

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR
D'ÉTAT ET GRADE DU MASTER EN SCIENCES DE LA MER
OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Etude d'aménagement d'une plage artificielle au niveau des Sablettes

- LYZIDI Hamza
- SADOUN Mohamed Nadir

Soutenu jeudi le 13/07/2023 devant le jury suivant :

Mme FEZAA. N	Professeur	Présidente	(ENSSMAL)
Mr DAHMANIA	Maitre-assistant B	Examineur	(ENSSMAL)
Mr OTMANI.	Maître conférence A	Promoteur	(ENSSMAL)
Mme MOUHOUBI.N I	Ingénieur Projet	Co-promotrice	(LEM)

Promotion : 2022/2023

Remerciements

Au terme de ce travail, nous remercions **ALLAH** tout puissant de nous avoir offert l'opportunité de franchir ce stade du savoir et de nous avoir donné le courage et la persévérance pour réaliser ce travail.

Nous adressons nos remerciements en particulier à nos familles d'abord, ensuite à notre promoteur **Mr OTMANI Housseyn** pour ses grandes qualités humaines, de nous avoir encadrés pendant la période de la réalisation de ce travail, sa disponibilité et ses orientations nous ont permis de mener à merveille ce travail.

Nous exprimons nos sincères remerciements à **Mr Ait-Amir** qui nous a fait l'honneur de nous orienter dans la partie modélisation.

Nos remerciements spéciaux s'adressent à **Mme MOUHOUBI Nour el-Imène**, Ingénieur projets (LEM) d'avoir accepté d'être notre Co-promotrice et pour sa présence continue, son aide, ses conseils, ses recommandations et ses réponses à toutes les questions, elle nous a fait bénéficier, de son expérience et de ses connaissances.

Aussi **Mr ZERROUKI** chef de département a l'ENSSMAL

Nous tenons aussi à remercier du fond du coeur tous les enseignants(es) qui nous ont tant appris tout le long de notre cursus, le personnel de la bibliothèque de l'Enssmal, mais aussi le service documentation et tout le personnel du LEM pour leur précieuse aide.

Nous remercions également tous ceux qui ont contribués, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Une fois encore, merci à tous.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi ma chère **Maman**, aucune dédicace ne serait exprimer l'amour l'estime le dévouement et le respect que j'ai toujours pour toi, que dieu te procure bonne santé et longue vie.*

*A mon très chère **Père El-Hadj** : vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

A mes grands-parents, A mes sœurs, mes tantes, mes ancies

*Un spéciale dédicace a **BENIDIR.Z***

*A mon binôme **Hamza** et toute **ma promotion 5^{ème} année Gestion et Protection de Littorale.***

*Spécialement mes collegue **Bensalah.M, Sehibi.A, Boutebel.A, Khebbou.A, El-houari.H, Hachichi.H, Hamza.S,***

*A mes chères amies : **Aymen, Smail, Zinou, Touhami, Nadhid, Walid, Lakhder, Mohamed Kaddouri, Younes***

*A mes Cousins : **Amine, Nadjib, Chirif, Hamza, Karim, Mohamed***

NADIR

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

*A celle qui m'a transmis la vie, l'amour, le courage, à toi ma chère **Maman**, aucune dédicace ne serait exprimée l'amour l'estime le dévouement et le respect que j'ai toujours pour toi, que dieu te procure bonne santé et longue vie.*

*A mon très chère **Père Abd-ellah** : vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A mon binôme **Nadir** et toute **ma promotion 5^{ème} année Gestion et Protection de Littorale.***

*Spécialement mes collègue **Sofiane, MOH, Houda, Hadjer, Sehibi.A, Boutebel.A, Khebbou.A,***

*A mes chères amies : **adel, Ilyes, Aymen, Smail,***

HAMZA

Table des matières

Introduction Générale.....	1
Chapitre 01 : Cadre général	5
2.1 Synthèse bibliographique :	5
2.2 Contexte de l'étude :	11
2.3 Situation géographique :	12
2.3.1 Baie d'Alger :	12
2.3.2 Site d'étude (Promenade des Sablettes) :	13
Chapitre 02 : Diagnostic physique et interaction de facteur	15
3.1 Etude climatique :	15
3.1.1 Les précipitations :	15
3.1.2 Les vents :	16
3.2 Étude océanographique :	17
3.2.1 Les houles et les vagues :	17
3.2.2 Les courants :	18
3.3 Etude hydrographique :	19
3.3.1 Extraction des bassins versants :	20
3.3.2 Inventaire des cours d'eau et sources d'alimentation	22
3.4 Etude géomorphologique :	22
3.4.1 Géomorphologie régionale :	22
3.4.2 Géologie régionale :	23
Chapitre 03 : Diagnostic des détails.....	26
4.1 Etude Topo-bathymétrique :	26
4.1.1 Introduction :	26
4.1.2 Données utilisées :	26
4.1.3 Applications sur logiciels :	26
4.1.4 Analyses des résultats :	29
4.2 Etude hydrodynamique :	30
4.2.1 Principe de modélisation :	30
4.2.2 Traitement et recueil de données	31
4.2.3 Choix de directions :	36
4.2.4 Résultats des champs des houles pour la direction Nord-Est (45°) :	38
4.2.5 Résultats des champs des houles pour la direction Nord (360°) :	39
4.2.6 Résultats des champs des houles pour la direction Nord-Ouest (315°) :	40
4.2.7 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord-Est (45°) :	41
4.2.8 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord (360°) :	42
4.2.9 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord-Ouest (315°) :	43
4.2.10 Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord-Est (45°) :	44

4.2.11	Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord (360°) :	44
4.2.12	Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord-Ouest (315°) :	45
4.2.13	Analyse des résultats de simulation du couplé model mike21/3 :	46
4.2.14	Conclusion :	47
4.3	Etude de l'évolution de la ligne de rivage :	47
4.3.1	Méthodologie :	48
4.3.2	Bilan statistique et projection des cartes d'aléas :	54
4.4	Etude anthropique :	60
4.4.1	Evolution chronologique de l'urbanisation du littoral :	60
4.4.1	Occupation du sol en 2003 :	60
4.4.2	Occupation du sol en 2017 :	61
4.4.3	Extraction et quantification du tissu urbain :	61
4.4.4	Conclusion :	63
	Solution de protection et d'aménagement	65
5.1	Création du maillage :	65
5.2	Variante n°1 : Deux épis et deux brise-lames avec rechargement :	65
5.3	Variante n°2 : Deux épis en arcs avec rechargement artificiel :	67
5.4	Interprétation des résultats de la simulation :	69
5.5	Dimensionnement de la variante choisie :	69
5.6	ESTIMATION DES COÛTS DES MATERIAUX POUR LA CREATION DE LA PLAGE ARTIFICIELLE (LEM 2016) :	74
	Conclusion :	76
	Bibliographie :	77
	Annexe :	80

Liste des figures :

Figure 1: Zonation des milieux littoraux. Beauchamp, J. (2005).	6
Figure 2: Composants d'un système morpho dynamique côtier (Cowell et Thom 1994)	7
Figure 3: Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes (Stépanian, A, 2002).	7
Figure 4: Profile de la vitesse pour une houle déferlante M. Garcia(2011)	8
Figure 5: Structure d'une digue a talus (Le monde de GÉNIE CIVIL).	9
Figure 6: Effet de brise lames sur le rivage (Pierre-André Bourque)	9
Figure 7: Effets des épis sur le rivage (Pierre-André Bourque)	10
Figure 8: Cordon d'enrochement (Moreau.henri)	10
Figure 9: Artificialisation d'une dune (L GOUGUET-ONF)	11
Figure 10 : Situation géographique de la baie d'Alger (ArcGis,2023)	12
Figure 11 : Localisation de la zone d'étude (promenade de Sablettes) (ArcGis,2023)	13
Figure 12 : Cumuls mensuels des précipitations de la station Dar El Beida période 2013-2023 (INFOCLIMAT, 2023)	15
Figure 13: Cumuls mensuels des vitesses du vent de port d'Alger période 2013-2023 (Puerto Del Estado)	16
Figure 14: Rose des vents réalisé par le site « Puerto Del Estado » Période 2013-2023.	17
Figure 15: Rose des vagues du site Puerto Del estado Période (2013-2023).	18
Figure 16: Les différentes zones d'action des vagues et les principaux courants pouvant agir près des côtes.	19
Figure 17: Oued el Harrach(Google Earth,2023)	20
Figure 18: Oued El-Hamiz(Google Earth,2023)	21
Figure 19: carte du réseau hydrographique wilaya d'Alger	22
Figure 20: Carte géologique de la baie d'Alger (JICA,2006)	23
Figure 21: Maillage du domaine de travail de la zone d'étude « baie d'Alger » (Mike21,2023)	28
Figure 22 : La carte bathymétrique de la baie d'Alger (Mike21,2023)	28
Figure 23 : La carte bathymétrique de la promenade des Sablettes (Mike21,2023)	29
Figure 24: La carte bathymétrique (3D) des Sablettes (Surfer 13, 2023)	29
Figure 25: Représentation de la méthode des blocs maxima sur les hauteurs significatives de houles (1992-2022)	32
Figure 26: Représentation de la méthode des blocs maxima sur des périodes de piques de houles (1992-2022)	32
Figure 27: Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur omnidirectionnel	34
Figure 28: Graphe du QQ, PP et le graphique du niveau de retour pour la détermination du seuil	34
Figure 29: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur NORD EST	35
Figure 30: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur NORD	35
Figure 31: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur NORD OUEST	35
Figure 32: Ajustement par la loi GPD secteur NORD EST	35
Figure 33: Ajustement par la loi GPD secteur NORD OUEST	35
Figure 34: Ajustement par la loi GPD secteur NORD	35
Figure 35: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger	38
Figure 36: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger	
Figure 37: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger	38
Figure 38: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt	
Figure 39: Champ des houles décennale dans la zone d'intérêt	38
Figure 40: Champ des houles centennale dans la zone d'intérêt	
Figure 41: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger	39
Figure 42: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger	
Figure 43: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger	39
Figure 44: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt	
Figure 45: champ des houles décennale dans la zone d'intérêt	39
Figure 46: champ des houles centennale dans la zone d'intérêt	
Figure 47: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger	40
Figure 48: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger	
Figure 49: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger	40
Figure 50: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt	
Figure 51: champ des houles décennale dans la zone d'intérêt	40
Figure 52: champ des houles centennale dans la zone d'intérêt	
Figure 53: Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger	41
Figure 54: Champ des courants décennale dans la baie d'Alger	
Figure 55: Champ des courants centennale dans la baie d'Alger	41

Figure 56:Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt	Figure 57:Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt	Figure 58:Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt ...	41
Figure 59:Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger	Figure 60:Champ des courants décennale dans la baie d'Alger	Figure 61:Champ des courants centennale dans la baie d'Alger...	42
Figure 62:Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt	Figure 63:Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt	Figure 64:Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt...	42
Figure 65:Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger	Figure 66:Champ des courants décennale dans la baie d'Alger	Figure 67:Champ des courants centennale dans la baie d'Alger...	43
Figure 68:Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt	Figure 69:Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt	Figure 70:Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt....	43
Figure 71:Dynamique sédimentaire annuelle	Figure 72:Dynamique sédimentaire décennale		
Figure 73:Dynamique sédimentaire centennale			44
Figure 74:Dynamique sédimentaire annuelle	Figure 75:Dynamique sédimentaire décennale		
Figure 76:Dynamique sédimentaire centennale			44
Figure 77:Dynamique sédimentaire annuelle	Figure 78:Dynamique sédimentaire décennale		
Figure 79:Dynamique sédimentaire centennale			45
Figure 80:conversion kmz en shapefile			50
Figure 81:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2009			51
Figure 82:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2003			51
Figure 83:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2017			51
Figure 84:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2023			52
Figure 85:Évolution de la ligne du rivage durant les années 2003_2023			52
Figure 86:Création du Shoreline sur logiciel ArcGIS			53
Figure 87:Création du Baseline sur logiciel ArcGIS			54
Figure 88:Création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas			54
Figure 89:Illustration du rythme d'évolution du trait de côte entre 2003-2009			55
Figure 90:Illustration du rythme d'évolution du trait de côte entre 2009-2017			55
Figure 91:Illustration du rythme d'évolution du trait de côte entre 2017-2023			56
Figure 92:EPR 2009-2017			57
Figure 93:EPR 2003-2009			57
Figure 94:EPR 2017-2023			57
Figure 95:2009-2017			58
Figure 96:NSM 2003-2009			58
Figure 97:NSM 2017-2023			58
Figure 98:occupation du sol en 2003			60
Figure 99:occupation du sol en 2017			61
Figure 100:Espace totale du secteur de la promenade 4,14253 Km2			61
Figure 101:Espace occupé par urbanisation en 2003			62
Figure 102:Espace occupé par les espaces verts en 2003			62
Figure 103:Espace occupé par urbanisation en 2017			63
Figure 104:Espace occupé par les espaces verts en 2017			63
Figure 105:La MESH représentant la variante n°02			65
Figure 106:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N315° au niveau de la zone de la plage artificielle			66
Figure 107:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N360° au niveau de la zone de la plage artificielle			66
Figure 108:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N45° au niveau de la zone de la plage artificielle			67
Figure 109:La MESH représentant la variante n°01			68
Figure 110:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N315° au niveau de la zone de la plage artificielle			68
Figure 111:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N360° au niveau de la zone de la plage artificielle			68
Figure 112:Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N45° au niveau de la zone de la plage artificielle			69
Figure 113:Master plan adopté avec intégration de la grande plage après rechargement LEM 2016...			70
Figure 114:Profil en long de la grande plage artificielle (LEM,2016)			71
Figure 115:Plan de masse des 2 épis en arc (LEM2016)			72

Liste des tableaux :

Tableau 1:caractéristique générale d'Oued El-Harrach et El-Hamiz (ANRH,2014).....	21
Tableau 2:Les données du modèle couplé mike21/3.....	36
Tableau 3:sortants du modèle SW.....	36
Tableau 4:sortants du modèle HD.....	37
Tableau 5:Sortants du modèle ST.....	37
Tableau 6:Caractéristiques des matériaux utilisés dans le rechargement des plages artificiel, sable d'emprunt.....	70
Tableau 7:Les 3 couches de rechargement au niveau de la plage (LEM2016).....	70
Tableau 8:Le Rechargement de la plage Sablettes au niveau de la Butée(LEM2016).....	70
Tableau 9:dimensionnement des éléments des blocs de protection de la variante.....	73

Acronyme

DHI : Danish Hydraulic Institute

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

LEM : laboratoire des études maritimes.

GPD : Distributions de Pareto Généralisées (Generalized Pareto distributions).

GEV : Valeurs Extrêmes Généralisées (Generalized Extreme Values).

GPS : Système de positionnement Globale (Global Positioning System).

NGA : Niveau Générale Algérien.

PAC : programme d'aménagements côtiers.

POT : Pic au-dessus du Seuil (Peak Over Threshold).

WGS : Systèmes Géodésique Mondial (World Geodetic System 1984).

LEM : laboratoire des études maritimes.

ONM : Office National de Météorologie

Introduction Générale

Introduction générale :

La position privilégiée de la frange littorale Algéroise sur la mer Méditerranée, ses conditions climatiques naturelles, son environnement, ainsi que son patrimoine culturel augmentent la demande d'activités touristiques et économique sur la région (**Tarik and Bouziane, 2010**).

Le secteur algérois a connu depuis quelques décennies une croissance démographique surtout envers la bande côtière. C'est pourquoi l'Algérie qui a fait partie de la conférence de Barcelone en 1995 et le Plan d'Action méditerranéen a décidé d'élaborer et développer un programme d'aménagement côtier pour installer des infrastructures selon une méthode étudié sous le modelé « **smart-city** ». Et pour couvrir les besoins croissants de la capitale d'Algérie en matière d'activités nautiques et sportives associées au tourisme haut de gamme, la wilaya d'Alger a envisagé la création de la zone de loisirs de la promenade de Sablettes au secteur d'El-Mohammadia et El-Harrach (**Chaibai et Hanani, 2022**).

Les plages artificielles ont gagné une popularité ces dernières décennies en raison de leur capacité à offrir des espaces de loisirs et de détente dans les régions où les plages naturelles sont limitées ou inexistantes. Il est évident qu'une meilleure compréhension de l'environnement littoral est essentielle pour favoriser un développement harmonieux, durable et sûr des activités humaines dans ces zones frontalières. C'est pourquoi la modification des plages naturelles ou la création de plages artificielles sont des opérations délicates ce que peut être la cause de la leur rareté en Algérie, car elles peuvent perturber l'équilibre fragile entre les différents paramètres du littoral.

L'objectif de notre étude, intitulée « **Etude d'aménagement d'une plage artificielle au niveau des Sablettes** » vise à déterminer la meilleure option pour la création d'une plage artificielle a la zone d'étude en faisant une modélisation de ces variantes, en se basant sur les résultats des différentes études effectuer le long de notre projet (anthropique, climatique, bathymétrique, hydrodynamique, géomorphologique...) qui règne sur la zone d'étude avant et après la mise en place des ouvrages de protection en utilisant le SIG et le Mike21.

L'étude été procédée comme suite :

Dans **le premier chapitre** on a abordé une synthèse sur la zone d'étude et une la localisation de notre zone d'intérêt

Chapitre II les aspects généraux du milieu sont décrits par : la climatologie, la géomorphologie, l'océanographie, l'hydrologie et les conditions naturelles y compris les vents, les courants, et les houles qui affecte directement les structures de la promenade et qui conditionnent directement la dynamique sédimentaire tout le long de la côte.

Chapitre III est consacré au diagnostic de détail et l'utilisation et traitement des données acquises pour la prévision des houles au large, l'étude topo-bathymétrique, l'évolution de la ligne de rivage aussi que la démographie, et la présentation des résultats des études

bathymétrique, hydrodynamique et l'étude du transport sédimentaire et la modélisation de transit littoral dans une approche de modélisation numérique à l'aide des logiciels Arc Gis et Mike21.

Chapitre IV dans ce chapitre notre étude est finalisée en proposant les solutions de protection et d'aménagement en comparant les résultats pour sélectionner la meilleure solution abordé par le bureau d'étude.

Chapitre 1

Cadre général

1 Chapitre 01 : Cadre général

1.1 Synthèse bibliographique :

Introduction :

Cette synthèse examine les recherches et les travaux antérieurs sur l'aménagement du littoral, en mettant l'accent sur les écosystèmes côtiers, la gestion des risques, l'aménagement du territoire, les conflits d'utilisation et les outils de gestion. En recoupant les résultats de ces travaux, pour fournir une vue d'ensemble des tendances actuelles dans le domaine de l'aménagement du littoral et à identifier les lacunes dans la recherche existante

Méthodologie :

Nous avons recherché des mémoires de fin d'étude publiés dans sites spécialisées et des ouvrages de référence sur la protection des plages artificielles. Nous avons examiné les études qui décrivent les différentes méthodes de protection des plages artificielles, ainsi que les résultats des études qui ont évalué l'efficacité de ces méthodes

Le système littoral

Le système littoral situé à l'interface entre la terre, la mer et l'air, c'est un milieu régi par des dynamiques à la fois maritimes, terrestres et atmosphériques, dont l'évolution et le fonctionnement sont marqués par une forte variabilité spatio-temporelle (Pian, 2010). Ces contraintes physiques contribuent à définir des formes variées (falaises rocheuses, plages de sables, vasières) ...qui permettent le développement de différents types de systèmes côtiers. Les conditions météorologiques et hydrodynamiques qui contrôlent la formation et l'évolution de ces systèmes côtiers varient sur différentes échelles temporelles (Pian, 2010). Les systèmes côtiers fonctionnent sur différentes échelles de temps et d'espace, emboîtées les unes aux autres (**Carter et Woodroffe, 1995**)

Pour décrire la composition d'un système complexe, il est nécessaire de prendre en compte les caractéristiques à la fois spatiales et temporelles. La structure du système se déploie dans l'espace et est définie par :

- Une limite ou frontière
- Des éléments ou composants, pouvant être dénombrés et assemblés en catégories ou familles
- Des réservoirs, dans lesquelles les éléments peuvent être rassemblés et stockés ;
- Un réseau de communication, qui prend des formes variées et permet des échanges d'éléments et d'énergie.

Les éléments constitutifs des systèmes côtiers sont stockés dans l'océan, l'atmosphère, les sédiments, les formations géologiques et la biosphère. Ces éléments sont étudiés par différentes disciplines spécialisées, telles que la géotechnique, l'océanographie, la météorologie, la sédimentologie, la géologie et la biologie. En fonction de l'importance relative de chaque composant (**ADJAL, 2014**).

Les types des plages :

Les plages sont des accumulations littorales de sédiments meubles qui occupent souvent le fond des baies ou des golfes, composées généralement des sables fins (de 0.063 à 0.2 mm) aux blocs (supérieurs à 20 cm), susceptibles d'être mobilisés par le passage régulier des eaux marines ou l'énergie des vagues (PINOT, 2003).

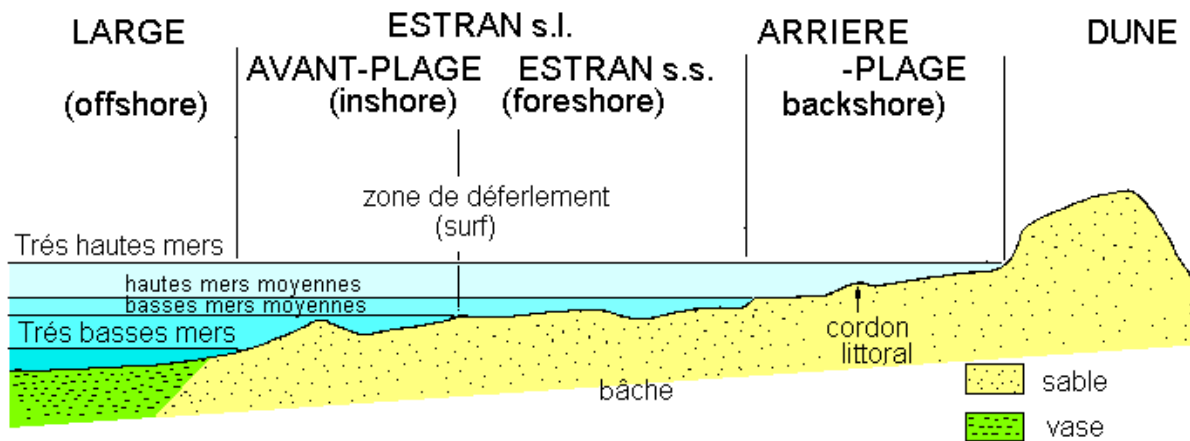


Figure 1: Zonation des milieux littoraux. (Beauchamp, J. (2005)).

Il existe plusieurs types de plages, chacun ayant ses caractéristiques distinctives en fonction des conditions géologiques, climatiques et environnementales :

Plage de sable (formée de grains de sable fins, moyens ou gros, offrant généralement un accès facile à la baignade, plage de galets (cailloux ronds et lisses peut être plus difficile à marcher et à se baigner en raison des galets glissants), (Middleton and Sternberg, 2013) plage rocheuse (constituée rochers plutôt que de sable ou de galets, difficile à naviguer en raison des rochers escarpés et des vagues puissantes)

- **Plage artificielle** : ces plages sont artificielles "comme le suggère notre cas" et peuvent être construites en sable ou en matériaux artificiels. Elles sont souvent conçues pour un accès facile pour la baignade et les sports nautiques, mais peuvent manquer des caractéristiques naturelles et écologiques des autres types de plages. Elles peuvent apporter des avantages économiques aux communautés côtières et accroître l'attractivité touristique de la région. Mais ils peuvent également causer des dommages environnementaux, tels que l'altération des habitats naturels, la détérioration de la qualité de l'eau et des effets sur la faune et la flore locales. De plus, la création de plages artificielles peut être coûteuse en matériaux et en main-d'œuvre et nécessite un entretien régulier pour prévenir l'érosion et les dommages causés par les tempêtes.

La morpho dynamique côtière :

La morphodynamique côtière est l'étude des processus physiques qui façonnent les côtes et les plages, notamment les courants, les vagues, les marées, les sédiments et l'érosion. Elle est essentielle pour comprendre l'évolution à long terme des côtes et pour élaborer des stratégies de gestion côtière durable. (Meur-Ferec, 2006.)

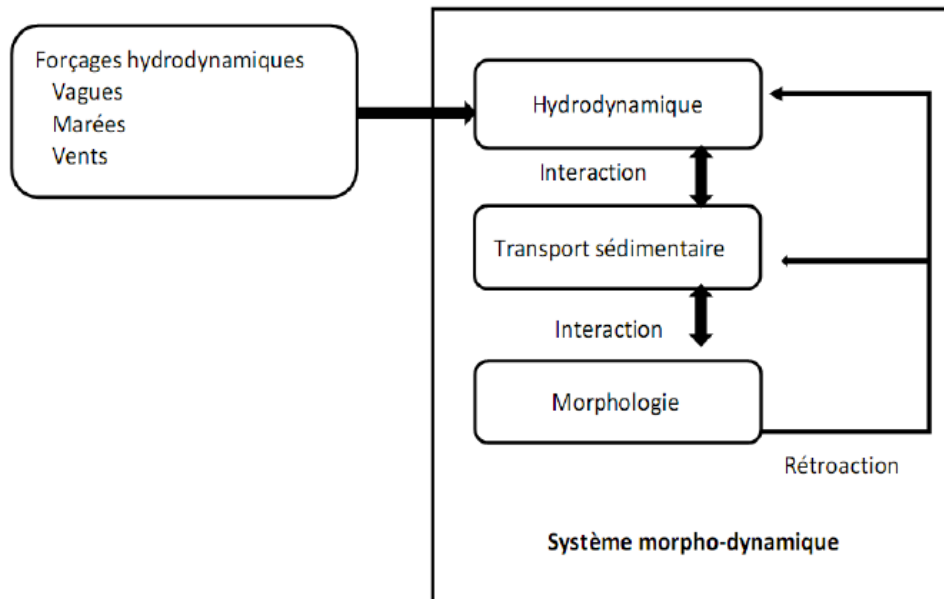


Figure 2: Composants d'un système morpho dynamique côtier (Cowell et Thom 1994)

La zone côtière est un environnement complexe où les différents acteurs dynamiques interagissent pour créer des mouvements d'eau. La Figure (3) offre une représentation schématique de la zonation de la plage et du domaine côtier, en fonction des processus hydrodynamiques associés à la transformation des vagues lors de leur propagation.

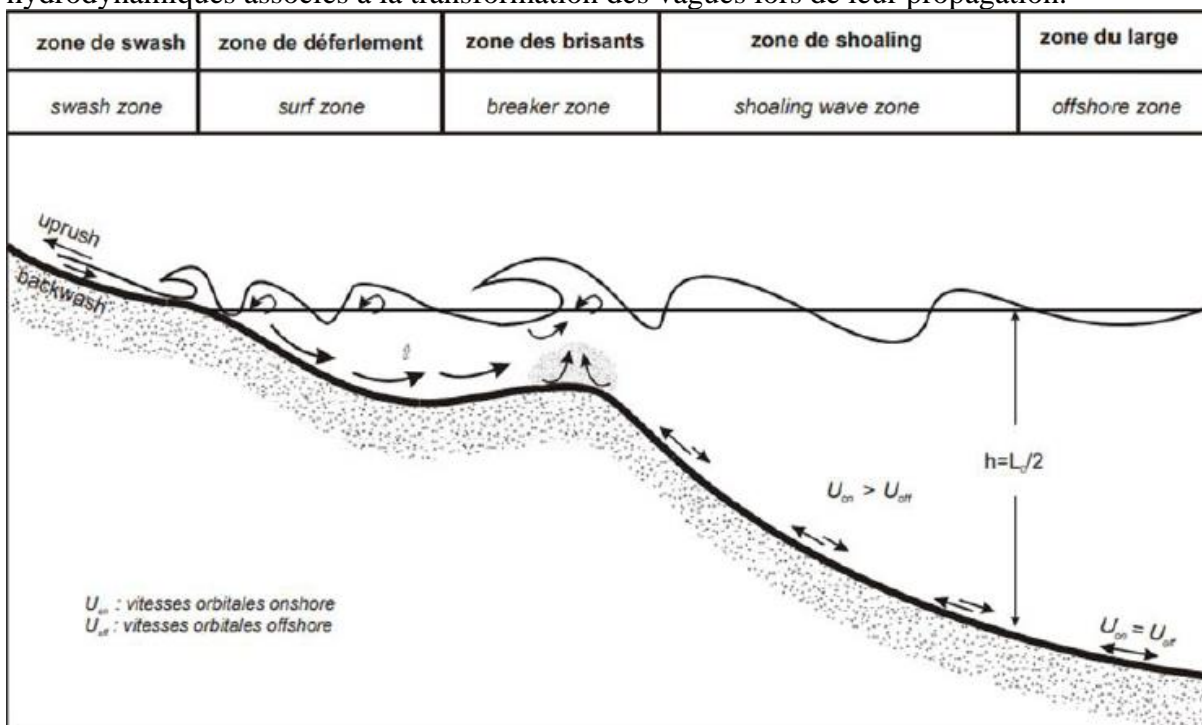


Figure 3: Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes (Stépanian, A, 2002).

Processus hydro-sédimentaire :

Le processus hydro-sédimentaire est un phénomène qui concerne les interactions entre l'eau et les sédiments dans les zones côtières et les bassins fluviaux. Ces interactions sont influencées

par les marées, les courants, les vagues, les précipitations et d'autres facteurs environnementaux, L'étude de ces processus est importante pour la compréhension des changements morphologiques des plages et, la gestion des risques naturels, la protection des côtes et la planification du développement côtier.

Dans les régions côtières, les matériaux peuvent être mis en mouvement principalement par la houle. Lorsque les vagues déferlent, leur énergie est principalement dissipée sous forme de turbulence, ce qui peut entraîner le déplacement des sédiments. Les courants engendrés par la houle, ainsi que ceux provoqués par les marées et les vents, peuvent contribuer à ce mouvement des sédiments. (ADJAL, 2014)..

Aussi, les vents sont générateurs de mers et clapots, de courant et de fluctuations du niveau de la mer (sur-côtes, décôtes) et sont directement la cause du transport de sable sur la plage (transport éolien). Les autres facteurs influant directement sur la dynamique sont la réduction des apports terrigènes ainsi que l'élévation du niveau de la mer

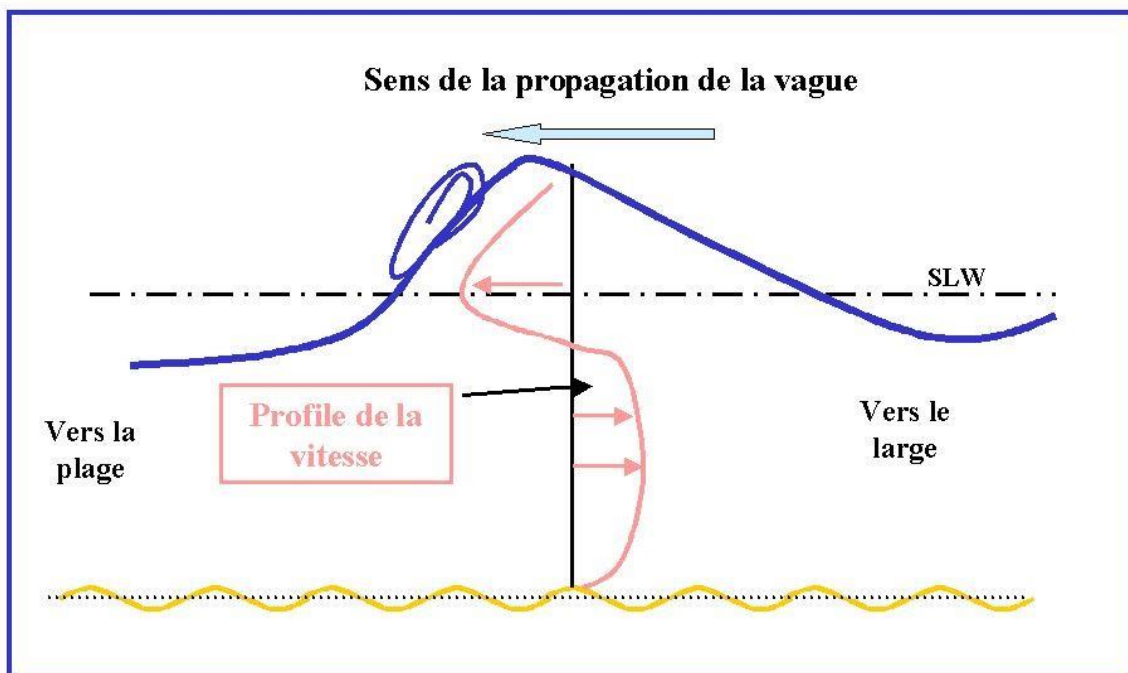


Figure 4: Profil de la vitesse pour une houle déferlante (M. Garcia(2011))

Les ouvrages de protection :

Les ouvrages de protection sont des structures construites le long des côtes pour protéger les terres et les infrastructures des effets négatifs de l'érosion côtière et des tempêtes. L'impact de l'érosion côtière est de plus en plus important en raison de l'augmentation du niveau de la mer et des tempêtes de plus en plus fréquentes et intenses. Les ouvrages de protection sont donc devenus une solution courante pour protéger les zones côtières et les populations qui y vivent. Il existe différents types d'ouvrages de protection utilisés le long des côtes pour le but de la protection :

- Les digues : les digues sont des murs de terre ou de béton construits le long de la côte. Elles sont typiquement construites de manière parallèle à la côte et peuvent être équipées de portes pour permettre le passage des bateaux. Elles peuvent aussi être construites de plusieurs formes tels qu'à talus, verticale, horizontale ou mixte...

