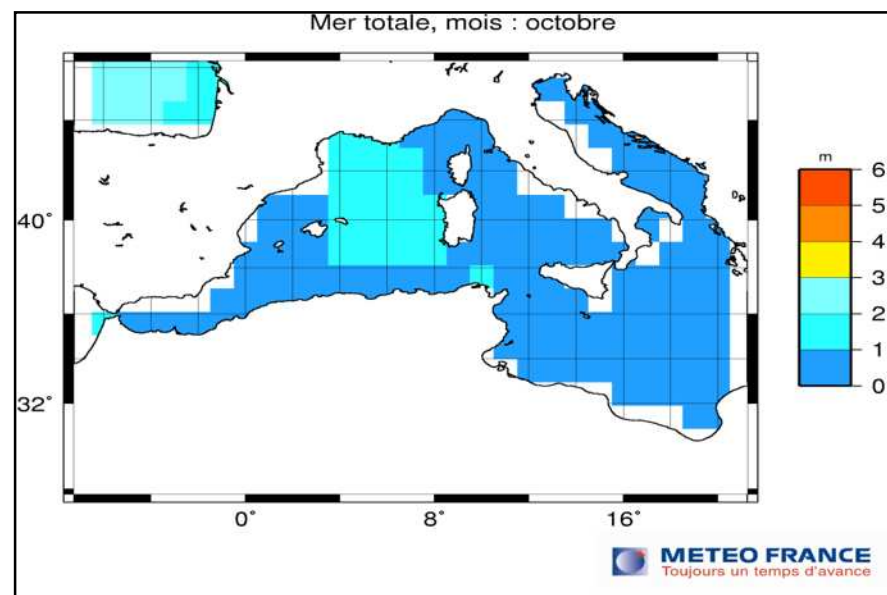
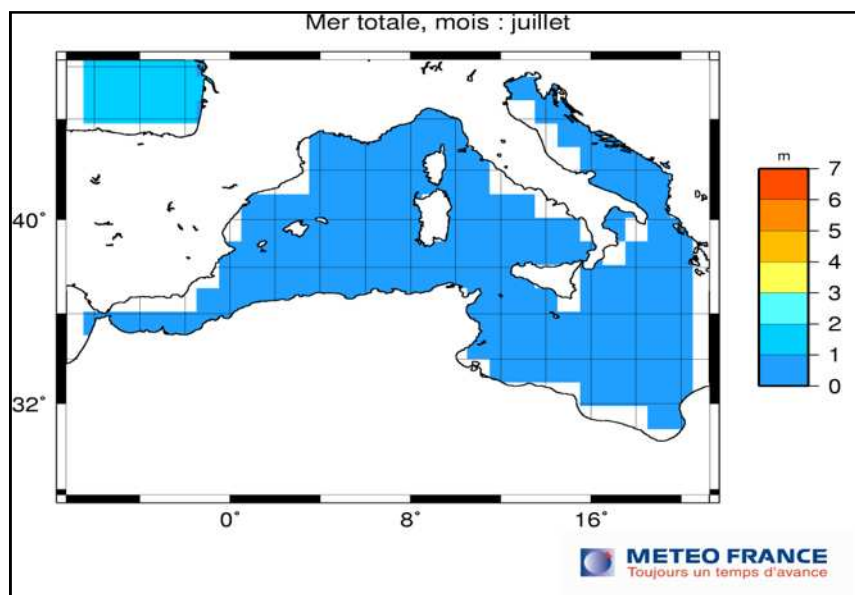
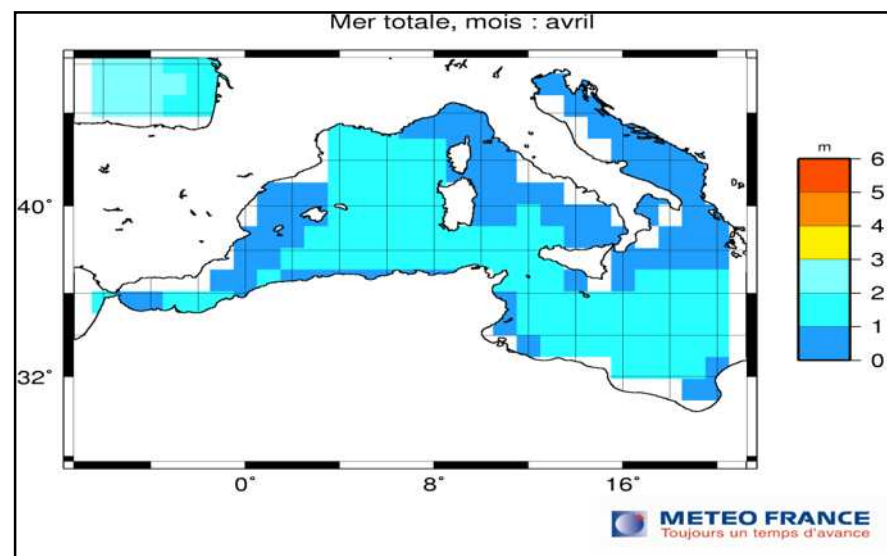
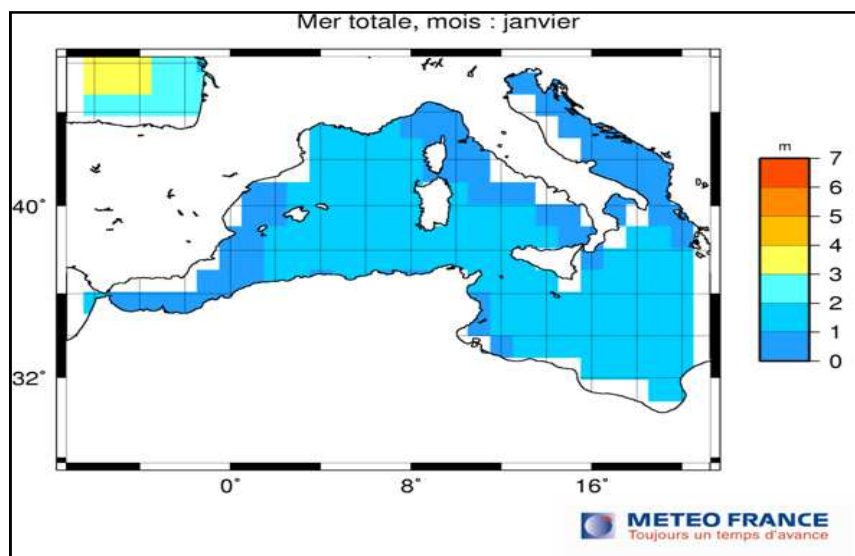
Températures : Températures minimales moyennes exprimées en degrés Celsius (°C).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	56	65	65	63	127	168	187	199	162	140	110	96	120
1996	95	70	78	99	106	158	182	203	159	111	95	81	120
1997	85	52	40	89	145	168	188	200	188	156	116	81	126
1998	62	63	58	92	127	154	180	194	189	112	96	55	115
1999	64	49	82	79	151	176	188	224	189	169	92	74	128
2000	21	41	68	99	149	162	201	199	174	129	100	74	118
2001	58	43	94	75	115	156	184	202	176	159	92	38	116
2002	47	36	67	84	109	161	186	195	165	133	106	85	115
2003	61	54	72	96	122	185	216	223	184	157	70	69	126
2004	57	61	79	85	110	155	210	209	179	153	95	74	122
2005	78	33	76	94	127	169	193	183	153	141	87	61	116

DONNEES METEOROLOGIQUES (suite)

Vents : Vitesse des vents, moyenne mensuelles et annuelles en (m/s).

	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	An
1995	23	17	21	20	22	28	24	23	22	12	24	29	22
1996	29	36	28	28	24	24	22	20	22	13	24	20	24
1997	26	12	15	21	21	21	27	23	20	18	29	19	21
1998	22	12	14	26	21	21	21	21	25	17	18	13	19
1999	20	22	20	16	28	28	28	32	28	26	24	33	25
2000	12	19	21	43	25	25	32	32	28	28	33	32	28
2001	33	24	31	30	33	33	31	25	30	19	20	14	27
2002	15	20	28	27	31	31	31	24	29	24	30	28	27
2003	40	34	20	27	25	28	27	25	24	20	25	33	27
2004	24	20	23	32	31	24	24	24	20	16	16	32	24
2005	20	26	21	30	27	28	35	31	24	20	21	23	26



