

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
Ecole 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'Etat en Sciences de la Mer
Domaine : gestion et protection du littoral**

Thème :

**Ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi (W. de
Tlemcen) : Etude hydro-sédimentaire et solutions**

Présenté par :

Mers Safaa

Soutenue le 09/07/2024, devant le jury composé de :

Mr. ZERROUKI M.

Maitre-assistant A ENSSMAL

Président

Mr. OTMANI H.

Maitre conférences A ENSSMAL

Promoteur

Mme. KERAGHEL.M

Maitre conférences B ENSSMAL

Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

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
Ecole 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
Master en gestion et protection du littoral
Domaine : Géographe et aménagement de territoire**

Thème :

**Ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi (W. de
Tlemcen) : Etude hydro-sédimentaire et solutions**

Présenté par :

Mers Safaa

Soutenu le 09/07/2024, devant le jury composé de :

Mr. ZERROUKI M.

Mr. OTMANI H.

Mme. KERAGHEL.M

Maitre-assistant A ENSSMAL

Maitre conférences A ENSSMAL

Maitre conférences B ENSSMAL

Président

Promoteur

Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

Remerciement :

Avant tout, je tiens à exprimer ma gratitude envers Allah, le Tout-Puissant, pour m'avoir donné la force, la patience et la persévérance indispensables pour accomplir ce travail avec succès. Avec Sa bénédiction et Sa miséricorde, j'ai réussi à surmonter les obstacles rencontrés lors de la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration et à la réalisation de ce modeste travail.

Tout d'abord, je remercie chaleureusement mon directeur de recherche monsieur Otmani Housseyn, pour sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien tout au long de ce travail. Ses orientations et son expertise ont été indispensables à l'aboutissement de ce projet.

Je tiens à exprimer ma gratitude à monsieur Zerrouki le président et à Madame Keraghel l'Examinatrice pour l'attention qu'ils vont porter à l'évaluation de mon travail. Votre expertise et vos conseils seront d'une grande aide pour moi, et je suis convaincue que vos remarques me permettront d'améliorer et d'approfondir mon sujet.

Je tiens également à exprimer ma profonde gratitude envers les ingénieurs experts qui m'ont apporté une aide précieuse au cours de ce travail. Leurs conseils avisés et leurs vastes connaissances en matière de modélisation ont grandement contribué à la réussite de ce projet. En particulier, je souhaite remercier :

- Madame Mouhoubi Nour El Imen pour m'accompagner dans le début de ce travail, ses informations détaillées et son expertise technique.
- Monsieur Agabi Zakaria pour m'aider à comprendre le principe du travail, son accompagnement constant durant les deux semaines consacrées pour la modélisation et ses précieuses orientations.
- Monsieur Bourkach Redouane pour ses suggestions pertinentes et son aide précieuse lors de la modélisation et la réalisation des cartes, aussi pour sa disponibilité et ses conseils.

Je souhaite également remercier l'ensemble des enseignants et des membres de l'équipe pédagogique de l'Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral pour la qualité de leur enseignement et leur soutien durant ces années d'études.

Un grand merci à mes collègues et amis pour leur aide précieuse, leurs encouragements et les échanges constructifs qui ont enrichi cette recherche. Leur soutien moral et intellectuel a été d'une grande aide.

Enfin, je remercie toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Votre soutien et votre confiance m'ont été d'un grand secours.

Merci à tous.

Dédicace :

À mes chers parents, pour leur amour inconditionnel, leur soutien et leurs encouragements constants tout au long de mon parcours académique. Votre amour m'a donné la force de surmonter tous les obstacles.

À mon frère Yacine et mes sœurs Chaima, Wafaa, et Ilhem, pour leur soutien affectueux et leurs conseils avisés.

À monsieur Otmani pour avoir toujours eu confiance en moi, il a été comme un grand frère pour notre classe de GPL. Votre soutien et votre encouragement constant ont été une source inestimable de motivation pour nous tous.

A mes copines, plutôt mes sœurs Soumia, Nour, Noura, Nessrin, Chaima, Marwa et à Bouchra pour être toujours avec moi !

À mes amis et collègues, la classe de GPL pour leur aide précieuse, leurs encouragements et leur soutien moral.

À tous mes enseignants, pour leur dévouement et leur engagement à me transmettre leur savoir et leur passion.

Table des matières :

Liste des figures :	13
Liste des tableaux :	16
Liste des équations :	18
Introduction :	19
Chapitre 01 : cadre générale.....	22
1. Introduction :	23
2. Synthèse bibliographique :	23
2.1. Données historiques du site :	23
2.1.1. Louis-Jean-Baptiste Say (le fondateur) :	23
2.1.2. L’histoire de la construction :	23
2.2. Ensablement des ports :	25
2.2.1. Causes de l’ensablement :	25
2.2.2. Conséquences de l’ensablement des ports :	26
2.2.3. Méthodes de lutte contre l’ensablement des ports :	26
3. Contexte de l’étude :	26
3.1. Importance du site :	26
3.2. Problématique et cause de l’ensablement de ce port :	27
3.3. Objectifs de l’étude :	27
4. Localisation et choix de la zone d’intérêt :	27
4. L’hydrographie du site :	29
4.1. Bassin versant de Tafna :	30
4.2. Bassin versant de Moulouya :	31
4.3. Oued de Kiss :	32
5. La morphologie et géologie du site :	33
5.1. La morphologie du site :	33
5.1.1. Les chaines des Traras :	33

5.1.2.	Les monts de Sabaa Chioukh :	34
5.1.3.	Les monts de Tlemcen :	34
5.1.4.	Les plaines intérieures :	35
6.	La géologie générale de la wilaya de Tlemcen :	35
7.	Etude climatique :	36
1.1.	Les précipitations :	36
1.1.1.	Interprétation des variations mensuelles des précipitations :	37
1.1.2.	Interprétation des variations annuelles des précipitations :	38
1.1.3.	Résultats :	38
1.2.	Le vent :	39
1.2.1.	L'échelle de Beaufort :	40
1.2.2.	Interprétation de la rose des vents annuelle :	41
1.2.3.	Interprétation des roses des vents saisonnières :	42
8.	L'état océanographique général :	42
8.1.	Les marées :	43
8.2.	Les courants :	45
Chapitre 02 : Evolution de trait de cote.....		46
1.	Introduction :	47
2.	Méthodologie de l'étude de l'évolution de trait de cote.....	47
2.1.	Collecte des données :	48
2.2.	Digitalisation et manipulation :	48
2.3.	Google Earth pro :	48
2.4.	ArcGis :	49
2.5.	L'extension DSAS :	49
2.6.	Le géo-référencement :	51
2.7.	La division des zones :	53
2.7.1.	Zone 01 : Plage Marsa Ben M'hidi :	54

2.7.1.1.	Période 2004-2017 :.....	54
2.7.1.2.	Période 2017-2023 :.....	57
2.7.1.3.	Période 2004-2023 :.....	60
2.7.2.	Zone 02 : plages Moscarda 1 et 2 :.....	63
2.7.2.1.	Période 2004-2018 :.....	63
2.7.2.2.	Période 2017-2023 :.....	66
2.7.2.3.	Période 2004-2023 :.....	69
2.8.	Conclusion :.....	72
Chapitre 03 : Etude bathymétrique.....		73
1.	Introduction :.....	74
1.1.	La bathymétrie general:.....	74
1.1.1.	La méthodologie :.....	74
1.1.1.1.1.	Surfer :.....	74
1.1.1.1.2.	Levé bathymétrique :.....	75
1.1.1.1.3.	La représentation de la bathymétrie avec surfer :.....	75
1.2.	La bathymétrie du port :.....	76
1.2.1.	La collecte des données :.....	76
1.2.2.	Résultats :.....	76
1.2.3.	La comparaisant entre les deux bathymétries :.....	78
1.2.4.	L'interprétation des résultats :.....	80
1.2.4.1.1.	Profil 01 : Passe d'entrée.....	80
1.2.4.1.2.	Profil 02 : Derrière la jetée secondaire.....	80
1.2.4.1.3.	Profil 03 : Dans le bassin du port.....	81
1.3.	Conclusion :.....	82
Chapitre 04 : Etude sédimentologique.....		83
2.	Introduction :.....	84
1.4.	Prélèvements des échantillons :.....	84

1.5.	Méthode d'analyse au laboratoire :	85
1.6.	La classification des sédiments :	87
1.7.	Analyse des courbes :	87
1.8.	Indice de classement de Trask « So » :	88
1.9.	L'indice d'asymétrie de l'histogramme (Skewness) :	89
1.10.	L'indice d'hétérométrie interquartile Hq :	90
1.11.	Diagramme de Passega :	91
1.12.	Médiane granulométrique :	94
1.13.	Les pélites :	94
1.14.	Sédimentologie de la zone d'étude :	95
1.14.1.	Substratum :	98
1.14.2.	Sables et sablons siliceux :	98
1.14.3.	Boues silico-argileuse :	98
1.14.4.	Boues argilo-calcaires :	98
1.15.	Synthèses de l'étude sédimentologique :	99
Chapitre 5 : La modélisation numérique avec Mike 21		101
1.	Présentation du Mike 21 :	102
1.1.	Le modèle SW :	102
1.2.	Le module HD :	102
1.3.	Le modèle ST :	102
2.	La méthodologie :	103
2.1.	Extraction des données de la houle :	104
2.1.1.	La bathymétrie GEBCO :	104
2.1.2.	Le maillage du grand modèle :	105
2.1.3.	L'extraction de la donnée :	106
2.2.	Les roses des houles :	107
2.2.1.	La rose des houles annuelle :	107