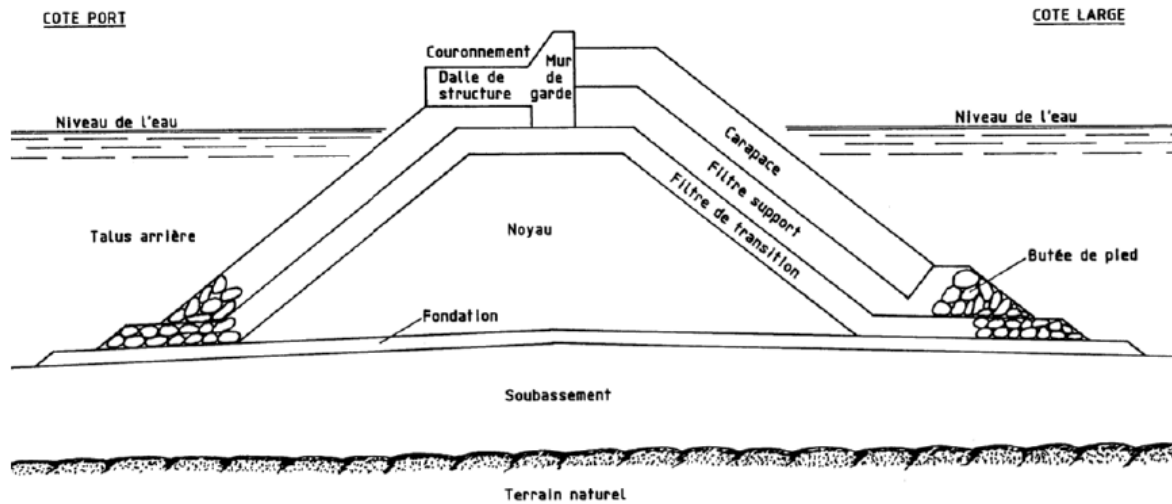


Figure 5: Structure d'une digue à talus (Le monde de GÉNIE CIVIL)

- Les brise-lames : ce sont généralement des ouvrages détachés du rivage, ils sont souvent émergents à la surface (au moins pendant la majeure partie du cycle de marée) et ils sont disposés approximativement parallèlement à la côte. Leur fonction est de réduire l'action de la houle et d'encourager la déposition de sédiments à l'arrière de l'ouvrage.

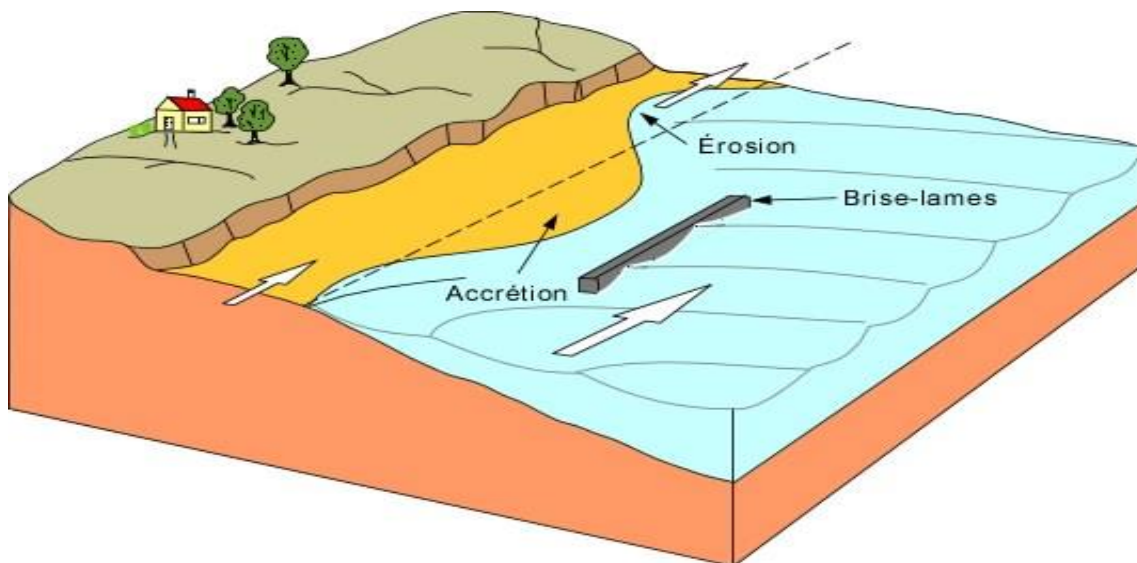


Figure 6: Effet de brise lames sur le rivage (Pierre-André Bourque)

- Les épis : les épis sont des structures construites à partir de matériaux naturels ou artificiels, comme le bois, les rochers ou des blocs de béton, c'est un ouvrage relativement court qui avance dans la mer perpendiculairement depuis la plage ou depuis une autre digue, dont la fonction principale est d'interrompre le transit littoral

de sédiments. En plus des épis classiques, on trouve aussi les épis en Y en L ou en T

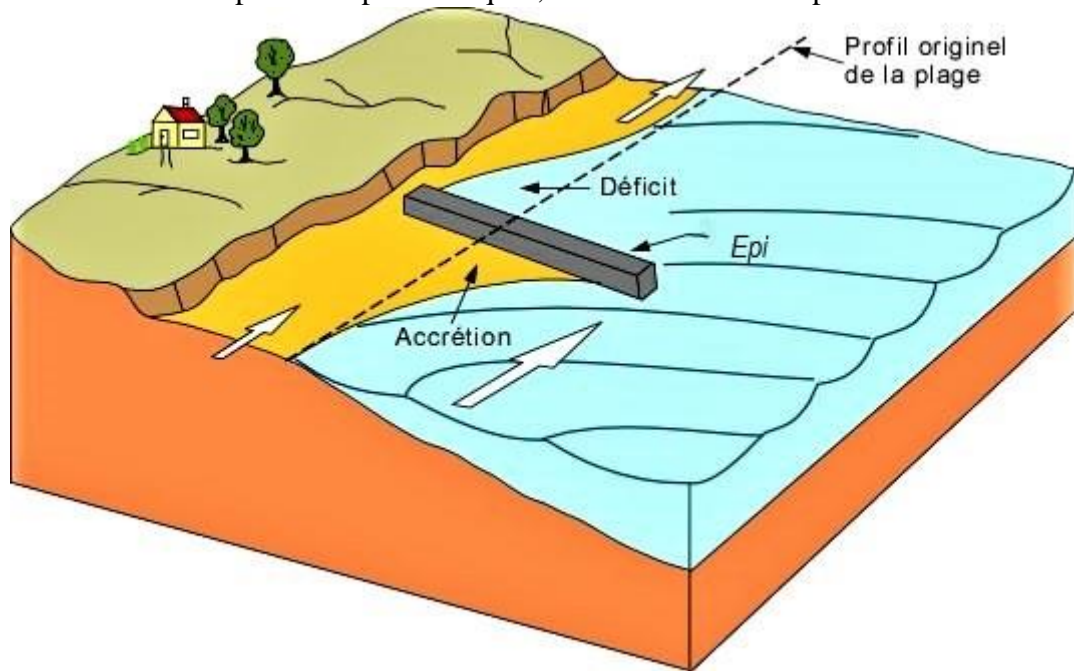


Figure 7: Effets des épis sur le rivage (Pierre-André Bourque)

- Les enrochements : les enrochements sont des murs de rochers ou de béton construits le long de la côte pour protéger les terres contre l'érosion côtière. Ils sont généralement utilisés dans les zones à forte érosion et peuvent être combinés avec d'autres types d'ouvrages de protection



Figure 8: Cordon d'enrochement (Moreau.henri)

Les dunes artificielles : les dunes artificielles sont des monticules de sable artificiels construits le long de la côte pour renforcer les dunes naturelles ou créer de nouvelles dunes le long des. Ces dunes peuvent être recouvertes de végétation pour renforcer leur stabilité. Ils sont souvent utilisés en combinaison avec d'autres ouvrages de protection, tels que les digues et les épis, pour fournir une protection complète contre les tempêtes et les inondations. Elles peuvent également offrir des avantages environnementaux en créant des habitats naturels pour les animaux et les plantes.



Figure 9: Artificialisation d'une dune (L GOUGUET-ONF)

Il est donc important de considérer attentivement les avantages et les inconvénients de chaque type d'ouvrage de protection avant de décider de leur utilisation. Les décisions concernant les ouvrages de protection doivent être prises de manière responsable et avec une compréhension approfondie des impacts environnementaux et sociaux associés.

1.2 Contexte de l'étude :

L'engouement pour le milieu côtier algérois suit une tendance mondiale, c'est le reflet des enjeux socio-économiques que présente la zone notamment en matière touristique, Sablette qui se situe dans la partie occidentale de la baie d'Alger, est d'un grand intérêt en termes d'équilibre morpho-dynamique. En effet, cette zone côtière est actuellement soumise à une (accrétion/érosion) qui menace de perturber son équilibre fragile, elle s'intègre dans le cadre du méga projet de la Baie d'Alger intitulé « Ville du monde » pour une durée (2009-2029) (Le Figaro-2013). L'intérêt de cette étude portera particulièrement sur la valorisation et protection de la plage proposition des solutions d'aménagement et de protection avec leurs systèmes innovants. En somme, le contexte de cette étude vise à expliquer que la protection d'une plage artificielle peut être très varié, et inclure des enjeux environnementaux, socio-économiques et techniques. La collecte de données, la définition des objectifs et des méthodes d'analyse sont essentielles pour mener une étude efficace et fournir des recommandations pertinentes pour la protection de la plage artificielle.

1.3 Situation géographique :

1.3.1 Baie d'Alger :

La baie d'Alger est située à la partie nord au centre de la côte algérienne, à l'embouchure de la rivière Mitidja. Elle se caractérise par une forme semi-circulaire, avec une ouverture d'environ 18 kilomètres de large et une longueur d'environ 7 kilomètres du nord au sud. elle est limitée à l'est par cap Matifou(El-Marsa), à l'ouest par la pointe Pescade (Rais Hamidou) , au nord par la Méditerranée et au sud par plaine la Mitidja.

Ces coordonnées Lambert sont comme suit :

- Longitude : Est 03°01'00" E à 03°14'30" E
- Latitude : Nord 36°44'30" N à 36°49'15" N



Figure 10 : Situation géographique de la baie d'Alger (ArcGis,2023)

1.3.2 Site d'étude (Promenade des Sablettes) :

La bande côtière des Sablettes s'étend sur la rive occidentale de la baie d'Alger sur 4,5 km, comprise entre l'embouchure d'Oued El Harrach (commune de Mohammédia) à l'est et la station de dessalement d'eau de mer d'El Hamma (Commune de Sidi M'Hamed). Ce rivage est linéairement figé par une protection en enrochement, ainsi que la présence des bancs sableux au pied de ces protections (LEM, 2015).

Ses coordonnées géographiques sont :

- Longitude : Est 3° 04' 40" E à 3° 05' 20" E
- Latitude : Nord 36° 44' 50" N à 36° 44' 50" N



Figure 11 : Localisation de la zone d'étude (promenade de Sablettes) (ArcGis, 2023)

Chapitre 2

Diagnostic physique et interaction de facteur

2 Chapitre 02 : Diagnostic physique et interaction de facteur

2.1 Etude climatique :

Les zones côtières sont dans un état de mouvement perpétuel, avec des variations liées à des origines différentes (vents, précipitations, ...), où les taux d'érosion et d'accrétion seront plus prononcés, conséquences des frottements liés aux événements climatiques orageux et aux forçages hydrodynamiques. le cadre étude sera basé sur une composante hydro-climatique, comprenant les vents du continent et du large, ainsi que les températures et les taux de précipitations, qui seront liés au réseau hydrologique du baie d'Alger.

2.1.1 Les précipitations :

La baie d'Alger fait partie de la région au climat méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été, le bilan des précipitations enregistrées pendant 10ans (2013-2023), fait ressortir le maximum et le minimum de pluie au cours de l'année, on observe un taux de précipitation considérable durant la période hivernale (humide), contrairement à la période estivale (sèche) où le taux est faible.

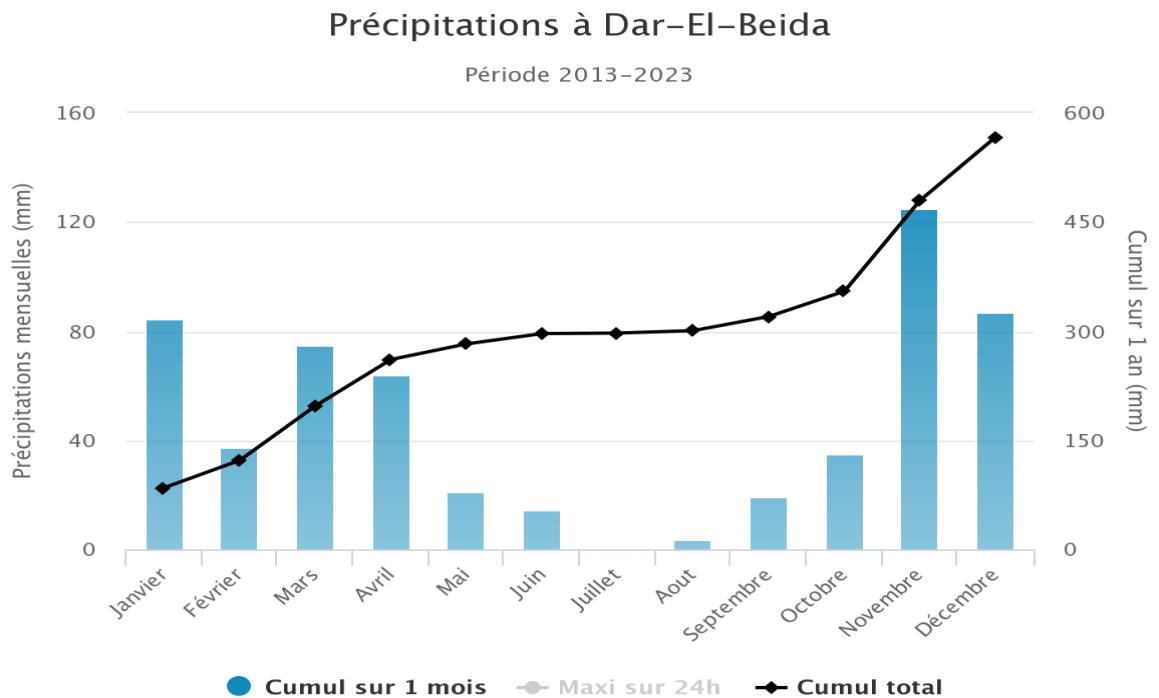


Figure 12 : Cumuls mensuels des précipitations de la station Dar El Beida période 2013-2023 (INFOCLIMAT, 2023)

Les précipitations se concentrent de mois de (Novembre jusqu'en Avril), avec un maximum hivernal de **124.9 mm** en Novembre ; celles-ci diminuent progressivement du mois de Mai pour devenir faibles de (Juin jusqu'en Août) avec un minimum de **0.7 mm** en Juillet.

2.1.2 Les vents :

Pour les zones côtières, il est très important de connaître les régimes des vents. En fait, ils jouent un rôle important dans la dynamique des eaux marines superficielles. Ils sont générateurs des houles et des courants superficiels, l'influence des vents augmente avec la vitesse. Ainsi, ils jouent un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux côtiers d'une part, notamment dans les faibles niveaux d'accumulation dans les zones à climats secs (**Boutiba et al., 2009**), et d'autre part dans l'évolution des forçages hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long de la côte.

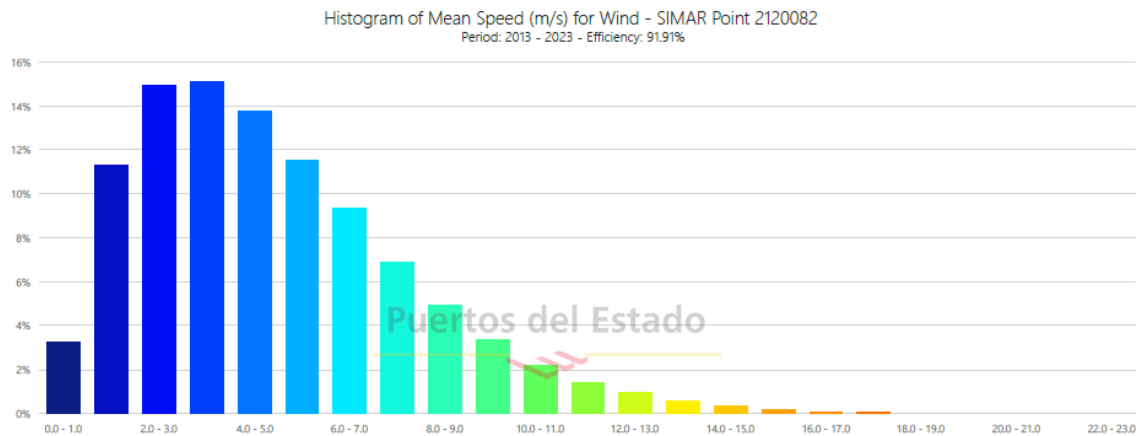


Figure 13: Cumuls mensuels des vitesses du vent de port d'Alger période 2013-2023 (Puerto Del Estado)

A partir des données on remarque que les vents la période estivale sont plus violents (les mois : Juin-Juillet-Aout) que ceux de la période hivernale.

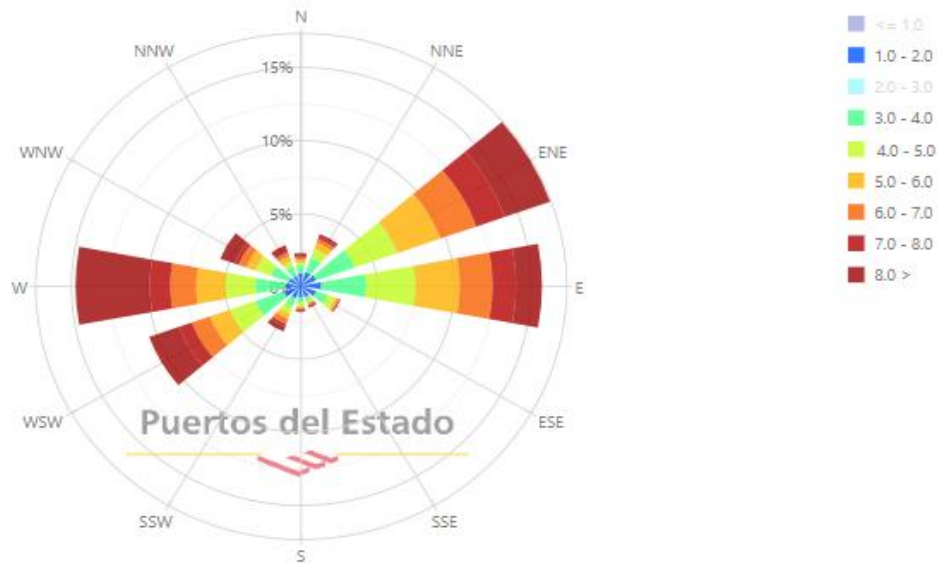


Figure 14: Rose des vents réalisée par le site « Puerto Del Estado » Période 2013-2023.

La rose des vents ci-dessus met en évidence une prédominance des vents des directions Est-Nord-Est et Ouest-Sud-Ouest.

Les données comprises entre la période de 2013 à 2023 ont montré l'existence de quatre directions de dominance annuelle :

NE, SW, W, E.

Les vents de direction **NE, E** et **W** sont les plus fréquents (19%, 17%, 17%), tandis que les vents des autres secteurs ont des fréquences d'apparition inférieure à 12%. Les périodes de calme représentent 5% (**S**)

Les vents au proviennent du Nord-Est sont les plus susceptibles d'engendrer les houles les plus violentes dans ce secteur.

2.2 Étude océanographique :

Le cadre océanographique regroupe toutes les données océanographiques utiles à compréhension des phénomènes affectant la zone, à savoir (Houle, courant, Variation saisonnière du niveau de la mer...). Une connaissance approfondie de ces facteurs majeurs est donc nécessaire, pour déterminer leur action et leur intervention dans le remaniement des sédiments. (Otmani, 2014).

2.2.1 Les houles et les vagues :

La houle est une oscillation périodique de la surface de la mer, qui produit l'action des vagues de la mer Offshore et elle subit une modification (réfraction, diffraction et réflexion ou déferlement) en se rapprochant vers la côte sous l'effet de la diminution de la profondeur

Les statistiques des houles dans la région des Sablettes, font apparaître deux régimes : Les Houles plus fortes sont hivernales, de direction Ouest dominante avec les plus grandes Amplitudes (entre 1 et 3m) engendrant une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest

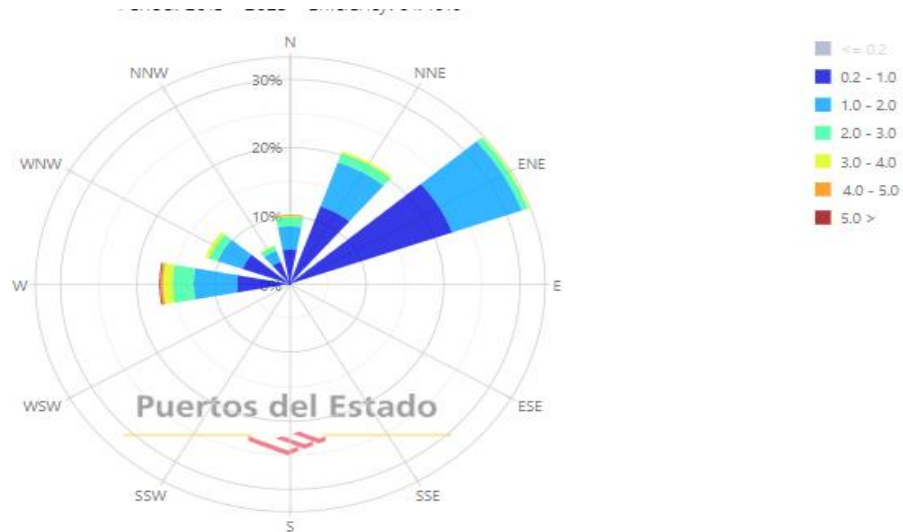


Figure 15: Rose des vagues du site Puerto Del estado Période (2013-2023).

- En été, les directions dominantes (Figure n° 07) sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes plus faibles et leur propagation est pratiquement parallèle à la côte.

2.2.2 Les courants :

Le courant marin, par définition, est une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur des mers et des océans. Dans son déplacement le courant est susceptible de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral (Cojan and Renard, 2021).

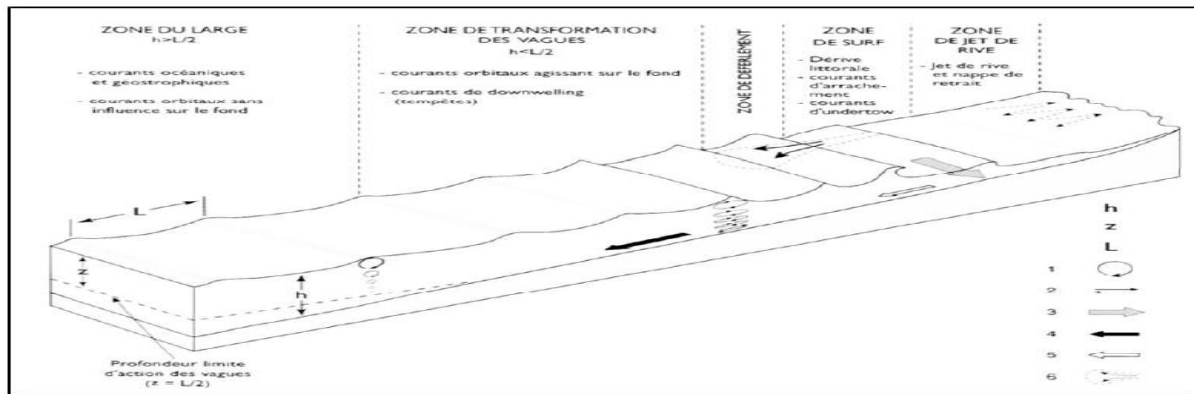


Figure 16: Les différentes zones d'action des vagues et les principaux courants pouvant agir près des côtes.

Contrairement aux courants généraux et les courants liés à la marée qui n'ont aucune influence sur la distribution sédimentaire infralittorale, les courants provoqués par la houle sont les seuls qui jouent un rôle dans le transport des sédiments. Ce sont des courants qui prennent généralement naissance à partir d'une houle oblique. On citera également deux types de courants liés à la houle :

2.2.2.1 Les courants de retour (cross-shore current) :

Dans cette zone côtière, le courant de retour est causé par le flot de retour de la houle contre la ligne du rivage, qui peut atteindre des vitesses érosives et transporter des particules vers le large. Les houles du Nord et du Nord-Est génèrent un courant longitudinal qui transporte les particules d'Est en Ouest, tandis que le courant opposé est insignifiant. Une étude antérieure a montré que le courant algérien n'affecte pas la vitesse d'écoulement dans la baie d'Alger, car le courant maximal calculé dans la zone profonde près du site Hamma était de seulement 0,02 m/s, malgré une vitesse de courant de 0,3 m/s au large de la côte d'Alger. (LEM, 2015).

2.2.2.2 Les courants de dérive (longshore current) :

Les courants parallèles à la côte créent de dérive littorale qui provoque le transit le long du rivage. Ces courants n'apparaissent que lorsque la houle atteint la cote avec une certaine Obliquité par rapport au rivage.

La vitesse de ce type de courant dépend des paramètres de la houle. De l'obliquité de celle-ci et de la pente de la plage. Elle peut atteindre plusieurs nœuds.

2.3 Etude hydrographique :

La baie d'Alger est alimentée en apports par les oueds (oued el Harrach, oued el Hamiz), ces cours d'eau prennent leur source dans l'Atlas blidéen et coulent dans les parties centrale et orientale de la plaine de la Mitidja avant de déboucher directement dans notre zone d'étude. Les régimes hydrauliques de ces oueds est caractérisé par des périodes prolongées d'étiage et d'inondation, surtout en hiver et rarement au printemps (ABDERRAHMANL, and KHEDIMI, 2008).

Ces deux oueds et leurs affluents sont des torrents à débit irréguliers. En aval, elles présentent une orientation générale du sud vers le nord (LEM, 1996). Ces vallées sont utilisées pour recevoir les eaux usées de quatre agglomérations secondaires via le réseau municipal sans traitement préalable.

2.3.1 Extraction des bassins versants :

2.3.1.1 Oued El-Harrach :

Son bassin versant est un bassin inaccessible caractérisé par des dénivellations abruptes, une végétation clairsemée et de fortes précipitations, qui couvre une superficie de 1200 Km² et englobe en plus oued El Harrach même les oueds Djemaa à l'Est et Terrou à l'Ouest. Outre ces facteurs érosifs, les caractéristiques d'écoulement (67 km de longueur) rapide de l'Oued favorisent des débits élevés et des dépôts importants (LEM, 1996). Il coule du sud au nord à travers l'Atlas de Blidéen, la Mitidja et le Sahel avant de se jeter dans la mer. Le régime hydrographique de l'Oued El Harrach a été caractérisée par six (6) mois d'étiages et des crues hivernales et printanières soudaines et rapides par le (LEM, 1996) a fait résultat au bilan moyen annuel qui est de 5,41 m³/S. Ce dernier reçoit toutes les émissions urbaines, industrielles et agricoles, modifiant ainsi l'ensemble Du fait de sa qualité physico-chimique et microbienne très dégradée, la biodiversité y vit.) (CHARAKDJI et DJENEDI, 2006).

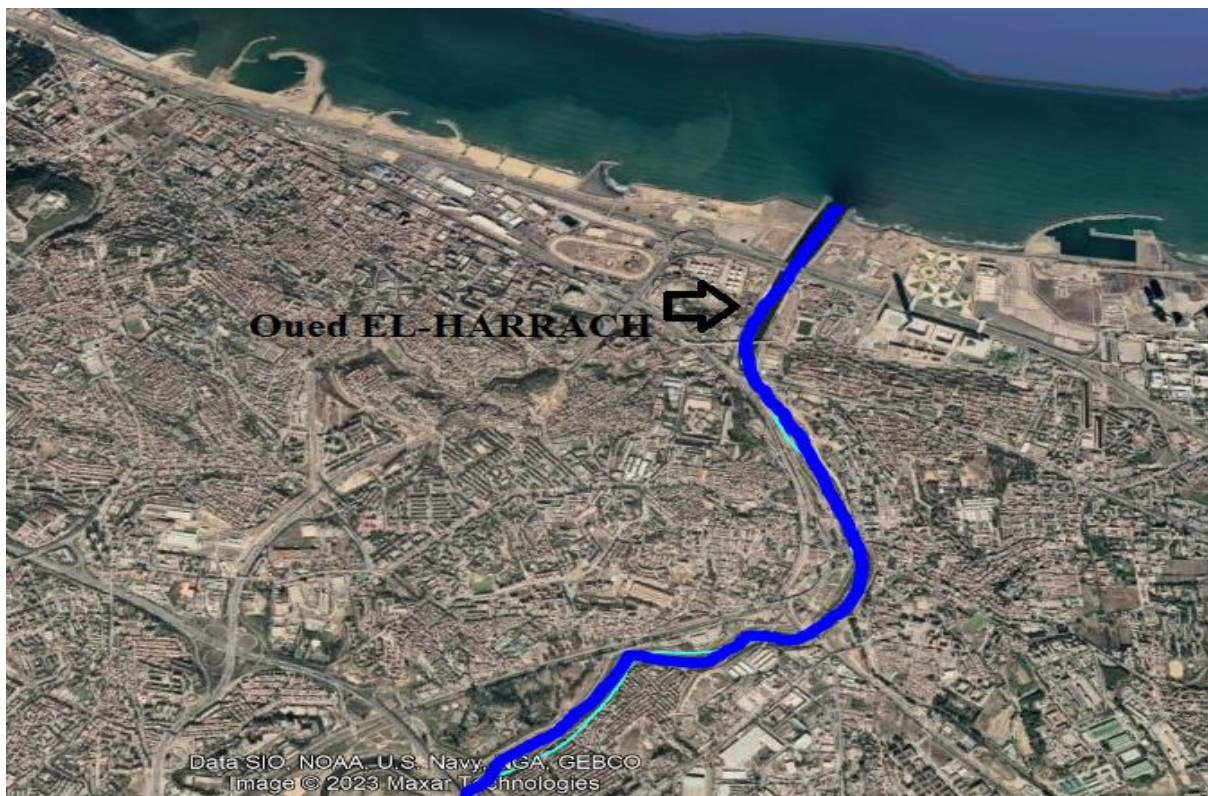


Figure 17: Oued el Harrach(Google Earth,2023)

2.3.1.2 Oued El-Hamiz :

La superficie du bassin versant d'oued El Hamiz est de l'ordre de 315Km², son embouchure se situe près du cap Matifou. Il contient deux (2) affluents principaux : Oued Seguia (Oued Bouera) d'une superficie de 54Km², et Oued Barek (dérivé artificiellement dans l'oued El Hamiz) d'un bassin de 58Km², la présence d'un barrage portant le même nom (barrage el Hamiz mise en service en 1990) a largement réduit les apports solides vers la mer

actuellement, l'Oued EL Hamiz se jette en mer par une ouverture étroite d'une trentaine (30ene) de mètre de large, (LEM, 1996).



Figure 18: Oued El-Hamiz(Google Earth,2023)

Tableau 1:caractéristique générale d'Oued El-Harrach et El-Hamiz (ANRH,2014).