270°N – Hs=5.54m – T= 10s

315°N – Hs=4.53m – T= 10s

x(UTM)	y(UTM)	Hs (m)	Tp (s)	Angle d'arrivée °	Kr
490546	4071521	4,16	10,37	278	0,75
490451	4071023	4,22	10,37	282	0,76
490292	4070912	4,37	10,37	284	0,79
490340	4070679	4,05	10,37	286	0,73
490096	4070583	4,32	10,37	286	0,78
490059	4070302	4,05	10,37	288	0,73
489852	4070270	4,36	10,37	288	0,79
489815	4070053	4,28	10,37	289	0,77
489608	4069931	4,55	10,37	289	0,82
489608	4069714	4,2	10,37	290	0,76
489354	4069608	4,49	10,37	290	0,81
489227	4069396	4,34	10,37	292	0,78
489243	4069152	3,86	10,37	295	0,70
488941	4069046	3,98	10,37	295	0,72
488628	4068893	3,89	10,37	295	0,70
488379	4068670	3,83	10,37	297	0,69
488178	4068654	4,03	10,37	298	0,73
487929	4068479	3,85	10,37	300	0,69
487722	4068474	4,12	10,37	300	0,74
487499	4068315	3,92	10,37	299	0,71
487250	4068453	4,29	10,37	296	0,77
486900	4068108	3,59	10,37	300	0,65

x(UTM)	y(UTM)	Hs (m)	Tp (s)	Angle d'arrivée °	Kr
490546	4071521	3,8	10,37	300	0,84
490451	4071023	3,82	10,37	307	0,84
490292	4070912	3,74	10,37	308	0,83
490340	4070679	3,74	10,37	308	0,83
490096	4070583	3,91	10,37	310	0,86
490059	4070302	3,91	10,37	312	0,86
489852	4070270	4,01	10,37	314	0,89
489815	4070053	4	10,37	315	0,88
489608	4069931	4,1	10,37	316	0,91
489608	4069714	4,08	10,37	315	0,90
489354	4069608	4,11	10,37	316	0,91
489227	4069396	4,17	10,37	317	0,92
489243	4069152	3,97	10,37	316	0,88
488941	4069046	4,22	10,37	317	0,93
488628	4068893	4,29	10,37	320	0,95
488379	4068670	4	10,37	321	0,88
488178	4068654	4,03	10,37	322	0,89
487929	4068479	3,89	10,37	322	0,86
487722	4068474	4,04	10,37	325	0,89
487499	4068315	4,03	10,37	324	0,89
487250	4068453	4,2	10,37	323	0,93
486900	4068108	3,98	10,37	323	0,88

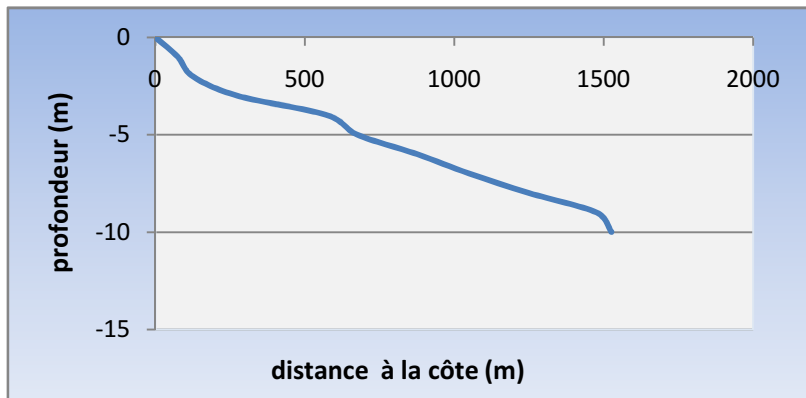
360°N – Hs=4.93m – T= 10s

45°N – Hs=5.05m – T= 10s

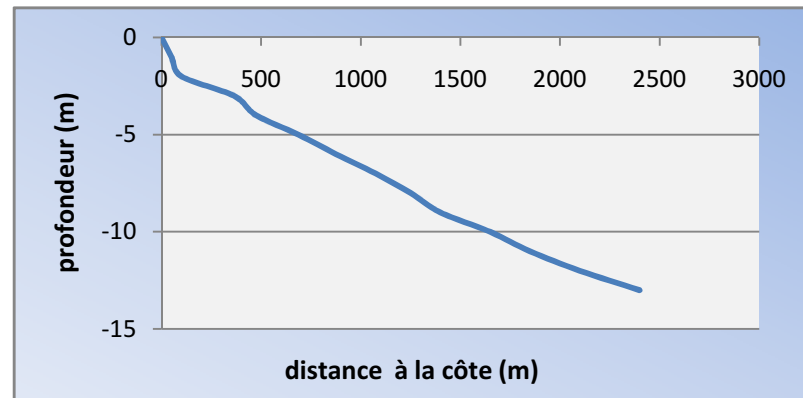
x(UTM)	y(UTM)	Hs (m)	Tp (s)	Angle d'arrivée °	Kr
490546	4071521	3,26	10,37	316	0,66
490451	4071023	3,56	10,37	324	0,72
490292	4070912	3,93	10,37	330	0,80
490340	4070679	3,77	10,37	329	0,76
490096	4070583	3,68	10,37	335	0,75
490059	4070302	3,49	10,37	335	0,71
489852	4070270	3,32	10,37	337	0,67
489815	4070053	3,38	10,37	336	0,69
489608	4069931	3,46	10,37	339	0,70
489608	4069714	3,52	10,37	337	0,71
489354	4069608	3,76	10,37	341	0,76
489227	4069396	3,8	10,37	342	0,77
489243	4069152	3,7	10,37	339	0,75
488941	4069046	3,93	10,37	343	0,80
488628	4068893	4,01	10,37	346	0,81
488379	4068670	4,1	10,37	346	0,83
488178	4068654	4,16	10,37	338	0,84
487929	4068479	3,99	10,37	347	0,81
487722	4068474	4,14	10,37	351	0,84
487499	4068315	4,09	10,37	350	0,83
487250	4068453	4,3	10,37	351	0,87
486900	4068108	4,14	10,37	351	0,84

x(UTM)	y(UTM)	Hs (m)	Tp (s)	Angle d'arrivée °	Kr
490546	4071521	1,86	10,37	325	0,37
490451	4071023	1,98	10,37	333	0,39
490292	4070912	2,25	10,37	338	0,45
490340	4070679	2,28	10,37	334	0,45
490096	4070583	2,55	10,37	341	0,50
490059	4070302	2,57	10,37	340	0,51
489852	4070270	2,62	10,37	346	0,52
489815	4070053	2,52	10,37	345	0,50
489608	4069931	2,44	10,37	351	0,48
489608	4069714	2,35	10,37	347	0,47
489354	4069608	2,26	10,37	354	0,45
489227	4069396	2,17	10,37	355	0,43
489243	4069152	2,11	10,37	351	0,42
488941	4069046	2,04	10,37	356	0,40
488628	4068893	2,08	10,37	1	0,41
488379	4068670	2,22	10,37	1	0,44
488178	4068654	2,21	10,37	4	0,44
487929	4068479	2,25	10,37	3	0,45
487722	4068474	2,28	10,37	7	0,45
487499	4068315	2,32	10,37	6	0,46
487250	4068453	2,31	10,37	10	0,46
486900	4068108	2,44	10,37	9	0,48