2.2.2.	Les roses des houles saisonnières :.....	107
2.2.2.1.	Hiver :	110
2.2.2.2.	Automne :	110
2.2.2.3.	Été :.....	110
2.2.2.4.	Printemps :.....	110
2.2.2.5.	Observations générales :.....	110
2.3.	La simulation de st, sw et HD dans la zone d'étude :	111
2.3.1.1.1.	Création du mesh :.....	111
2.3.1.1.2.	Traitement des données avec python :.....	111
2.3.1.1.3.	Le résultat des traitements des données :.....	113
2.3.1.1.4.	Les résultats de la simulation :	113
2.3.1.1.4.1.	Direction nord :.....	113
2.3.1.1.4.2.	Direction Nord-Est :	116
2.3.1.1.4.3.	Direction Nord-Ouest :	118
Chapitre 07 : Solutions de protection et d'aménagement.....		120
1.	Introduction :.....	121
1.1.	Variante 01 : un épi à l'est du port :.....	121
1.2.	Variante 02 : épi + extension de la jetée principale	124
1.3.	Variante 03 :	126
1.4.	Variante 04 :	128
1.5.	Variante 05 :	130
1.6.	Conclusion :.....	132
Conclusion générale :		133
Bibliographie :.....		135
Annexes :.....		141
1.	Premier axe : Présentation du projet	142
1.3	Equipe de travail	143

1.4 Objectif du projet	143
1.5 Calendrier de réalisation du projet	143
2 Deuxième axe : Aspect innovant.....	143
2.1 La nature de l'innovation.....	143
3.1 Le segment du marché.....	144
3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence	144
3.2.1 Concurrents directs.....	145
3.2.2 Concurrents indirects	145
3.3 Forces et faiblesses des concurrents.....	145
3.4 La stratégie marketing.....	145
3.4.1 Relation clientèle.....	145
3.4.2 Canaux de diffusion	146
4 Quatrième axe : Plan de production et d'organisation.....	147
4.1 Approvisionnement	147
4.2 La main d'œuvre.....	147
4.3 Les principaux partenaires	147
5 Cinquième axe : Plan financier	148
5.1 Stratégie de financement	148
5.1.1 Coût du capital social	148
5.1.2 Etude de rentabilité annuelle	149
5.1.2.1 Coûts des amortissements	149
5.1.2.2 Le coût des charges annuelles	150
5.1.2.3 Le coût des revenus	150
6 Sixième axe : Prototype expérimentale.....	151

Liste des figures :

Figure 1 : Port Say 1907. (Francis, 1915)	24
Figure 2 : Carte de position du port de MARSA Ben M'Hidi.	28
Figure 3 : Définition du système bassin versant. (Moine, 2008)	29
Figure 4 : Localisation des plus grands bassins côtiers de l'Afrique du nord et des barrages. (Zettam, 2018)	30
Figure 5 : Localisation du bassin versant de la Tafna, ses barrages et les stations de prélèvements. (Zettam et al., 2017)	31
Figure 6 : Le bassin versant de la Moulouya. (Talhaoui et al., 2020)	32
Figure 7 : La morphologie de la wilaya de Tlemcen. (Nadia et al., 2014)	33
Figure 8 : Vue générale sur localisation des Monts des Traras. (Nouad & Merzoug, 2017) .	34
Figure 9 : La carte géologique de Tlemcen. (Hammouda, 2011)	35
Figure 10 : Diagramme représentant les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Tlemcen.	37
Figure 11 : Diagramme représentant les variations des moyennes annuelles des précipitations dans la région de Tlemcen.....	38
Figure 12 : Les zones concernées par le Puertos del Estado. (www.puertos.es)	39
Figure 13 : Rose des vents (m/s) annuelle années 2013-2023	41
Figure 14 : Les roses des vents saisonnières 2013-2023.....	42
Figure 15 : Explication du phénomène de mortes eaux/vives eaux en lien avec la position de la lune et du soleil par rapport à la terre. (Fakhri, 2020)	43
Figure 16 : L'estran ou zone de balancement des marées. Le marnage est défini entre la pleine mer de viveeaux (pmve) et la basse mer de vives-eaux (bmve) .(Péden, 2016)	44
Figure 17 : Amplitude de la marée mer méditerranée. (CNES/CLS, 2013)	44
Figure 18 : Circulation de l'eau d'origine atlantique. (Millot, 1989)	45
Figure 19 : Diagramme des étapes de travail de l'étude d'évaluation des traits de cote. (AMROUNI, 2020)	47
Figure 20 : Profils des plages sableuses pour la saison estivale (haut) et hivernale (bas). (Biausque, 2018)	48
Figure 21 : Les principaux outils de DSAS.....	49
Figure 22 : Les mesures des distances entre la ligne de base et les transecs.	50
Figure 23 : Fuseaux de la projection UTM en Algérie. (INCT, 2007)	52
Figure 24 : Carte des provinces sédimentaires de la zone d'étude.....	53

Figure 25 : Carte des traits de cote de la province sédimentaire de la zone 01 (Plage Marsa Ben M' hidi).....	54
Figure 26 : Bilan accretion/erosion de la province sédimentaire entre 2004-2017.....	56
Figure 27 : Billan accretion/erosion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2017-2023....	59
Figure 28 : Billan accretion/erosion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2023....	62
Figure 29 : Carte des traits de cote de la province sédimentaire de la zone 02 (Plage Moscarda).....	63
Figure 30 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2004-2017.	65
Figure 31 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2017-2023.	68
Figure 32 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2004-2023.	71
Figure 33 : Schéma représentatif de la configuration de la surface bathymétrique à lever. (LEM, 2017).....	75
Figure 34 : Carte bathymétrique générale du port Marsa Ben M'hidi 2017.....	76
Figure 35 : Carte bathymétrique du bassin intérieur du port Marsa Ben M'hidi 2009.....	77
Figure 36 : Carte bathymétrique du bassin intérieur du port Marsa Ben M'hidi 2017.....	77
Figure 37 : Comparésant des profils de la bathymétrie 2009-2017 dans la passe d'entrée.	80
Figure 38 : Comparaissant des profils de la bathymétrie 2009-2017 derrière la jetée secondaire.....	81
Figure 39 : Image Google Earth du port Marsa Ben M'hidi 2009.....	81
Figure 40 : Image Google Earth du port Marsa Ben M'hidi 2017.....	81
Figure 41 : Comparaissant des profils de la bathymétrie 2009-2017 dans le bassin du port. ..	82
Figure 42 : Localisation des points de prélèvements port Marsa Ben M'hidi.	85
Figure 43 : Méthodologie de travail de l'analyse granulométrique.	86
Figure 44 : Courbes granulométriques de la zone d'études (70 échantillons).	88
Figure 45 : Indice de classement de Task « So » des sédiments de la zone d'étude.....	89
Figure 46 : L'indice d'asymétrie « Sk » des sédiments de la zone d'étude.....	90
Figure 47 : L'indice d'hétérométrie interquartile Hq de la zone d'étude.....	91
Figure 48 : Le diagramme original de Passega.1964. (Geoffrey et al., 2013)	92
Figure 49 : Les différentes formes de transport des sédiments sous l'eau. (Antoine, 2013)...	93
Figure 50 : Diagramme de Passega de la zone d'étude.....	93
Figure 51: Répartition des médianes (D50) dans la région de Marsa Ben M'hidi.....	94
Figure 52 : Répartition de la fraction fine (pilites) dans la région de Marsa Ben M'hidi.....	95

Figure 53 : Nature de la couverture sédimentaire actuelle et récente du plateau continentale Nord-Africain Algérie « Golf de Nemrous du cap Milonia aux Iles Habibas ». (Leclaire, 1972).....	96
Figure 54 : Nature de la couverture sédimentaire actuelle et récente de la zone d'étude. (Leclaire, 1972)	97
Figure 55: Types de transport selon les tailles des sédiments.....	99
Figure 56: La méthodologie de la modélisation de la réfraction de la houle, le transport sédimentaire et les courants en utilisant le logiciel Mike 21.....	103
Figure 57 : Le SIMAR point 2060072. (www.puertos.es).....	104
Figure 58 : Carte bathymétrique interpolée (bathymétrie GEBCO + levés).....	105
Figure 59 : Le mesh du grand modèle.....	106
Figure 60 : La rose des houles annuelle 2013-2023.....	107
Figure 61 : Diagramme présentant la méthodologie de traitement des données de la houle par le Python pour les roses des houles.....	108
Figure 62 : Les roses des houles saisonnières 2013-2023.....	109
Figure 63 : Le mesh du petit modèle.....	111
Figure 64 : Diagramme présentant la méthodologie de traitement des données de la houle par le Python pour les cartes.....	112
Figure 65 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord.....	114
Figure 66 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord-Est.....	116
Figure 67 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord-Ouest... ..	118
Figure 68 : Synthèse du transport sédimentaire annuel par profil (valeurs en m ³ /an). (LEM, 2017).....	122
Figure 69 : Variante 01 : un épi à l'est du port	123
Figure 70 : Variante 02 : épi + extension de la jetée principale.....	125
Figure 71 : Variante 03 : Nouvelle passe d'entrée orienté vers le Nord-Ouest.	127
Figure 72: Variante 04 : Nouvelle passe d'entrée orientée vers le Nord-Est.....	129
Figure 73 : Variante 05 : extension de la jetée principale en forme d'un arc.	131
Figure 74: Résultat cartographique de la vitesse de l'érosion/accrétion au niveau des ruines romaine de Tipaza (Moussaoui, 2024).....	151
Figure 75 : les terres perdues en conversion en urbain (Ikhlifaine entre 2004-2023) (Moussaoui, 2024)	152
Figure 76 : Le Business Model Canvas.....	153