Oueds	El-Harrach	El-Hamiz
Communes traversées	Mohammadia - Mouradia- Husein Dey- EL Harrach - Sidi Moussa -Birtouta- Saoula -Ouled chbal- Ouled Fayat-BirMouradRais Gui de Constantine- Echefa-Blida.	Rouïba - Dar El Baida- Oued-Essamar – Bourdi El Bahri- ElHamiz-Eucalyptus- Bab Ezouar –
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficies (Km ²)	378	86
Apports liquides Al (Hm ³)	53	11
Apports solides As (m ³ /an)	107114	100226

2.3.2 Inventaire des cours d'eau et sources d'alimentation

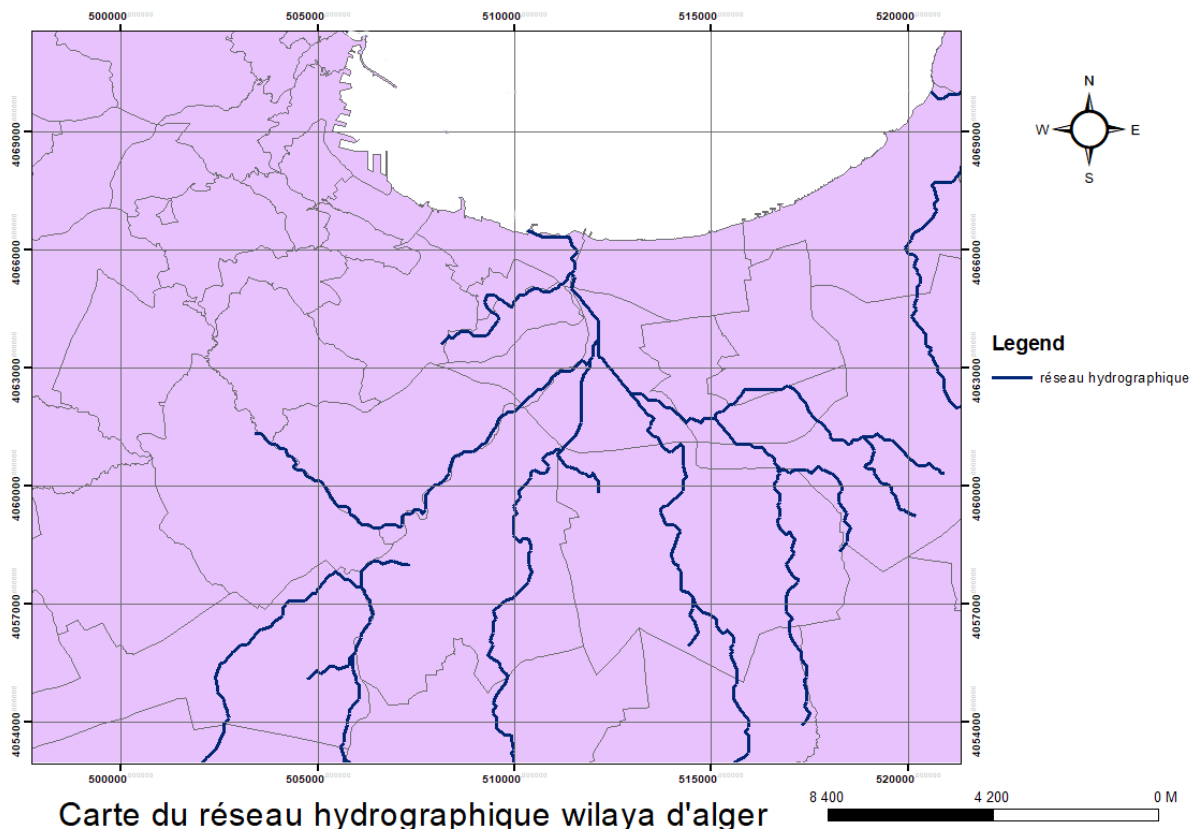


Figure 19: carte du réseau hydrographique wilaya d'Alger

2.4 Etude géomorphologique :

Le plateau continental très étroit au niveau des extrémités de la baie (Cap Matifou et Massif de Bouzareah), mais s'élargi au centre d'environ 12.5km vu la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach) au niveau de Mohammedia et les plages. Il est caractérisé par une pente assez douce de l'isobathe 0 m à celui des 100 m dont la distance maximale qui sépare ces deux isobathes est d'environ 6 milles. La vallée de Oued EL Harrach forme un dépôt important terrigènes au niveau du cap, qui est très accidenté et semble à être une zone rocheuse. En fait, l'isobathe de 50 m est à 4,1 km de la côte, l'isobathe de 100 m à 7,6 km de la côte et l'isobathe de 1000 m à seulement 12,1 km de la côte (MECHOUET et MESBAHI, 2016).

2.4.1 Géomorphologie régionale :

La côte algéroise généralement, et la baie d'Alger spécifiquement, se divise géomorphologiquement en deux grandes parties :

➤ **Partie orientale (où se localise notre site d'étude) :**

Caractérisée par la présence d'un relief rocheux Cap Matifou pourvu de falaises mortes et vivantes à l'extrémité est de la baie. Un cordon littoral dunaire sous forme de petite barrière sablo-gréseuse allongée parallèlement au rivage se développe entre la rive droite d'Oued El

Harrach et Bordj El Bahri, bordant au Nord la partie des zones basses septentrionales de la Mitidja.

➤ **Partie occidentale :**

Sa côte est généralement haute et escarpée, ou le point culminant d'Alger est à 470 mètres d'altitude à Bouzareah, qui rencontre la mer à travers des falaises caractérisées par des propriétés métamorphiques, mais aussi calcaires, dont le fond est plat et érodé des bancs rocheux ou des couches épaisses de matière brute. A cette partie succède une partie du massif dunaire située à l'ouest de l'Oued El Harrach.

2.4.2 Géologie régionale :

La connaissance de la géologie et la géomorphologie locale d'un site permettent de définir sa sensibilité face aux agressions marines ; elle renferme les affleurements pléistocène Est Algérois. (LEM, 1996).

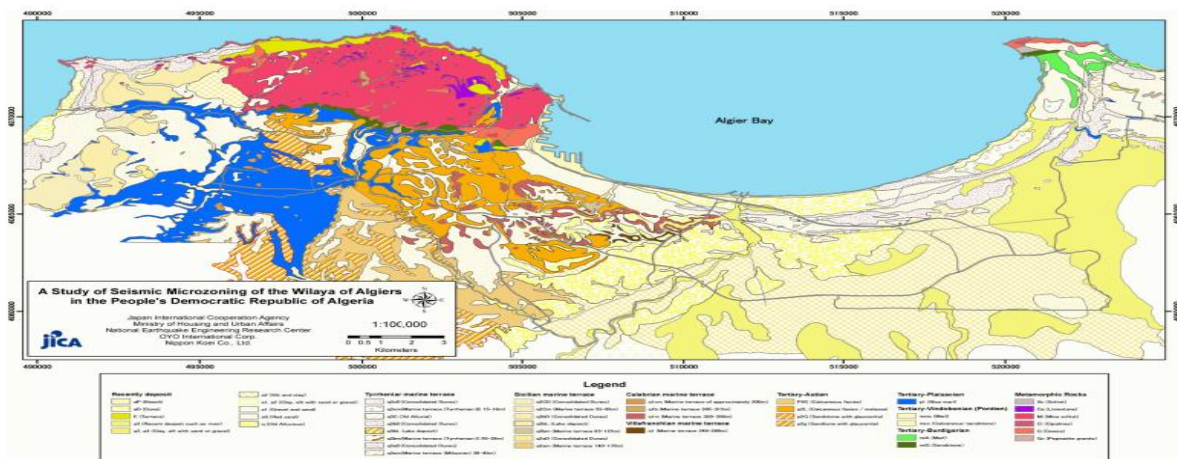


Figure 20: Carte géologique de la baie d'Alger (JICA,2006)

Géologiquement, la zone d'étude fait partie du Sahel Sud d'Alger. L'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène a donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du Cap Matifou, du Sahel. la zone des Sablettes est située à l'extrémité ouest de la plaine de la Mitidja et est une zone de subsidence continue. Cette dernière a produit une sédimentation active avec des éléments issus des reliefs de l'Atlas Blidéen. Deux réservoirs aquifères formés respectivement à la fin du Pliocène et du Quaternaire, il s'agit de dépôts de sables dunaires et d'alluvions dans les lits des Oueds actuels. Ces dépôts sont constitués :

- Du sable de plages le long de la côte.
- D'argiles jaunes avec des passages de graviers intercalés de vase. Ils couvrent les fonds rouges plus ou moins argileux.
- Des dépôts de dunes actuelles qui s'étalent sur une superficie assez vaste au Nord et au Sud de notre zone.
- Des alluvions constituées essentiellement de sable et vase d'argile le long de lit d'oued El-Harrach, à l'Ouest.
- Du sable plus ou moins argilo-limoneux (terrains sédimentaires actuels), au Sud-Ouest.

- Des dépôts de dunes consolidées d'âge Pléistocène, au Sud, à l'Ouest et à l'Est du site : au Sud, apparaissent des dépôts d'alluvions anciennes du sicilien.
- D'alluvions caillouteuses d'El MOHAMMADIA qui occupent la superficie au 2/3 dans sa partie Nord et sa partie centrale ; ils sont composés de cailloutis, de sables et de limons.
- Enfin, elle est recouverte par des dépôts marins comprenant de très petits galets, de quartz, du sable rouge, des poudingues et des grés grossiers compris entre 20 et 25 mètres d'âge pléistocène.

Quant aux dépôts marins, trois types de faciès sableux sont observés dans la couche superficielle de la baie d'Alger :

- Un faciès sableux qui se limite à la bordure littorale ;
- Un faciès carbonaté qui se réduit aux bordures rocheuses littorales et aux hauts fonds rocheux de la baie ;
- Un faciès pélitique occupe la partie centrale et nordique de la baie. **(LEM, 2009).**

Conclusion :

L'analyse de la nature géologique. Elle montre que le sol de notre zone d'étude, dans l'ensemble, est hétérogène. Ceci, a permis de regrouper les différents termes en : sables de plage ; sables grésifiés ; sable argilo-limoneux ; argiles ; petits galets marins ; marnes et vases.

Chapitre 3

Diagnostic de détails

3 Chapitre 03 : Diagnostic des détails

La connaissance et la maîtrise des données et de leur traitement est indispensable avant de se lancer dans tout projet. En effet, suivre une bonne méthodologie basée sur des données d'entrée fiables peut converger vers des résultats exploitables, ce qui fera gagner du temps et de l'argent.

Dans ce chapitre, nous présentons la méthodologie suivie dans notre travail, ainsi qu'une présentation des logiciels et matériels utilisés.

3.1 Etude Topo-bathymétrie :

3.1.1 Introduction :

La bathymétrie est une étude primordiale dans notre domaine afin de reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine par la mesure des profondeurs d'un fond marin. Elle nécessite des levés bathymétriques qui consiste à déterminer les coordonnées 3D des points du fond marin dans le système géodésique WGS84. La morphologie des fonds marins est influencée par des effets hydrodynamiques, qui provoquent des changements dans l'ensemble du système côtier sableux (**Iffour et Madani, 2016**). Une bathymétrie précise est donc un facteur clé pour bien comprendre de l'hydrodynamisme côtier. On peut ainsi comprendre l'évolution géomorphologiques en résultant au fil du temps.

3.1.2 Données utilisées :

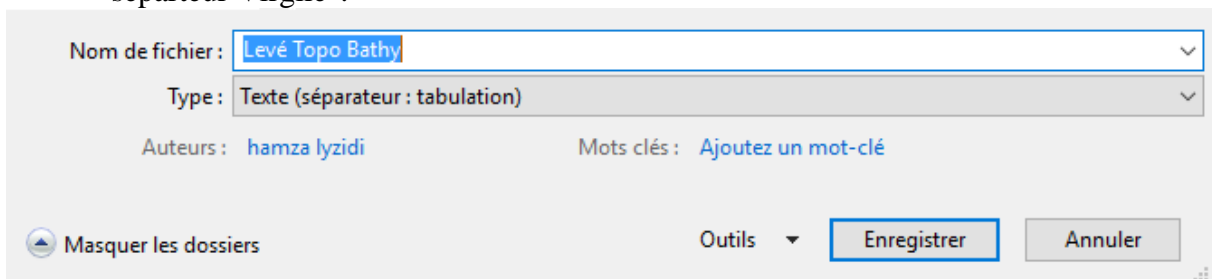
- Levé bathymétrique de la zone « Promenade des Sablettes ». (LEM)
- Levé topo-bathymétrique de la zone (Baie d'Alger).(Navionics)
- Système de référence : WGS 1984 Nord Sahara zone 31

3.1.3 Applications sur logiciels :


- A partir des données fournies par le LEM, la carte bathymétrique a été réalisée à l'aide du logiciel Mike21.

Le traitement de l'information passe par plusieurs étapes qui sont :

- Mise en forme du fichier Excel : préparer les données topo-bathymétriques dans une feuille Excel dans un tableau à 3 colonnes : latitudes, longitudes et profondeurs, respecter les valeurs négatives pour la bathymétrie et positives pour la topographie.
- les données latitudes, longitudes et profondeurs sont enregistrées au format "text-separateur Virgile".



- La suppression des espace vide entre les données dans le fichier .xyz

 Levé Topo Bathy - Bloc-notes

Fichier	Edition	Format	Affichage ?
507505.09	4068299.15	-15.13	
507506.30	4068309.08	-15.20	
507508.54	4068319.13	-15.23	
507510.51	4068329.02	-15.46	
507512.34	4068339.08	-15.59	
507513.91	4068349.11	-15.73	
507515.51	4068359.10	-15.83	
507516.69	4068369.80	-15.96	
507517.84	4068379.81	-16.11	
507519.83	4068389.92	-16.22	
507521.71	4068399.98	-16.36	
507523.89	4068410.05	-16.48	
507525.50	4068420.30	-16.60	
507527.03	4068430.40	-16.75	
507528.23	4068440.61	-16.86	
507530.01	4068450.46	-16.98	
507531.76	4068460.39	-17.12	
507533.26	4068470.82	-17.27	
507534.44	4068480.82	-17.41	
507536.22	4068490.73	-17.61	
507538.70	4068500.54	-17.75	
507539.88	4068511.46	-17.94	
507541.57	4068523.25	-18.12	
507543.34	4068533.15	-18.27	

A l'aide du module « Mesh Generator » dans le Mike21, nous pouvons :

- Importer les données topo-bathymétriques (fichier XYZ) dans le fichier de maillage.
- Système de projection : il faut choisir le système de projection pour la conception du maillage (WGS 1984 Nord Sahara zone 31). Ce choix influence le format de l'affichage sur la carte. Les systèmes de projection des données de trait de côte et de bathymétrie peuvent être différents. Il nous faut uniformiser ces données par rapport au système choisi lors de l'importation des données dans le Mike21 .

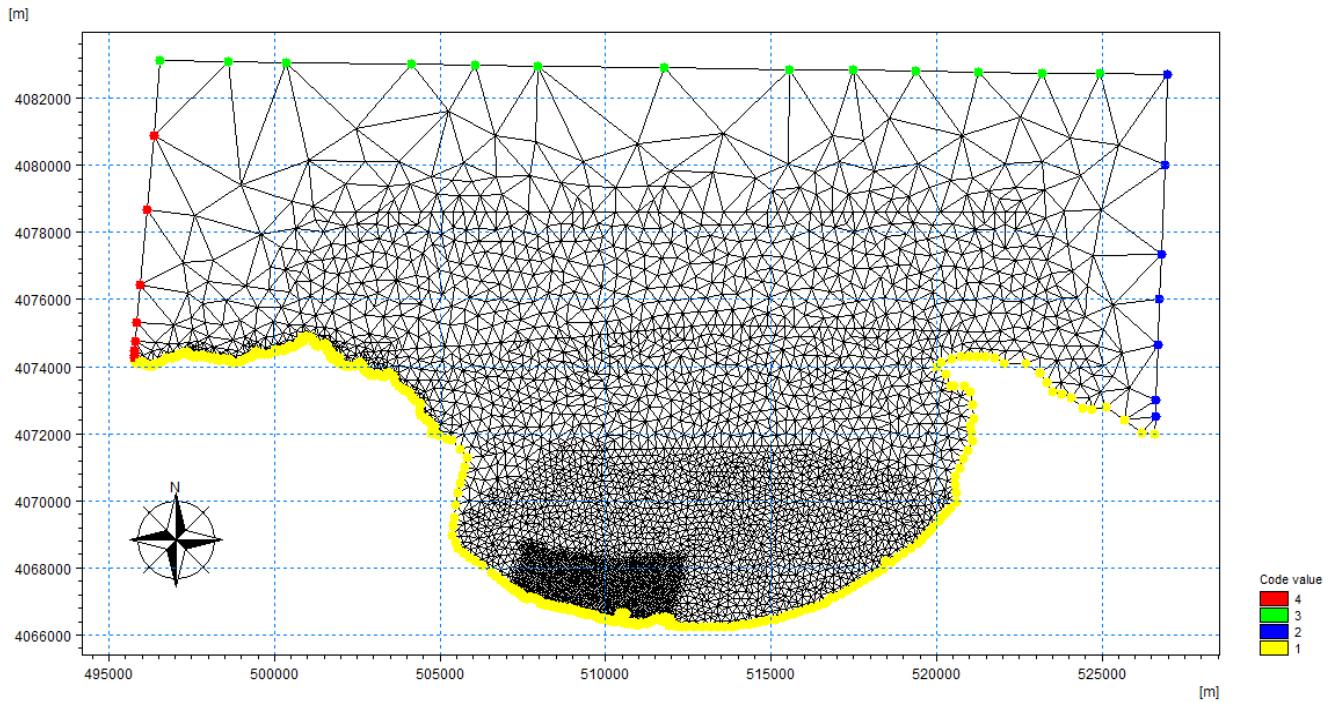


Figure 21: Maillage du domaine de travail de la zone d'étude « baie d'Alger » (Mike21,2023)

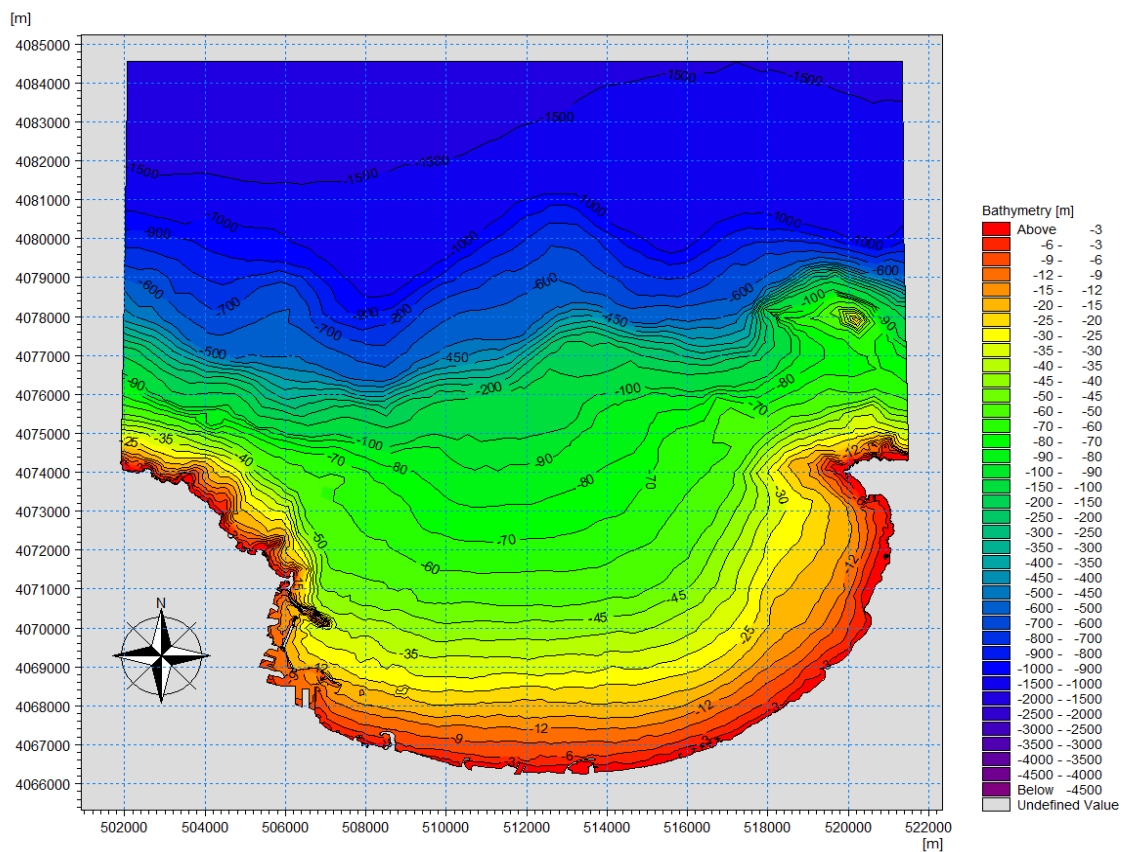


Figure 22 : La carte bathymétrique de la baie d'Alger (Mike21,2023)

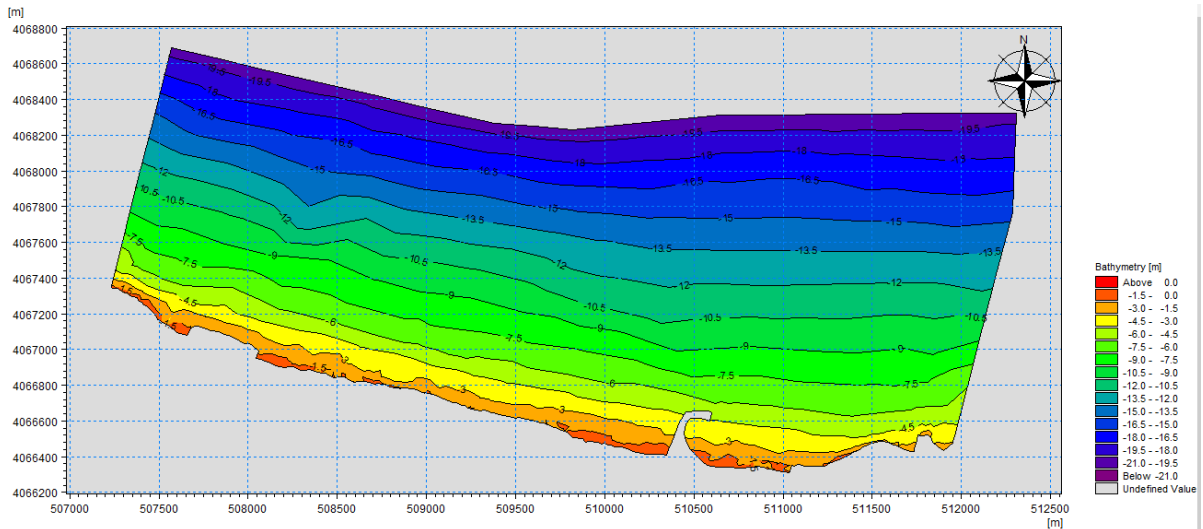


Figure 23 : La carte bathymétrique de la promenade des Sablettes (Mike21,2023)

✓ Réalisation du MNT de la bathymétrie des Sablettes à l'aide du Surfer 13

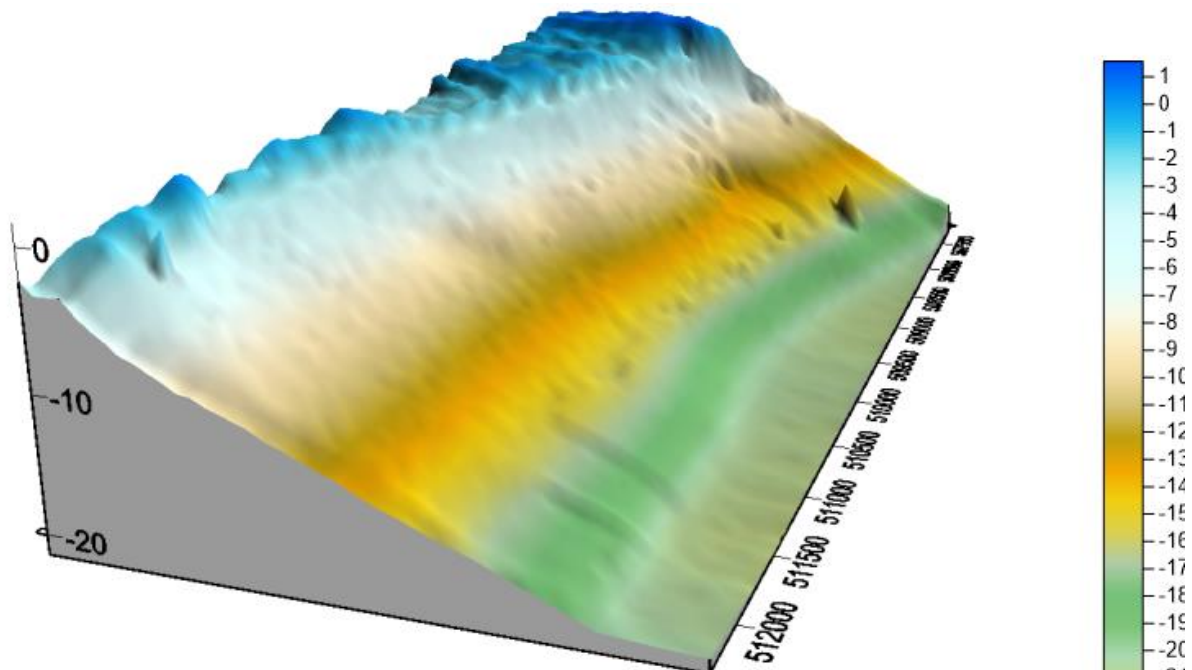


Figure 24: La carte bathymétrique (3D) des Sablettes (Surfer 13, 2023)

3.1.4 Analyses des résultats :

3.1.4.1 La bathymétrie obtenue pour la baie d'Alger :

Présente des valeurs comprises entre 0 m et -2000 m de profondeur, la baie d'Alger fait ressortir deux zones :

1. **Une zone côtière** : Entre 0 et -10 m de profondeur, il a été noté que les isobathes étaient hétérogènes et serrées, bien qu'elles présentassent des plis de

côte discontinues et des pentes forte. Ces fonds se caractérisent par une forte activité par rapport aux zones au large, principalement due à la mise en place d'ouvrages de protection et à l'apport solide de l'Oued El Harrach. A l'Est, les isobathes se rapprochent et deviennent très serrés, souvent du fait de la complexité de la topographie et de la nature des fonds marins, qui dépend principalement des fluctuations hydrométéorologiques.

2. **Une zone au large** : Au-dessus de -10 m, les isobathes deviennent régulières, parallèles au rivage, légèrement espacées, de sorte que la pente devient une petite pente avec une morphologie particulière caractérisée par un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs que ceux du littoral. A l'est du cap Matifou, cependant, les isobathes sont étroites, principalement en raison de la présence d'un fond rocheux.

3.1.4.2 La bathymétrie obtenue pour la promenade des Sablettes :

Présente des valeurs comprises entre -21 m et 0 m de profondeur. L'analyse de la carte bathymétrique de la baie d'Alger fait ressortir deux zones :

- Zone côtière (entre -3m et 0m) : L'écartement entre les isobathes est irrégulier et les isobathes sont hétérogènes et ne sont pas parallèles entre eux mais ils sont très serrés avec une forte pente due essentiellement à l'implantation des ouvrages de protection et les fluctuations hydrométéorologiques.
- Zone au large (au-delà de -3m) : En quittant la grande plage à l'extérieur des arcs les isobathes devient régulières spacieux entre eux et parallèles à la cote ce qui traduit une pente douce au large. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. A partir de La carte bathymétrique (3D) des Sablettes On peut voir dès lors la déformation du fond dès le premier mètre avec une pente abrupte assez bien prononcée, succédée par une pente douce jusqu'à (-15m) de profondeur.

3.2 Etude hydrodynamique :

Dans cette partie, nous allons développer les étapes de réalisation de l'étude hydrodynamique, en utilisant le modèle numérique Mike21, dans la zone Baie d'Alger et plage artificiel Sablettes. Discuter ses résultats pour mieux saisir le comportement hydrodynamique dans la baie d'Alger.

3.2.1 Principe de modélisation :

La modélisation numérique d'un processus physique repose sur la formulation mathématique du processus concerné, suivie de sa résolution à l'aide d'un code informatique. De manière simplifiée, le modèle numérique consiste en une représentation simplifiée de la réalité qui permet d'approcher son fonctionnement par le biais de calculs, en formulant les équations correspondantes.

Pour cette étude, le modèle numérique employé est le MIKE21-DHI, développé par l'Institut hydraulique danois. Il s'agit d'un système de modélisation numérique puissant qui permet de

simuler des phénomènes physiques tels que les vagues, les courants et le transport sédimentaire. Ce modèle offre la possibilité d'effectuer des simulations à grande échelle et d'améliorer la résolution des mailles de calcul à des endroits spécifiques du domaine simulé grâce à l'utilisation de grilles imbriquées.

Les modèles numériques sélectionnés pour cette étude sont les modèles intégrés Mike21/3. Ces modèles, tels que le modèle SW (Spectral Waves) et le modèle HD (Hydrodynamique), ainsi que le modèle ST (Sédiment Transport), font partie des dernières générations de modèles spectraux de vagues-vents. Ils sont basés sur une grille de calcul non structurée mobile. Ces modèles permettent de simuler la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents lorsqu'elles atteignent la côte.

3.2.2 Traitement et recueil de données

La bibliothèque PyExtremes est un outil Python qui offre des fonctionnalités pour l'analyse et la modélisation des événements extrêmes. Son principe repose sur la manipulation de séries temporelles afin d'identifier et de caractériser les événements extrêmes qui se produisent dans les données. La bibliothèque PyExtremes propose plusieurs méthodes et modèles pour estimer les seuils de détection des événements extrêmes, détecter les pics et les creux extrêmes, ainsi que modéliser la distribution des valeurs extrêmes. Elle permet également de calculer des statistiques liées aux événements extrêmes, telles que les valeurs de retour et les périodes de retour. En résumé, PyExtremes fournit des outils pratiques pour analyser et comprendre les caractéristiques des événements extrêmes dans les séries temporelles.

L'analyse et le traitement des données a été effectuée avec langage **Python** Via la bibliothèque **PyExtremes**, les résultat obtenus sont présentés sous forme de graphes et de tableaux

Le traitement a été fait à partir d'une base de données de la zone contenant des séries temporaires de paramètres atmosphériques et océanographiques de 1992 jusqu'à 2022, l'intervalle horaire entre chaque enregistrement de ces paramètres est 1 heures.

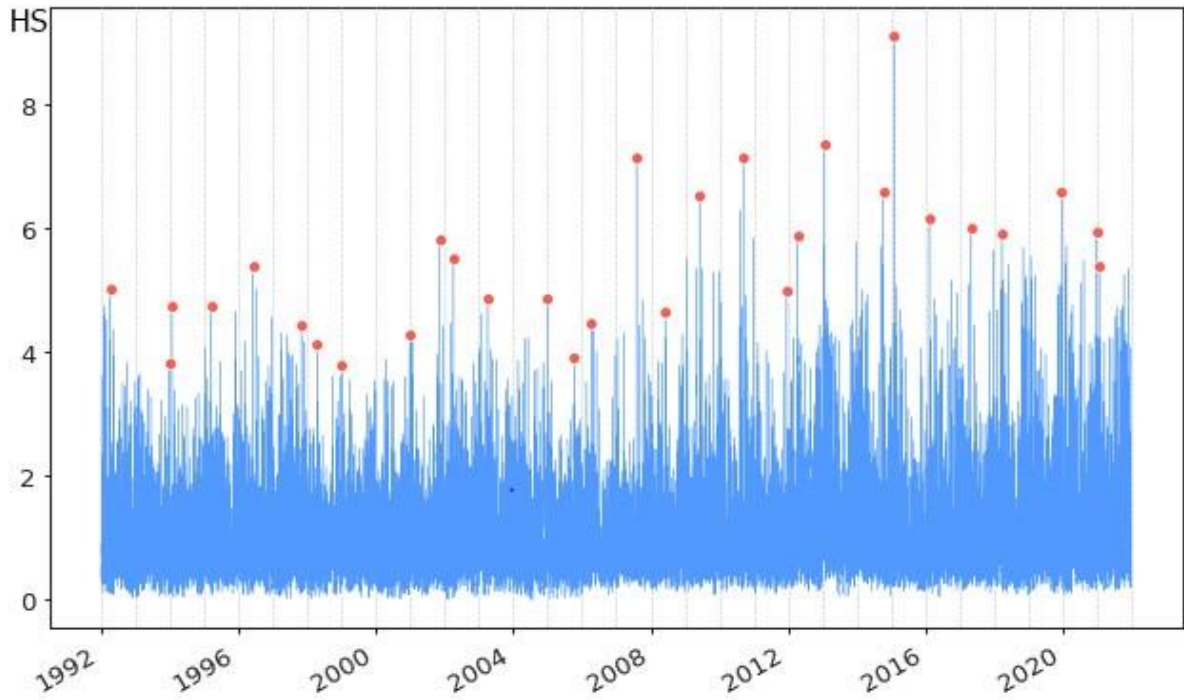


Figure 25: Représentation de la méthode des blocs maxima sur les hauteurs significatives de houles (1992-2022)

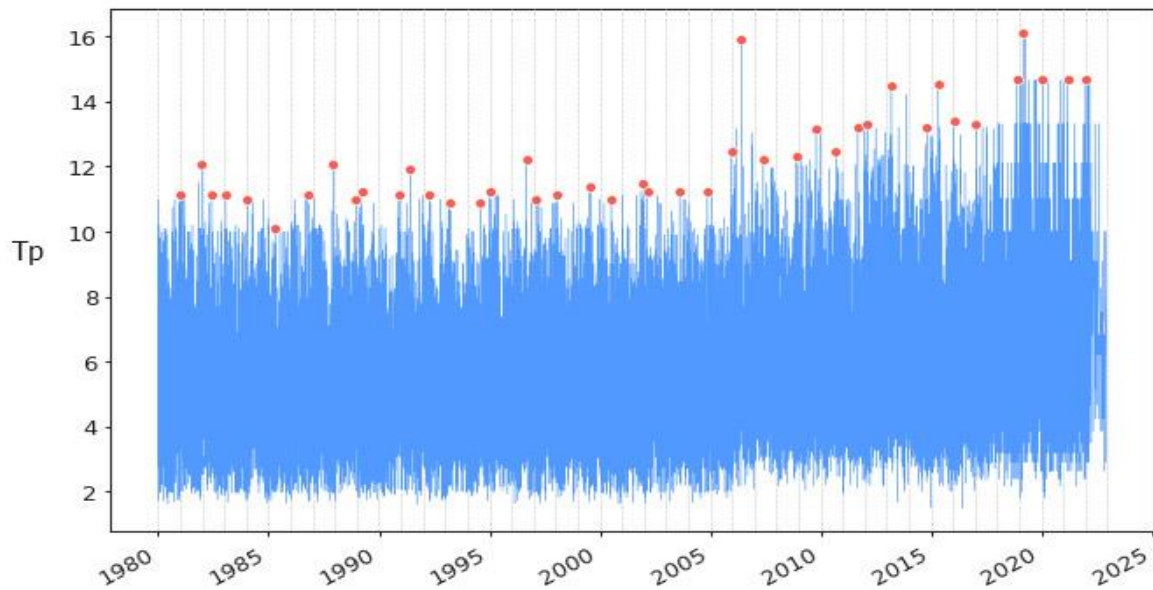


Figure 26: Représentation de la méthode des blocs maxima sur des périodes de pics de houles (1992-2022)

3.2.2.1 Analyse statistique des événements extrêmes de la houle :

3.2.2.1.1 Méthode des valeurs au-dessus du seuil POT :

Il convient de noter qu'auparavant, dans les analyses de données de vagues, une approche couramment utilisée pour estimer les valeurs de retour consistait à utiliser des méthodes basées sur les valeurs maximales au-dessus d'un certain seuil, telles que l'approche Peaks Over Threshold (POT). Cependant, une méthode plus ancienne consistait à utiliser l'approche

de la distribution initiale (ID) ou l'approche Maximale annuelle (AM) en utilisant la valeur maximale par an pour obtenir des estimations de la valeur de retour.