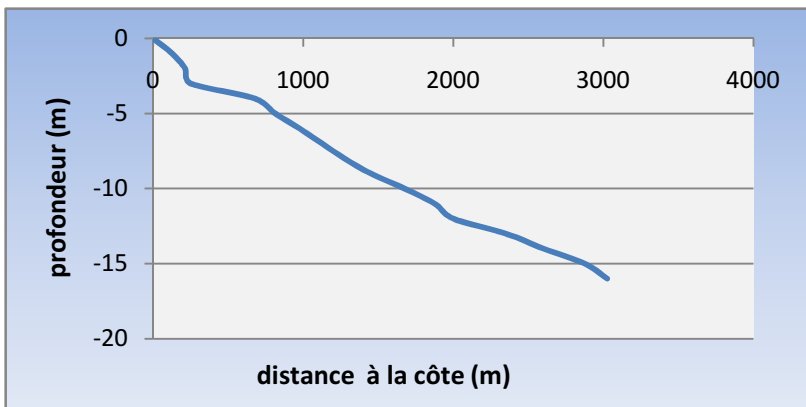
Profil : 01



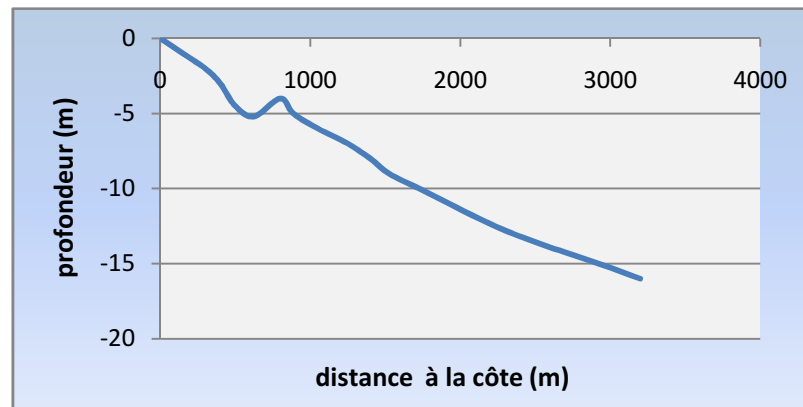
Profil : 02



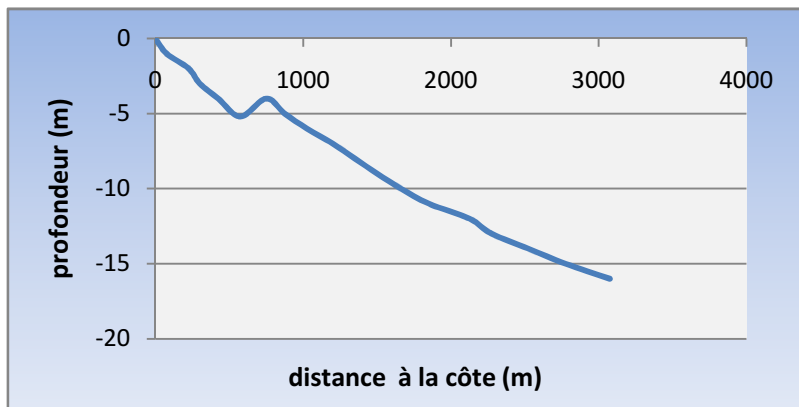
Profil : 03



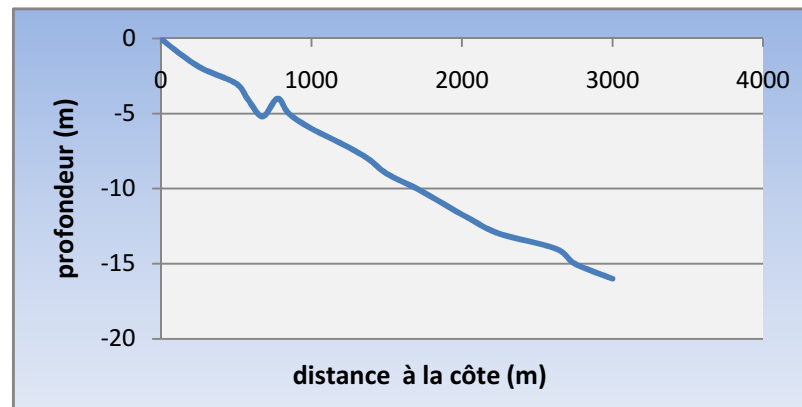
Profil : 04



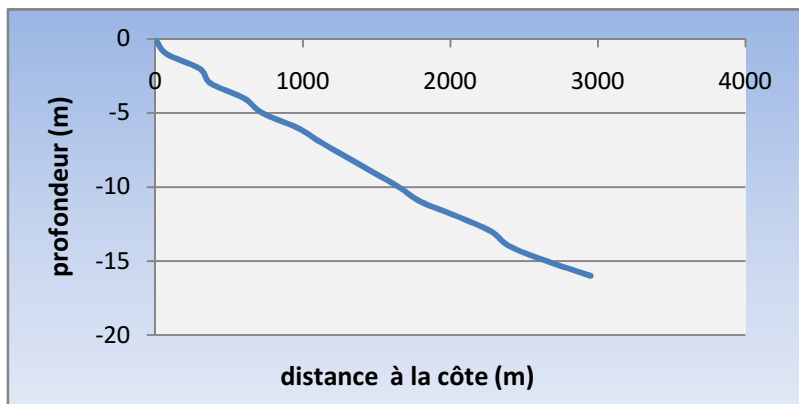
Profil : 05



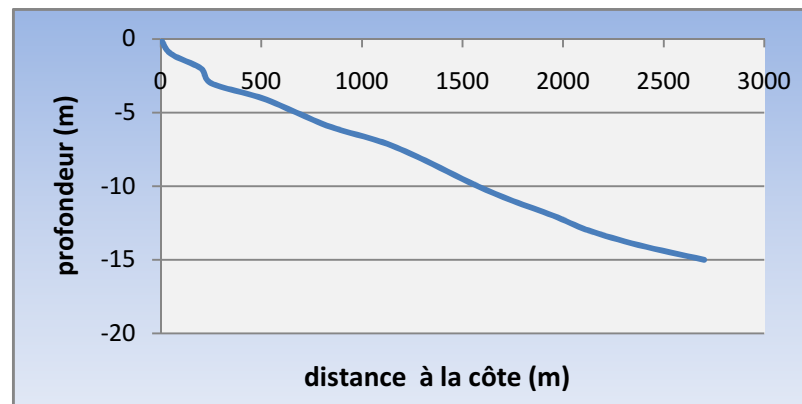
Profil : 06

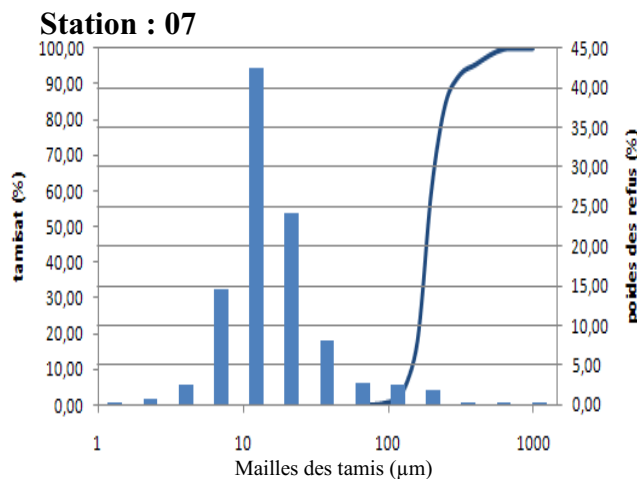
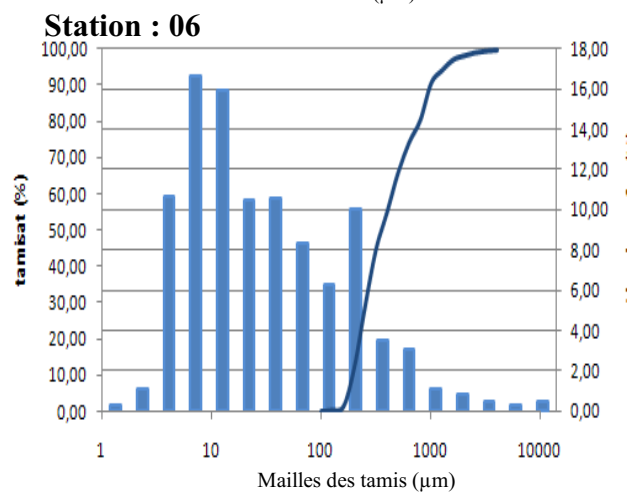
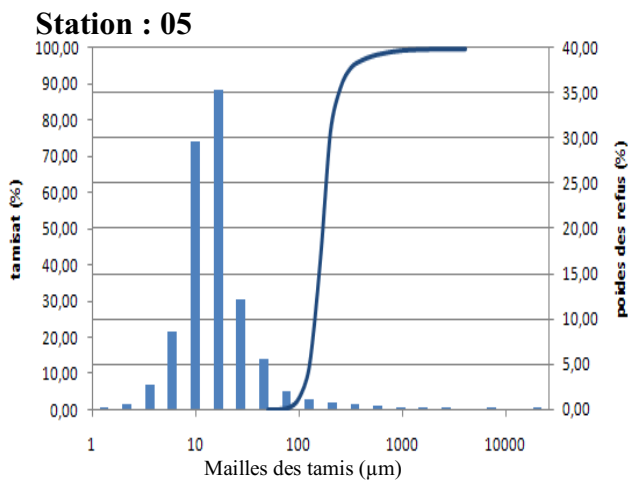
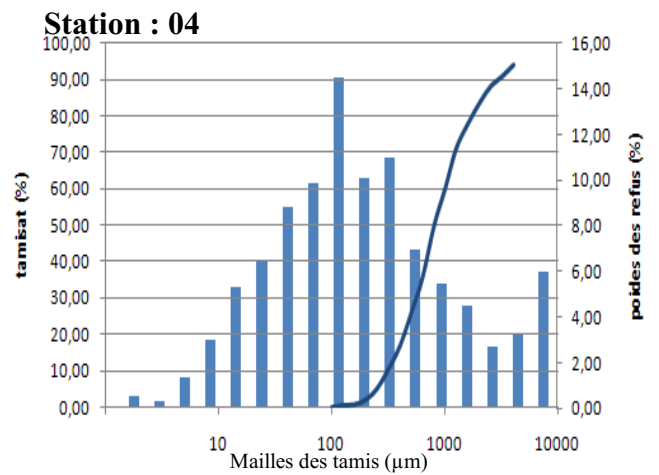
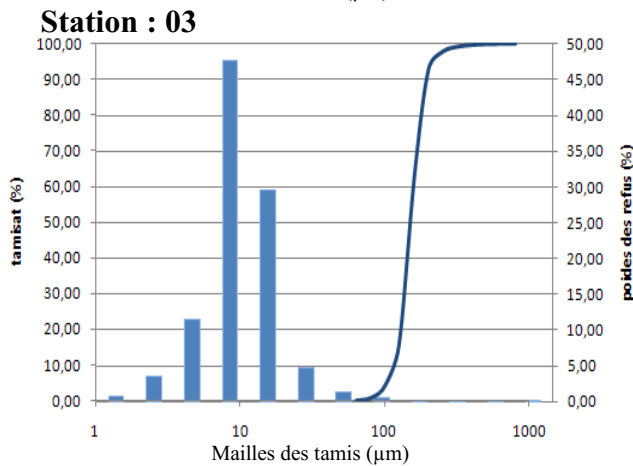
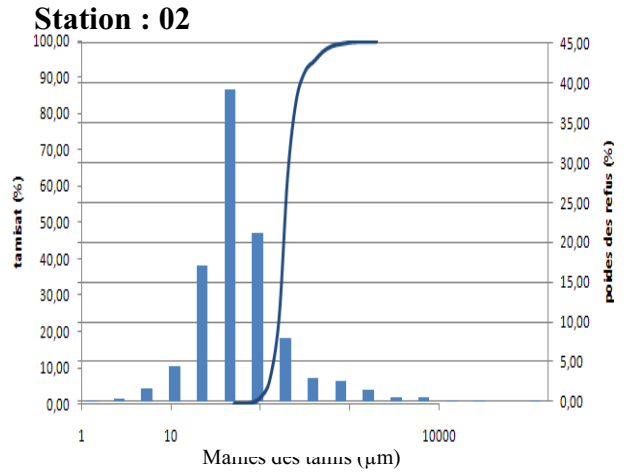
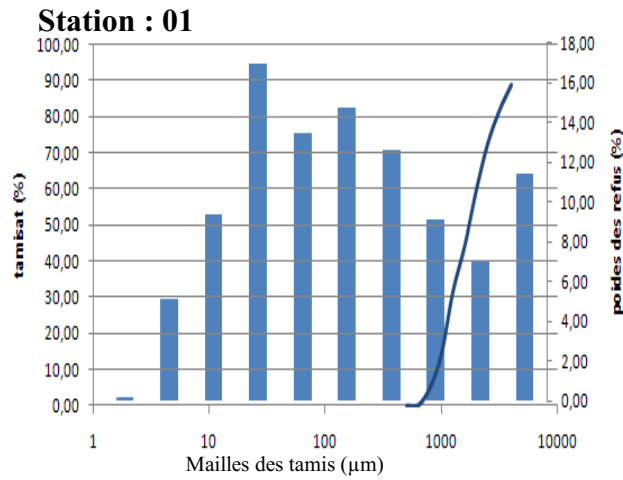