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Les causes de l'ensablement.....	25
Tableau 2 : Les caractéristiques du port MARSA Ben M'Hidi (LEM, 2019).....	28
Tableau 3 : Les caractéristiques d'Oued Kiss.	32
Tableau 4 : L'échelle de beaufort.....	40
Tableau 5 : Le choix des traits de cotes	48
Tableau 6 : évolution du trait de côte entre 2004 et 2017 de la province sédimentaire 01.....	55
Tableau 7 : Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR de la province sédimentaire 01.	56
Tableau 8 : Tableau érosion/accrétion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2013.	56
Tableau 9 : Evolution du trait de côte entre 2017 et 2023 de la province sédimentaire 01.	58
Tableau 10 : Tableau érosion/accretion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2017-2023.	59
Tableau 11 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023(plus récent et plus ancien) de la province sédimentaire 01.	61
Tableau 12 : Tableau érosion/accrétion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2023.	62
Tableau 13 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023 de la province sédimentaire 02. ..	64
Tableau 14 : Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR de la province sédimentaire 02.	65
Tableau 15 : Tableau érosion/accretion des deux plages de Moscarda période 2004-2017. ..	65
Tableau 16 : Evolution du trait de côte entre 2017 et 2023 de la province sédimentaire 02. ..	67
Tableau 17 : Tableau érosion/accretion des deux plages de Moscarda période 2017-2023. ..	68
Tableau 18 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023 de la province sédimentaire 02. ..	70
Tableau 19 : Tableau érosion/accrétion des deux plages de Moscarda période 2004-2023.	71
Tableau 20: Les données bathymétriques.	76
Tableau 21 : Tableau de comparaisant entre les deux bathymétries 2009 et 2017.....	79
Tableau 22 : Dimensions nominales des tamis de la norme AFNOR pour l'analyse granulométrique par tamisage après lavage. (Tarmoul, 2014).....	86
Tableau 23 : Classes granulométriques adoptées par l'OHI	87
Tableau 24 : Valeurs de So représentant les types de classement. (Tarmoul, 2014).....	88
Tableau 25 : Les limites de l'indice d'asymétrie « Sk ». (Dahmani, 2016).....	90
Tableau 26 : Organisation temporelle de la création du projet	143

Tableau 27: coût d'investissement.....	149
Tableau 28 : Coût d'amortissement	150
Tableau 29 Coût de charges annuelles	150
Tableau 30: Sources et coût des revenus.....	151

Liste des équations :

Équation 1 :L'indice de classement de Trask "So"	88
Équation 2 : L'indice d'asymétrie de l'histogramme (Skewness)	89
Équation 3 : L'indice d'hétérométrie interquartile Hq	90

Introduction :

Les ports ont toujours joué un rôle crucial dans le développement économique des nations. Servant de portes d'entrée et de sortie pour le commerce international, ils sont des pivots essentiels du commerce mondial. En tant qu'infrastructures de transport maritime, les ports facilitent l'importation et l'exportation de marchandises, stimulant ainsi la croissance économique, créant des emplois et générant des revenus fiscaux pour l'État. De plus, ils attirent des investissements étrangers, améliorent la compétitivité des entreprises locales et soutiennent divers secteurs économiques tels que la logistique, la construction navale et le tourisme. Dans ce contexte, les ports deviennent des atouts stratégiques pour les gouvernements, non seulement en tant que moteurs de l'économie nationale, mais aussi en tant qu'éléments clés de la politique commerciale et du développement régional. En examinant leur utilité et leur impact, nous comprenons mieux comment les ports agissent comme un levier économique puissant pour l'État.

Les ports maritimes, infrastructures cruciales pour le commerce mondial et l'économie locale, sont vulnérables à diverses menaces naturelles pouvant perturber leur fonctionnement et compromettre leur sécurité. Parmi celles-ci figurent les catastrophes naturelles telles que les ouragans, tsunamis, tremblements de terre et inondations, ainsi que les accidents environnementaux comme les déversements de pétrole et les fuites de produits chimiques. Ces menaces peuvent causer des dommages matériels importants et des perturbations des opérations, exigeant des plans d'urgence et des mesures de résilience pour minimiser leur impact. L'ensablement représente également une menace significative, car l'accumulation de sédiments peut obstruer les voies navigables, nécessitant des opérations de dragage coûteuses et fréquentes pour maintenir la navigabilité. Ces menaces peuvent causer des dommages matériels importants et des perturbations des opérations, exigeant des plans d'urgence et des mesures de résilience pour minimiser leur impact.

En Algérie, la lutte contre l'ensablement des ports est abordée par une combinaison de stratégies techniques, environnementales et collaboratives. Les ports majeurs comme ceux d'Alger et d'Oran mettent en œuvre des programmes de dragage réguliers et investissent dans des infrastructures de protection telles que des digues et des brise-lames pour limiter l'accumulation de sédiments. Des technologies de surveillance bathymétrique et des modèles de prévision sont

utilisés pour anticiper les besoins en dragage. Le gouvernement encourage les partenariats public-privé et investit dans la recherche pour développer des solutions adaptées. Des efforts de formation et de sensibilisation complètent ces mesures, assurant une gestion efficace et durable des ports face à la menace de l'ensablement.

En Algérie, plusieurs ports sont touchés par ce phénomène à des degrés différents. Par exemple, le port de Béjaïa, l'un des plus importants du pays, a dû faire face à de sérieux problèmes d'ensablement, obligeant les autorités portuaires à entreprendre des travaux de dragage réguliers pour maintenir son fonctionnement optimal. De même, le port de Mostaganem connaît des difficultés similaires, où le dépôt de sable pose des défis logistiques importants. Il y a d'autres exemples comme le port de Cap Djenat à Boumlerdes et le port de Djendjen à Jijel.

Parmi les ports sévèrement affectés, le port de Marsa Ben M'hidi illustre bien l'ampleur du problème. Situé à l'extrémité nord-ouest de l'Algérie, à proximité de la frontière marocaine, ce port est crucial pour la région, notamment pour la pêche et les activités économiques locales. Cependant, l'ensablement régulier menace sa viabilité, nécessitant des interventions fréquentes pour dégager le sable accumulé. Cette situation impacte non seulement les opérations portuaires, mais aussi l'économie locale qui dépend de ce port pour le commerce et l'approvisionnement (LEM, 2017).

Ce mémoire de fin d'étude, intitulé "Ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi (W. de Tlemcen) : Etude hydro-sédimentaire et solutions", a pour objectif d'analyser en profondeur les dynamiques hydro-sédimentaires responsables de l'ensablement de ce port et de proposer des solutions viables pour atténuer, voire éliminer ce problème. Ce travail est divisé sur six chapitres :

Chapitre 01 : Cadre général

Ce chapitre introductif présente un aperçu historique de la zone d'étude, en se concentrant sur l'évolution et l'importance du port de Marsa Ben M'Hidi. Il expose la problématique de l'ensablement et décrit en détail la zone d'étude. En outre, il offre une présentation des aspects géologiques, géomorphologiques, hydrologiques, sismotectoniques, climatiques et océanographiques généraux, fournissant ainsi une base solide pour comprendre les facteurs environnementaux influençant l'ensablement.

Chapitre 02 : Étude de l'évolution du trait de côte

Dans ce chapitre, l'évolution du trait de côte est analysée à l'aide de l'outil Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Cette analyse vise à confirmer l'impact de l'ensablement sur la zone étudiée. Les résultats obtenus permettront de visualiser les changements côtiers au fil du temps, mettant en évidence les zones les plus affectées par l'accumulation de sédiments.

Chapitre 03 : Étude bathymétrique

Ce chapitre se concentre sur l'analyse bathymétrique générale et détaillée de la zone d'étude. La bathymétrie permet de cartographier le fond marin et d'identifier les zones d'accumulation de sédiments. L'étude démontrera que l'ensablement affecte non seulement les abords du port, mais aussi son bassin intérieur, perturbant ainsi les activités portuaires.

Chapitre 04 : Étude des sédiments marins

L'objectif de ce chapitre est d'analyser la nature et la distribution des sédiments marins dans la zone d'étude. Cette analyse inclut l'identification de la composition des sédiments et de leur origine. La compréhension des caractéristiques sédimentaires est essentielle pour évaluer les processus de transport et d'accumulation des sédiments.

Chapitre 05 : Modélisation numérique avec Mike 21

Dans ce chapitre, une modélisation numérique utilisant le logiciel Mike 21 est effectuée pour étudier la réfraction de la houle, le transport sédimentaire et les courants marins. Cette modélisation permettra de simuler les dynamiques sédimentaires et de comprendre les mécanismes de transport des sédiments dans la zone d'étude. Les résultats aideront à identifier les principales sources d'ensablement et les trajectoires des sédiments.

Chapitre 06 : Propositions de solutions

Le dernier chapitre propose des solutions pour réduire ou éliminer l'ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi. Ces solutions seront interprétées et évaluées afin de sélectionner la variante la plus efficace. L'objectif est de proposer des interventions durables qui minimisent l'accumulation de sédiments tout en respectant les contraintes environnementales.

Ainsi, ce mémoire se veut une contribution significative à la compréhension et à la gestion de l'ensablement dans les ports, en combinant des études théoriques, des analyses pratiques et des propositions de solutions concrètes.

Chapitre 01 : cadre générale

1. Introduction :

Ce premier chapitre offre une vue d'ensemble historique de la zone d'étude, en mettant l'accent sur l'évolution et l'importance du port de Marsa Ben M'Hidi. Il présente le problème de l'ensablement et explique en détail la zone d'étude. De plus, il présente les éléments géologiques, géomorphologiques, hydrologiques, sismotectoniques, climatiques et océanographiques généraux, ce qui constitue une base solide pour appréhender les éléments environnementaux qui influencent l'absorption des eaux.

2. Synthèse bibliographique :

La synthèse bibliographique est une étape essentielle lors la réalisation d'un mémoire, elle permet de situer le travail dans le contexte de l'étude par l'analyse, l'examen et l'identification des sources existantes, elle permet aussi de mettre en avant les lacunes dans la recherche, dans ce cas d'étude cette synthèse concentre sur le problème de l'ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi au niveau de wilaya de Tlemcen.