Cependant, le processus d'échantillonnage dans le modèle AM élimine une grande partie des données des séries chronologiques de débit enregistrées. Par exemple, pour une base de 50 ans d'enregistrement de données de houle, le modèle AM ne considère que 50 éléments pour la modélisation, chacun étant les données les plus élevées en une seule année. Plusieurs études notent que le modèle AM entraîne une perte d'informations utiles.

- La méthode Peaks Over Threshold (POT) implique l'extraction des valeurs de pointe qui dépassent un seuil spécifique. En plus de cela, le modèle POT présente l'avantage d'une flexibilité dans le processus d'échantillonnage. Cela signifie que, selon l'objectif de l'analyse, le modèle POT peut extraire le nombre requis de points de données en ajustant le niveau de seuil. Ainsi, il est possible d'adapter le modèle POT en fonction des besoins de l'analyse pour obtenir les résultats souhaités.
- Pour le type de données qui nous intéresse dans ce rapport, le diagnostic graphique utilisé pour sélectionner un seuil approprié est le graphe du QQ, PP et le graphique du niveau de retour.
- Il est important de souligner que l'approche Peaks Over Threshold avec la distribution générale des valeurs extrêmes (POT-GPD) ne peut pas se contenter d'un seuil unique dans toutes les situations. La sélection du seuil doit être guidée en fonction des données spécifiques au domaine directionnel choisi, afin de parvenir à un ajustement qui représente fidèlement les conditions réelles du projet. Les échantillons utilisés dans la méthode POT doivent être extraits de la série chronologique d'origine afin que les données puissent être modélisées comme des observations indépendantes. Ce processus de séparation consiste à conserver uniquement les observations les plus élevées du groupe de dépassement pour un seuil spécifié. De plus, seules les observations qui sont suffisamment éloignées les unes des autres sont conservées, par exemple, en considérant que les maximums de clusters (Le pas d'intervalle d'étude) espacés de 48 heures appartiennent au même cluster, correspondant ainsi à la durée maximale des événements de tempête dans les données.

3.2.2.1.2 La loi GPD (Generalized Pareto distribution) :

La loi GPD est indexée par deux paramètres ξ et σ que nous pouvons estimer par deux méthodes : la méthode de maximum de vraisemblance et la méthode des moments

Si Y_j désigne la j – me variable d'excès au-delà du seuil u , $j = 1, \dots, N_u$, dans le cas où $\mathbf{u} = \mathbf{X}_{n-k,n}$, \mathbf{n} , la statistique d'ordre des excès est de la forme : $Y_{j,k} = X_{n-k+j} - X_{n-k,n}$ avec $j = 1, \dots, N_u$ (Borchani, 2010.)

La loi des dépassements de u peut être approchée par la distribution généralisée de Pareto (GPD) donnée par : $F(y) = 1 - (1 + k y \alpha)^{-1/k}$: $0 < y < \infty$, $-k$ et α représente les paramètres de forme et d'échelle de l'échantillon.

3.2.2.2 Résultats de traitement

Pour récapituler, la procédure d'analyse des valeurs extrêmes comporte les étapes suivantes :

- Les échantillons des POT de tempête sont sélectionnés à partir de la série chronologique d'origine en utilisant différents seuils.
- Pour chaque échantillon sélectionné, les paramètres et les incertitudes de la distribution générale des valeurs extrêmes (GPD) sont estimés.

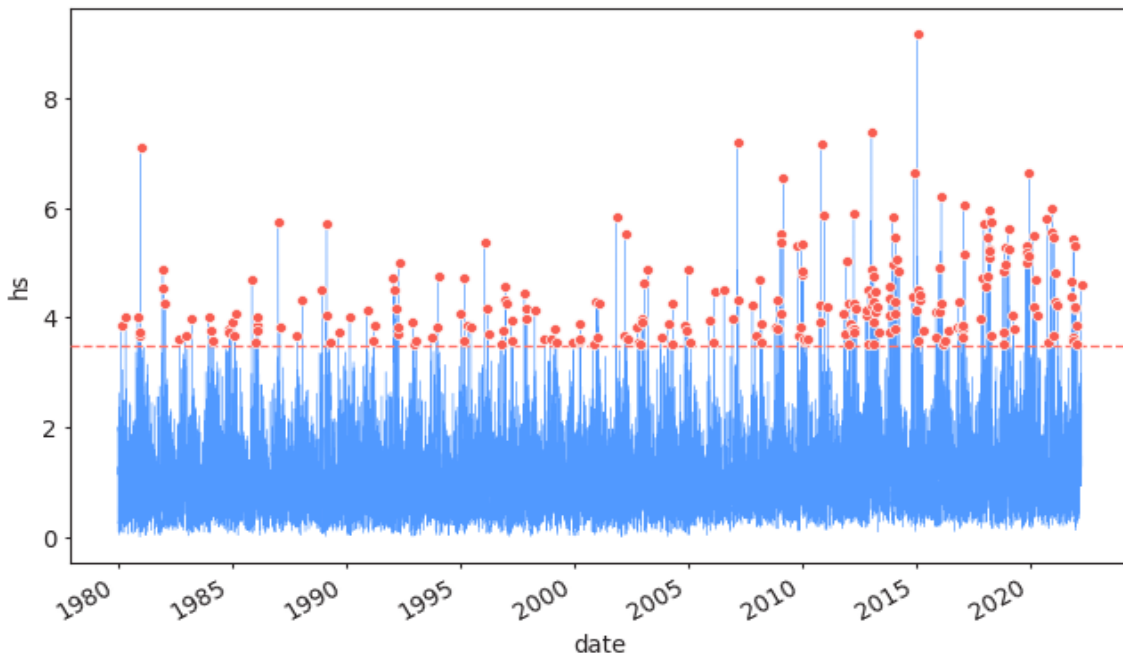


Figure 27: Les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes-secteur omnidirectionnel

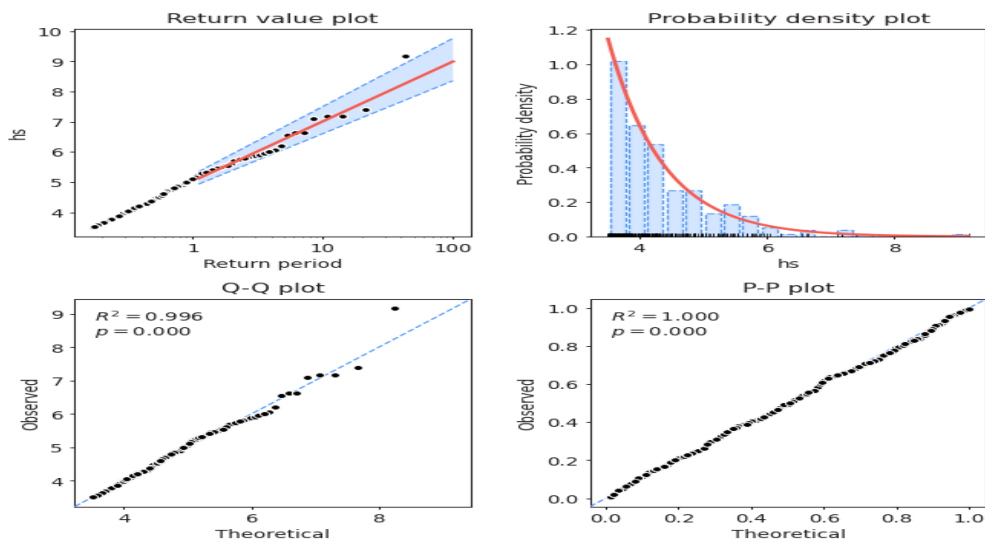


Figure 28: Graphe du QQ, PP et le graphique du niveau de retour pour la détermination du seuil

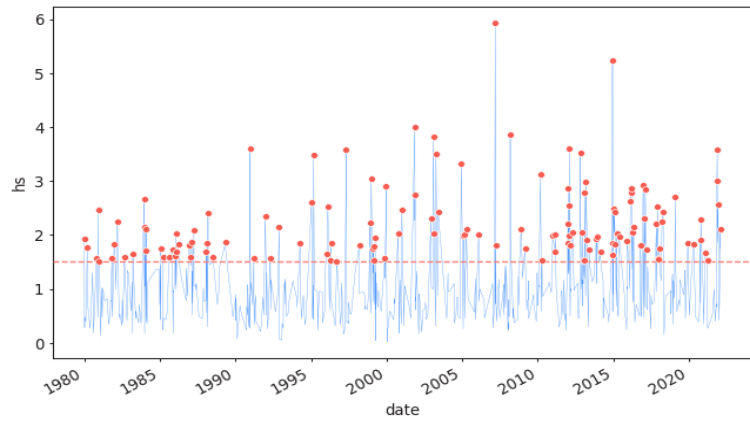


Figure 30: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes- secteur NORD

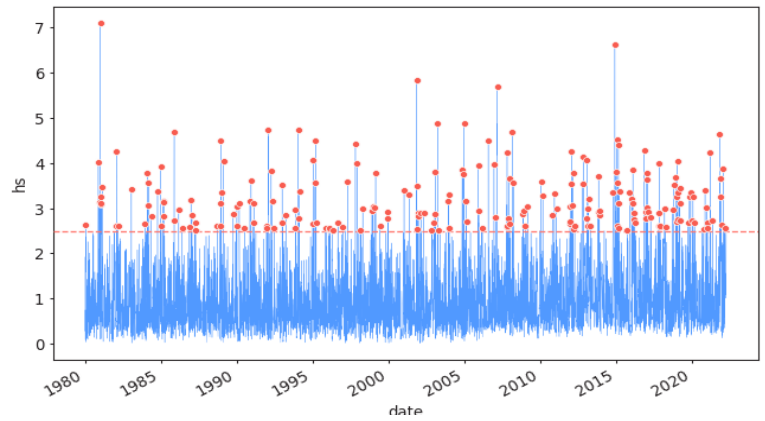


Figure 29: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes- secteur NORD EST

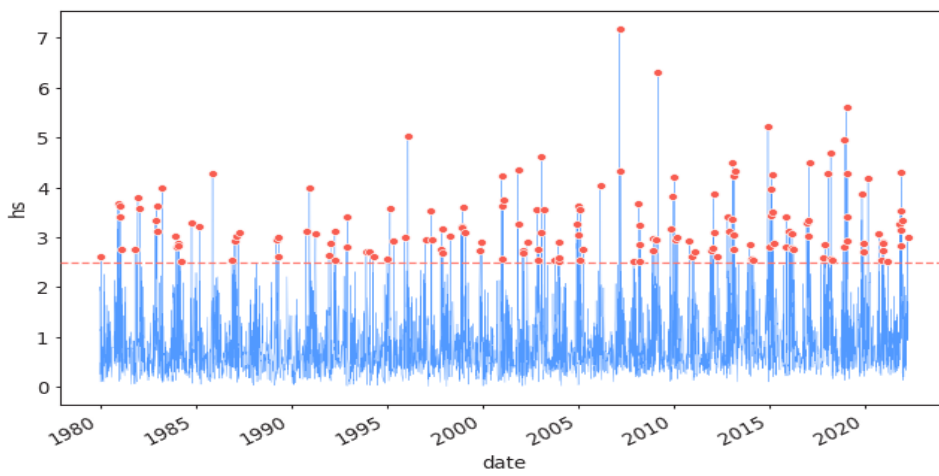


Figure 31: les valeurs retenues pour le calcul des extrêmes- secteur NORD OUEST

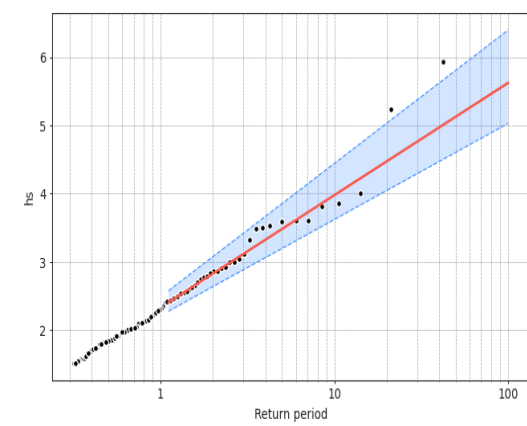


Figure 34: Ajustement par la loi GPD secteur NORD

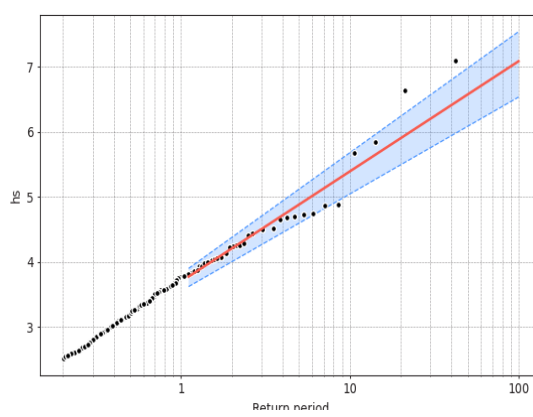


Figure 32: Ajustement par la loi GPD secteur NORD EST

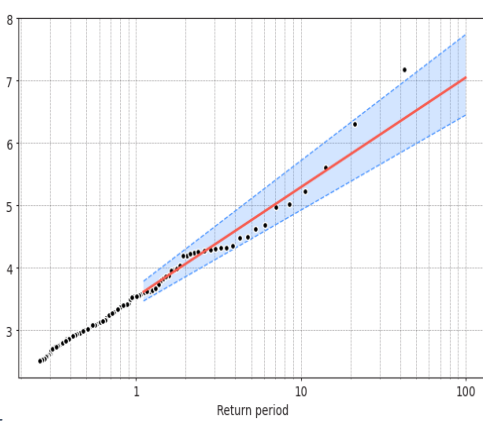


Figure 33: Ajustement par la loi GPD secteur NORD OUEST

3.2.2.3 Interprétation des résultats :

- La figure au-dessus présente le spectre des houles pour toutes les directions et durant la période de 1990 à 2022, Les hauteurs significatives oscillent entre des valeurs supérieures à 8.8m et inférieure ou égale 6.7m. Le seuil défini pour ce spectre est de 3.8m, au-delà ce sont des valeurs extrêmes des houles.
- Le Cas du secteur Nord montre des hauteurs significatives atteint 6m avec un seuil de 1.5m et Nord EST et OUEST atteint un Hs 7.2 m avec un seuil de 2.5m
- Pour chaque direction, il est tracé une courbe semi-logarithmique représentant les amplitudes des vagues en fonction de leur période de retour respective. Ces valeurs reflètent le comportement enregistré des vagues sur une période allant de 1990 à 2022.
- Le résultat de ce traitement statistique va nous donner les conditions de projet à simuler selon la direction la plus pénalisante.

3.2.3 Choix de directions :

Pour étudier la propagation des houles, en commençant par l'analyse et le traitement des données brutes fournies par le LEM des caractéristiques des vents et des houles (vitesse, direction et amplitude) aussi les sédiments de la période étendant de 1980 jusqu'au 2022 d'un pas de 1heure filtrées par la méthode des valeurs extrêmes comme citée en haut.

La Sablettes d'Alger offre une surface ouverte par rapport à la baie donc le model a concerné 3 directions dominantes avec un impact important sur notre zone d'intérêt (Nord-Ouest / Nord / Nord-Est).

Le traitement de ces données nous a permis d'élaborer les tableaux suivants qui vont nous guider durant la modélisation des SW, HD et ST dans les étapes suivantes :

Tableau 2:Les données du modèle couplé mike21/3

	Nord-Ouest (315°)			Nord (360°)			Nord-Est (45°)		
	Hs(m)	Tp(s)	Élévation moyenne (LEM)	Hs(m)	Tp(s)	Élévation moyenne (LEM)	Hs(m)	Tp(s)	Élévation moyenne (LEM)
Annuelle	2,33	5,62	0.34	2,33	5,62	0.34	3,69	7,51	0.34
Décennale	3,97	7,86		3,97	7,86		5,38	9,52	
Centennale	5,61	9,78		5,62	9,79		7,08	11,32	

Note : L'effet de la force des vents est négligeable dans cette étude

Tableau 3:sortants du modèle SW

	Symbole	Unité
Hauteur Significative	Hs	Mètres

Période pique	Tp	Secondes
Direction moyenne	MWD	Degrés
Contrainte de radiation	Sxx, Sxy, Syx	m3/s2

Tableau 4: sortants du modèle HD

	Symbole	Unité
U Velocity	Uv	m/s
V Velocity	Vv	m/s
Vitesse du courant	V	m/s
Direction du courant	-	-

Pour la configuration du modèle HD, on prend en considération la viscosité turbulente et la force des courants change en fonction de la direction. Les données sortantes du modèle HD sont comme citer au-dessus

Tableau 5: Sortants du modèle ST

	Symbole	Unité
Total load x- compnent	STx	M3/s/m
Total load y- compnent	STy	M3/s/m
Total load - magnitude	ST	M3/s/m
Total load - direction	-	Degrés

Le paramètre le plus important dans le modèle ST est celui du diamètre des grains ainsi que sa graduation, la bathymétrie joue aussi un rôle pour le calcul des taux de transport, avant la simulation du transport sédimentaire, une table de sédiment doit être générer avec le module MIKE21-ST.

3.2.4 Résultats des champs des houles pour la direction Nord-Est (45°) :

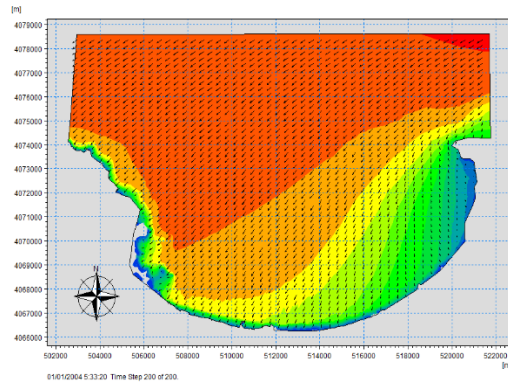


Figure 35: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger d'Alger

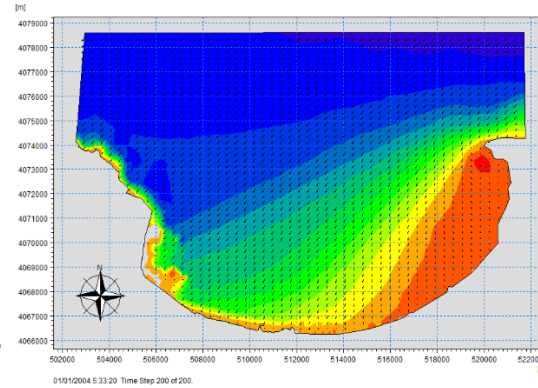


Figure 36: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger

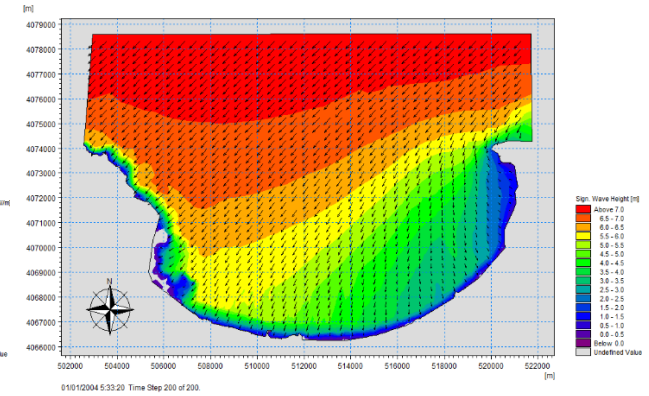


Figure 37: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger

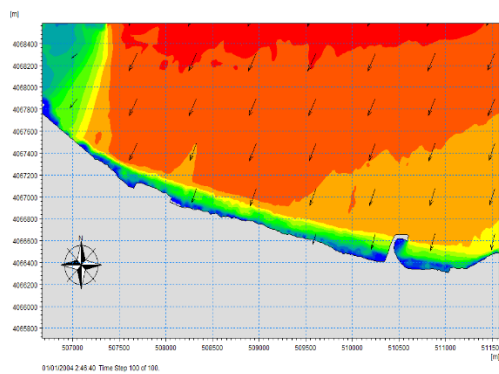


Figure 38: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt

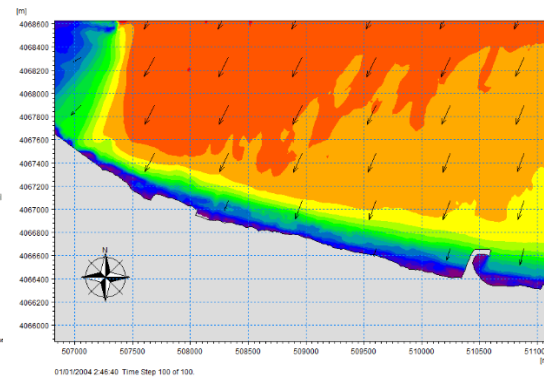


Figure 39: Champ des houles décennale dans la zone d'intérêt

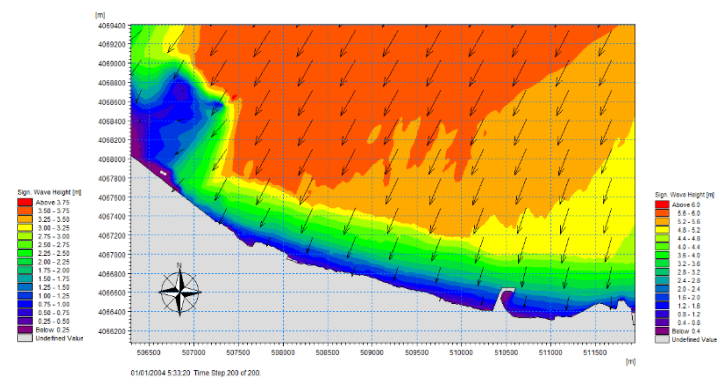


Figure 40: Champ des houles centennale dans la zone d'intérêt

3.2.5 Résultats des champs des houles pour la direction Nord (360°) :

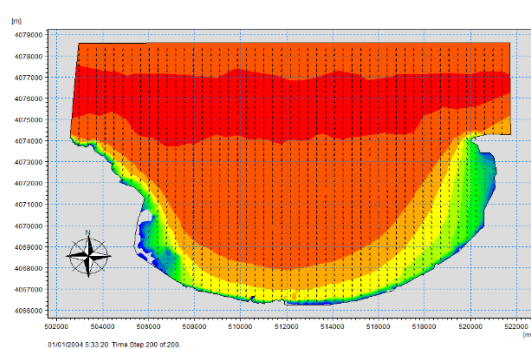


Figure 41: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger

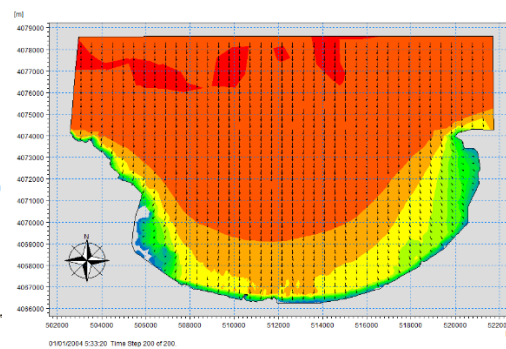


Figure 42: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger

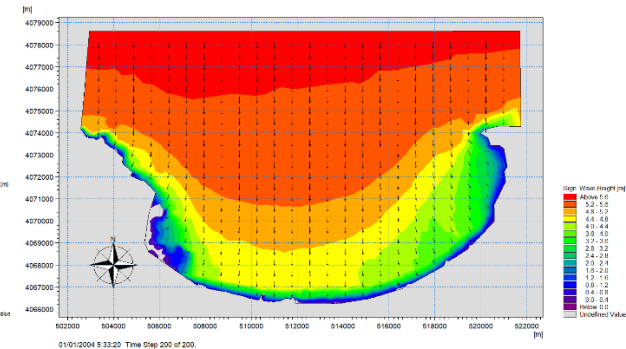


Figure 43: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger

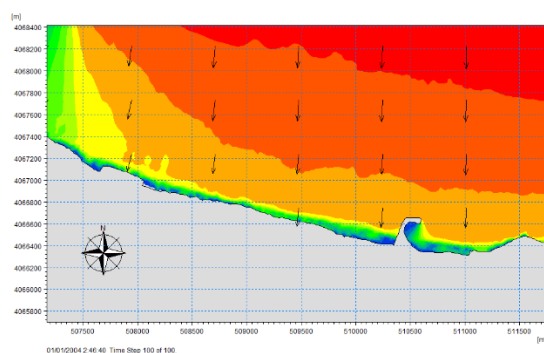


Figure 44: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt

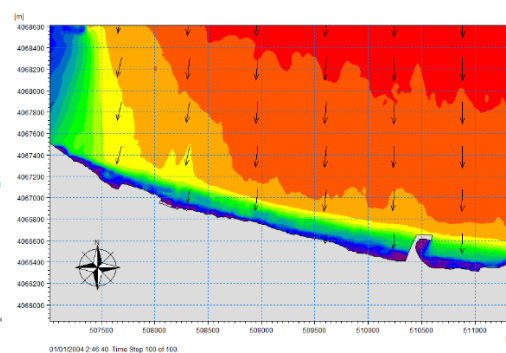


Figure 45: champ des houles décennale dans la zone d'intérêt

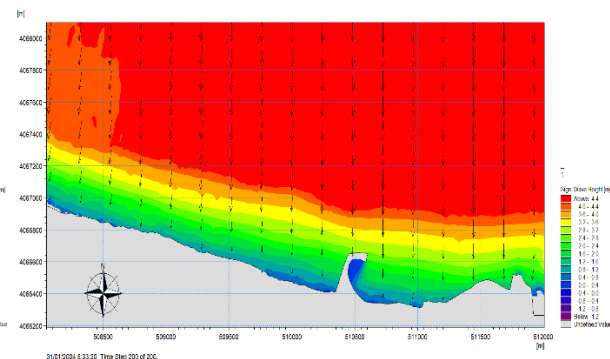


Figure 46: champ des houles centennale dans la zone d'intérêt

3.2.6 Résultats des champs des houles pour la direction Nord-Ouest (315°) :

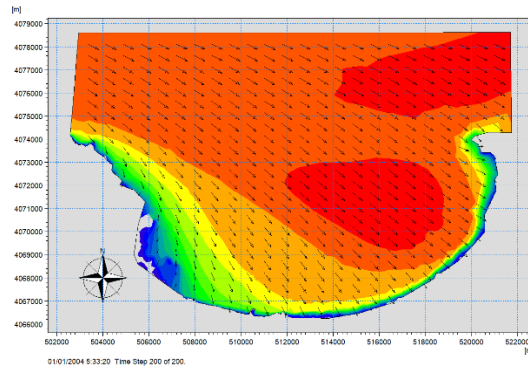


Figure 47: Champ des houles annuelle dans la baie d'Alger d'Alger

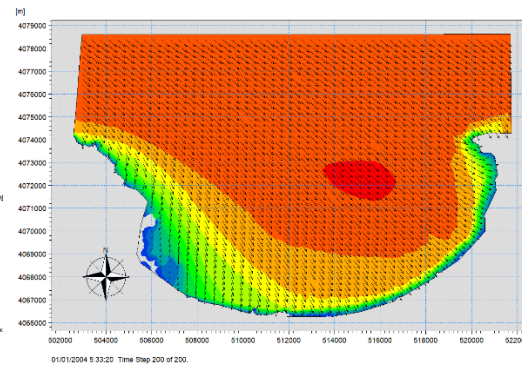


Figure 48: Champ des houles décennale dans la baie d'Alger

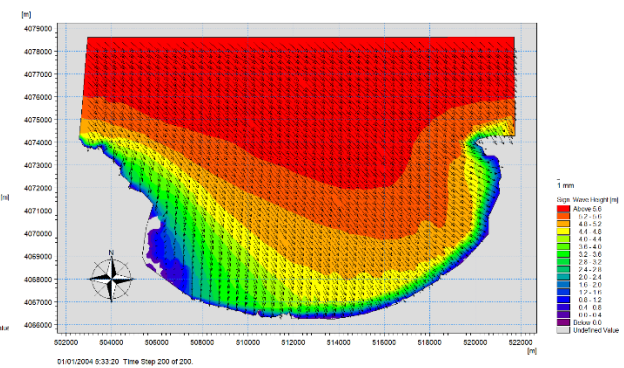


Figure 49: Champ des houles centennale dans la baie d'Alger

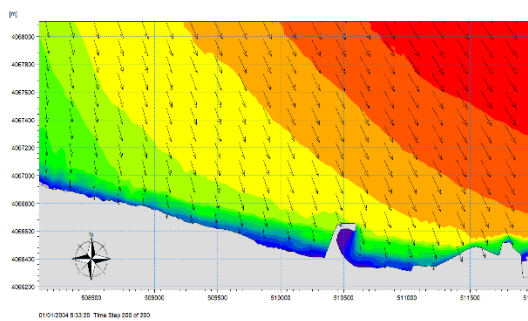


Figure 50: champ des houles annuelle dans la zone d'intérêt d'intérêt

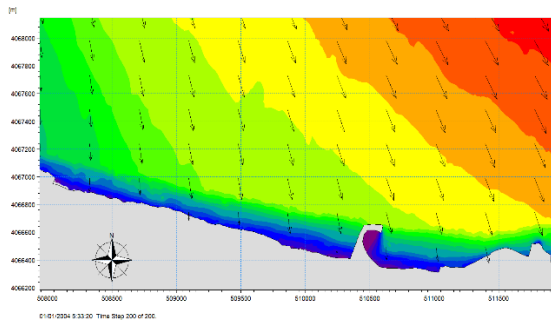


Figure 51: champ des houles décennale dans la zone d'intérêt

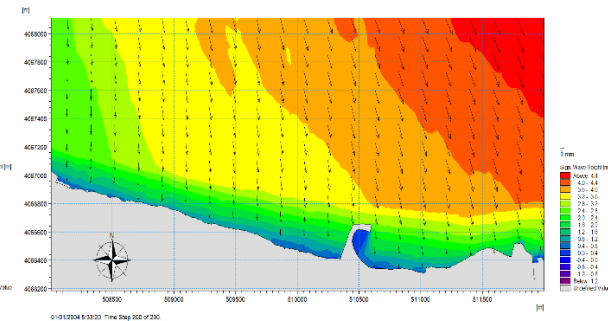


Figure 52: champ des houles centennale dans la zone d'intérêt

3.2.7 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord-Est (45°) :