Profil : 07

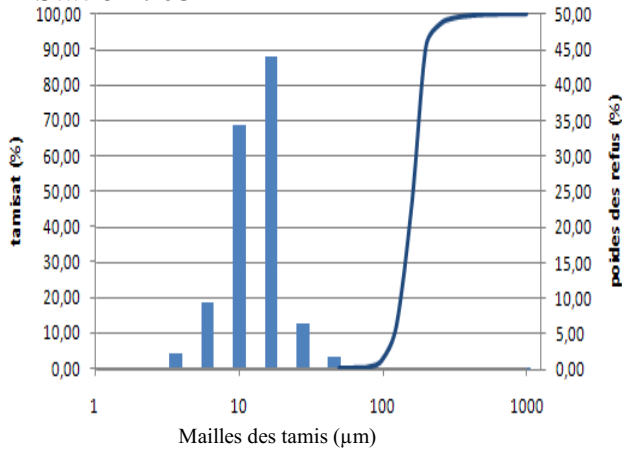


Profil : 08

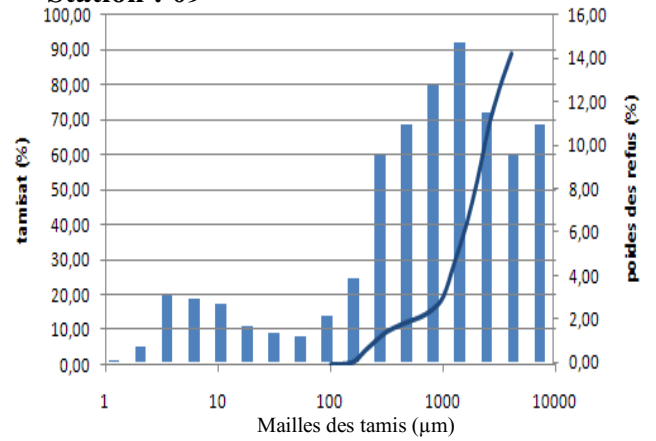




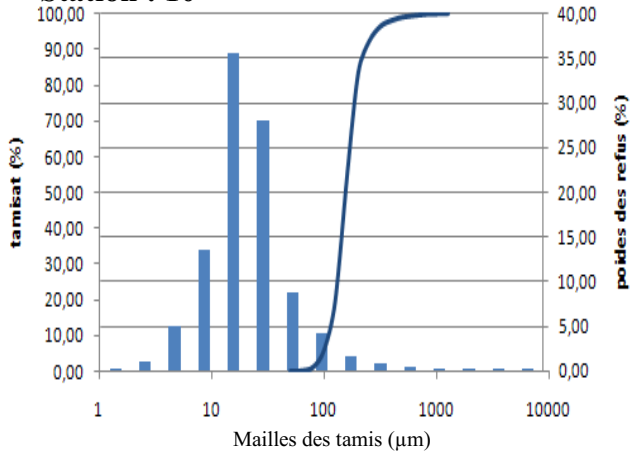
Station : 08



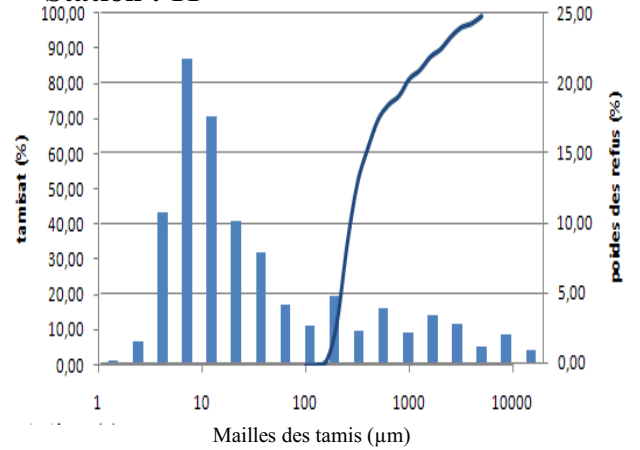
Station : 09



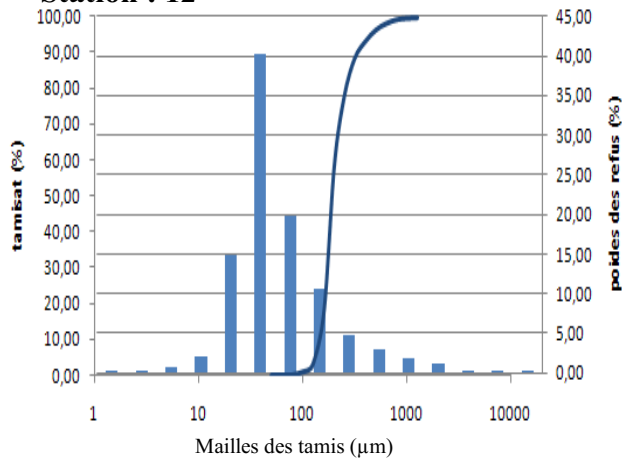
Station : 10



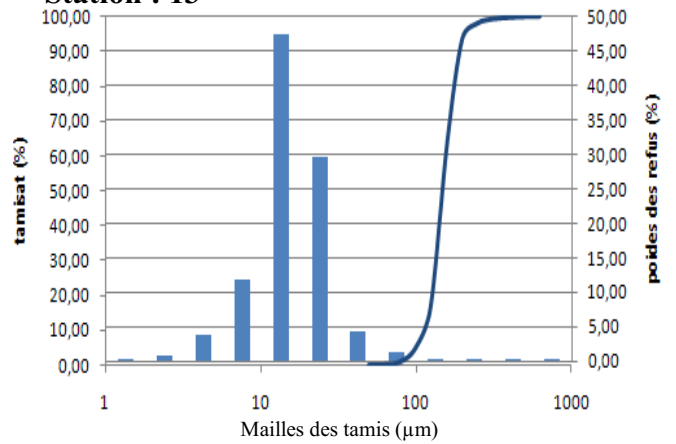
Station : 11



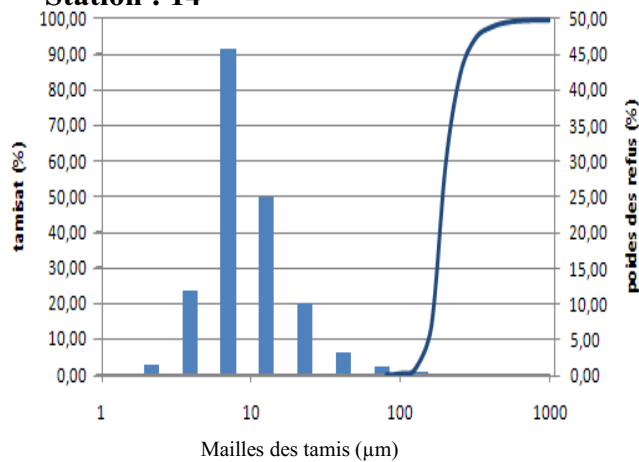
Station : 12



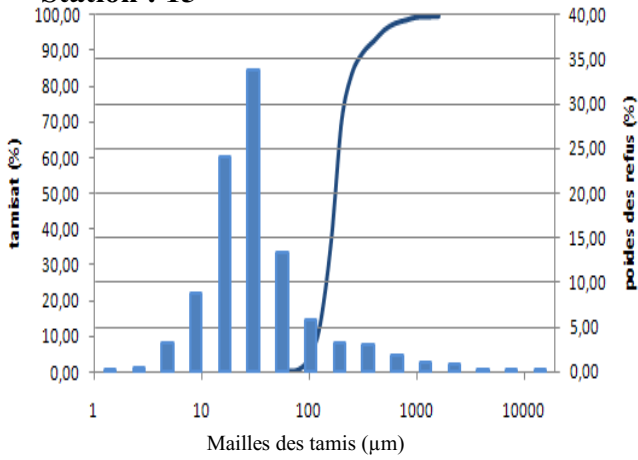
Station : 13



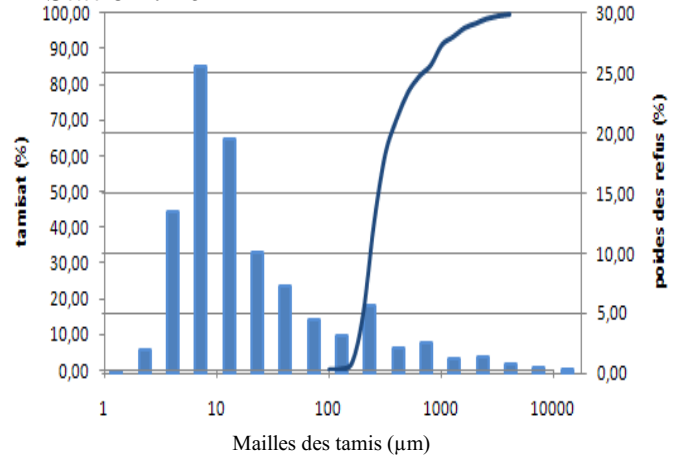