2.1. Données historiques du site :

2.1.1. Louis-Jean-Baptiste Say (le fondateur) :

Louis Jean-Baptiste Say, né le 30 janvier 1852 à Nantes, descendant d'une lignée d'économistes et d'industriels nantais(**Francis, 1915**).

Il est le fondateur de l'école classique française en économie, il formula la loi dite « des débouchés » selon laquelle, en situation de libre concurrence, l'offre crée sa propre demande. Louis Jean Baptiste avait consacré sa fortune et les dernières quinze années de son existence à réaliser le projet « port Say », il commença les démarches de la construction depuis les années 1900, à l'âge de 48 ans il décédé en 1915 (**Brunschwig, 1962**).

2.1.2. L'histoire de la construction :

En tant qu'explorateur, Louis Jean-Baptiste Say a déjà visité le site du Kiss (à la frontière entre l'Algérie et le Maroc) en 1886. En juillet 1900, il a découvert que l'intention de construire un port à cet endroit remonte à 1764, lorsque le vice-amiral Jean Hess voulait créer une liaison maritime avec les Iles Zaffarines. En 1904, Say a finalement construit son port sans aucune autorisation.

Au départ, Louis Say avait l'intention de s'installer de l'autre côté de la rive du Kiss, au Maroc. Mais à la fin du mois de juin 1900, Lyautey, qui avait des vues sur le Maroc, lui refusa l'autorisation de s'installer et de construire une route commerciale allant jusqu'à Fès. Il a donc décidé de passer à l'action et a vendu tous ses biens au fur et à mesure de ses besoins (environ

3 millions de Franc). À la fin de 1902, Louis Say demanda l'autorisation de construire un petit abri à ses propres frais. Impatient d'améliorer les opérations maritimes, il a lancé la construction de la jetée Ouest le 1er février 1903 sans attendre l'autorisation officielle qui ne lui a été accordée que le 3 septembre 1912.

Pendant l'année 1912, M. Bourmancé-Say, le fils adoptif de Louis Say, a dirigé des essais de dragage pour prévenir l'ensablement et maintenir des fonds d'au moins 3 mètres. Ce port, situé à proximité de l'embouchure d'un fleuve très alluvionnaire, était destiné à l'ensablement. La France a également pris la décision de construire ses bases de pénétration dans l'Atlantique, ce qui a conduit à cet échec.

La construction d'un port commercial devant la plage de Port Say, ouverte à tous les vents, aurait été extrêmement difficile et aurait nécessité des travaux d'entretien extrêmement onéreux en raison de la faiblesse des fonds et de leur rapide ensablement par les apports constants de Moulaya et de l'oued Kiss. La mort de son fondateur a déclenché la condamnation de Port Say et l'espoir de devenir une station balnéaire a été éliminé (**Francis, 1915**).

La ville de Port Say devenue MARSA Ben M'Hidi à l'indépendance (**Brunschwig, 1962**).



Figure 1 : Port Say 1907. (Francis, 1915)

Selon un rapport de l'Administration des Travaux Publics de l'époque (1928), le port ouvert est à deux tiers ensablé et ses jetées ont été en partie détruites par les tempêtes. De 1928 à 1949, plusieurs plans d'un port de pêche à « port Say » ont été dessinés.

Le port de Marsat Ben M'hidi, situé dans l'extrême Ouest de la wilaya de Tlemcen, est confronté à ce problème depuis sa réception en 2009 et même bien avant, tout comme de nombreux autres ports algériens qui font face à des phénomènes similaires à des degrés différents, comme les ports de Boudis (Jijel), Salamandre (Mostaganem) et Cap Djenat (Boumerdès). Les résultats des principales missions d'études menées par le LCHF en 1974 dans le cadre de l'étude pour la création d'un port de plaisance à Marsat Ben M'hidi ont prouvé et confirmé cela. Cependant, la difficulté réside dans la vitesse de cette sédimentation qui, 3 à 4 ans après l'ouverture du port, la diminution des profondeurs, en particulier au niveau de la passe d'entrée, est devenue évidente, ce qui rend l'accès au port une mission extrêmement risquée et presque impossible à réaliser (LEM, 2017).

2.2. Ensablement des ports :

La sédimentation des ports maritimes (ensablement et envasement) est un phénomène naturel, fréquent et évidemment prévisible, surtout pour les ports situés en eaux peu profondes et/ou sur des cotes sableuses (LEM, 2017).

2.2.1. Causes de l'ensablement :

Tableau 1 : Les causes de l'ensablement

Sources naturelles	Sources anthropiques
<p>Apports fluviaux : Les rivières et les fleuves transportent des sédiments qui peuvent se déposer dans les ports.</p> <p>Dérive littorale : Le mouvement des vagues et des courants le long de la côte peut amener des sédiments vers les ports.</p> <p>Érosion des côtes : L'érosion des côtes peut également contribuer à l'ensablement des ports adjacents.</p>	<p>Activités de construction : Les travaux de construction dans les zones portuaires peuvent également générer des sédiments qui peuvent s'accumuler dans le port.</p> <p>Lieu de construction : Il est préférable de construire les ports dans des zones avec un faible transport sédimentaire (loin d'une rivière)</p> <p>Orientation et l'emplacement de la passe d'entrée : selon l'obliquité de la houle dominante, l'orientation de la basse d'entrée affecte le degré de l'ensablement.</p>

2.2.2. Conséquences de l'ensablement des ports :

- Réduction de la profondeur d'eau : L'accumulation de sédiments peut réduire la profondeur d'eau disponible dans le port, ce qui peut limiter la taille et le tirant d'eau des navires qui peuvent y accéder.
- Difficultés de navigation : La présence de sédiments dans le chenal d'accès et dans les bassins portuaires peut rendre la navigation plus difficile et dangereuse pour les navires.
- Coûts d'entretien : L'ensablement des ports nécessite des opérations de dragage régulières pour maintenir la profondeur d'eau nécessaire, ce qui représente un coût important pour les autorités portuaires.
- Accumulation des polluants : les sédiments déposés dans le fond du port sont généralement des sédiments fins, la capacité de l'adoption des polluants est inversement proportionnelle à la taille des grains de sable, donc on peut considérer que ces grains sont des porteurs des polluants.

2.2.3. Méthodes de lutte contre l'ensablement des ports :

- Dimensionnement : Bon choix de site et orientation de la passe d'entrée après consultation du diagnostic sédimentaire.
- Dragage : Le dragage est la méthode la plus courante pour lutter contre l'ensablement des ports. Il consiste à enlever les sédiments accumulés du fond du port par des engins spécialisés.
- Dignes et jetées : Extension des digues ou des jetées peuvent être construites pour empêcher les sédiments d'entrer dans le port, la construction de ces digues dépend d'une étude approfondie sur les houles et les vents.
- Gestion des bassins versants : La mise en place de mesures de gestion des bassins versants peut contribuer à réduire la quantité de sédiments transportés par les rivières et les fleuves vers les ports.

3. Contexte de l'étude :

3.1. Importance du site :

Il s'agit principalement d'un port de pêche. Il offre aux pêcheurs locaux la possibilité d'exercer leur activité et de fournir la région en produits marins. Le port de Marsa Ben Mhidi se trouve dans une station balnéaire très prisée par les touristes. Sa présence renforce l'activité touristique en proposant des sorties en mer et des activités nautiques.

Opportunité de croissance, des initiatives sont en cours afin de développer davantage le port et de le transformer en un point de départ maritime pour les produits de la région. Cela pourrait encourager l'économie de la région. Les ports maritimes sont des moteurs économiques de premier plan dans l'économie du pays (Ménard, 1965).

3.2. Problématique et cause de l'ensablement de ce port :

La houle dominante venant du nord-ouest orienté directement vers la passe d'entrée, semble charrie des sédiments, ce qui a causé l'accumulation de sable derrière le musoir de la jetée secondaire et puis dans le reste du bassin intérieur du port. La dérive littorale, transportent également des sédiments vers le port

3.3. Objectifs de l'étude :

- Comprendre les causes et les processus d'ensablement de ce port
- Evaluer les impacts potentiels de l'ensablement
- Proposer des solutions pour y remédier ou minimiser les impacts négatifs
- Déterminer les processus de transport

4. Localisation et choix de la zone d'intérêt :

Le port de Marsa Ben M'hidi se situe dans la wilaya de Tlemcen dans la commune qui porte le même nom du port qui se trouve dans l'extrême ouest de la cote Algérienne. La frontière entre l'Algérie et le Maroc est marquée par un petit ruisseau appelé oued KISS, dont l'embouchure se trouve à seulement 1,2 Km du port. Situé à une distance de 110 km au Nord-ouest de TLEMCEN (Rosso, 2021).