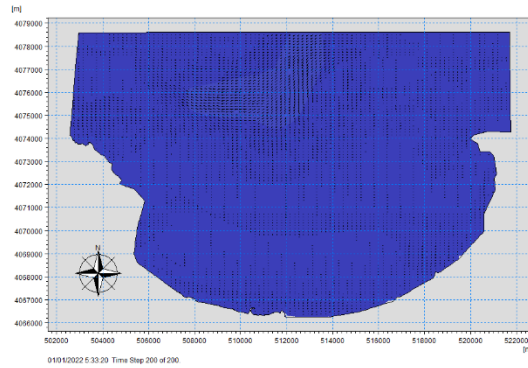


Figure 53: Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger d'Alger

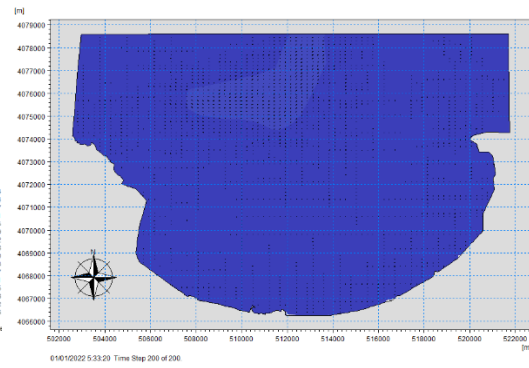


Figure 54: Champ des courants décennale dans la baie d'Alger

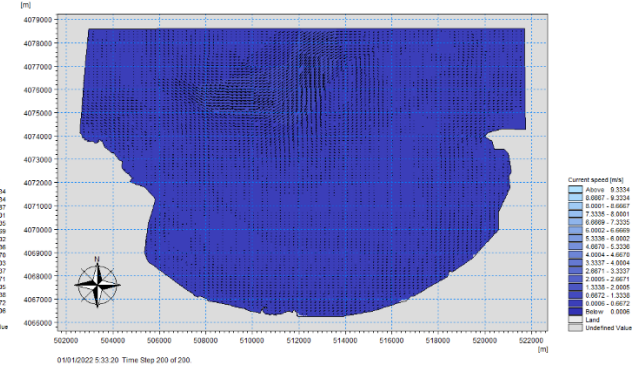


Figure 55: Champ des courants centennale dans la baie d'Alger

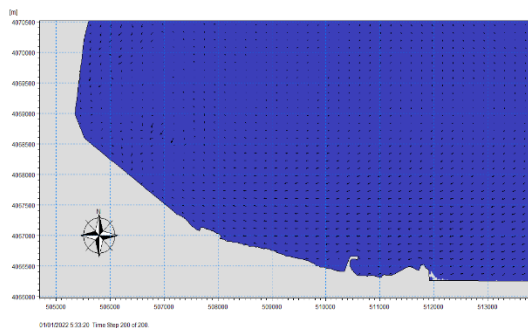


Figure 56: Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt

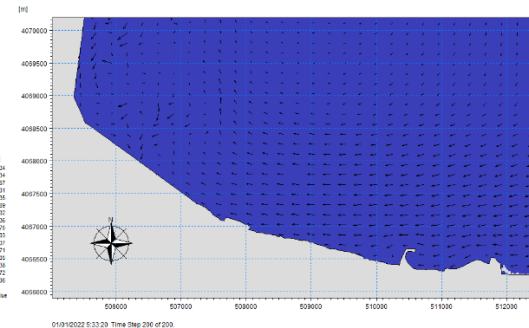


Figure 57: Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt

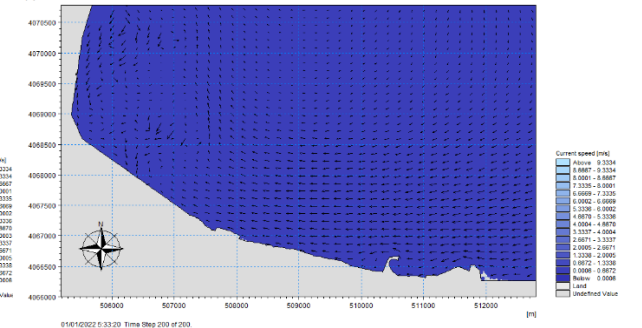


Figure 58: Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt

3.2.8 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord (360°) :

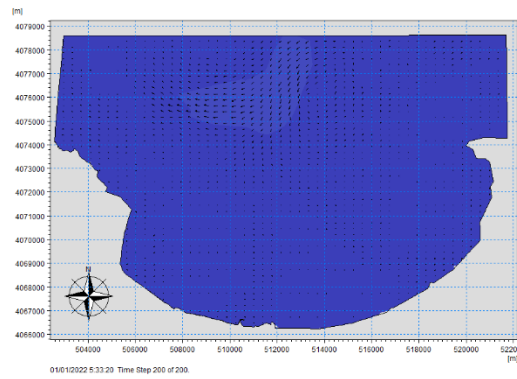


Figure 59: Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger d'Alger

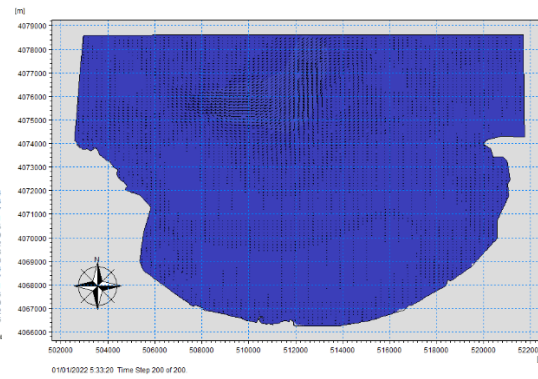


Figure 60: Champ des courants décennale dans la baie d'Alger

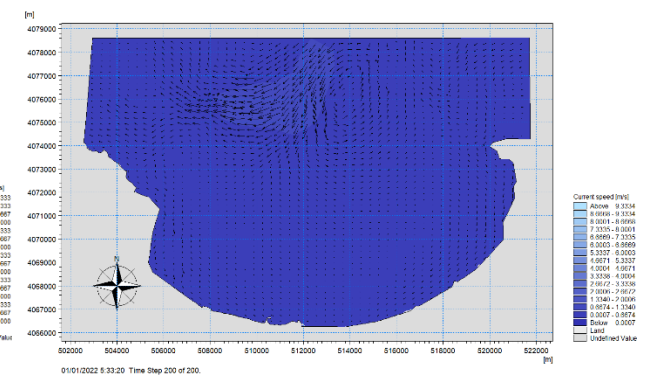


Figure 61: Champ des courants centennale dans la baie d'Alger

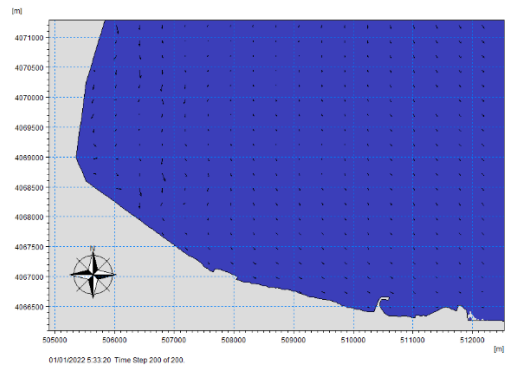


Figure 62: Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt

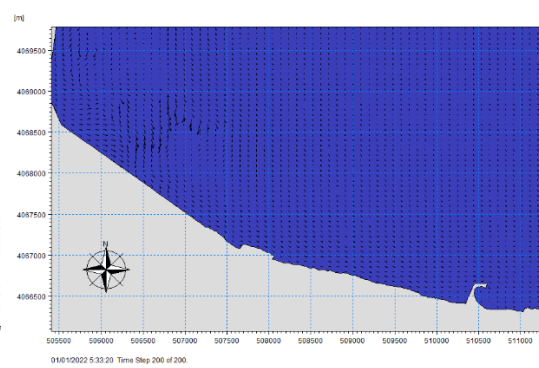


Figure 63: Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt

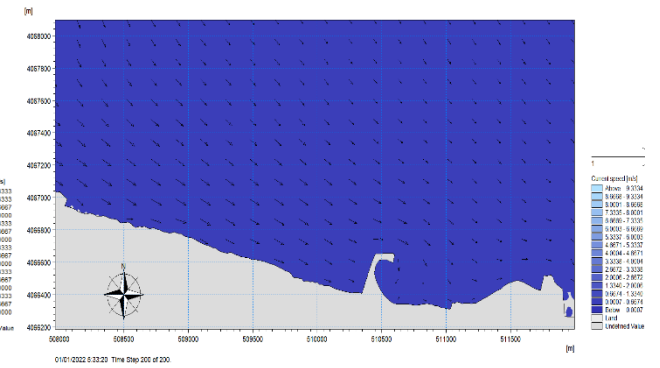


Figure 64: Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt

3.2.9 Résultats des Champs des courants pour la direction Nord-Ouest (315°) :

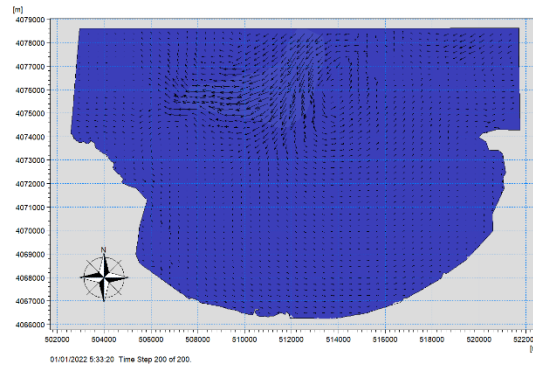


Figure 65: Champ des courants annuelle dans la baie d'Alger d'Alger

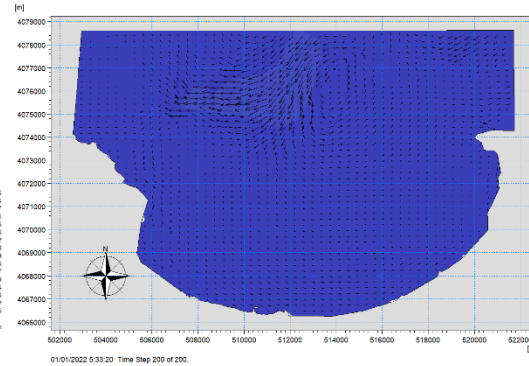


Figure 66: Champ des courants décennale dans la baie d'Alger

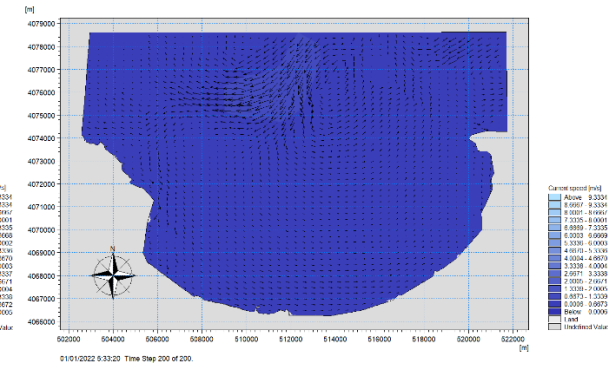


Figure 67: Champ des courants centennale dans la baie d'Alger

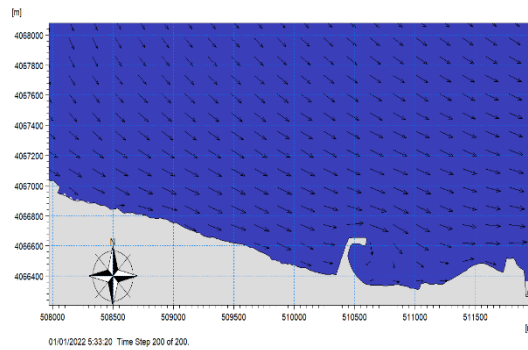


Figure 68: Champ des courants annuelle dans la zone d'intérêt

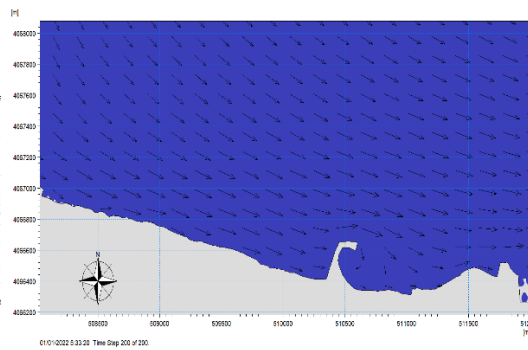


Figure 69: Champ des courants décennale dans la zone d'intérêt

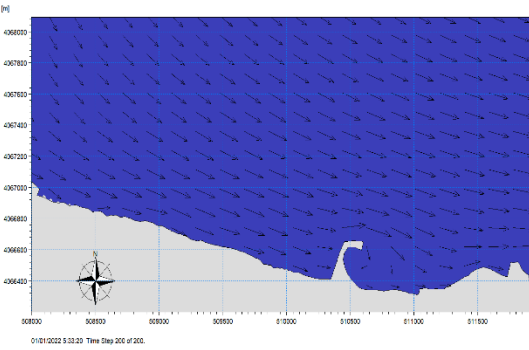


Figure 70: Champ des courants centennale dans la zone d'intérêt

3.2.10 Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord-Est (45°) :

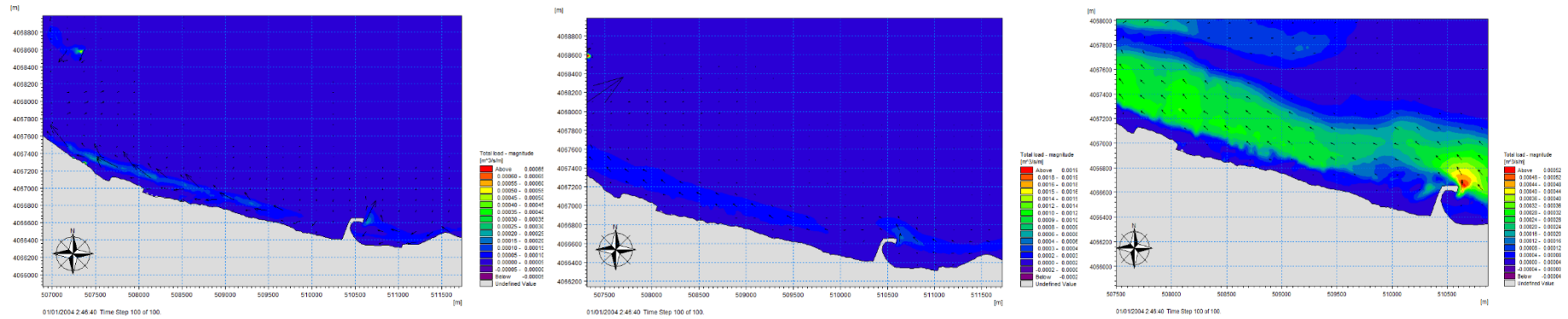


Figure 71: Dynamique sédimentaire annuelle Figure 72: Dynamique sédimentaire décennale Figure 73: Dynamique sédimentaire centennale

3.2.11 Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord (360°) :

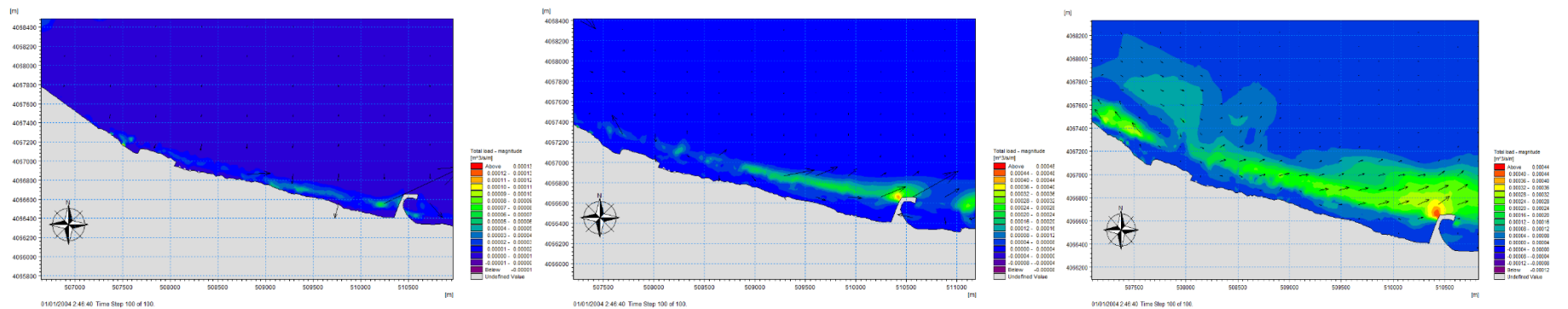


Figure 74: Dynamique sédimentaire annuelle Figure 75: Dynamique sédimentaire décennale Figure 76: Dynamique sédimentaire centennale

3.2.12 Résultats de la dynamique sédimentaire dans la zone pour la direction Nord-Ouest (315°) :

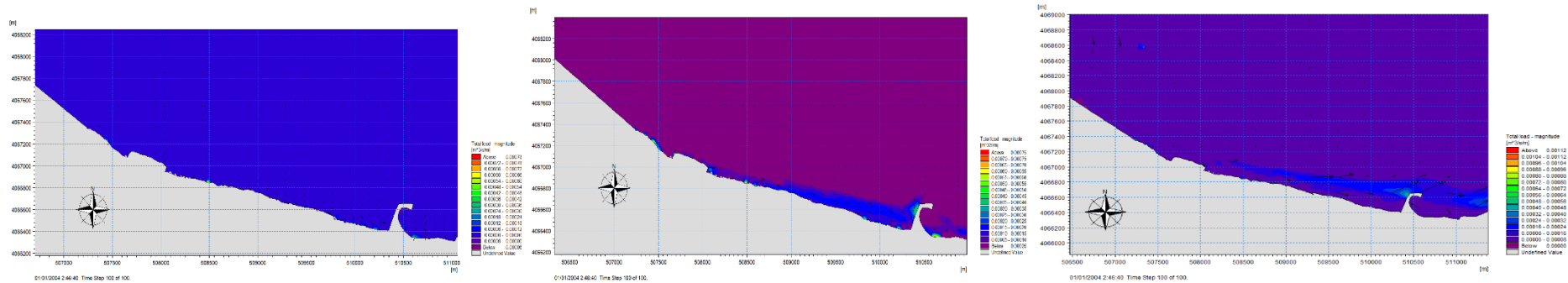


Figure 77: Dynamique sédimentaire annuelle Figure 78: Dynamique sédimentaire décennale Figure 79: Dynamique sédimentaire centennale

Note : Pour convertir un débit en mètres cubes par seconde par mètre (m³/s/m) en mètres cubes par an (m³/an), il faut multiplier le débit par le nombre de secondes dans une année.

Il y a 31 536 000 secondes dans une année. Donc, pour convertir de m³/s/m en m³/an, vous pouvez multiplier le débit par 31 536 000.

3.2.13 Analyse des résultats de simulation du couplé model mike21/3 :

3.2.13.1 Période de retour annuelle :

➤ Secteur Nord-Est (Figures 35) :

Nous observons que ces vagues proviennent d'un angle oblique par rapport à la côte des Sablettes, avec une amplitude maximale de 0,8m dans notre zone d'intérêt avec un déplacement parallèle « à notre cote » des courants engendrés par les houles de ce secteur d'une vitesse moyenne de 0,5 m/s avec un débit sédimentaire de 2684.45m³/an et de 1576.8 m³/an. Au fur et à mesure, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées jusqu'à qu'elle arrive à 0,2m.

➤ Secteur Nord (Figures :41) :

Nous observons que ces vagues proviennent d'un angle perpendiculaire par rapport à la côte des Sablettes, avec une amplitude maximale de 1,2m dans notre zone d'intérêt avec un déplacement oblique puis parallèle « à notre cote » des courants engendrés par les houles de ce secteur d'une vitesse entre 0,3 et 0,6 m/s avec un débit sédimentaire entre 315.36 m³/an et de 1892.16 m³/an. Au fur et à mesure, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées jusqu'à qu'elle arrive à 1,2m.

➤ Secteur Nord-Ouest (Figures :47) :

Nous observons que ces vagues proviennent d'un angle oblique par rapport à la côte des Sablettes, avec une amplitude maximale de 2 m dans notre zone d'intérêt avec un déplacement parallèle « à notre cote » des courants engendrés par les houles de ce secteur d'une vitesse entre 0,2 et 0,4 m/s, cette perte d'énergie peut être due à la jetée principale du port d'Alger (ceci est confirmé par les autres carte de réfraction des périodes de retour) avec un débit sédimentaire entre 598.224 m³/an et de 914.664 m³/an. Au fur et à mesure, la hauteur de la houle diminue pour atteindre la partie centrale avec des valeurs moins élevées jusqu'à qu'elle arrive à 0,9m.

3.2.13.2 Période de retour décennale :

➤ Secteur Nord-Est :

D'après (figure 36), (figure 39). On observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Est-Ouest d'une hauteur significative de 0,75 m, avec un gradient de vitesse atteint un maximum d'environ 0,66 m/s, et diminue progressivement passant par des vitesses moyennes de l'ordre de 0,1 m/s à 0,36 m/s. Ce courant apporte un débit sédimentaire entre 9460.8 m³/an et 11049.6 m³/an

➤ Secteur Nord :

D'après (figure 42), (figure 45). On observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Sud en arrivant à la cote ils se dirigent vers l'Est d'une hauteur significative de 1,2 m, avec un gradient de vitesse atteint un maximum d'environ 0,6 m/s, et diminue progressivement passant vers des vitesses moyennes de l'ordre de 0,3 m/s à 0,4 m/s. Ce courant apporte un débit sédimentaire entre 1261.44m³/an et 2522.88 m³/an.

➤ Secteur Nord-Ouest :

D'après (figure 48), (figure 51). On observe que les champs des courants montrent un courant littoral de direction majoritaire Ouest-Est d'une amplitude de 1,41 m, avec un gradient de vitesse atteint un maximum d'environ 0,58 m/s, et diminue progressivement le

long de la cote. Ce courant apport un débit sédimentaire entre 3244.708 m³/an et 5613.648m³/an.

3.2.13.3 Période de retour centennale :

➤ Secteur Nord-Est :

Pour cette direction (45°) (**Figure n° 40**), les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle moyenne de 0,8 m approchant notre site avec une vitesse de 0,8 m/s, une diminution de l'énergie de la houle est observée à l'approche de la houle vers la côte. Cette activité hydrodynamique engendre un transport sédimentaire moyen de 3763.92 m³/an

➤ Secteur Nord :

Pour cette direction (360°) (**Figure n° 46**), les houles abordent la plage avec une incidence perpendiculaire, et une hauteur de houle moyenne de 1,82 m approchant notre site avec une vitesse de 0,97 m/s. Cette activité hydrodynamique engendre un transport sédimentaire moyen de 1420.62m³/an

➤ Secteur Nord-Ouest :

Pour cette direction (315°) (**Figure n° 52**), les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle moyenne de 1,8 m approchant notre site avec une vitesse de 0,57 m/s, une diminution de l'énergie de la houle est observée à l'approche de la houle vers la côte à cause de la jetée principale du port d'Alger. Cette activité hydrodynamique engendre un transport sédimentaire moyen de 2522.88 m³/an

3.2.14 Conclusion :

Cette partie d'étude numérique par le biais des codes de calcul du Mike 21, nous a permis de mettre en lumière l'ensemble des processus existant et surtout dominant dans notre zone d'étude des Sablottes afin d'élucider la dynamique sédimentaire. Au préalable, nous avons déterminé les conditions hydrodynamiques dominantes, commençant par la propagation des houles du large vers la côte, enfin à partir des résultats cités auparavant, nous avons pu déterminer le transit littoral, qui est généré par des houles des trois directions Nord-Est, Nord et Nord-Ouest. A noté que, d'après l'étude de l'élévation du niveau de la mer, la zone d'étude n'est pas très vulnérable au forçage côtier tel que la submersion côtière.

Pour la validation de cette étude, il serait souhaitable de disposer des études sur terrain sur de longue durée à chaque station, afin de confirmer les résultats et de déterminer la marge d'erreur imputable aux mesures.

3.3 Etude de l'évolution de la ligne de rivage :

Le recul du trait de côte n'est pas un phénomène récent mais son ampleur s'est accrue au cours des dernières décennies. Les variations historiques de la ligne de rivage et le façonnage du système littoral dépend de plusieurs facteurs naturels et anthropiques, tel que la houle la variation eustatiques du niveau de la mer, la fréquence des tempêtes, le bilan des apports sédimentaires et les activités humaines **ASSASI, C, OTMANI, H. (2010)**.

Il est nécessaire de disposer d'une information quantitative précise concernant la fluctuation des lignes de rivage souvent rapides au niveau des littoraux sableux et soumis à de fortes houles et à des vagues obliques (**Blanc, 1977**).

3.3.1 Méthodologie :

Une fois que toutes les données sont préparées, elles doivent être traitées à l'aide d'outils spécifiques pour cartographier les côtes et mener des études dans le temps pour calculer les taux d'évolution du trait de côte (Faye et al., n.d.).

3.3.1.1 Aperçu du logiciel :

ArcGIS :

Est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la Gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées.

Le logiciel Arc GIS comprend : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox :

- **ArcCatalog** : C'est la fenêtre qui comporte une structure logique des fichiers de données, bases de données et documents Arc GIS pour Serveur dont vous disposez. Avec un menu principal qui comporte des outils permettant d'accéder aux emplacements courants tels que le dossier racine d'une carte et la géodatabase par défaut.
- **ArcMap** : C'est l'application qui représente les informations géographiques sous forme d'un ensemble de couches et autres tel que la barre d'échelle, la flèche nord, le titre, le texte descriptif, la légende ... etc.
- **Arc Toolbox** : C'est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (MOHAMMED, 2016) .

L'extension DSAS :

Le logiciel (Digital Shoreline Analysis System) est un complément à Esri Arc GIS Desktop 10.4 qui nous a permis de calculer des statistiques de taux de changement à partir de plusieurs positions historiques du littoral. L'exécution de cette analyse nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géodatabase (une entité par année) et la numérisation d'une ligne de base (onshore ou offshore) à partir de laquelle DSAS créera des transects perpendiculaires qui viendront couper les différents traits de côtes. C'est à partir de ces points d'intersection que DSAS calcule le taux d'évolution entre les différents traits de côte. Il connaît en effet le temps écoulé entre deux traits de côte (date) et la distance entre les deux lignes (distance calculée entre les deux points d'intersection). (USGS).

- **Le Net Shoreline Mouvement NSM (Net Shoreline Movement)** : Le mouvement du littoral net ne correspond pas à un taux, mais plutôt à une mesure de distance. Le Net Shoreline Movement (NSM) est calculé en se basant sur les dates de deux rivages spécifiques, en indiquant la distance entre les deux rivages les plus anciens et les plus récents pour chaque transect. Cette mesure représente la distance totale entre les deux rivages extrêmes. Si l'on divise cette distance par le nombre d'années écoulées entre les deux positions littorales, on obtient le taux final qui est présenté dans la section suivante.
- **Le Linear Regression LRR (Linear Regression)** : On peut obtenir une mesure de taux de changement à partir d'une régression linéaire en ajustant une ligne de régression par les moindres carrés à tous les points de données d'un transect donné.

La ligne de régression est positionnée de manière à minimiser la somme des carrés des résidus, qui est obtenue en calculant la distance de décalage entre chaque point de données et la ligne de régression, puis en élevant cette distance au carré et en additionnant tous les carrés des résidus. Le taux de régression linéaire correspond à la pente de la ligne de régression.

- **Le Taux De Point Final EPR (End Point Rate) :** Le taux du point final est obtenu en divisant la distance parcourue par le trait de côte par le temps écoulé entre la date du rivage le plus ancien et celle du plus récent. L'approche du taux du point final présente des avantages, notamment sa simplicité de calcul et le fait qu'elle ne nécessite que deux dates riveraines pour être utilisée. Cependant, un inconvénient majeur de cette méthode est que lorsque davantage de données sont disponibles, les informations supplémentaires sont ignorées.

Google Earth pro :

Google Earth Pro est un logiciel qui offre une vue virtuelle dans le monde entier grâce à un globe terrestre en 3D. Il permet de visualiser des images satellites, des plans, des reliefs et des bâtiments en 3D avec une résolution élevée allant de 30m à 60cm. Ces images sont fournies par des entreprises de commercialisation d'images et sont stockées sur les serveurs de Google Earth Pro, accessibles en ligne via une connexion Internet. Les images sont régulièrement mises à jour. Une des fonctionnalités supplémentaires offertes par Google Earth Pro est la possibilité d'imprimer des images en haute résolution, contrairement à la version de base qui est limitée à la résolution de l'écran (AHFIR et MEZIANE, 2016).

3.3.1.2 Les techniques de détection des variations de la position du trait de côte et d'extraction des données de trait de côte :

On peut différencier les approches utilisées pour étudier la mobilité d'une ligne de référence donnée en deux catégories : les techniques de terrain qui se basent sur une observation directe et les méthodes qui se fondent sur des observations indirectes.

3.3.1.2.1 Les approches directes « levés topographiques longitudinales et périodiques :

Lorsqu'on privilégie une approche directe, il est envisageable de recourir à différents types d'équipements de mesure, allant des instruments à base optique tels que les théodolites, aux dispositifs basés sur les satellites comme le DGPS différentiel. Par exemple, le Cinématique Trimble R6, porté par un opérateur qui se déplace le long de la côte, permet de localiser deux traits morphologiques qui sont ensuite référencés géographiquement :

- La position de la berme de basse plage correspondant au niveau moyen de l'eau en période calme ou « Trait de côte moyen ».
- La position du pied de dune (ou à défaut de la limite de végétation).
- Les mesures peuvent être effectuées soit sur la ligne de référence, soit sur le profil de la plage, et doivent être référencées à un même système pour faciliter la comparaison entre différents relevés (Morton et al., 1993). la marge d'erreur pour les mesures DGPS est inférieure à 5 cm. Toutefois, dans la plupart des cas, les relevés sur le terrain sont complétés par des mesures indirectes à partir de documents graphiques couvrant plusieurs dates (Fichaut et Suanez, 2008).

3.3.1.2.2 Méthodes d'observation indirectes :

Les différentes positions d'un trait de côte à des dates différentes sont représentées sur une carte par une série de lignes géo-référencée qui peuvent, selon la situation, se chevaucher ou s'intersecter. Une méthode courante pour mesurer ces variations consiste à comparer les distances perpendiculaires au rivage entre ces lignes, qui ont des contours bien définis, et une ligne de référence de base, en utilisant des photographies aériennes multi-dates. Les écarts de distance enregistrés à ces points de repère sont convertis en distances réelles en utilisant l'échelle des documents et correspondent à l'évolution de la côte entre les dates considérées. Il est également possible de mesurer des surfaces en utilisant la planimétrie (**Froidefond, 1989**). Cette technique de détection est la plus couramment utilisée pour les lignes de référence visibles.

Lorsqu'on utilise une photographie aérienne ou une image, la photo-interprétation manuelle ou assistée par ordinateur (en utilisant des logiciels comme ArcGIS) est courante. Cependant, la définition du concept de trait de côte, qui est censé représenter la frontière linéaire entre les domaines maritime et terrestre, est difficile en raison de la grande diversité des critères d'identification tels que la rupture de pente, la végétation côtière et le degré d'humectation. Ces indicateurs sont détectés par des variations de tons de gris ou de couleurs, ce qui nécessite des photographies présentant un bon contraste, en particulier pour les limites d'humectation. Pour normaliser la cartographie, il est important d'établir des critères clairs et uniformes pour la détermination du trait de côte (**Faye et al., n.d.**)

3.3.1.3 Digitalisation des traits de côte :

Dans le cadre de ce travail, afin d'évaluer l'évolution du littoral dans notre zone d'étude nous avons effectué une étude statistique grâce à l'extension « DSAS » du logiciel « ArcGIS », en utilisant un ensemble des traits de côtes, ces traits de côtes ont été récoltés par la digitalisation de certaines images satellitaire extraites de « Google Earth Pro » (l'extension Add Path et export sous la forme KML).