Station : 14



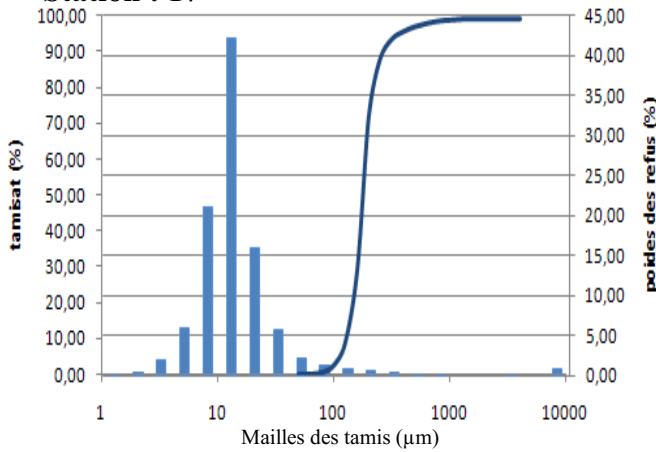
Station : 15



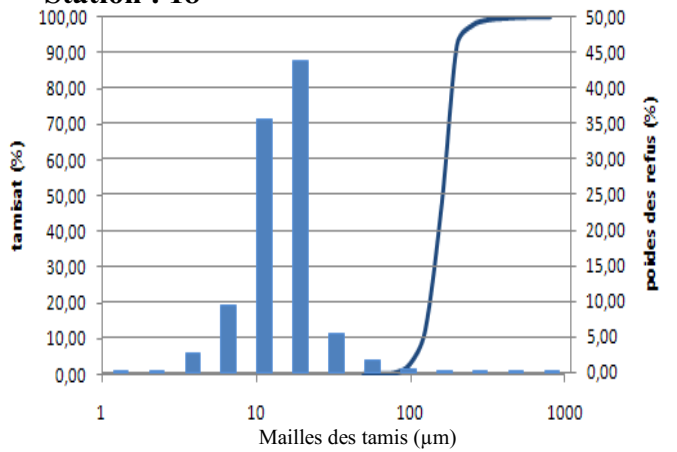
Station : 16



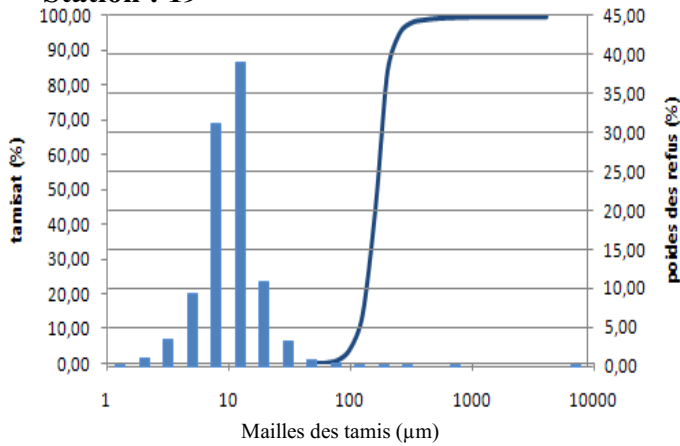
Station : 17



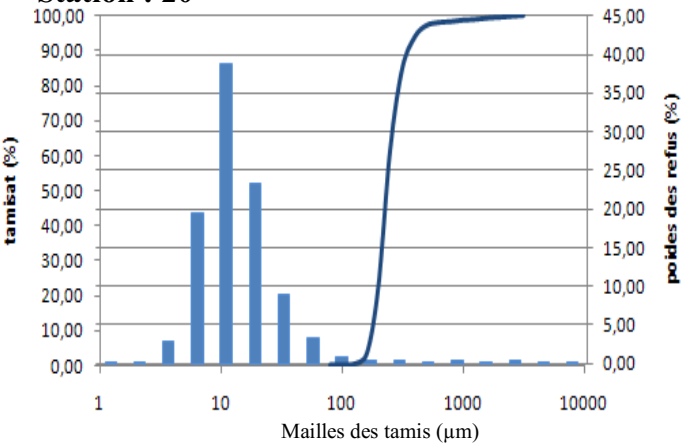
Station : 18



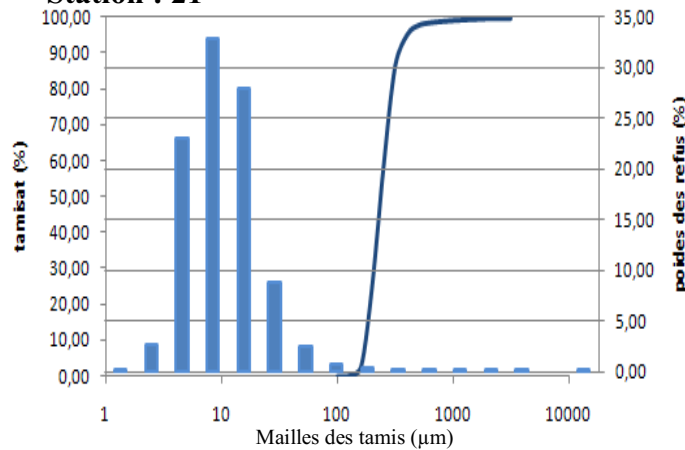
Station : 19



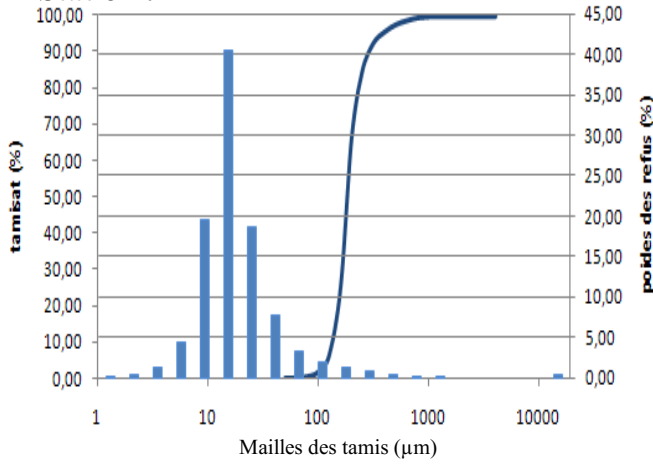
Station : 20



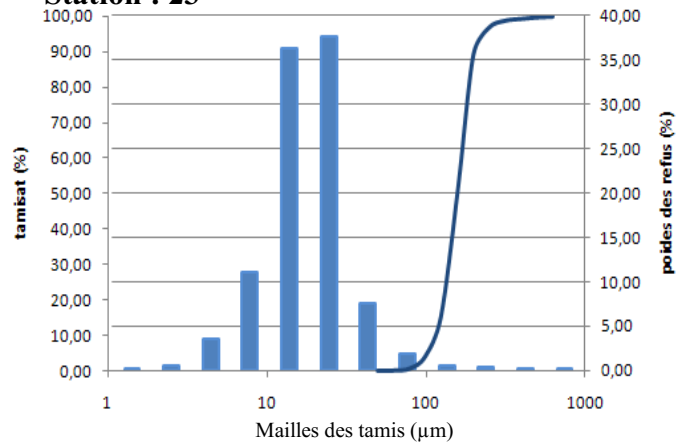
Station : 21



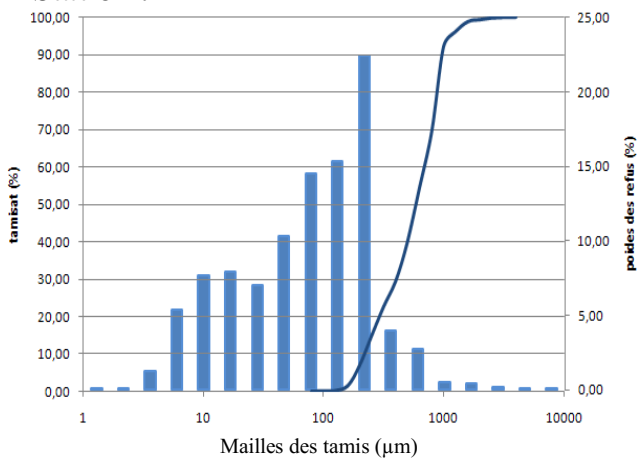