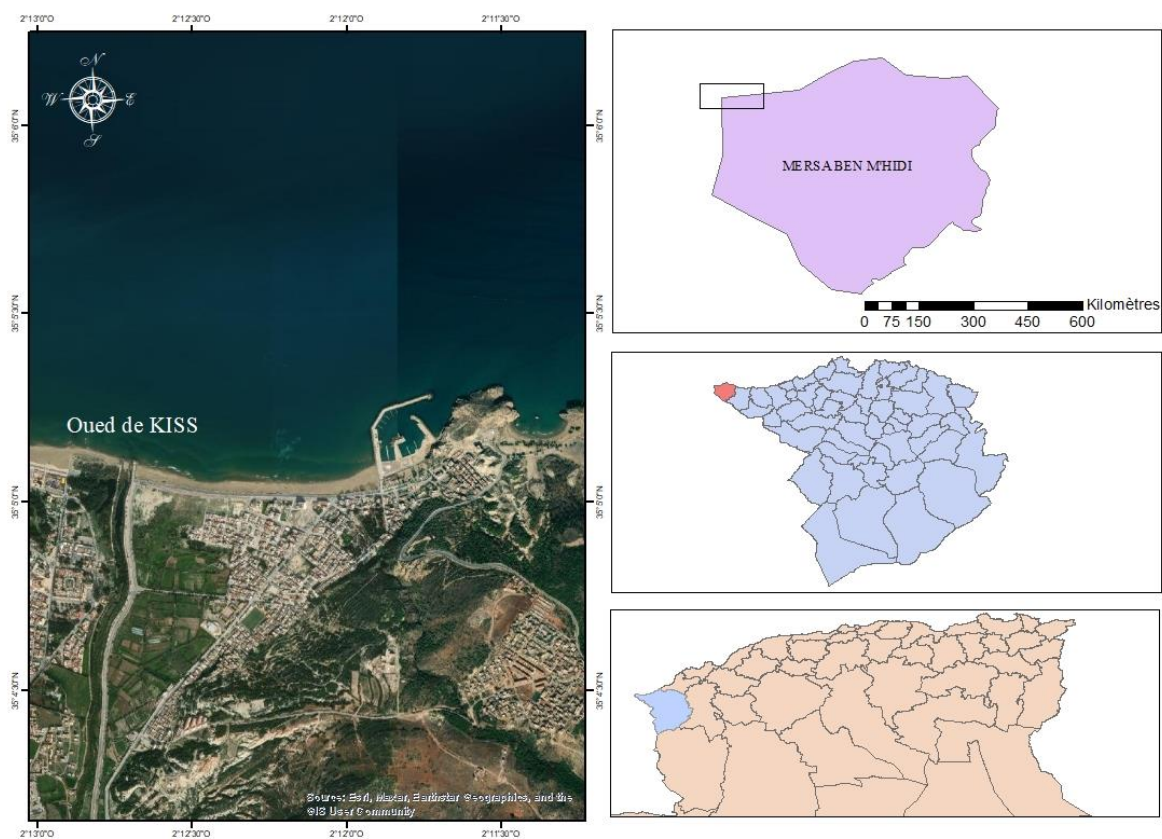


Figure 2 : Carte de position du port de MARSA Ben M'Hidi.

Tableau 2 : Les caractéristiques du port MARSA Ben M'Hidi (LEM, 2019).

Jetée principale	592 Ml
Jetée secondaire	157Ml
Plan d'eau	3,91 Hectares
Ouvrages d'accostage	485 Ml
Quais	332 Ml
Capacité d'accueil	194 unités (70 pêches et 124 plaisances)
Tirant d'eau	-2,5m et -4 m

4. L'hydrographie du site :

L'hydrographie est la discipline scientifique qui étudie les cours d'eau et les masses d'eau, tels que les océans, les mers, les lacs et les rivières (Dubois, 2020), elle est l'étude des eaux courantes ou stables d'un pays, (Schroder & Macris, 2004), en incluant les bassins versants et les oueds ainsi que l'identification des caractéristiques hydrologiques.

Un bassin versant est une zone géographique où toutes les eaux (pluie, cours d'eau...) s'écoulent par gravité vers un même point : l'exutoire. Le relief définit les bassins versants, avec les points les plus hauts formant la ligne de crête ou la ligne de partage des eaux. (Lang et al., 2015)

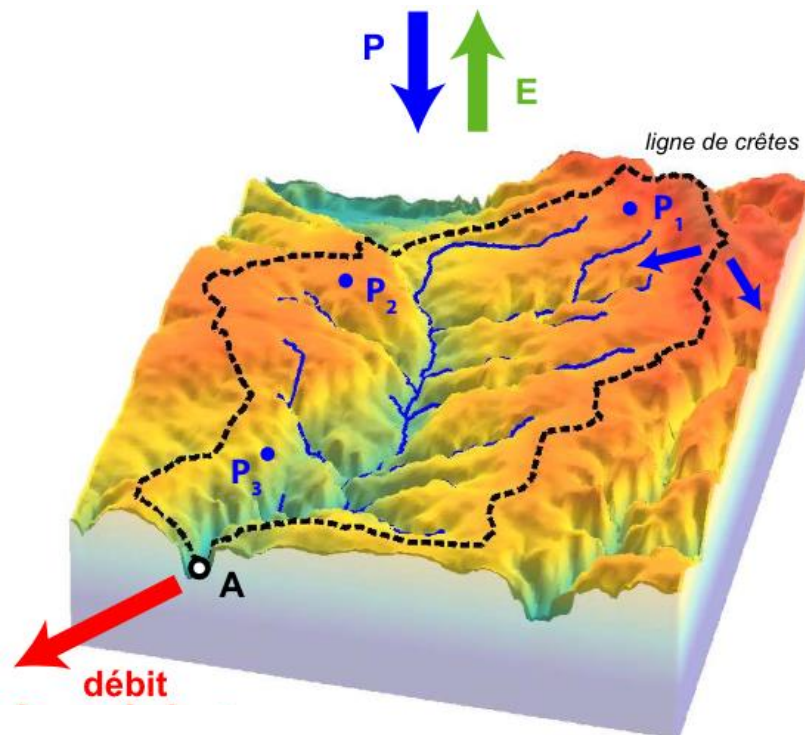


Figure 3 : Définition du système bassin versant. (Moine, 2008)

Le Nord de l'Afrique compte de nombreux bassins versants qui se jettent dans la mer Méditerranée. Ces bassins jouent un rôle important dans la dynamique hydrologique, leur étude permet de comprendre les flux des sédiments vers la mer. Parmi les plus importants, on trouve le bassin de Moulouya, Tafna, Chlef, Oued el kbir, Medjerda. (Figure 4) Le port de Marsa Ben M'hidi se situe entre les deux bassins, Moulouya et Tafna.

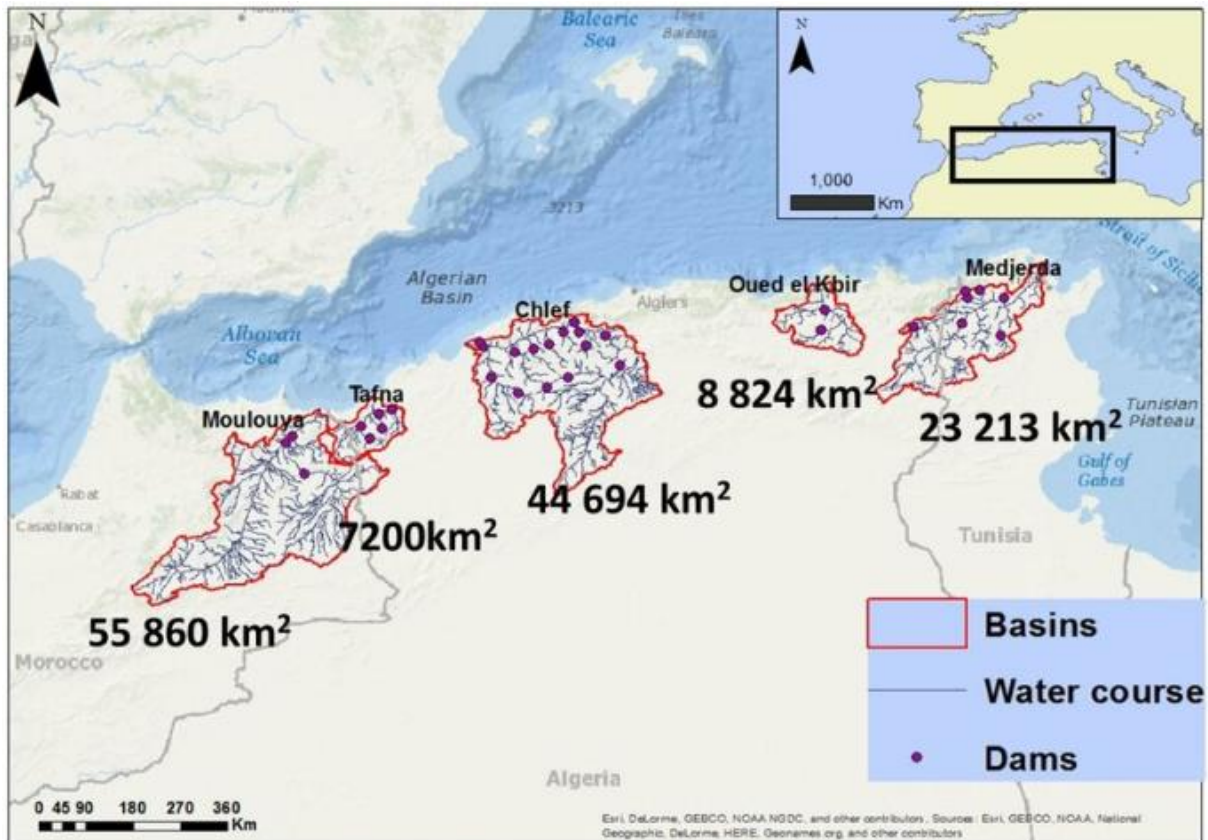


Figure 4 : Localisation des plus grands bassins côtiers de l’Afrique du nord et des barrages.
(Zettam, 2018)

4.1. Bassin versant de Tafna :

Le bassin hydrographique de la Tafna se trouve dans la région de l’Oranie en Algérie. Il s’étend sur 7 250 km² et sert de source d’eau à cinq barrages : Beni Bahdel, El-Meffrouch, Sidi Abdelli, Hammam Bouhrara et Sikkak. La Tafna traverse le bassin-versant par une cluse à Hajret el Guet, ce qui entraîne des formes de relief variées et contrastées en raison de la structure géologique plus complexe. (Perrodon, 1957), la distance entre l’embouchure de ce oued et le port de Marsa Ben M’hidi est environ 80,1 km.