L'importation des traits de côte à logiciel l'ArcMap après la conversion de .Kmlz vers layer ver shapefile a l'aide d'outil (ArcToolbox ->conversion tools ->Kml to layer) parmi d'obtenu les résultats suivants :

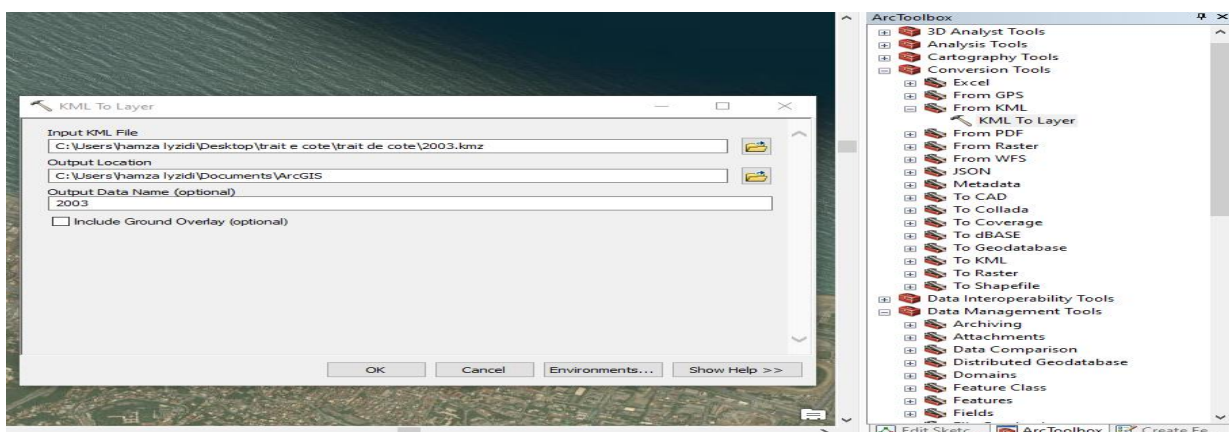


Figure 80:conversion kmz en shapefile



Figure 82:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2003

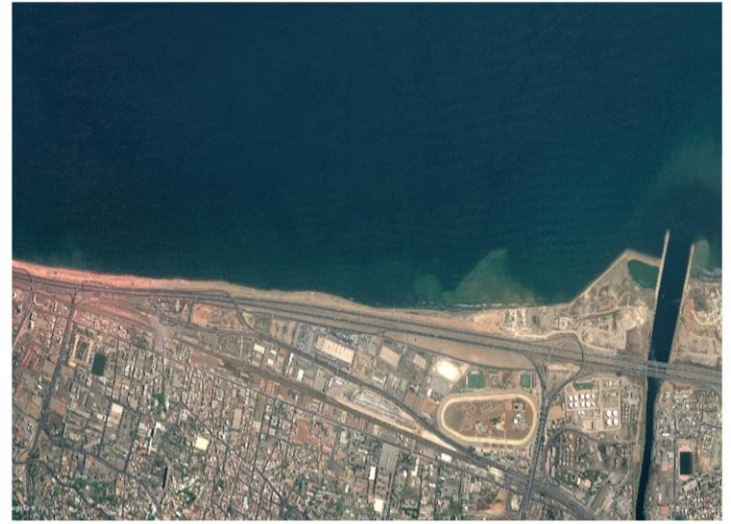


Figure 81:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2009



Figure 83:Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2017

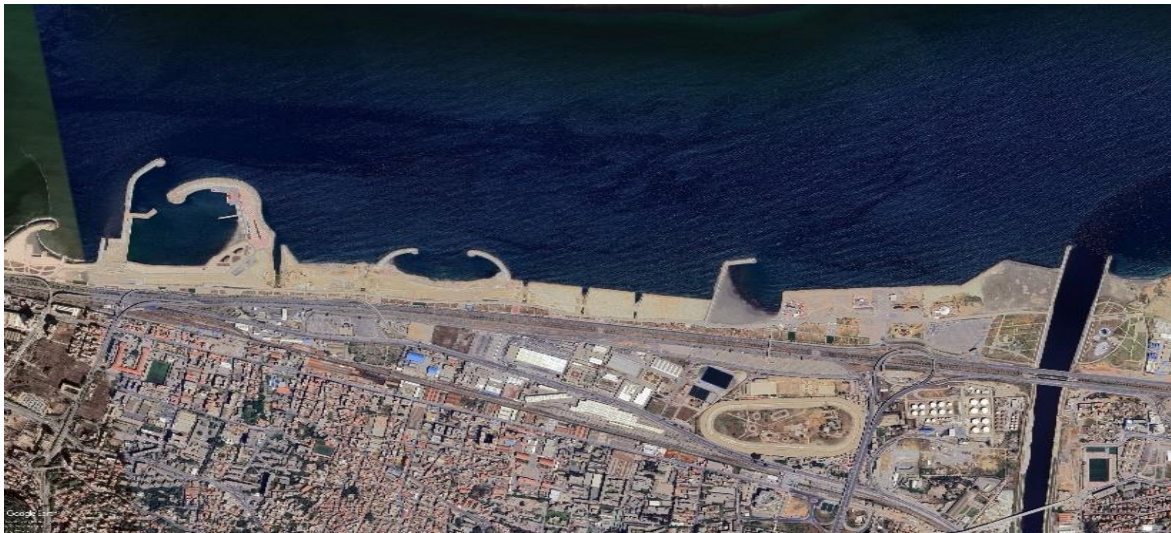


Figure 84: Image satellitaire de la zone d'étude de l'année 2023



Figure 85: Évolution de la ligne du rivage durant les années 2003_2023

Le but de la carte ci-dessus (Figure n°84) est de démontrer l'insignifiance de l'étude d'évolution du trait de côte au-delà de l'année 2003, on peut aisément observer l'importante intervention humaine le long du linéaire côtier des « Sablettes », perturbant toute évolution naturelle du trait de côte. Il est cependant notable que la plage formée à l'aval de l'épi Est est un bon indicateur pour la suite de l'étude.

3.3.1.4 Les calculs statistiques :

Cette étape s'est faite d'abord par la création de transects, puis par le calcul des indices et puis la représentation graphique des tables attributaires des indices calculés selon leur pertinence.

- **Création de la couche « Shoreline » :** Les traits de côte digitalisés ainsi que les levées topographiques des différentes dates (2003,2009,2017,2023) sont groupés en un seul fichier dans une base de données à l'aide de l'outil « merge » appelé « personnel



Figure 86:Création du Shoreline sur logiciel ArcGIS

géo-data-base » :

- **Création de la couche « Baseline » :**

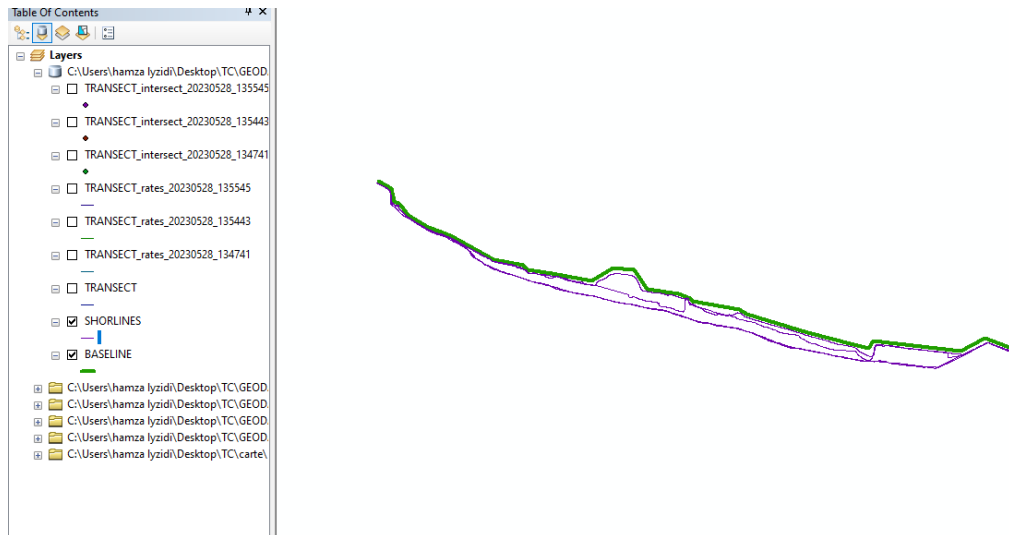


Figure 87:Création du Baseline sur logiciel ArcGIS

- **Création des transects :** En utilisant la fenêtre de dialogue de Dsas, des couches de la ligne de base "Baseline" et des traits de côte groupés "Shoreline" ont été sélectionnés comme entrées ("input"). Des paramètres ont également été définis pour l'espacement, la longueur et l'orientation des transects, ainsi que pour leur création.

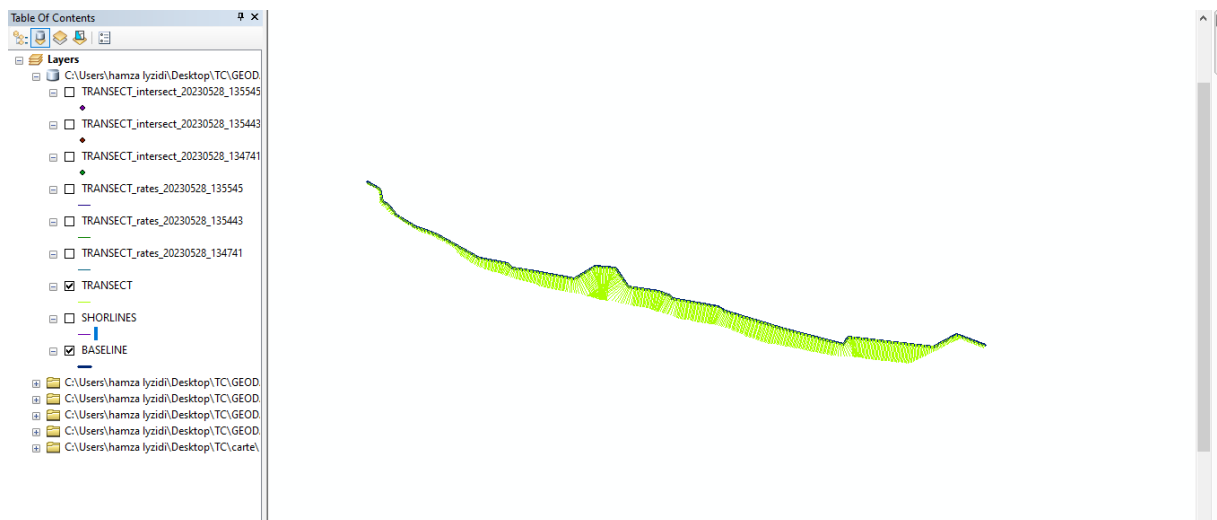
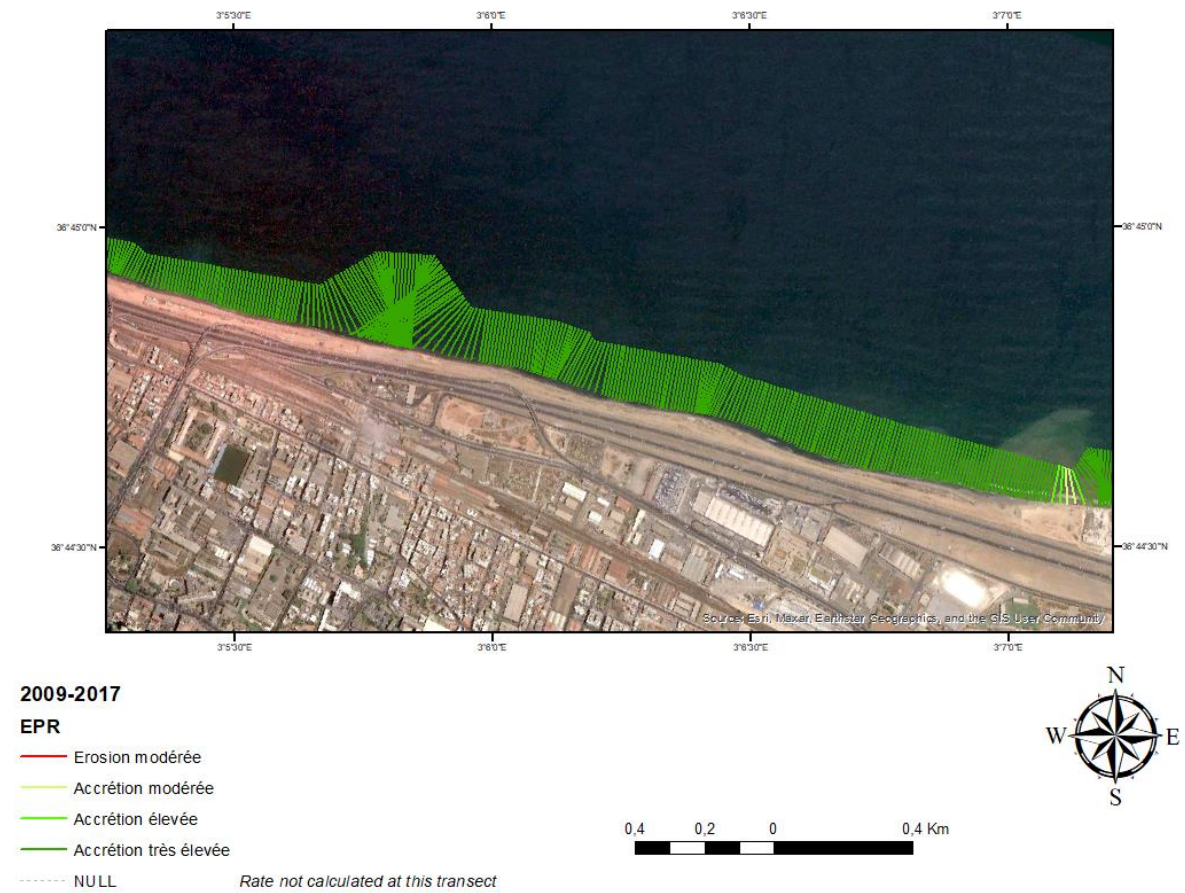
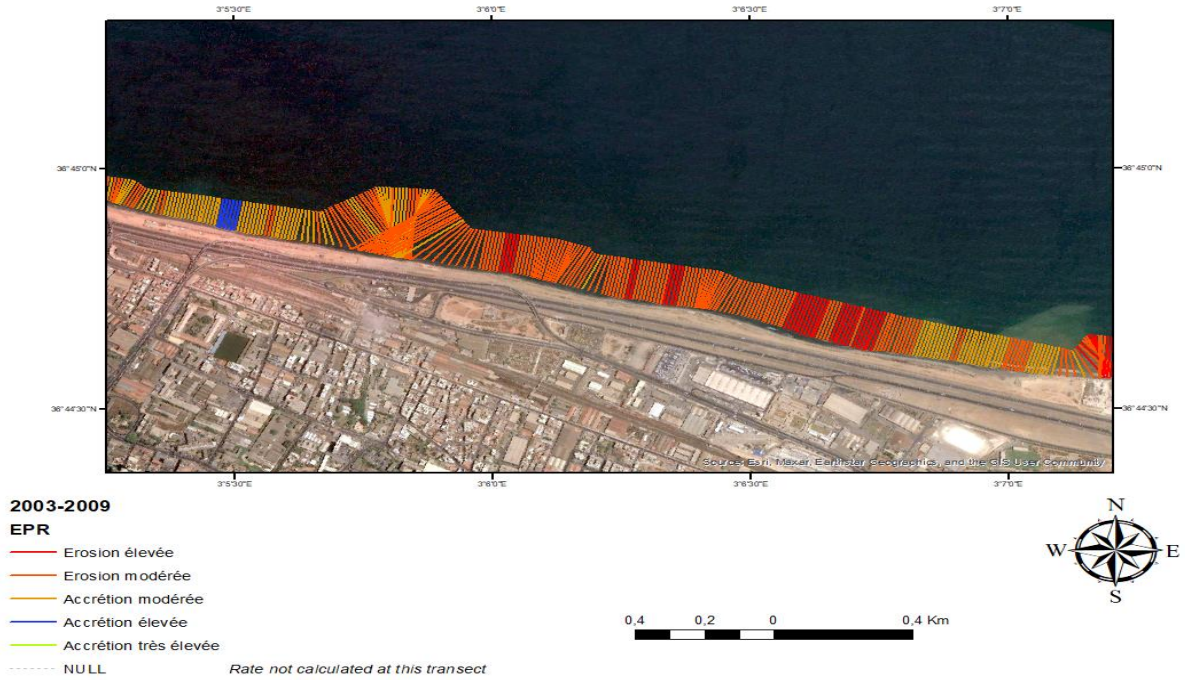


Figure 88:Création des transects sur logiciel ArcGIS/extension Dsas

3.3.2 Bilan statistique et projection des cartes d'aléas :

Grâce au module DSAS, nous avons pu obtenir diverses statistiques d'évolution sous forme de tableau, qui seront jointes aux transects générés pour créer une carte synthétique. Le tableau contient plusieurs paramètres sélectionnés selon les besoins de l'utilisateur, mais c'est l'EPR (End Point Rate) qui sera affiché sur la carte. L'EPR représente le taux de recul ou d'avancée en mètres (m) au niveau de chaque intersection des profils avec les différents traits de côte.



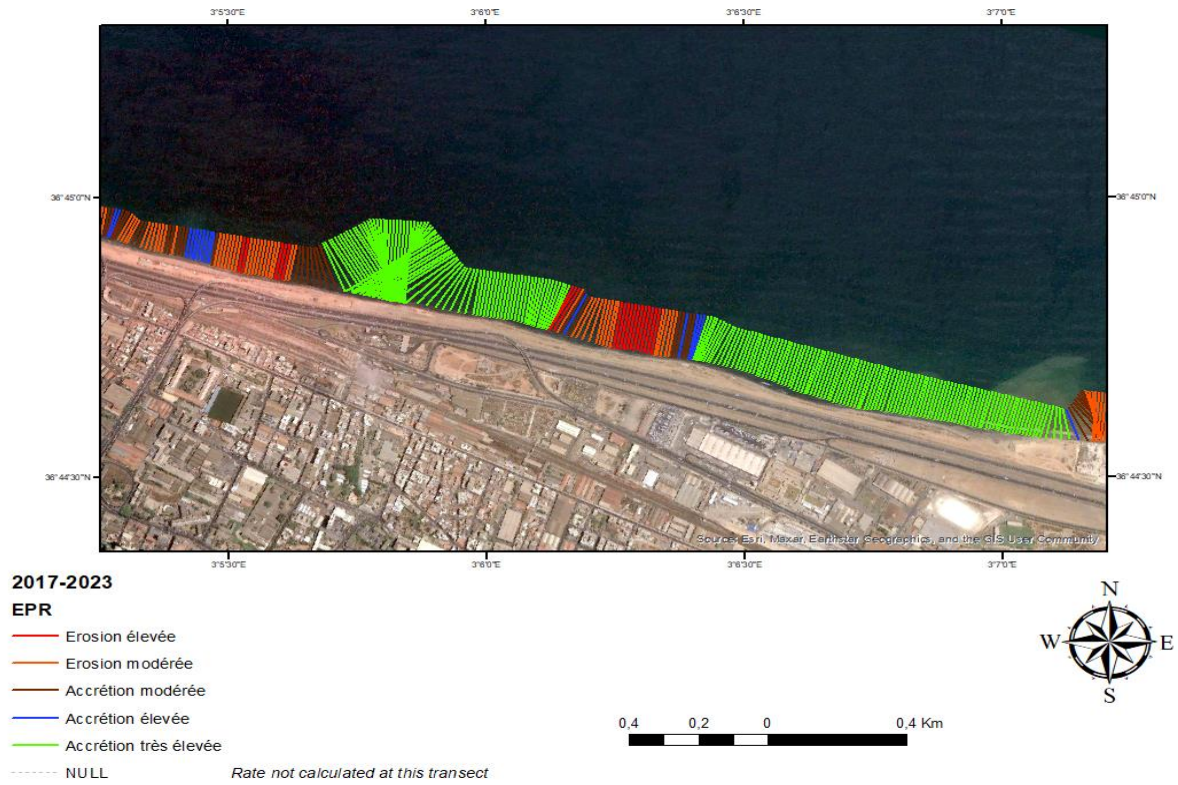


Figure 91: Illustration du rythme d'évolution du trait de côte entre 2017-2023

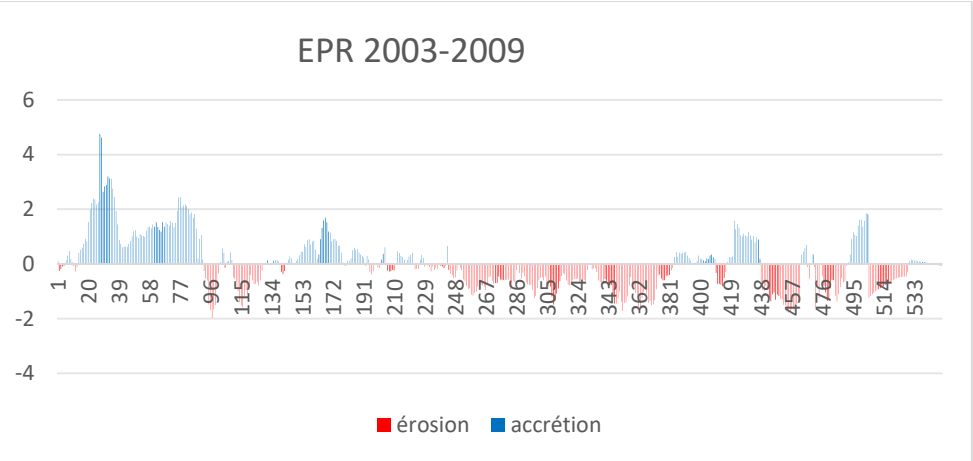


Figure 93: EPR 2003-2009(m/ans)

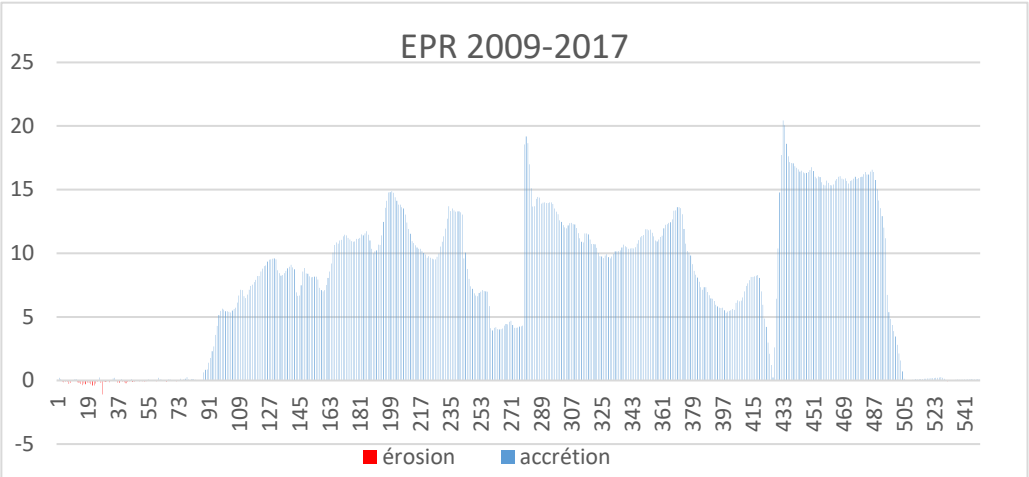


Figure 92: EPR 2009-2017(m/ans)

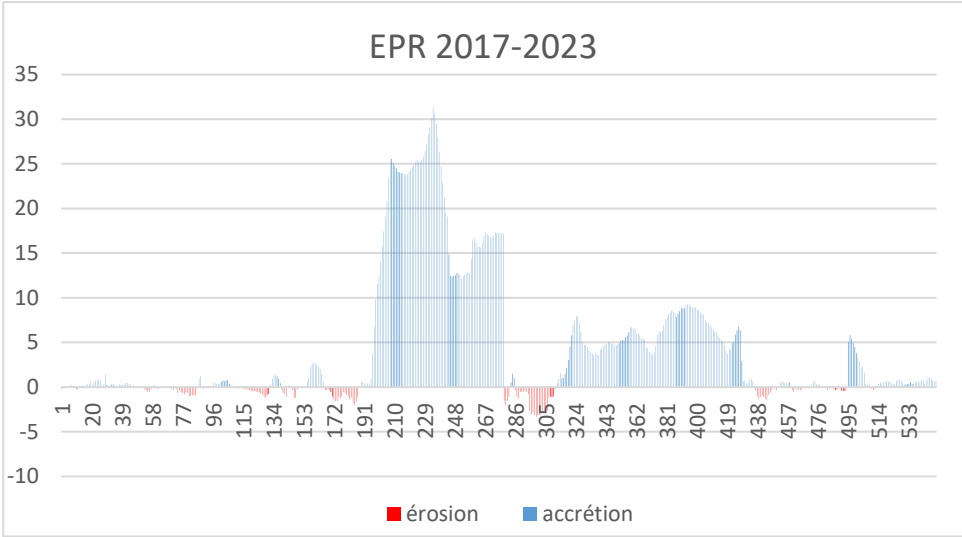


Figure 94: EPR 2017-2023(m/ans)

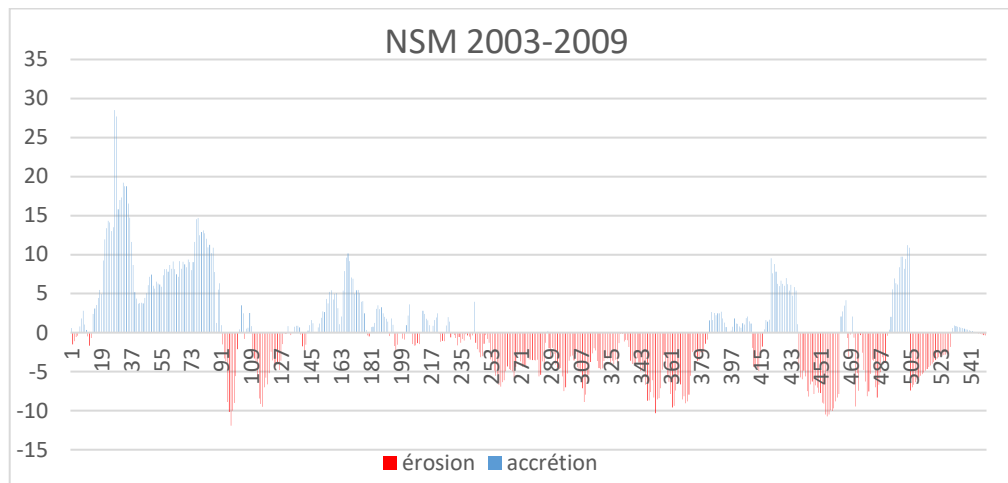


Figure 96: NSM 2003-2009(m)

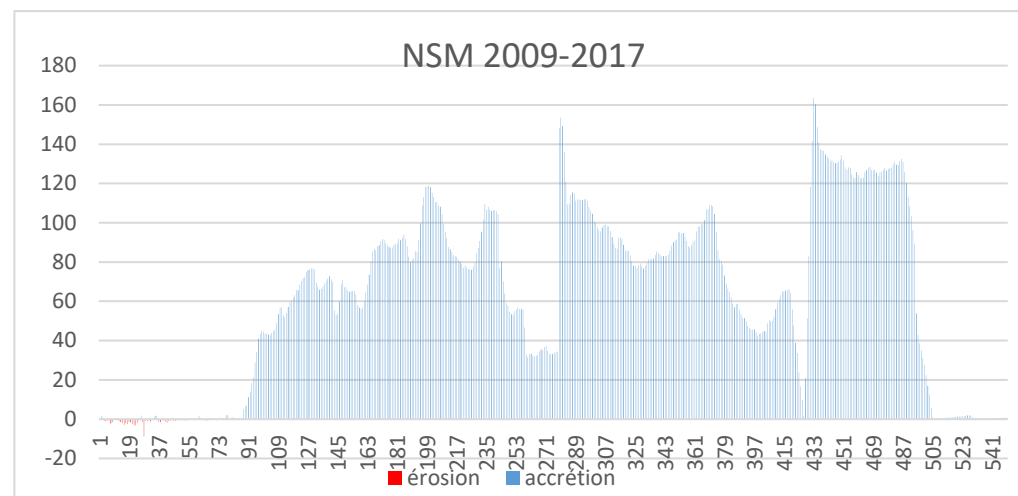


Figure 95: 2009-2017(m)

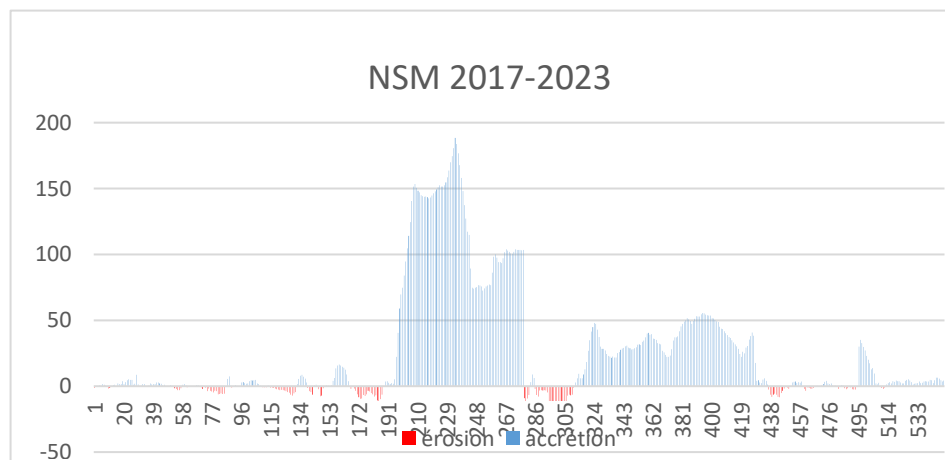


Figure 97: NSM 2017-2023(m)

3.3.2.1 Interprétation des résultats :

Le DSAS mesure les distances entre les points d'intersection des transects et des traits de côte, calcule les taux d'évolution le long de chaque transect et restitue les résultats sous forme de tables.

Dans notre zone les Sablettes, les variations historiques de trait de côte sont surtout liées au débit solide d'oued El Harrach celui même dépend de son bassin versant, ainsi les différents travaux d'aménagement et de dragage d'oued El Harrach.

- **2003- 2009** : Durant cette période, l'érosion est due à l'urbanisation, accentuée par la construction de la route front de mer et l'arasement des dunes qui n'ont fait qu'empêcher et freiner les échanges, et ensuite aggraver la situation, ainsi le prolongement des épis de l'embouchure d'oued el Harrach ce qui a diminué la quantité des sédiments qui alimentent la zone d'intérêt.
- **2009-2017** : une accrétion remarquable et approuvée par les images satellitaires due à l'augmentation de l'apport solide ramené par oued el Harrach à cause du prolongement et l'élargissement de l'embouchure de l'oued au titre de l'aménagement de la zone d'EL Harrach, et la construction des épis et le commencement de rechargement artificiel pour la protection de la zone et qui correspond à la période de crue.
- **2017-2023** : il y a une accrétion énorme grâce aux travaux de rechargement artificiel de la plage et de l'aménagement de la promenade des Sablettes.

Conclusion :

Il est important de souligner que l'évolution de la ligne de rivage est un processus complexe et dynamique, qui peut être influencé par de nombreux facteurs tels que le changement climatique notamment les tempêtes mais aussi les activités humaines. Les études de l'évolution de la ligne de rivage doivent donc être réalisées avec prudence et en prenant en compte la complexité des facteurs qui influencent le changement du trait de côte.

3.4 Etude anthropique :

Le littoral est l'espace de rencontre entre la terre, la mer et l'atmosphère. Ce lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'homme (GHEMARI et LECHEHEB, 2016).

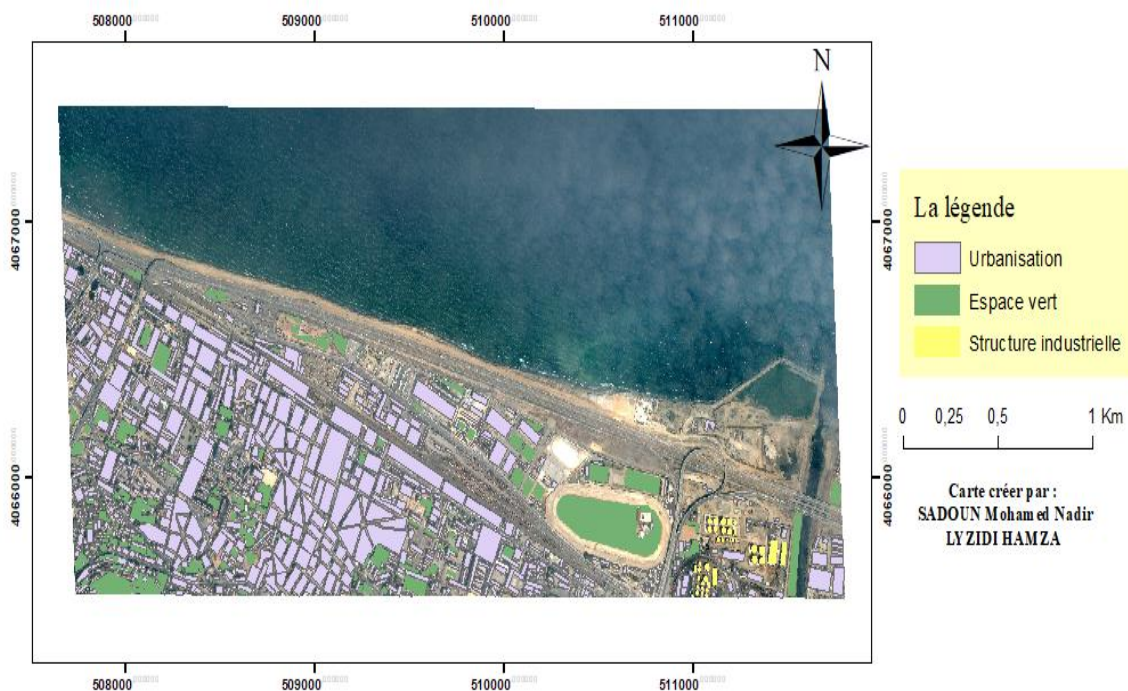
La baie d'Alger est soumise à diverses sources et formes d'agressions anthropiques. Elle est affectée par des problèmes environnementaux : L'urbanisation doublée d'un caractère anarchique, la pollution marine sous ses diverses manifestations (chimique, physique, organique et microbiologique) ; l'érosion côtière et la disparition des cordons dunaires ; la déficience du système d'épuration des eaux et la mauvaise gestion des sites culturels côtiers

3.4.1 Evolution chronologique de l'urbanisation du littoral :

L'occupation du sol du secteur Promenade de Sablettes a été comparée entre les deux périodes 2003 (début du chantier) et 2017 (fin du chantier).