Station : 22



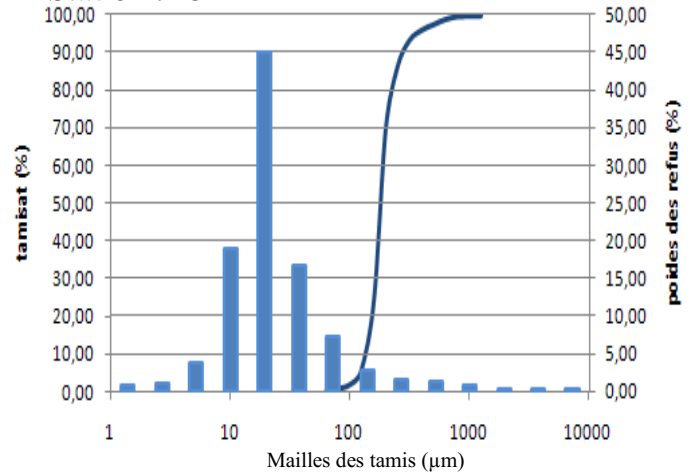
Station : 23



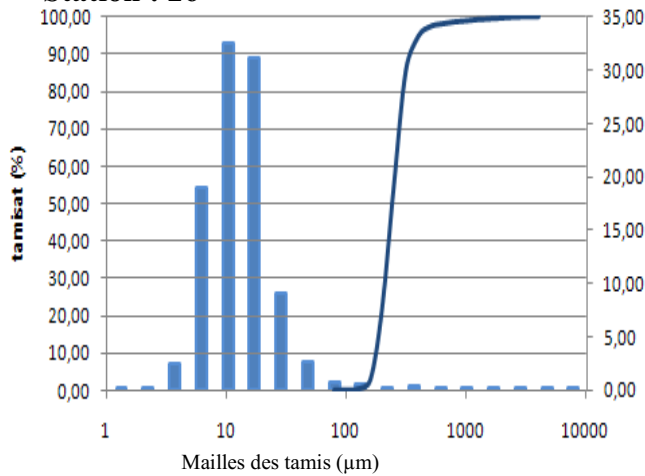
Station : 24



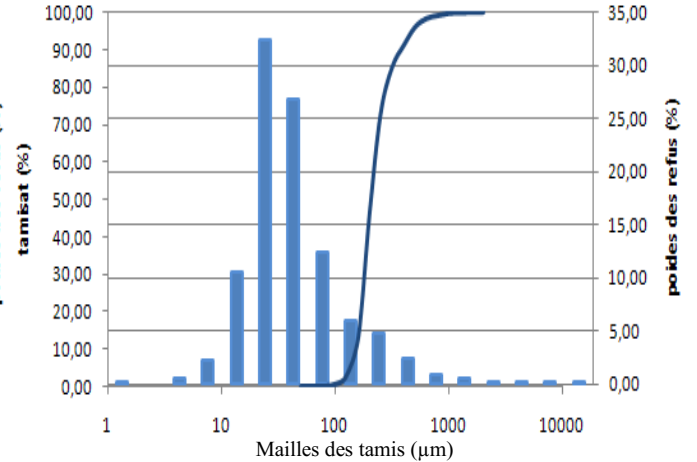
Station : 25



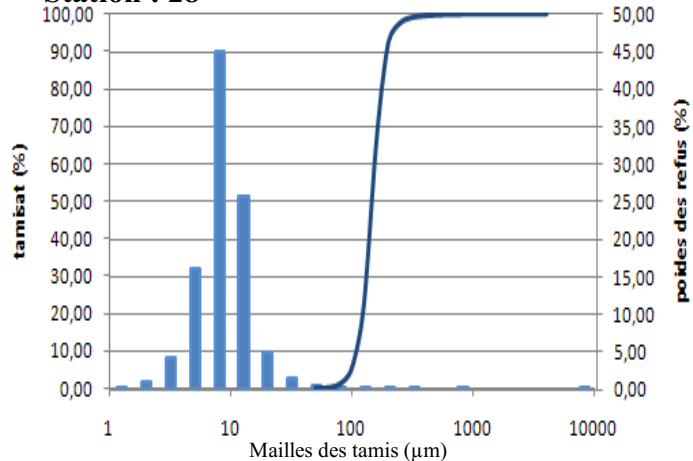
Station : 26



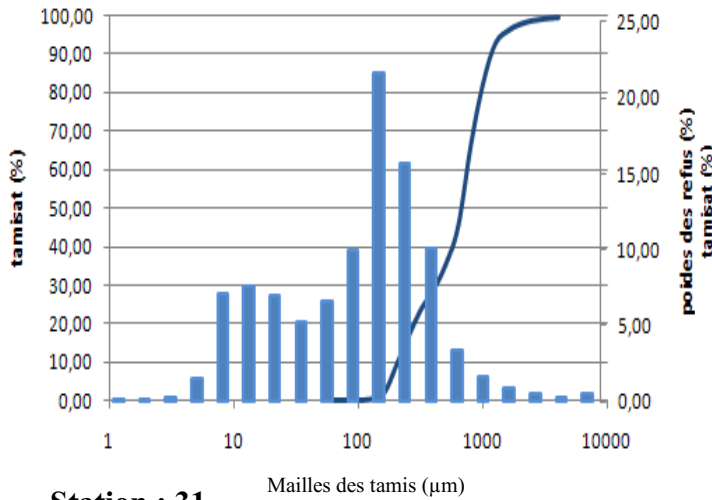
Station : 27



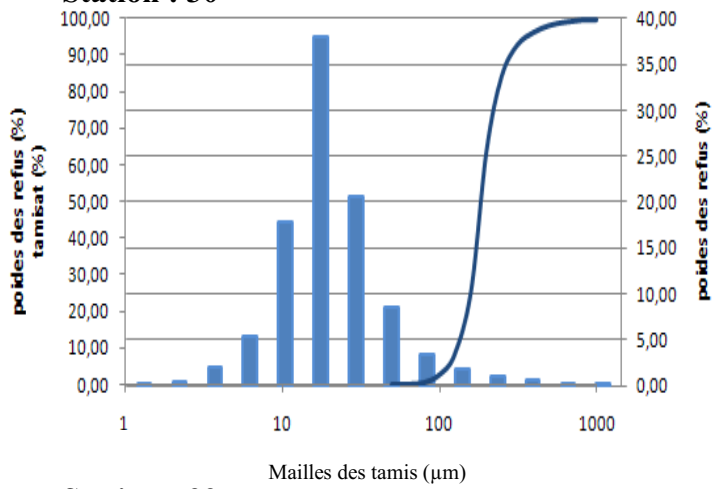
Station : 28



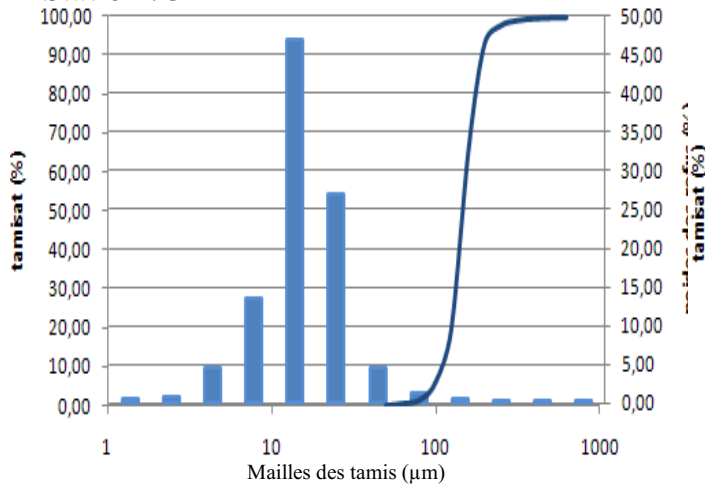
Station : 29



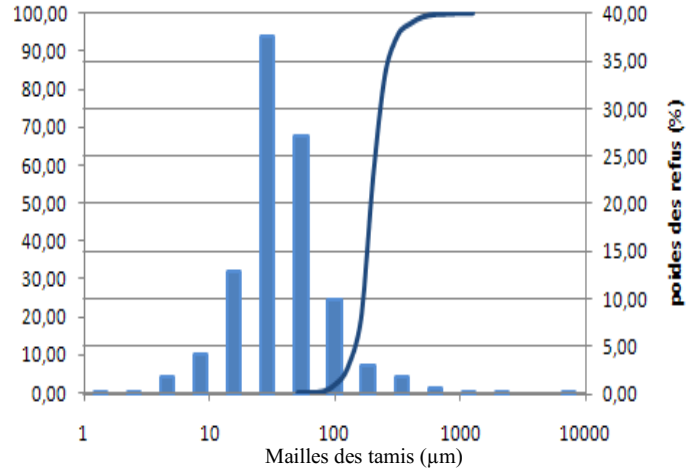
Station : 30