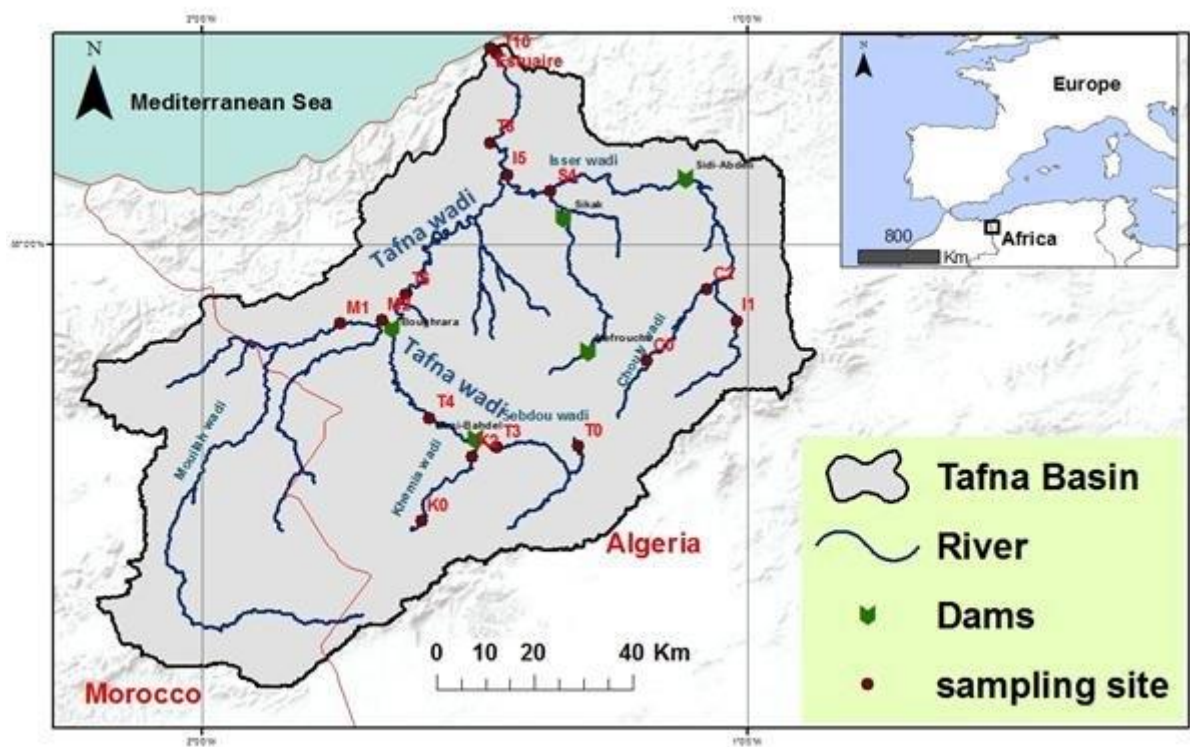


Figure 5 : Localisation du bassin versant de la Tafna, ses barrages et les stations de prélèvements. (Zettam et al., 2017)

4.2. Bassin versant de Moulouya :

L'embouchure du plus grand fleuve du Nord du Maroc, Cette embouchure étroite n'est ni un estuaire ni un delta. (Bouabdallah & Larue, 2009)

L'oued de Moulouya présente un débit très variable. Entre 1980 et 1995, le débit moyen annuel enregistré était 5,68 m³/s. le débit minimum mesuré était de 4,68 m³/s en 1984 et la valeur maximale était de 7,65 m³/s en 1993. (Boumeaza et al., 2010), la distance entre le oued de Moulouya et le port de Marsa Ben M'hidi est de 13,9 km

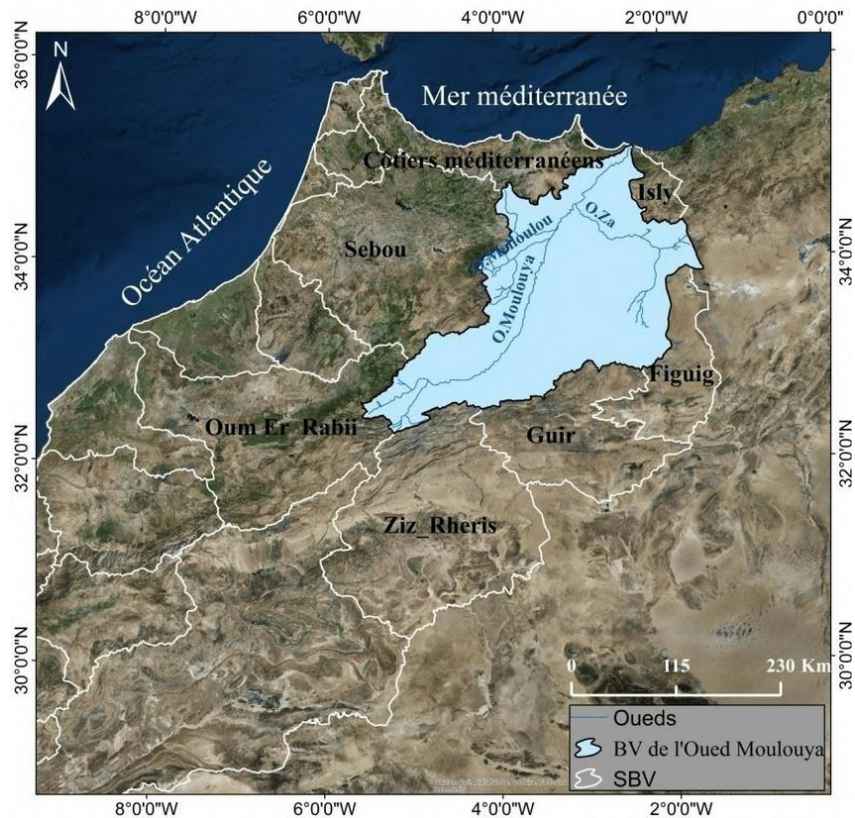


Figure 6 : Le bassin versant de la Moulouya. (Talhoui et al., 2020)

4.3. Oued de Kiss :

L'oued a un débit très variable, alternant entre des périodes de crues torrentielles après les pluies rares et intenses, et des périodes d'assèchement complet, le lit de l'oued est généralement sec, visible comme une dépression allongée dans le paysage. (Ballais, 2010)

L'Oued Kiss est un fleuve situé sur la frontière entre le Maroc et l'Algérie, passant par les deux villes frontières Ahfir (Maroc) et Marsa Ben M'hidi en Algérie. Il a une longueur de 275 km. (Bouabdallah, 2008), la distance entre le port et l'oued est 1,19 km.

Tableau 3 : Les caractéristiques d'Oued Kiss.

Surface	278 km ²
Altitude moyenne	350 m
Débits solides moyens annuels	15 millions de m ³
Matériaux enlevés chaque année	83400 T
Bassin	60000m ³ /an

5. La morphologie et géologie du site :

L'étude géomorphologique est une analyse scientifique qui vise à comprendre les formes du relief terrestre. Elle s'intéresse à la fois aux formes du relief (montagnes, vallées, plaines, etc.). (Coque, 1998a)

5.1. La morphologie du site :

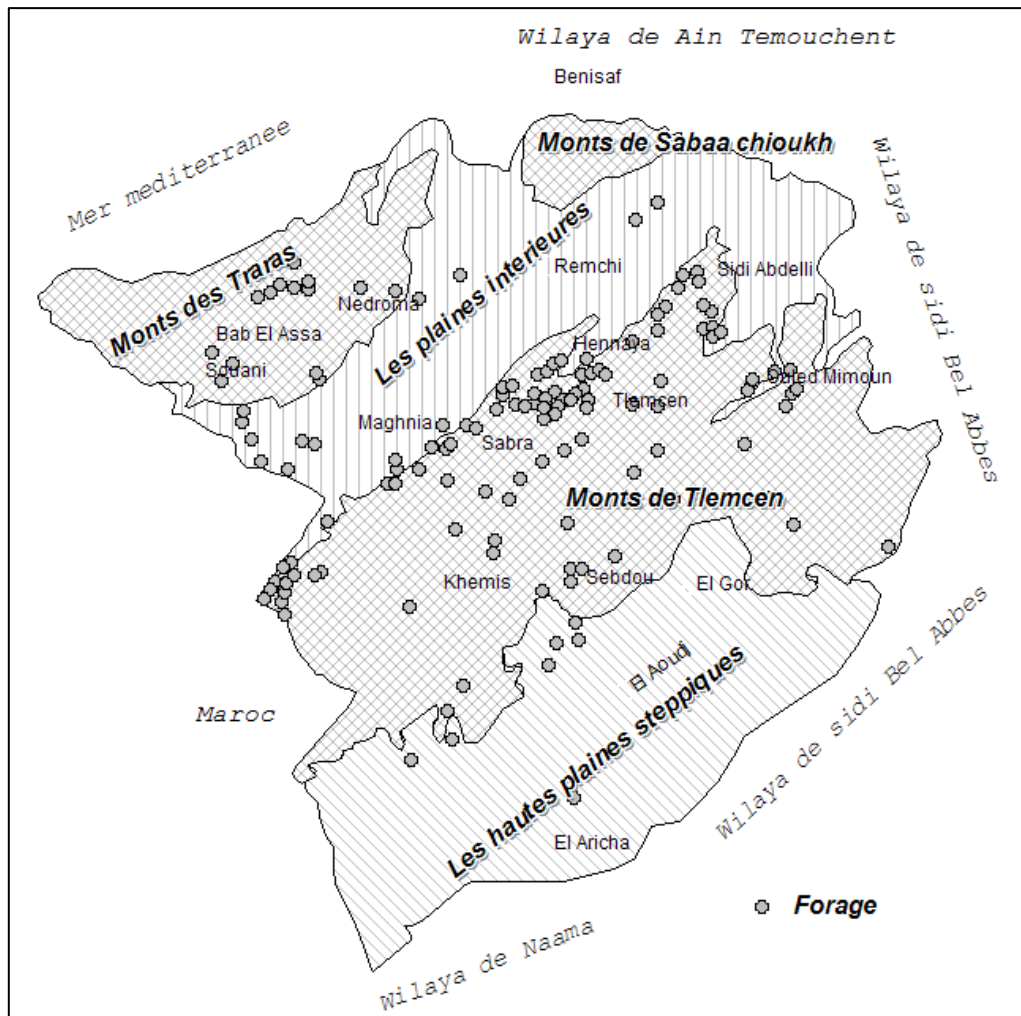


Figure 7 : La morphologie de la wilaya de Tlemcen. (Nadia et al., 2014)