En utilisant deux images satellitaires des deux périodes de la même zone géoréférencées (WGS84 UTM Zone 31N), traité par le logiciel ArcGIS, on a obtenu les résultats suivants :

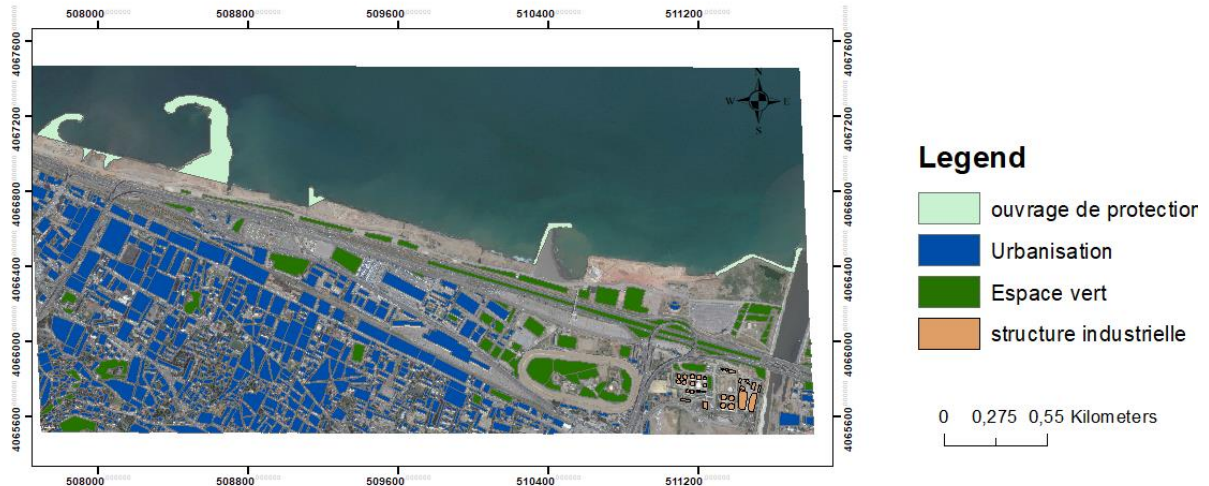
3.4.1 Occupation du sol en 2003 :



Occupation du sol promenade de sablette en 2003

Figure 98: occupation du sol en 2003

3.4.2 Occupation du sol en 2017 :



Occupation du sol promenade de sablette en 2017

Figure 99:occupation du sol en 2017

3.4.3 Extraction et quantification du tissu urbain :

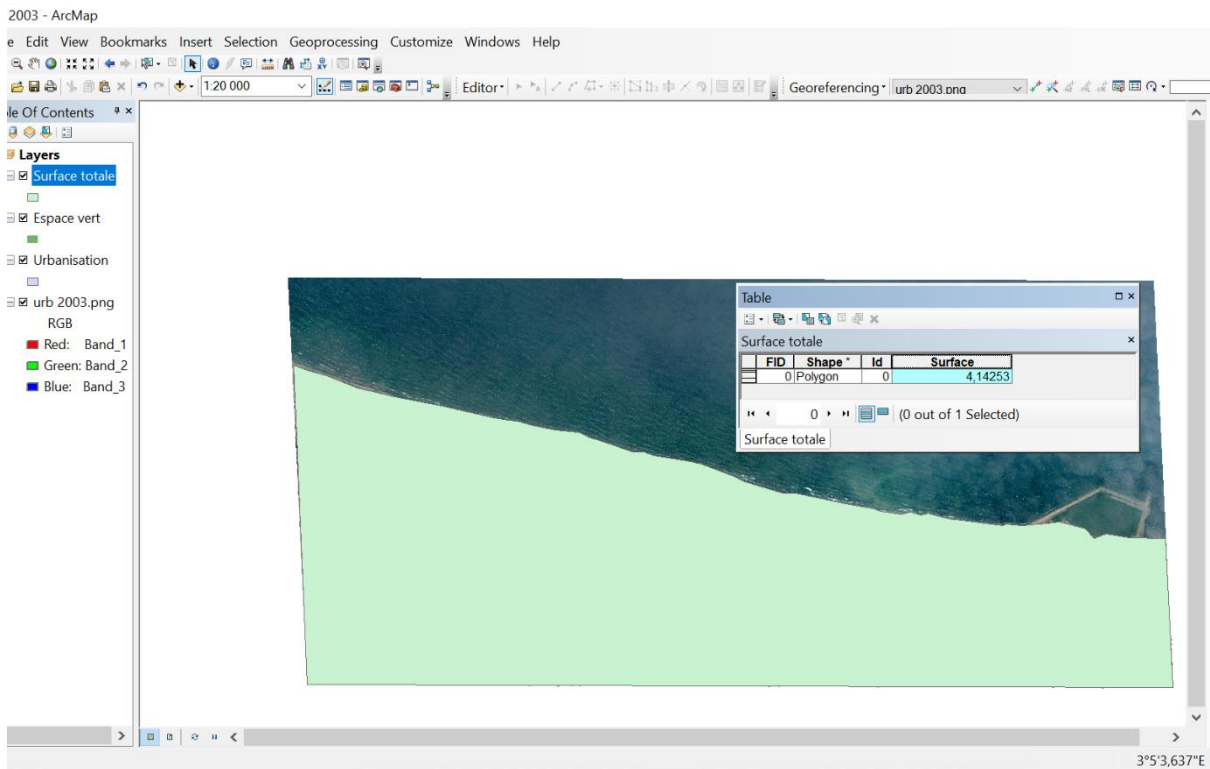


Figure 100:Espace totale du secteur de la promenade 4,14253 Km2

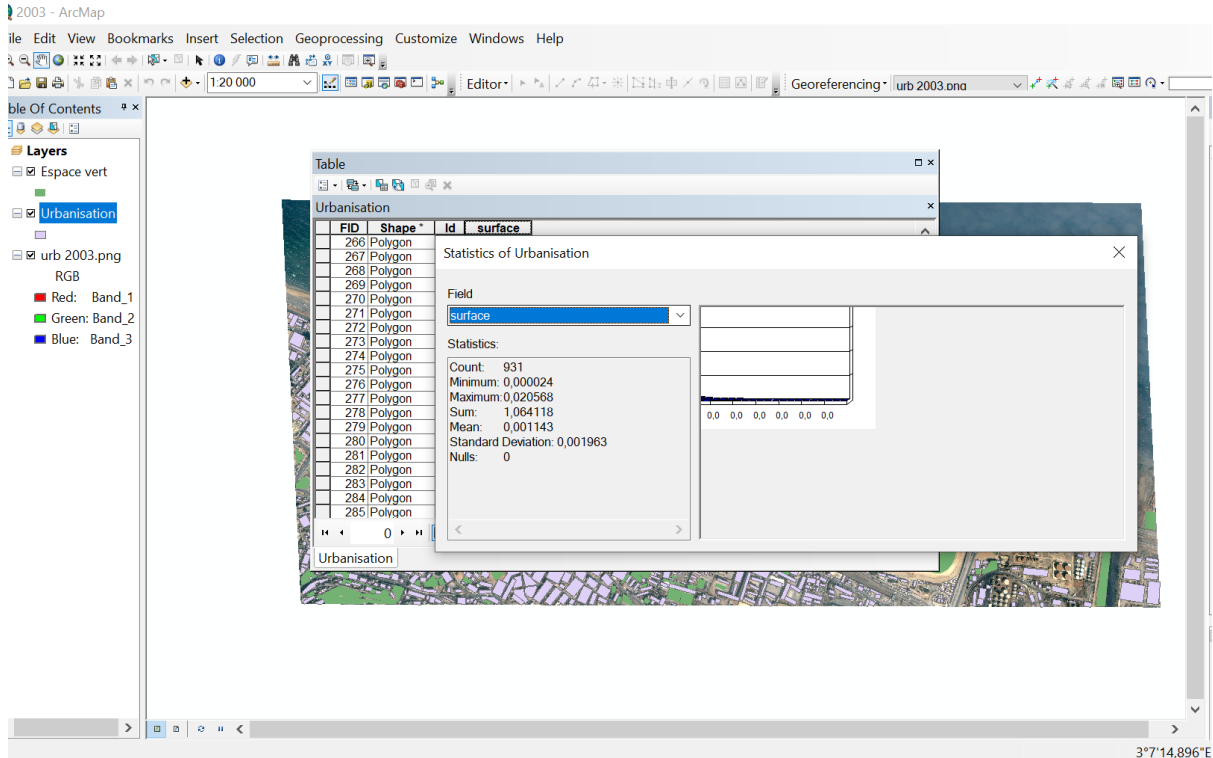


Figure 101: Espace occupé par urbanisation en 2003

Espace occupé par urbanisation en 2003
URBANISATION: 1,064118 Km² = 25,68763 %

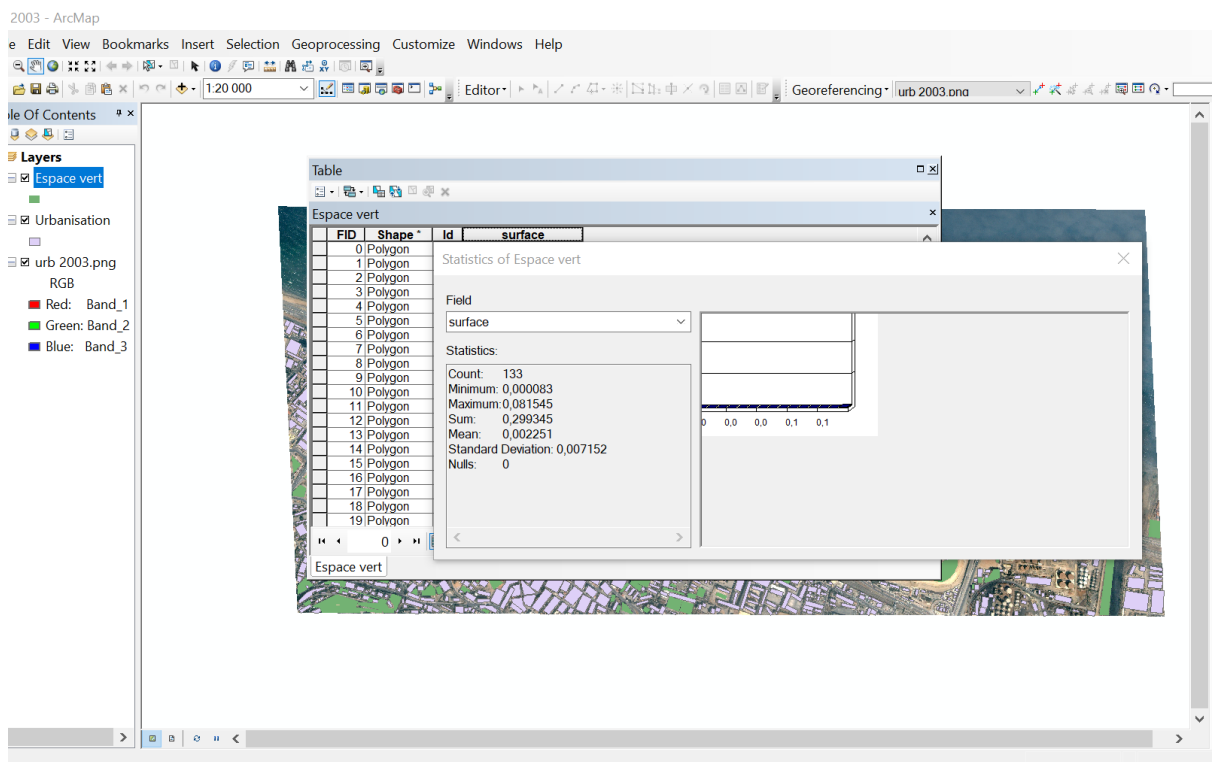


Figure 102: Espace occupé par les espaces verts en 2003

ESPACE VERT : 0,299345 Km² = 7,22613 %

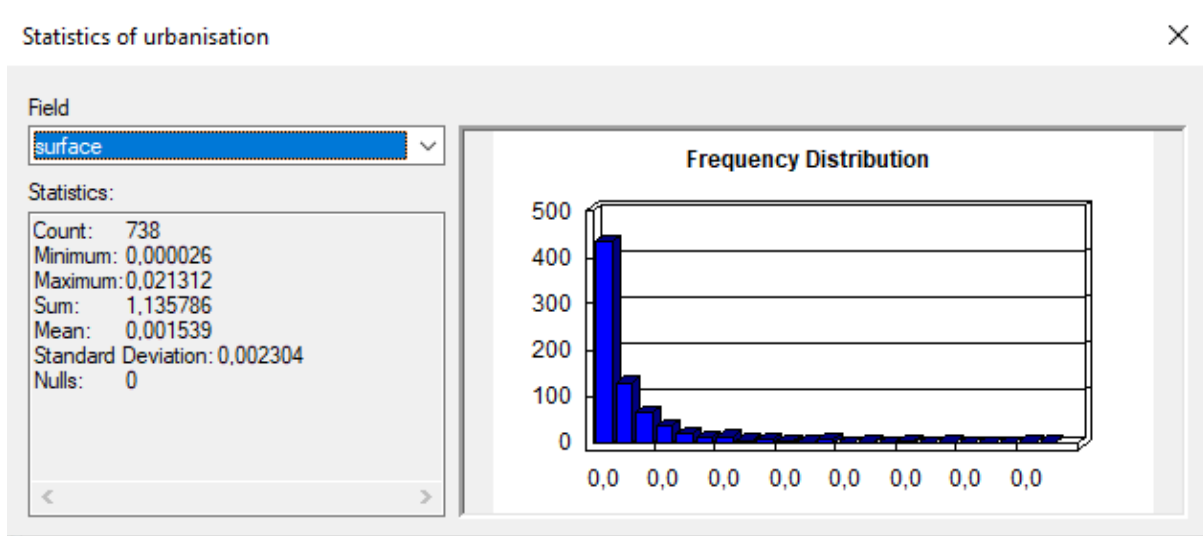


Figure 103: Espace occupé par urbanisation en 2017

URBANISATION : 1,135786 Km² = 27,41768 %

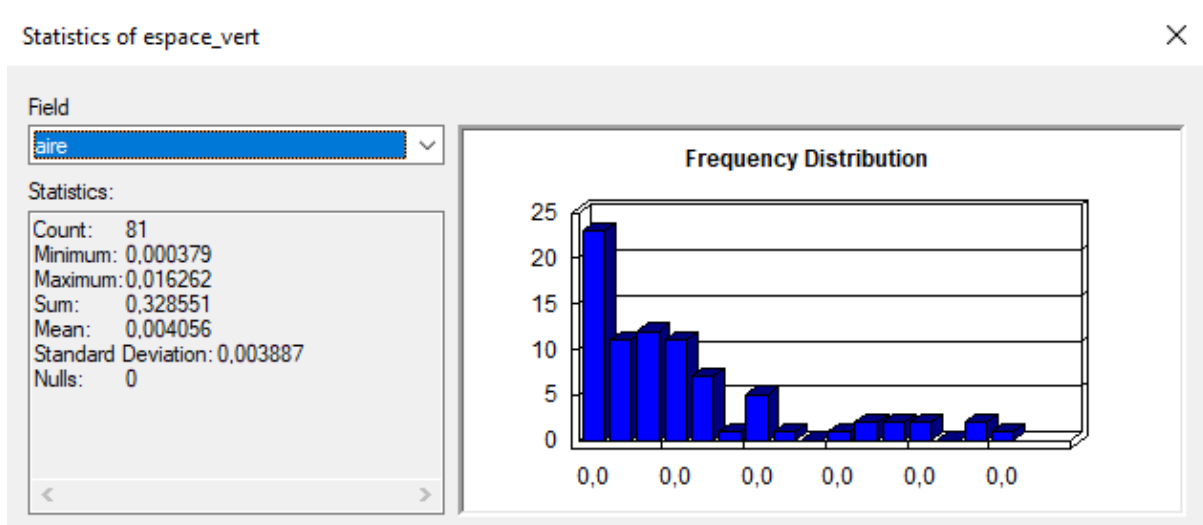


Figure 104: Espace occupé par les espaces verts en 2017

ESPACE VERT : 0,328551 Km² = 7,93116 %

3.4.4 Conclusion :

Les résultats obtenus de l'analyse de l'évolution du tissu urbain montrent qu'il y a une augmentation des espaces urbanisés au fur et à mesure avec la population dans la zone d'intérêt ce qui nécessite une existence d'une plage de baignade, et de loisir c'est pour cela la construction de la promenade et spécialement la plage était et est quelque chose d'importance dans cette zone. Selon les autorités, le développement de la construction artificielle et l'aménagement du territoire est fondamental et primitif, dans ce cas, nos recherches ont tenté de savoir comment le mettre en œuvre de la meilleure façon.

Chapitre 04

Solution de protection et d'aménagement

4 Solution de protection et d'aménagement

Ce chapitre comporte les ouvrages et solutions techniques proposées en fonction des résultats obtenues dans le 3^{ème} chapitre. Deux variantes adaptées aux particularités du site sont définies, bien entendu pour chaque variante. La zone d'étude est en état d'accrétion à cause de l'aménagement effectué dans notre zone (création d'une zone de loisirs, piqué blanc ...), ce qui favorise la création de notre projet d'étude.

Le site des Sablettes a donc fait l'objet d'intégration de plage artificielle pour répondre à la carence de la baie en zones de baignade, elle servira aussi de sécurité à la zone elle-même (le fait que les plages constituent un moyen de défense souple et répondent même aux exigences environnementales).

Proposition des variantes :

4.1 Création du maillage :

Le modèle de la modélisation numérique de la zone de Sablettes avec la solution d'aménagement est plus petit que le premier. Le maillage est triangulaire avec un nombre de nœuds de 100000 nœuds. Les résultats sont présentés dans les figures ci-dessous.

4.2 Variante n°1 : Deux épis et deux brise-lames avec rechargement :

Cette variante se compose de deux épis latéraux qui permettent la fixation et la stabilisation de la plage artificielle et deux brise-lames qui sont pour le rôle d'intercepter et dissiper l'énergie des vagues. Ils visent à réduire la vitesse des courants au niveau de la zone centrale de la grande plage.

Les différents cas étudiés sur modèle numérique Mike 21 avec ces trois modules HD, ST et SW.

- Trois principales directions ont été considérées à savoir le **Nord, Nord-Est et le Nord-Ouest.**
- Un régime de houle annuelle pour la sédimentologie,
- Un sédiment de diamètre vérifié par des formules empiriques.
- Un régime de houle décennale et centennale pour la stabilité

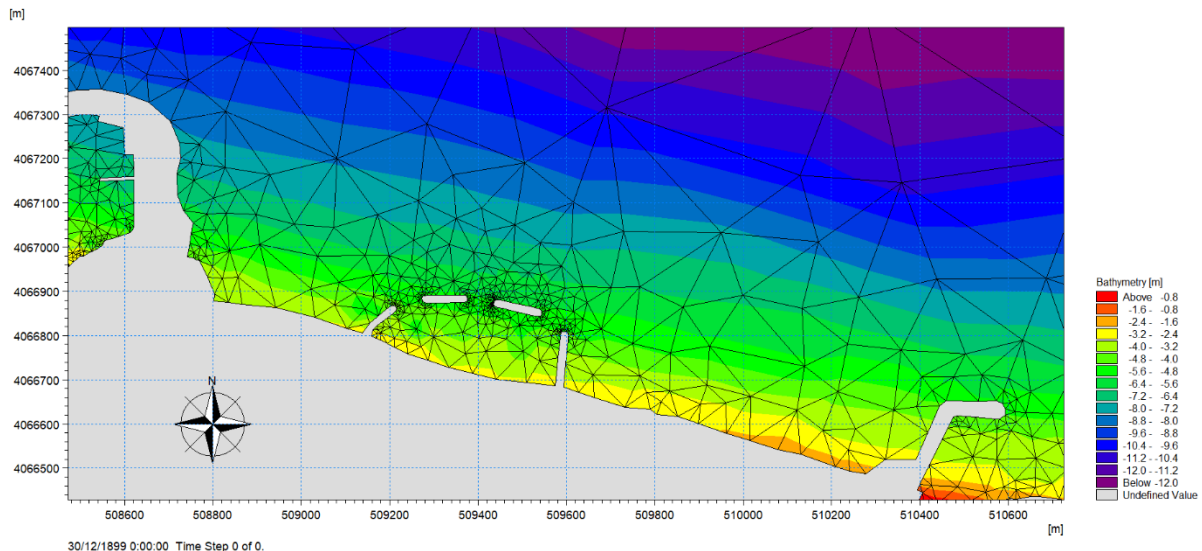


Figure 105: La MESH représentant la variante n°02

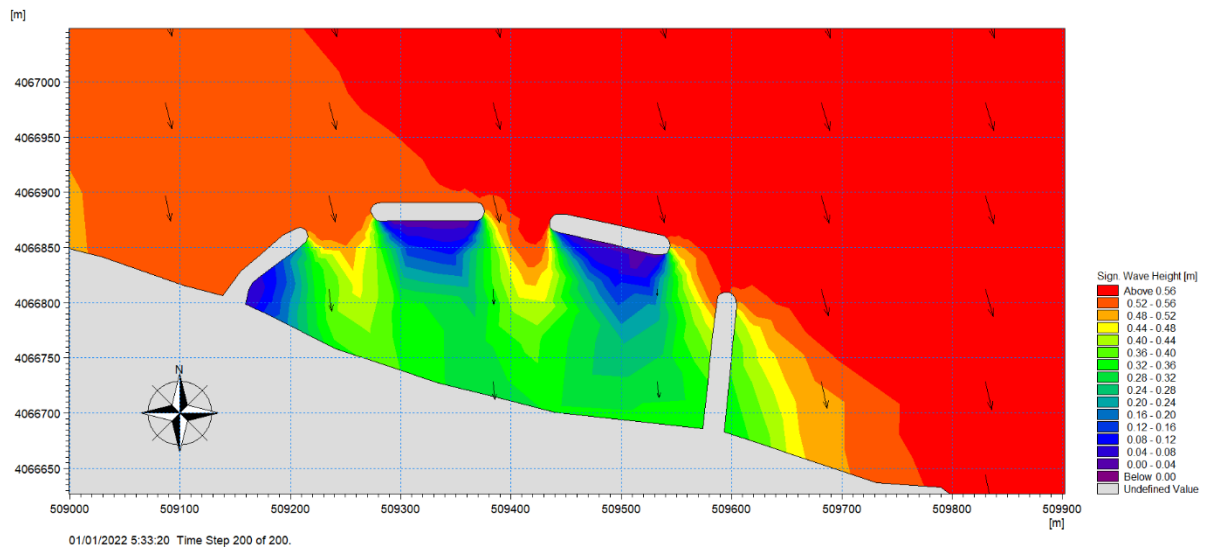


Figure 106: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N315° au niveau de la zone de la plage artificielle

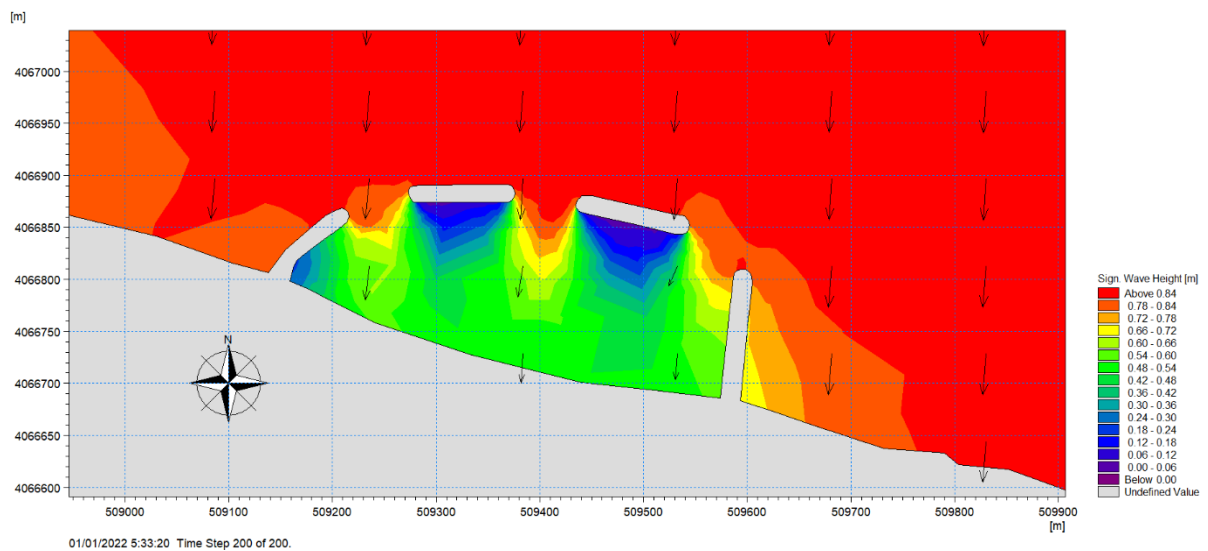


Figure 107: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N360° au niveau de la zone de la plage artificielle

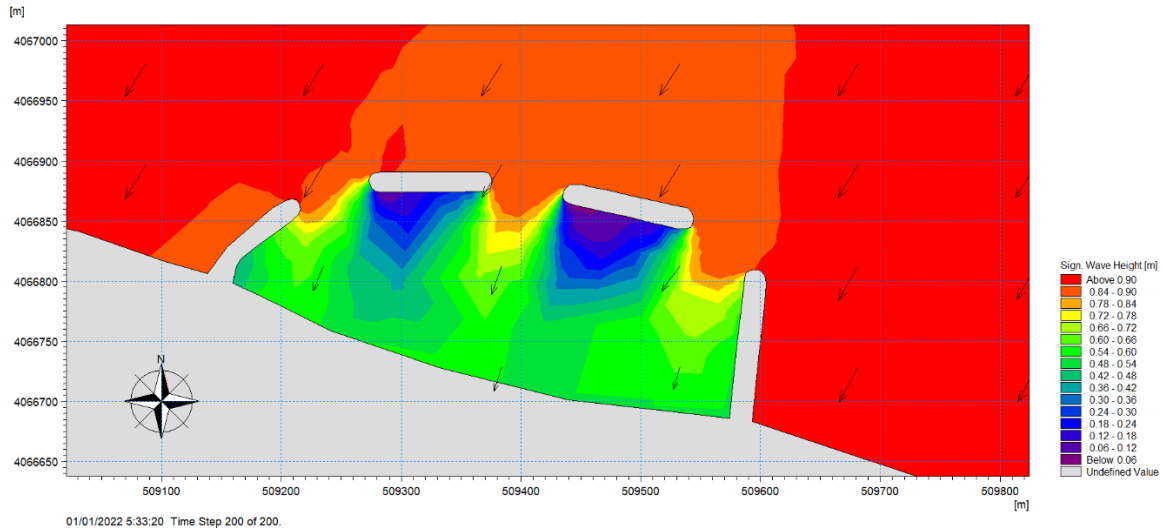


Figure 108: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction $N45^\circ$ au niveau de la zone de la plage artificielle

➤ **Secteur Nord-Ouest :**

La houle arrive à l'ouvrage avec une incidence oblique avec une hauteur de 0,79 m ou elle est brisée par les deux brise-lames en absorbant son énergie ou la hauteur dans le site protégée diminue jusqu'à 0,32 m avec création des zones calmes derrière les deux brise-lames et l'épis gauche ce que favorise la création des tombolos

➤ **Secteur Nord :**

Les courants littoraux induits par la houle (**Figure 107**) sont de direction Nord avec une incidence perpendiculaire et diminuent près du rivage en zone de déferlement à partir de 700m de la cote avec une intensité qui varie de 0,2m ; Il est également à noter la naissance de deux tombolos derrière les deux brise-lames avec une hauteur de vague qui variée entre 0,3m et 0,5m dans la plage.

➤ **Secteur Nord-Est :**

(**La figure 108**) montre que les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle d'une moyenne de 0,87m au niveau du pied de l'ouvrage, et se diminue à l'intérieure de la plage artificielle jusqu'à une moyenne de 0,53m et presque nulle derrière les deux brise-lames.

4.3 Variante n°2 : Deux épis en arcs avec rechargement artificiel :

Cette variante proposée par le LEM se compose de deux épis latéraux qui jouent à la fois le rôle de protection contre les houles et permettent la fixation de la plage artificielle. Ils visent à réduire la vitesse des courants au niveau de la zone centrale de la grande plage.

Les différents cas étudiés sur modèle numérique Mike 21 avec ces trois modules HD, ST et SW : les mêmes conditions pour la 1^{ère} variante ont été utilisé

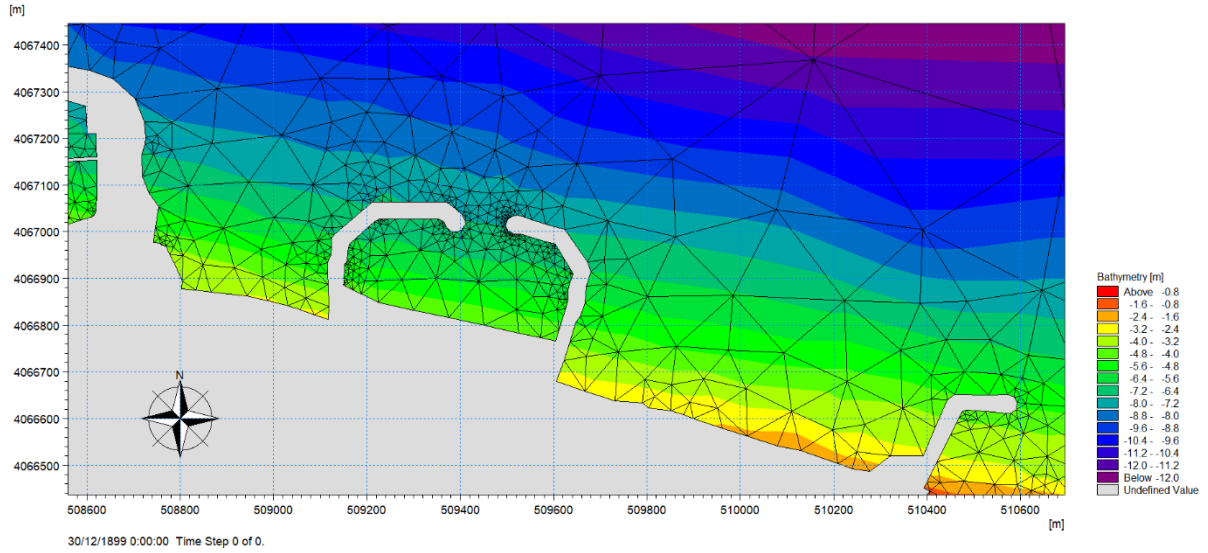


Figure 109: La MESH représentant la variante n°01

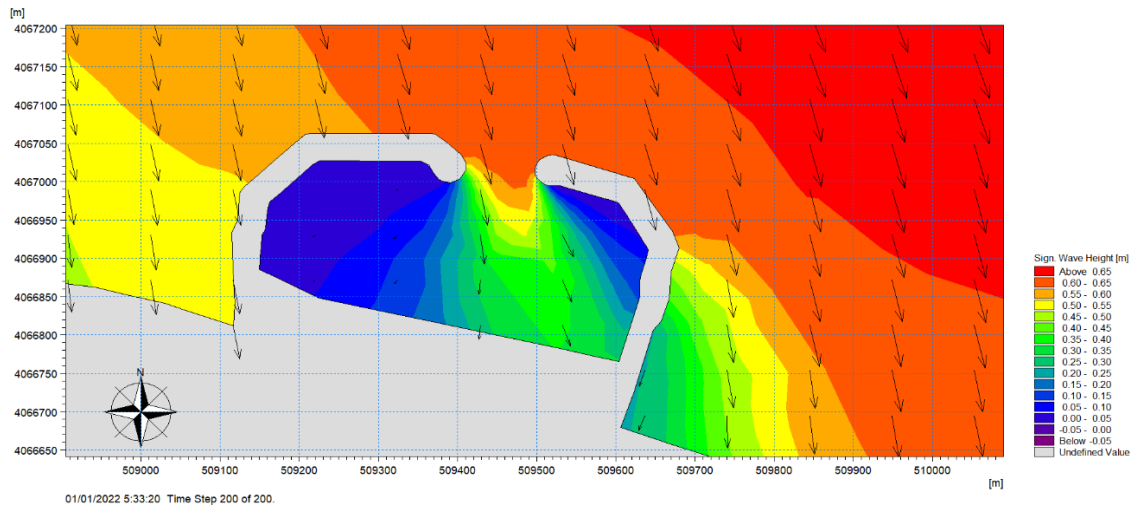


Figure 110: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N315° au niveau de la zone de la plage artificielle

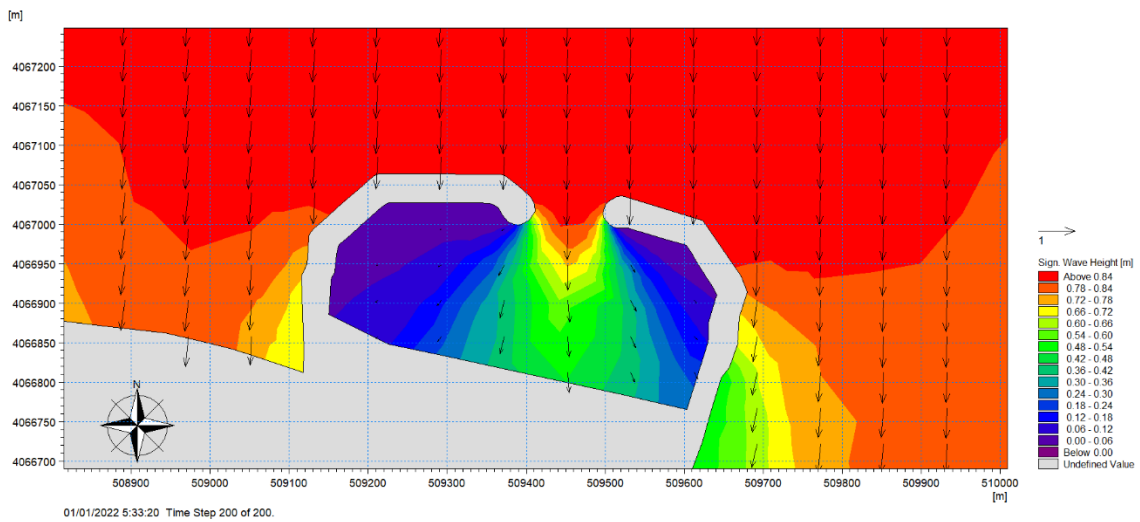


Figure 111: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction N360° au

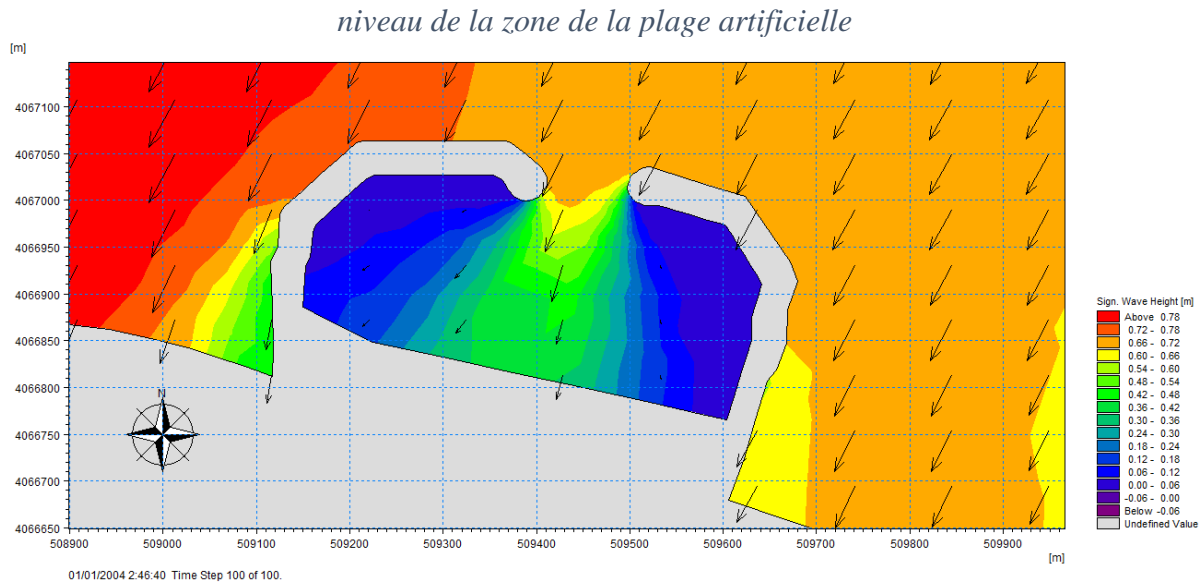


Figure 112: Résultats de la réfraction de la houle centennale pour la direction $N45^\circ$ au niveau de la zone de la plage artificielle

4.4 Interprétation des résultats de la simulation :

➤ Secteur Nord-Ouest :

Après aménagement, l'étude montre que les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle d'une moyenne de 0,62m au niveau du site avant aménagement, et se diminue de plus en plus à l'intérieure des épis de clôture de la plage artificielle avec une moyenne de 0,24m et presque nulle au côté gauche de la plage. « On remarque que la jetée principale du port d'Alger a une influence immense sur l'hydrodynamisme de notre zone surtout contre les courants du secteur Nord-Ouest »

➤ Secteur Nord :

L'étude montre que les houles abordent la plage avec une incidence perpendiculaire, et une hauteur de houle d'une moyenne de 0,86m en arrivant vers les arcs de protection, et se diminue de plus en plus à l'intérieure des épis de clôture de la plage artificielle avec un pas de 0,04m et jusqu'à des moyennes presque nul aux extrémités de la plage.