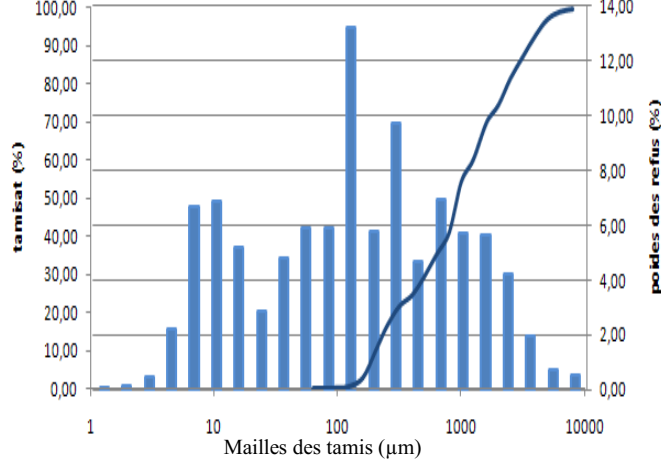
Station : 31



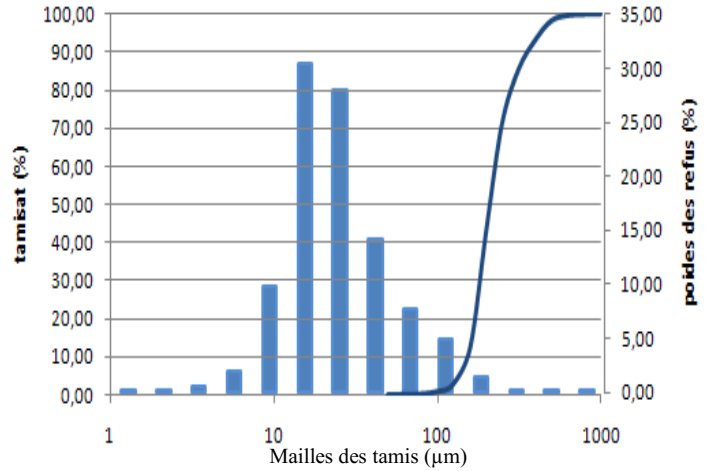
Station : 32



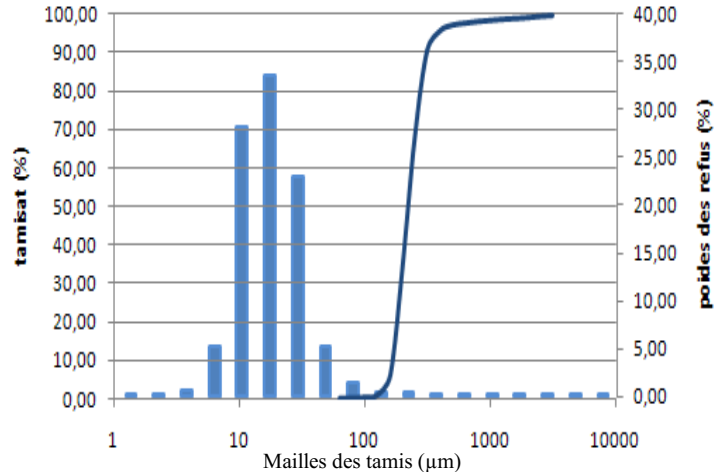
Station : 34



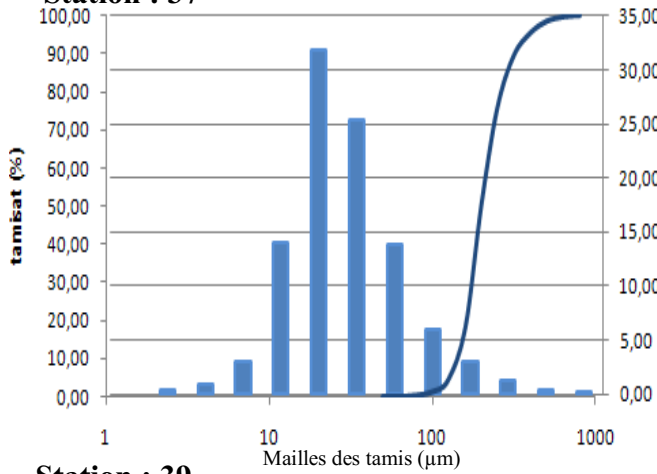
Station : 35



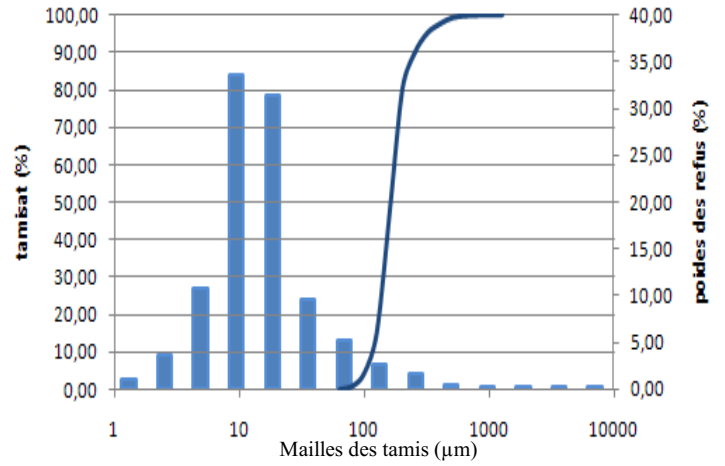
Station : 36



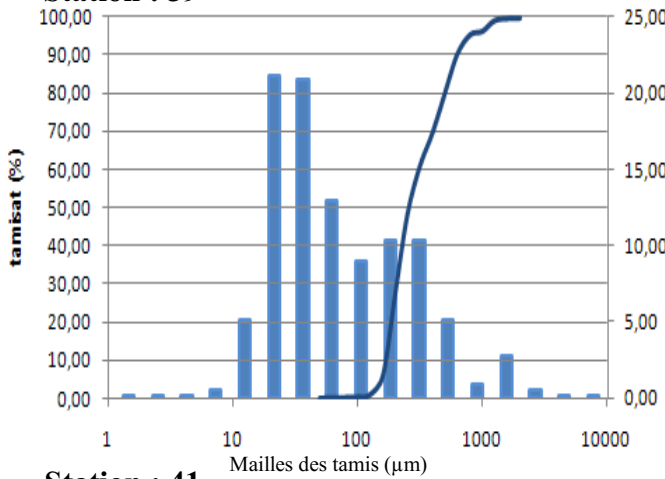
Station : 37



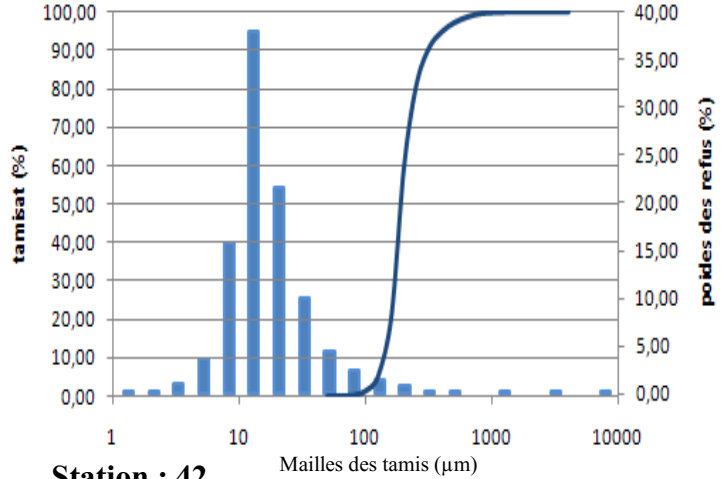
Station : 38



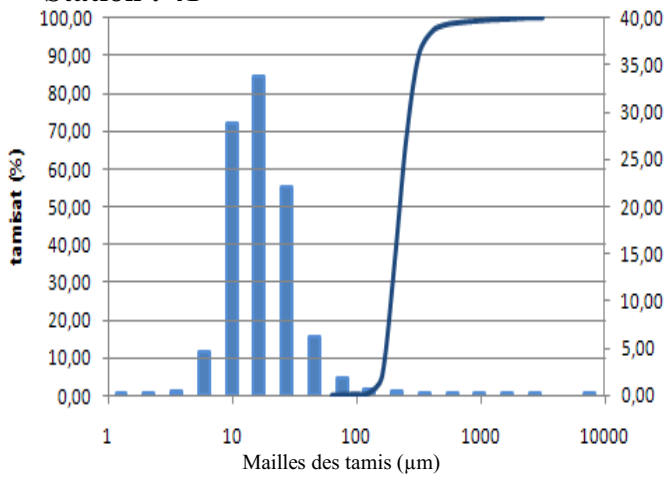
Station : 39



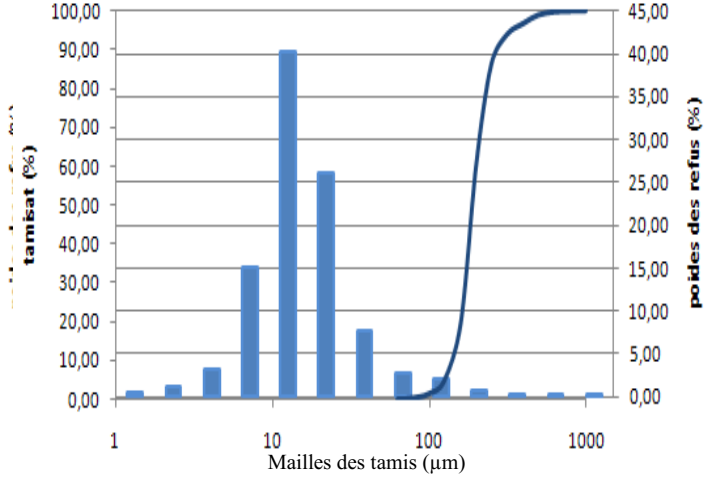