5.1.1. Les chaînes des Traras :

La chaîne côtière des Monts des Traras se trouve dans la partie occidentale de l'Atlas tellien. Le massif forme un arc montagneux entre la mer Méditerranée au Nord, la vallée de L'oued Tafna à l'Est, l'oued Mouilah au Sud et la vallée de l'oued Kiss à l'Ouest. Le massif des Béni Snassene se prolonge dans la partie orientale du Maroc. Il couvre entièrement la partie nord de la wilaya de Tlemcen et la partie nord-ouest de la wilaya d'Aïn Témouchent. Il s'étend sur 92 kilomètres

et a une largeur de 20 à 30 kilomètres, s'étendant sur une superficie de 12 800 hectares. (Abane & Abba, 2022)

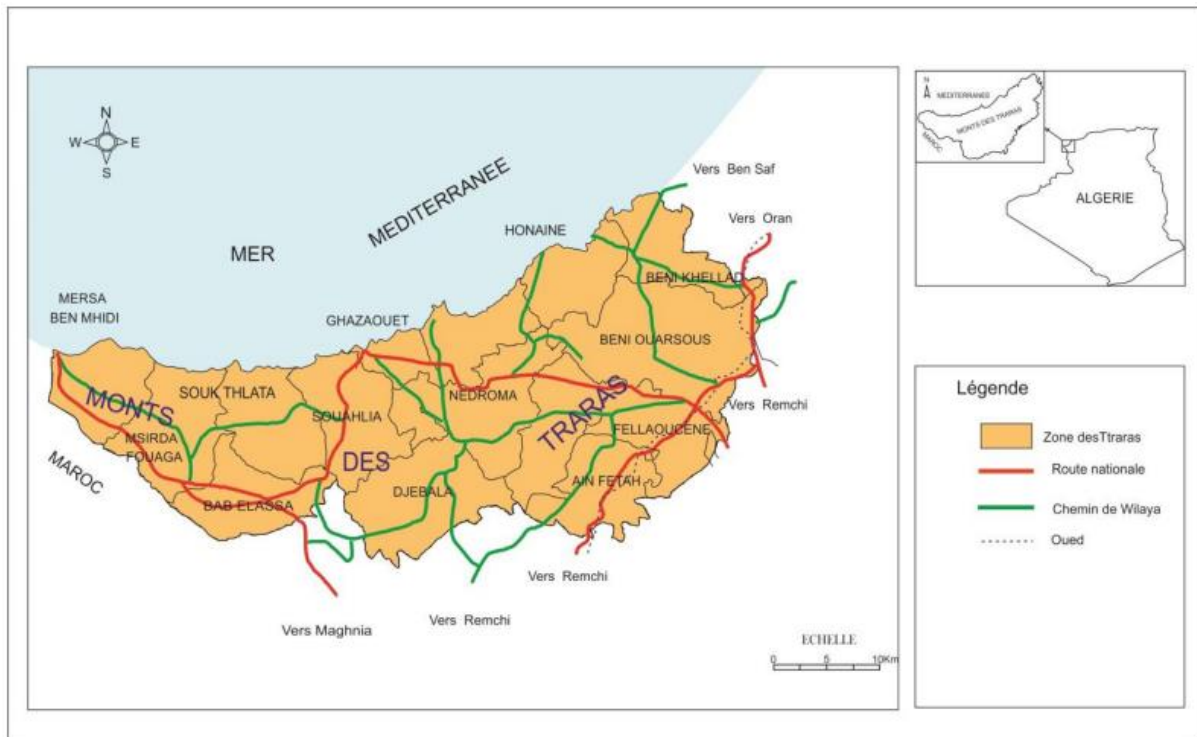


Figure 8 : Vue générale sur localisation des Monts des Traras. (Nouad & Merzoug, 2017)

5.1.2. Les monts de Sabaa Chioukh :

Avec des roches datant du Crétacé et du Tertiaire, les monts de Tlemcen se distinguent par leur diversité géologique. La chaîne de montagnes calcaires s'étend du Sud vers l'Ouest et du Nord vers l'Est, avec des montagnes telles que le Dar Cheikh 1616 m, le Tenouchfi 1843 m, le Kenouch 1526 m, le mont Rass Asfour 1502 m, le mont Ouragla 1717 m et le mont Nador 1579 m. Ces monts forment une barrière naturelle entre les hautes plaines steppiques et le Tell et font partie de la grande chaîne de l'Atlas tellien qui traverse l'Algérie d'Est en Ouest. Les montagnes de Sebaa Chioukh font partie de la chaîne de montagnes intérieures de Tellian. (Meghraoui et al., 2017)

5.1.3. Les monts de Tlemcen :

Les montagnes de Tlemcen se distinguent par leur variété géologique, avec des formations géologiques datant du Crétacé et du Tertiaire. Les massifs calcaires se situent du Sud à l'Ouest et du Nord à l'Est, avec des montagnes comme le Dar Cheikh 1616 m, le Tenouchfi 1843 m, le Kenouch 1526 m, le mont Rass Asfour 1502 m, le mont Ouragla 1717 m et le mont Nador 1579 m. Ces monts constituent une barrière naturelle entre les plaines steppiques hautes et le Tell et

font partie de la grande chaîne de l'Atlas tellien qui traverse l'Algérie d'Est en Ouest. (Bensaoula, 2007)

5.1.4. Les plaines intérieures :

Situées dans la wilaya de Tlemcen, au Nord-Ouest de l'Algérie, les plaines intérieures de Tlemcen se trouvent. Ces plaines occupent une vaste dépression drainée par les oueds Tafna et Isser, faisant partie de la région. Elles s'étendent de Maghnia à Sidi Abdelli et ont une forte inclination vers l'agriculture.

6. La géologie générale de la wilaya de Tlemcen :

Cela permet de comprendre la composition géologique du terrain et ses propriétés mécaniques, telles que sa résistance à la compression, sa perméabilité et sa sensibilité aux mouvements de sol.

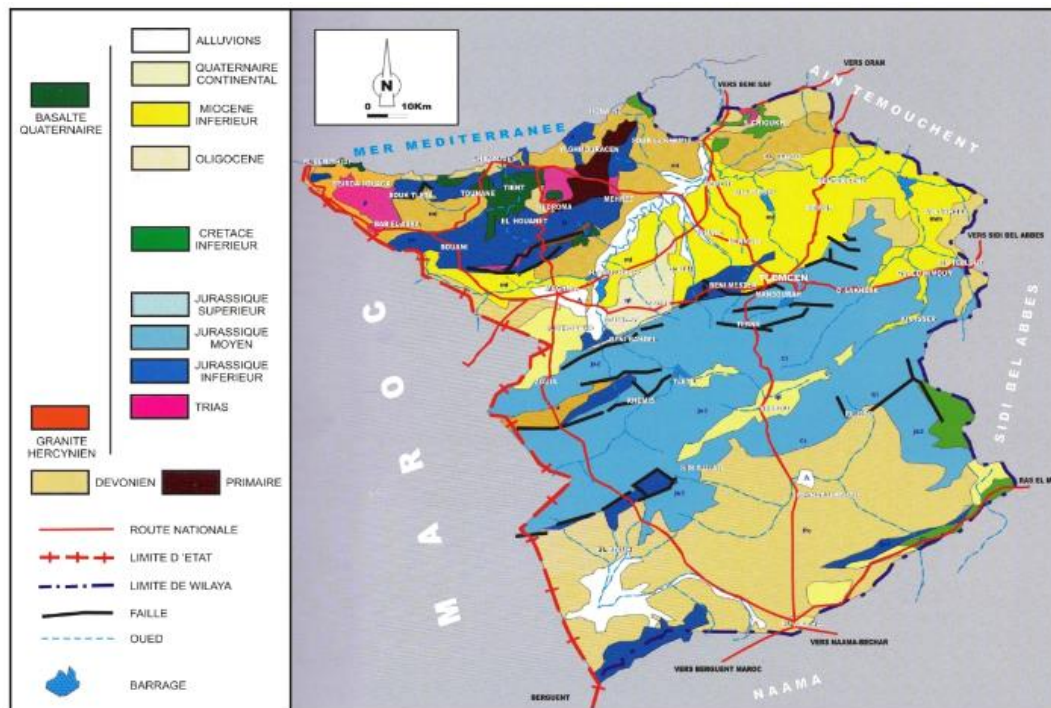


Figure 9 : La carte géologique de Tlemcen. (Hammouda, 2011)

La wilaya de Tlemcen (Nord-Ouest de l'Algérie) présente une complexité géologique occupe un espace situé au Nord d'une remarquable ligne structurale (accident sud atlasique) avec des formations allant du Quaternaire récent aux terrains primaires, incluant divers âges du Jurassique et du Trias. Les roches les plus anciennes (d'âge ordovicien) sont rencontrées dans les Monts des Traras et dans les Monts de Tlemcen (Ghar Roubane). La présence de failles suggère une activité tectonique qui a influencé la géologie de la région. (Abane & Abba, 2022)

7. Etude climatique :

Les caractéristiques climatiques comprennent une variété d'éléments météorologiques qui déterminent le climat d'une région donnée. La température, les précipitations, l'éclairement, la pression atmosphérique et le vent font partie de ces caractéristiques. **(Rome & Giorgetti, 2007)**. Le climat est l'ensemble de ces conditions météorologiques qui caractérisent l'atmosphère en un lieu spécifique. Les caractéristiques climatiques peuvent varier en fonction de la latitude, de l'altitude, de la proximité des océans et des mers, de la forme du relief, de l'exposition au soleil et de la couverture végétale, entre autres facteurs, la température d'un lieu dépend de sa position sur terre.