➤ Secteur Nord-Est :

Après aménagement, l'étude montre que les houles abordent la plage avec une incidence oblique, et une hauteur de houle d'une moyenne de 0,67m au niveau du site devant les deux épis en arc, et se diminue de plus en plus à l'intérieure des épis de clôture de la plage artificielle jusqu'à une moyenne de 0,30m et presque nulle aux extrémités de la plage.

4.5 Dimensionnement de la variante choisie :

Le LEM a proposé une variante qui engendre une zone plus calme et plus stable à l'intérieure aussi qu'elle est plus économique, en tenant en compte toutes les configurations possibles d'ouvrages de protection et du diamètre des sédiments utilisés pour le chargement artificiel, ce que favorise le choix de leur variante comme étant la meilleure option pour effectuer le projet. Alors un dimensionnement avec une estimation du cout totale a été effectuer dans la suite :

➤ Rechargement artificiel :

Le succès d'un rechargement dépend de la compatibilité granulométrique entre le sédiment emprunté et les grains naturels de la plage et le type de la plage et des ouvrages de protection conçus pour son aménagement.

Caractéristiques des matériaux utilisés dans le rechargement des plages artificiel, sable d'emprunt :

Tableau 6:Caractéristiques des matériaux utilisés dans le rechargement des plages artificiel, sable d'emprunt

Diamètre	Plus grossier de 0.3 mm
Teneur en sable grossier et coquille	< 3%
Teneur en sable fin	1-2 %.
Qualité chimique bactériologique	Bonne semblable au sable local



Figure 113:Master plan adopté avec intégration de la grande plage après rechargement LEM 2016

Tableau 7:Les 3 couches de rechargement au niveau de la plage (LEM2016)

1ère couche	2ème couche	3ème couche
Un noyau en TVC (1 - 500) kg arasé à -1.50m avec une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée	Constituée de granulats (3-8mm) de 2.50m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée ;	Constituée de sable (0.3-1mm) de 1.00m d'épaisseur, elle commence par une berme de 12m et au-delà une pente de 5% qui se prolonge jusqu'à la butée.

Tableau 8:Le Rechargement de la plage Sablottes au niveau de la Butée(LEM2016)

La Butée	Les autres couches
En enrochement 3-6t à l'extrémité de la plage avec 10.00m de berme et 3/2 de pente arasée à -1.65m	<ul style="list-style-type: none"> - Une couche en enrochement 1-50kg de 1.00m d'épaisseur derrière la butée avec 2.25m de berme arasée à -1.65m, elle repose sur un tapis en TVC 0-500kg avec 5.00. - Deux couches en enrochements 1-3t située derrière la couche en enrochement 1-50kg arasée à -1.65m, avec 6.50m de berme et 3/2 de pente.

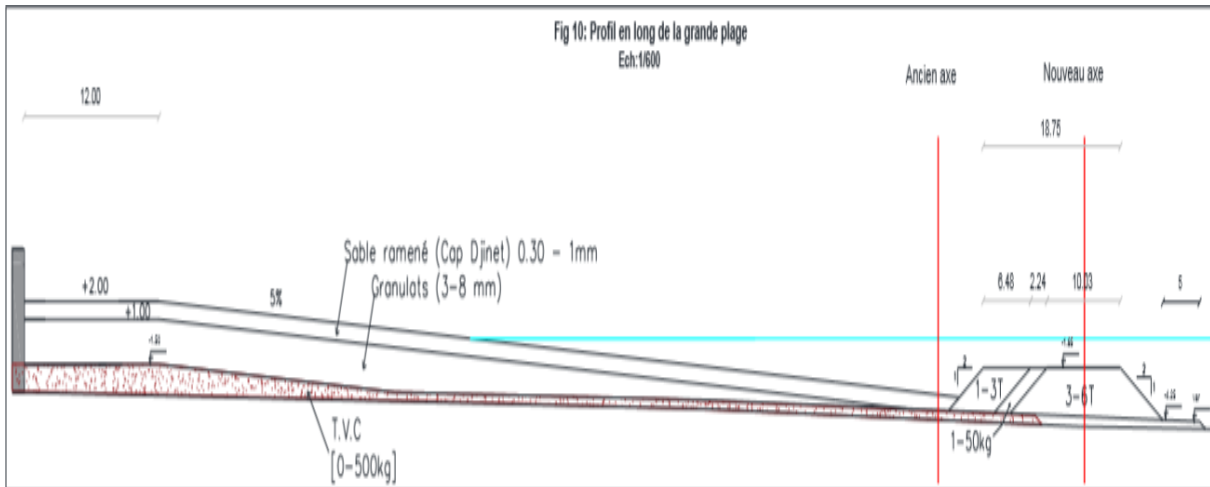


Figure 114: Profil en long de la grande plage artificielle (LEM, 2016)

➤ **Dimensionnement des épis en arc :**

La carapace :

On utilise la formule d'Hudson pour calculer le poids de la carapace comme suit :

$$W = (\rho_s \times H^3) / K_d (\rho_s / \rho_w - 1) \cot \alpha$$

Avec:

W : poids de la carapace en Tonne ;

ρ_s : masse volumique du matériau de bloc de carapace en T/m³ ; **$\rho_s = 2,45$**

ρ_w : masse volumique de l'eau de mer en T/m³ ; **$\rho_w = 1,028$**

α : angle du talus avec l'horizontale ;

K_d : coefficient de stabilité ; **(6,8 ; 3,5)**

H : hauteur de la houle incidente ($H = H_1/3$) ; **(3,5 ; 2 ; 5 ; 6)**

Epaisseur de la carapace :

$$E_c = n K_\Lambda (W / \rho_s)^{1/3}$$

Avec :

W : poids de la carapace en Tonne

ρ_s : masse volumique du matériau de bloc de carapace en T/m³ ; **$\rho_s = 2,65$**

K_Λ : Coefficient de couche ; **$K_\Lambda = 1,02$**

n : Le nombre de couche ; **n = 2**

Poids de filtre :

$$W_f = W/10$$

Avec :

W : poids de la carapace en Tonne

W_f : Tonnage de filtre

$$E_f = n K_\Lambda (W / \rho_s)^{1/3}$$

Avec :

W : poids de filtre en Tonne

ρ_s : masse volumique du matériau de bloc de carapace en T/m³ ;

K_Λ : Coefficient de couche ; **$K_\Lambda = 1,15$**

n : Le nombre de couche ; **n = 3**

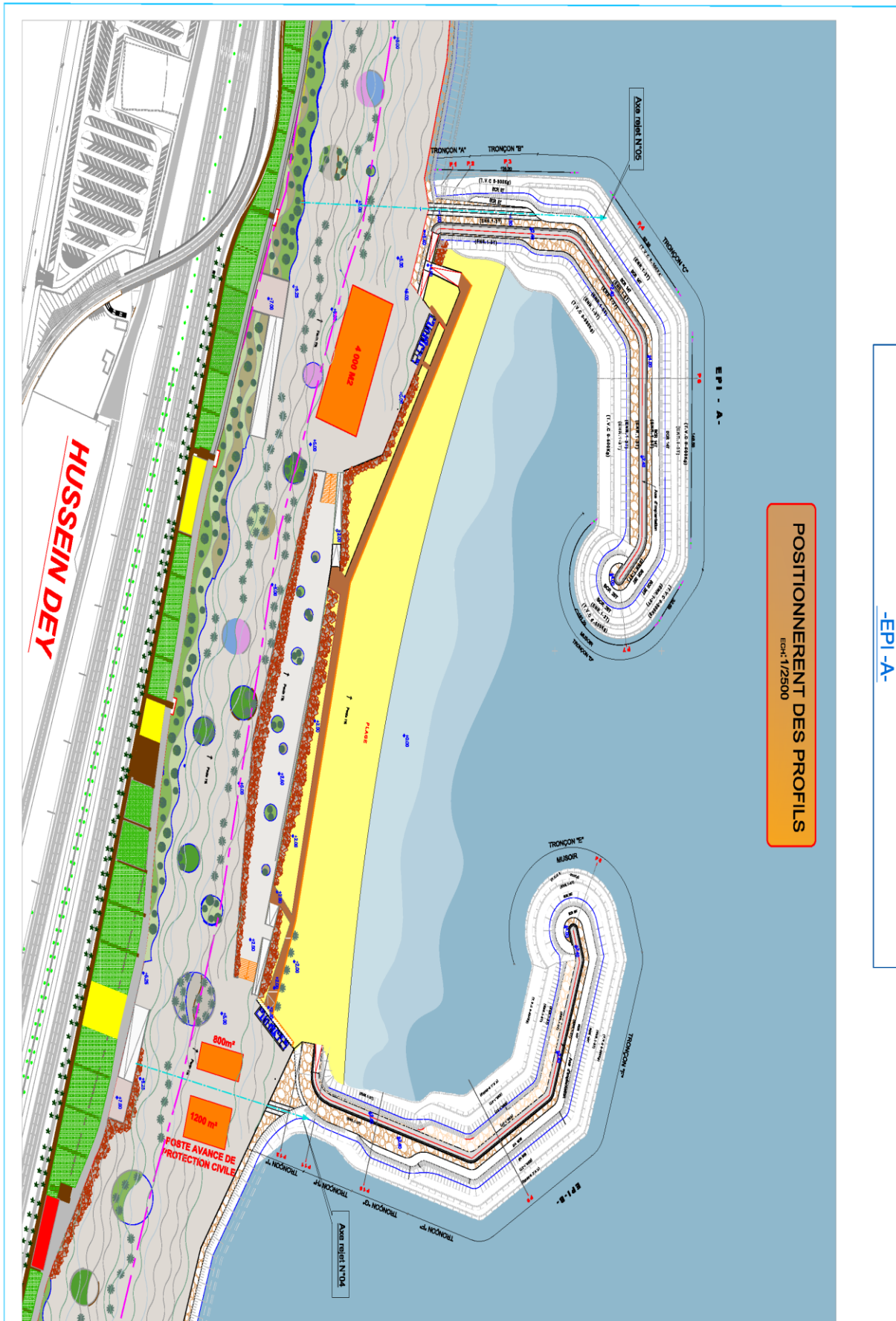


Figure 115: Plan de masse des 2 épis en arc (LEM2016)

Tableau 9: dimensionnement des éléments des blocs de protection de la variante

Tronçons	Hs (m)	Tonnage (T)	coefficient de confiance 20%	Type
1 (77)	2	1-3 T	0	Enr 1-3T
2 (91)	3.5	4.67T	20%	BCR 5 T
3 (121)	5	13.61 T	20%	BCR 14 T
4 (123)	5	13.61 T	20%	BCR 14 T
Musoir A(132ml)	6	23.52 T	20%	BCR 25T
Musoir B (112ml)	6	23.52 T	20%	BCR 25T
6 (286)	5	13.61 T	20%	BCR 14 T
7 (66)	4	4.67T	20%	BCR 5 T
8(60)	2	1-3 T	0	Enr 1-3T

4.6 ESTIMATION DES COÛTS DES MATERIAUX POUR LA CREATION DE LA PLAGES ARTIFICIELLE (LEM 2016) :

ETUDE D'AMENAGEMENT D'UNE PROMENADE AU NIVEAU DU SITE DES SABLETTES		DEVIS QUANTITATIF ET ESTIMATIF OUVRAGES EPIS "A ET EPI B" ET PLAGES ARTIFICIELLE			SECTION 1
		U	QUANTITE	PRIX UNITAIRES (DZD)	PAGE1
N° PRIX	DESIGNATION				MONTANT (DZD)
<u>MATERIAUX POUR LES EPIS (A ET B)</u>					
1.01	Fourniture, le transport et la mise en place du tout-venant (0-500kg).	T	455500	1 900	865 450 000
1.02	Fourniture, le transport et la mise en place des enrochements (0,5-1t).	T	87500	2 000	175 000 000
1.03	Fourniture, le transport et la mise en place des enrochements (1-3t).	T	168300	2 850	479 655 000
1.04	Préfabrication du béton n° 2, transport et mise en place des blocs cubiques rainurés de 5T.	M3	4200	19 500	81 900 000
1.06	Préfabrication du béton n° 2, transport et mise en place des blocs cubiques rainurés de 14T.	M3	25900	19 500	505 050 000
1.07	Préfabrication du béton n° 2, transport et mise en place des blocs cubiques rainurés de 25T.	M3	18500	19 500	360 750 000
1.08	Fabrication, le transport et la mise en œuvre du béton n° 2 pour la dalle de roulement.	M3	8600	20 000	172 000 000
1.09	Fourniture, façonnage et mise en place des aciers FeE400 a haute adhérence de tous diamètres pour le couronnement.	T	1120	112 000	125 440 000
1.10	Fourniture, le transport et la mise en place des enrochements (1-3 T) pour la protection du pied devant les kiosques à l'est et à l'ouest de la plage.	T	51 038	2 850	145 458 300
A REPORTER					2 910 703 300

Conclusion

Conclusion :

Les villes côtières font aujourd'hui l'objet de diverses études d'ingénierie maritime. L'aménagement et la protection de cette bande littorale est devenue indispensable pour répondre aux besoins socio-économiques des riverains et habitants. De ce fait une étude scientifique de différents phénomènes côtiers est une étape fondamentale qui nous aide à comprendre, appréhender et prévoir le futur proche de la zone.

En vue des multiples impacts des infrastructures maritimes implantés au niveau de la zone côtière des Sablettes sur l'équilibre naturel de ces dernières, La création d'une plage artificielle, telle que discutée dans ce mémoire, exige la réalisation d'un ensemble d'études (**climatique, océanographique, géomorphologique, Topo-bathymétrique, hydrodynamique.**), Les résultats de ces études fournissent les données essentielles pour la modélisation numérique et physique de notre projet.

Le site d'étude est soumis à des houles provenant des secteurs Nord-Est, Nord et Nord-Ouest, et ces houles atteignent la côte avec des hauteurs allant de 0,5m jusqu'à 3m. Elles génèrent des courants de dérive qui se déplacent obliquement par rapport à la côte, avec des vitesses variant de 0,24 à 0,84 m/s. Les caractéristiques des fonds marins affectent la propagation des vagues, ce qui signifie que la bathymétrie a une influence sur la manière dont les vagues se propagent.

En utilisant les résultats obtenus, plus les coefficients des limites solides de la zone d'étude, un modèle numérique été établi Une étude hydrodynamique a été effectuée. Les résultats ont montré que l'hydrodynamisme au niveau de la zone d'intérêt est important, la création d'un ouvrage qui joue le rôle de la protection et l'aménagement est nécessaire.

La comparaison numérique entre les deux variantes proposées a montré que la variante choisie a créé plus de stabilité et dans la zone d'intérêt ce qui favorise la création de la plage artificielle. Ce travail est réalisé dans le cadre du projet de fin d'études, il nous a permis d'approfondir nos connaissances avec les techniques de modélisation, d'analyse et de se familiariser avec le terrain afin de mieux comprendre la dynamique côtière.

Cette étude ne demeure pas moins perfectible mais nécessite des améliorations en termes de résolution et d'actualité dans le but d'aboutir des résultats satisfaisants et de hautes qualités qui reflètent exactement à la nécessité de la recherche :

- Des données bathymétriques récentes et plus précises.
- Faire une étude GIZC sur le projet.
- Encouragement du partage de l'information dans le cadre de la recherche scientifique.
- Faire une étude de courants

BIBLIOGRAPHIE

- ABDERRAHMANL, k, KHEDIMI, f, (2008).** Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. ENSSMAL.Dely Brahim P.45
- ADJAL, M., (2014).** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire de la plage Ouest de Boumerdes. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie. ENSSMAL.dely Brahim.P.39
- AHFIR, y, MEZIANE, i, (2016).** Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamique sédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaia, Skikda) Cas d'étude : Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Algérie. ENSSMAL.dely Brahim.P.89
- ASSASI, C, OTMANI, H. (2010).** *Etude de protection de la zone de club des Pins* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 93 p.
- Blanc, J., (1977).** Recherches de sédimentologie appliquée au littoral du Delta du Rhône, de Fos au Grau Du Roi.Paris.p.199.
- Borchani, A., n.d.** Statistiques des valeurs extrêmes dans le cas de lois discrètes.Caire.P.177.
- Boutiba, M., Zaourar-Boulasbaa, N., Guettouche, M.S., Briqueu, L., (2009).** Analyse par ondelettes des variations historiques de la ligne de rivage entre l'oued Réghaïa et l'oued Mazafran (Wilaya d'Alger) 20. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 23 p.
- Carter, R.W.G., Woodroffe, C.D. (Eds.), (1995).** Coastal Evolution: Late Quaternary Shoreline Morphodynamics. Mémoire d'ingénieur.Cambridge University Press, Cambridge.
- Chaibai, M.S.E., Hanani, A.Z., (2022).** Modélisation hydrodynamique et étude d'agitation (Cas de la Marina Bay D'Alger). . Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 123 .
- CHARAKDJI, f, DJENEDI, d, (2006).** Etat du littoral de l'Est Algérois Bordj El Kiffen Et Bordj El Bahri (causes et conséquences de l'érosion) . Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 77.
- Cojan, I., Renard, M., (2021).** Sédimentologie - 3e éd., 3e édition. ed.Paris. Dunod.
Faye, I., Giraudet, E., Gourmelon, F., Henaff, A., n.d. Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte.
- Fichaut, B., Suanez, S., (2008).** Le rechargement de la plage de Sainte-Anne-du-Portzic (Brest-Finistère) : quand la recherche fondamentale se met au service d'une gestion cohérente du littoral. Norois Environ. Aménage. Société P.P. 29–44.
- Froidefond, j m, (1989).** Introduction à la géomorphologie côtière. l'institut de géologie du bassin d'Aquitaine.
- GHEMARI, f, LECHEHEB, h, (2016).** Etude prospective de l'impact des Aménagements de la plage des Sablottes . MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES gestion et protection du littoral. ENSSMAL.DELY BRAHIM P.P. 9–11.

- Iffour, y, Madani, a, (2016).** variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger. ENSSMAL.
- LEM, (2015). Etude sur modèle réduit physique en bassin à houle de l'épi n°2 au niveau du site des Sablettes.LEM.
- LEM, (2009).** Etude de protection du site de "Lido" commune de Mohammadia, Collecte et analyses des données de base (wilaya d'Alger).LEM.
- LEM, (1996).** Expertise pour l'étude de protection de rivage du site est de la baie d'Alger Document non publié. Alger: Laboratoire des études maritimes.LEM.
- MECHOUET, Ouzna., MESBAHI, Yasmine., (2016).** AMENAGEMENT DE LA PROMENADE DE LA BAIE D'ALGER : ETUDE SUR MODELE REDUIT PHYSIQUE DU TRANSPORT SEDIMENTAIRE DANS LA PROMENADE DES SABLETTES « BAIE D'ALGER». . Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 27.
- Meur-Ferec, C., n.d.** DE LA DYNAMIQUE NATURELLE À LA GESTION INTÉGRÉE DE L'ESPACE LITTORAL : UN ITINÉRAIRE DE GÉOGRAPHE.Paris
- Middleton, N.J., Sternberg, T., 2013.** Climate hazards in drylands: A review. Earth-Sci. Rev. 126, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2013.07.008>
- Morton, R.A., Leach, M.P., Paine, J.G., Cardoza, M.A., 1993.** Monitoring Beach Changes Using GPS Surveying Techniques. J. Coast. Res. 9, 702–720.
- Otmani, H., (2014).** Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet. Thèse de magister. Géorisque. . Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 21.
- OUZIDA, F., MERROUCHE, A., (2019).** Etude de l'érosion côtière à partir des images Satellitaire (cas de littorale de Zemmouri). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 27.
- Pian, S., (2010).** Analyse multiscalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons.
- PINOT, j P., (2003).** ACCUMULATIONS (géologie) - Accumulations marines ». Encyclopædia Universalis.
- Tarik, G., Bouziane, S., (2010).** Urbanisation côtière en Algérie, Processus et impacts sur l'environnement : Le cas de la baie d'Aïn el Turck. Études Caribéennes. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 27.

Annexe

➤ Script de la fonction rose des vents sur python :

```

1 import csv
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 # Script de la fonction rose des vents sur python.
4 def plot_wind_rose(data_file):
5     # Lecture des données à partir du fichier CSV
6     with open(data_file, 'r') as csvfile:
7         reader = csv.reader(csvfile)
8         next(reader) # Ignorer l'en-tête du fichier CSV
9         data = list(reader)
10
11         angles = []
12         frequenciers = []:
13             angle = float(row[0])
14             frequency = int(row[1])
15
16         angles.append(angle)
17         frequenciers.append(frequency)
18
19         fig = plt.figure()
20         ax = fig.add_subplot(111, projection='polar')
21         ax.set_theta_zero_location('N')
22         angles_rad = [angle * (2 * 3.14159) / 360 for angle in angles]
23         bars = ax.bar(angles_rad, frequenciers, width=0.5, alpha=0.7)
24         ax.set_yticks(range(0, max(frequenciers) + 1, 5))
25         ax.set_xticklabels(['N', 'NE', 'E', 'SE', 'S', 'SW', 'W', 'NW'])
26
27         plt.title('Rose des vents')
28         plt.show()
29
30 csv_file = 'rs.csv'
31 plot_wind_rose(csv_file)

```

➤ Script de traitement statistique des données de séries temporelle :

```

1 import pandas as pd
2 from pyextremes import __version__, get_extremes
3 from pyextremes.plotting import plot_extremes
4 #Script de traitement statistique des données de series temporelle
5 #By hamza lyzidi et Sadoun Med Nadir
6 data = pd.read_csv(
7     "/content/NE_u10.csv",
8     index_col=0,
9     parse_dates=True,
10    squeeze=True,
11)
12 data = (
13    data
14    .sort_index(ascending=True)
15    .astype(float)
16    .dropna()
17)
18 data = data.loc[pd.to_datetime("1992"):pd.to_datetime("2022")]
19 data = data - (data.index.array - pd.to_datetime("1995")) / pd.to_timedelta("365.2425D") * 2.87e-3
20 from pyextremes import plot_mean_residual_life
21
22 plot_mean_residual_life(data)
23 from pyextremes import plot_parameter_stability
24
25 plot_parameter_stability(data)
26 from pyextremes import EVA
27
28 model = EVA(data)
29 model.get_extremes(method="POT", threshold=3.5, r="24H",)
30 model.plot_extremes()
31 model.fit_model()
32 summary = model.get_summary(
33     return_period=[1, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 250, 500, 1000],
34     alpha=0.15,
35     n_samples=1000,
36)

```

```

)
print(summary)
from pyextremes import get_extremes, get_return_periods

extremes = get_extremes(
    ts=data,
    method="BM",
    block_size="365.2425D",
)
return_periods = get_return_periods(
    ts=data,
    extremes=extremes,
    extremes_method="BM",
    extremes_type="high",
    block_size="365.2425D",
    return_period_size="365.2425D",
    plotting_position="weibull",
)
return_periods.sort_values("return period", ascending=False).head()

```

- **Script de représentation de la méthode des blocs maximas sur les hauteurs significatives de houles :**

```

1 import pandas as pd
2 from pyextremes import __version__, get_extremes
3 from pyextremes.plotting import plot_extremes
4 #Script de Représentation de la méthode des blocs maximas sur les hauteurs significatives de houles
5 #By hamza lyzidi et Sadoun Med Nadir
6 data = pd.read_csv(
7     "/content/time_series_wind.csv",
8     index_col=0,
9     parse_dates=True,
10    squeeze=True,
11)
12 data = (
13    data
14    .sort_index(ascending=True)
15    .astype(float)
16    .dropna()
17)
18 data = data.loc[pd.to_datetime("1992"):pd.to_datetime("2022")]
19 data = data - (data.index.array - pd.to_datetime("1995")) / pd.to_timedelta("365.2425D") * 2.87e-3
20 extremes = get_extremes(
21     ts=data,
22     method="BM",
23     extremes_type="high",
24     block_size="365.2425D",
25     min_last_block=0.7,
26)
27 fig, ax = plot_extremes(
28     ts=data,
29     extremes=extremes,
30     extremes_method="BM",
31     extremes_type="high",
32     block_size="365.2425D",
33     figsize=(8, 5),
34)
35 fig.savefig("bm-high-ly.png", dpi=96, bbox_inches="tight")

```

Résumé :

L'engouement pour le milieu côtier algérois suit une tendance mondiale, c'est le reflet des enjeux socio-économiques que présente la zone notamment en matière touristique.

Le site « **Des Sablettes** » est situé sur la rive occidentale de la baie d'Alger. La côte, orientée sensiblement O-N-O à E-S-E, fait face principalement aux agitations venant du Nord et du Secteur Nord-Est. Cette zone est fortement anthropisée et rentre dans le projet de l'aménagement de la baie d'Alger. Un nombre important d'ouvrages est réalisé, où la création d'une grande plage artificielle y est prévue, ce qui suscite une nécessité d'étude prospective, Dans le but de connaître, de comprendre et de déterminer la meilleure option pour l'implantation de cette plage artificielle, une modélisation numérique (modèle couplé de Mike 21) a été effectuée en s'appuyant sur les résultats des études granulométrique et bathymétrique...

Ce présent mémoire englobe 4 chapitres, abordant une synthèse sur la zone d'étude et les aspects généraux du milieu sont décrits par : la climatologie, la géomorphologie, l'océanographie, l'hydrologie et les conditions naturelles, un troisième chapitre est consacré au diagnostic de détail et l'utilisation et traitement des données acquises pour la prévision des houles au large, l'étude topo-bathymétrique, l'évolution de la ligne de rivage aussi que la démographie, et la présentation des résultats des études

Un dernier chapitre ou notre étude est finalisée en proposant les solutions de protection et d'aménagement en comparant les résultats pour sélectionner la meilleure solution a abordé par le bureau d'étude.

Abstract:

The enthusiasm for the coastal area of Algiers follows a global trend, reflecting the socio-economic stakes of the region, particularly in the tourism sector.

The site "**Des Sablettes**" is located on the western shore of the bay of Algiers. The coast, oriented substantially from the northwest to the southeast, faces mainly the agitations coming from the North and the Northeast sector. This area is heavily anthropized and is part of the development project for the bay of Algiers. A significant number of structures are being built, including the creation of a large artificial beach, which requires a prospective study.

In order to know, understand, and determine the best option for the implementation of this artificial beach, a numerical modeling (coupled model of Mike 21) was carried out based on the results of granulometric and bathymetric studies...

This present report encompasses 4 chapters, addressing a synthesis of the study area and the general aspects of the environment, including climatology, geomorphology, oceanography, hydrology, and natural conditions. A third chapter is dedicated to a detailed diagnosis and the use and processing of acquired data for wave forecasting at sea, the topo-bathymetric study, shoreline evolution, as well as demography, and the presentation of study results.

A final chapter concludes our study by proposing protection and development solutions, comparing the results to select the best solution to be addressed by the study office.

المخلص:

المنطقة الساحلية في الجزائر تتبع اتجاهاً عالمياً، عاكساً التحديات الاجتماعية والاقتصادية للمنطقة، ولا سيما في قطاع السياحة.

تقع منطقة "صابلات" على الضفة الغربية لخليج الجزائر. يواجه هذا الساحل بشكل أساسي الاضطرابات القادمة من الشمال والقطاع الشمالي الشرقي، حيث أن المنطقة قد شهدت تأثيرات بشرية كبيرة وتعتبر جزءاً من مشروع تطوير خليج الجزائر. يتم بناء عدد كبير من المنشآت، بما في ذلك إنشاء شاطئ صناعي كبير، مما يتطلب إجراء دراسة قبلية من أجل معرفة وفهم وتحديد أفضل خيار لتنفيذ هذا الشاطئ الصناعي، تم إجراء نمذجة عددية (نموذج متصل لمايك 21) استناداً إلى نتائج دراسة أعماق الخليج وتحركات الرواسب.

تشمل هذه التقرير الحالي أربع فصول، تتعامل مع تلخيص المنطقة المدروسة والجوانب العامة لها، بما في ذلك مناخية والجيومرفولوجية وعلم المحيطات وعلم الهيدرولوجيا والظروف الطبيعية. يخصص الفصل الثالث للتشخيص التفصيلي واستخدام ومعالجة البيانات المكتسبة لتوقع الأمواج في البحر، ودراسة الطبوغرافيا والأعماق، وتطور خط الساحل، بالإضافة إلى علم السكان وعرض نتائج الدراسة. يختتم فصل نهائي الدراسة بتقديم الحلول للحماية والتطوير، مع مقارنة النتائج لاختيار أفضل حلاً يُعالج من قبل مكتب الدراسات.