Station : 40



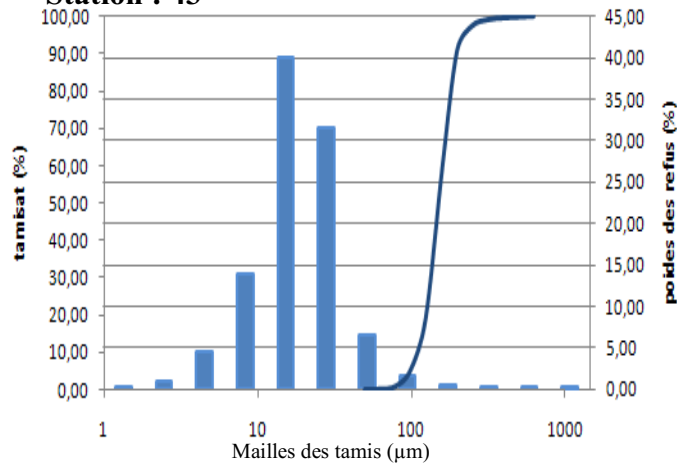
Station : 41



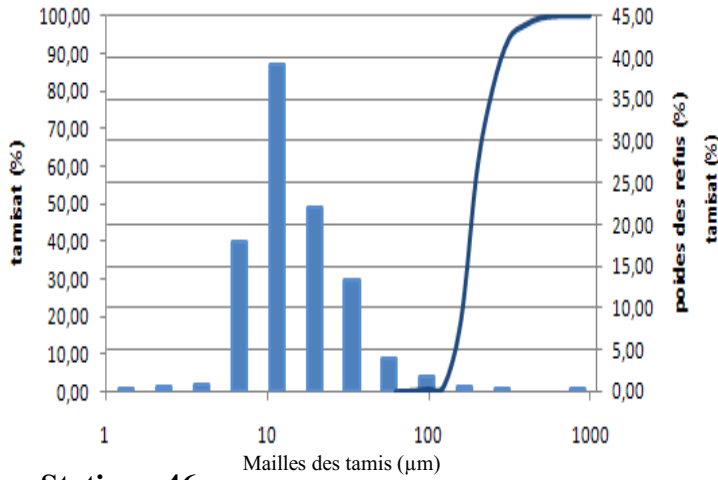
Station : 42



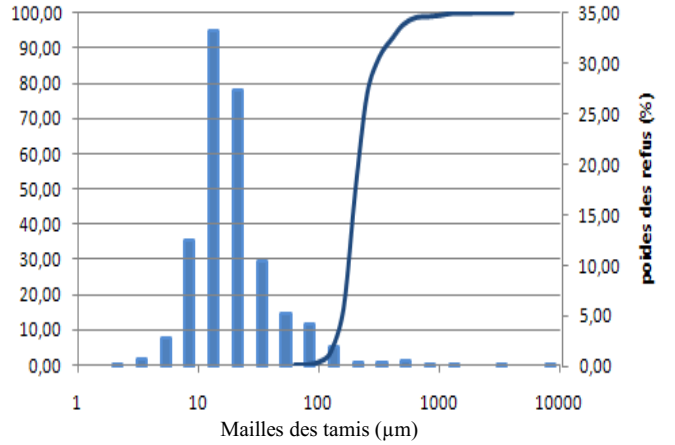
Station : 43



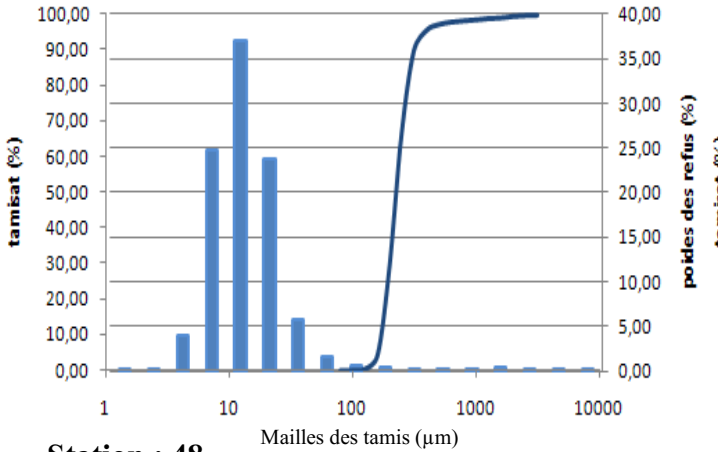
Station : 44



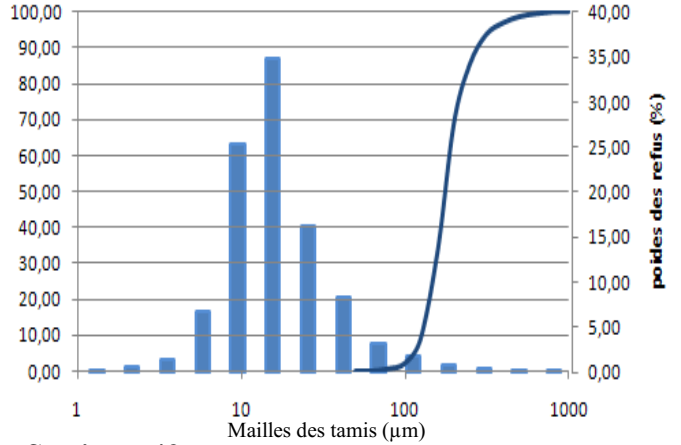
Station : 45



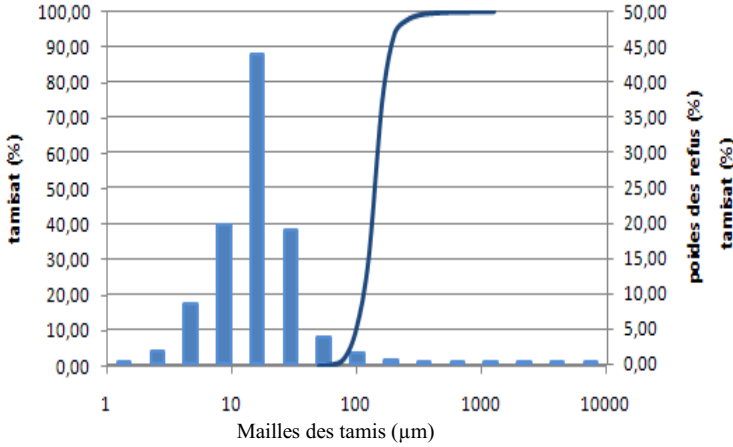
Station : 46



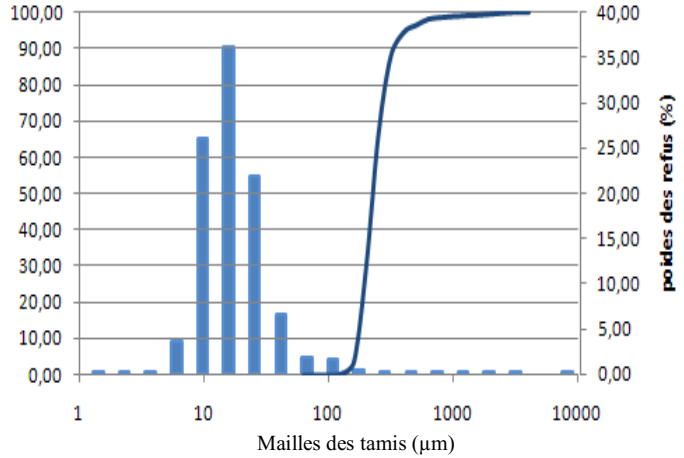
Station : 47



Station : 48



Station : 49



Station : 50