Le vent qui est un déplacement d'air qui se forme lorsque l'air d'une zone de haute pression se déplace vers une zone de basse pression, la différence de pression est la conséquence d'un réchauffement ou d'un refroidissement différencié de l'air, il s'agit d'un déplacement sur de grandes distances, la rotation de la terre joue aussi un rôle (force de Coriolis). **(Delecluse, 2011)** La région de l'étude est caractérisée par un climat méditerranéen classique marqué par une sécheresse estivale, des hivers doux, un ciel lumineux et dégagé. Pendant les mois d'été, les précipitations deviennent rares, voire inexistantes, et le ciel est lumineux et dégagé. L'anticyclone subtropical recouvre la région pendant près de quatre mois. En revanche, la région est bien arrosée pendant l'hiver. Les faibles précipitations et leur fréquence sont aussi caractéristiques de ce climat, plus sec que le reste du Nord Algérien. **(Yourid, 2016)**, Le site : <https://www.historique-meteo.net/> qui sera utilisé pour l'acquisition des données météorologiques historiques depuis 2009, un historique de 10 ans sera suffisant de cette étude.

1.1. Les précipitations :

Dans le contexte climatique, la précipitation fait référence à toutes les formes d'eau qui tombent à la surface de la terre, qu'elles soient liquides (pluie, bruine, rosée) ou solides (neige, grêle, grésil). **(Beltrando, 2011)**. La condensation de la vapeur d'eau atmosphérique est indispensable pour la formation des précipitations, elle est exprimée en millimètres. (F. P. Miller et al., 2010)

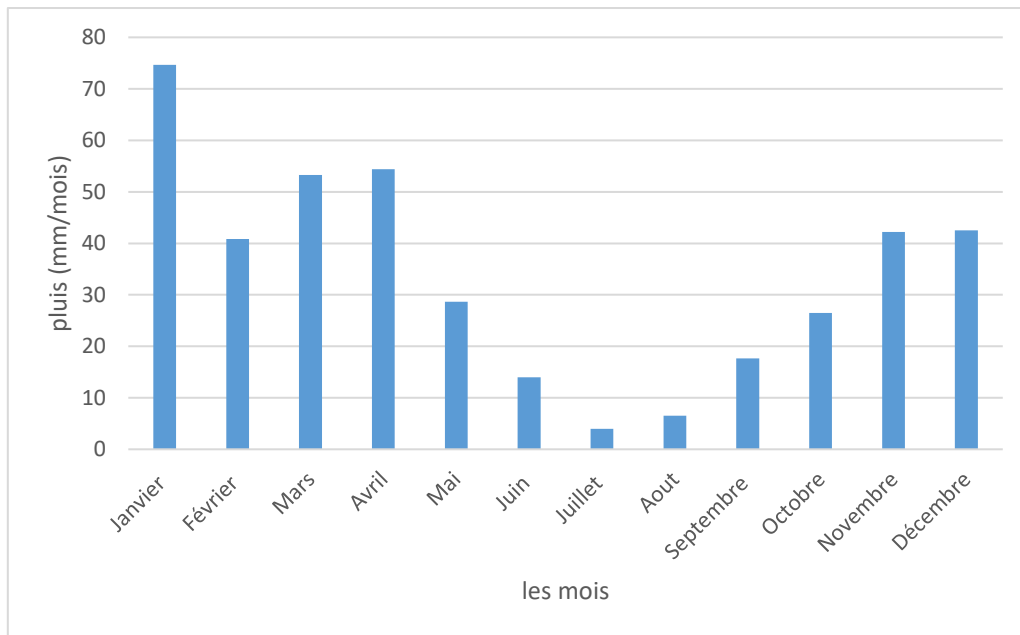


Figure 10 : Diagramme représentant les variations des moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Tlemcen.

1.1.1. Interprétation des variations mensuelles des précipitations :

Le graphique présente la variation des précipitations moyennes mensuelles dans la région de Tlemcen. L'axe des abscisses représente les mois de l'année, tandis que l'axe des ordonnées représente les précipitations en millimètres par mois.

Les précipitations moyennes mensuelles varient considérablement tout au long de l'année. Les mois les plus pluvieux sont décembre et janvier, avec des précipitations moyennes de plus de 70 mm par mois. Les mois les plus secs sont juillet et août, avec des précipitations moyennes de moins de 20 mm par mois.

On peut observer deux saisons distinctes dans la région de Tlemcen :

- Une saison humide qui s'étend de novembre à avril, avec des précipitations moyennes mensuelles supérieures à 40 mm
- Une saison sèche qui s'étend de mai à octobre, avec des précipitations moyennes mensuelles inférieures à 40 mm

Le graphique montre que la région de Tlemcen a un climat méditerranéen, caractérisé par des hivers humides et des étés secs.

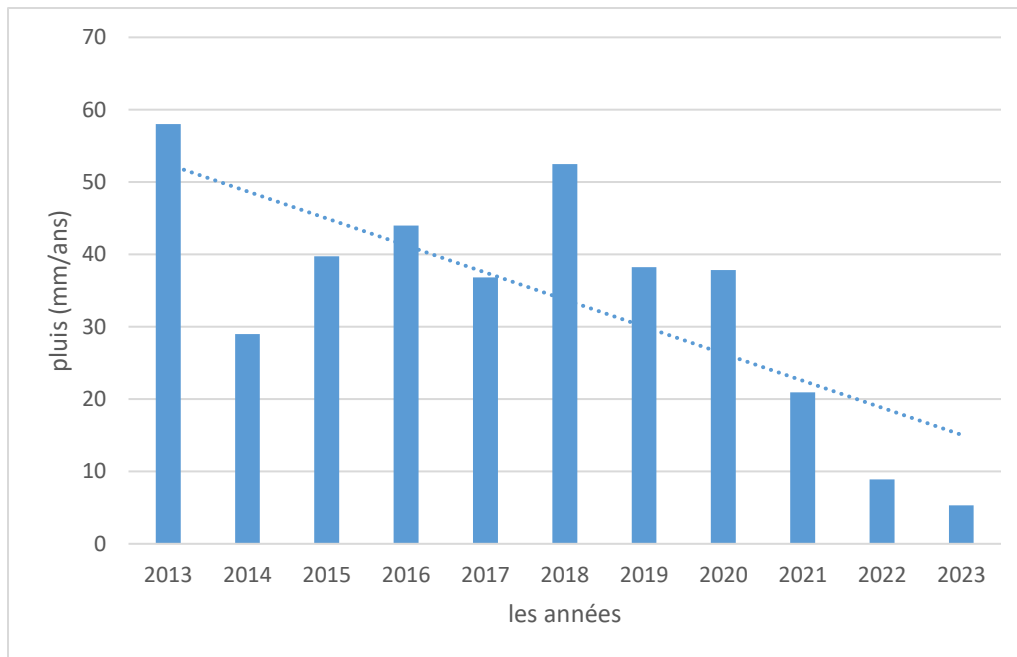


Figure 11 : Diagramme représentant les variations des moyennes annuelles des précipitations dans la région de Tlemcen.

1.1.2. Interprétation des variations annuelles des précipitations :

Le graphique présente les variations des précipitations moyennes annuelles dans la région de Tlemcen sur une période de dix ans, de 2013 à 2023. L'axe des abscisses représente les années, tandis que l'axe des ordonnées représente les précipitations en millimètres par an.

Les précipitations moyennes annuelles varient considérablement d'une année à l'autre. L'année la plus pluvieuse est 2013, avec des précipitations moyennes annuelles de plus de 50 mm

L'année la plus sèche est 2023, avec des précipitations moyennes annuelles de moins de 6 mm

On peut observer une tendance générale à la diminution des précipitations au cours de la période étudiée. Cette tendance est particulièrement marquée entre 2018 et 2023.

Le graphique montre que la région de Tlemcen connaît actuellement une période de sécheresse.

1.1.3. Résultats :

Marsa Ben M'Hidi bénéficie d'un climat méditerranéen semi-aride, caractérisé par des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. Les précipitations annuelles moyennes sont généralement comprises entre 300 et 400 mm, avec une forte concentration pendant les mois d'hiver. Il y a aussi une période de sécheresse dans les dernières années (2021-2023).

1.2. Le vent :

Le vent est le déplacement de la masse d'air de la haute pression vers la basse pression. (Malardel, 2008), et pour étudier ce paramètre on va utiliser les roses des vents.

La rose des vents est une représentation graphique de la direction du vent et de la répartition de la vitesse sur une période de temps. Il montre la fréquence du vent provenant de différentes directions et la force du vent dans ces directions. Les roses des vents sont des outils essentiels pour analyser la configuration des vents dans une zone spécifique, fournissant des informations cruciales sur la direction du vent dominant, la fréquence du vent provenant de différentes directions et la répartition de la vitesse du vent. (Ahrens & Henson, 2018)

Pour étudier le vent dans notre zone d'étude on va utiliser le site espagnol : www.puertos.es, c'est un site qui fournit des informations sur le système portuaire espagnol géré par Puertos del Estado qui est un organisme public, il couvre les zones (voir la figure 14), il nous donne l'accès aux informations historiques, actuelles et des prévisions : vagues, vent, température, courants, salinité, niveau de la mer, agitation des ports et pression de l'air.

Ces informations provenant de différentes sources telles que les réseaux de mesure de Puertos del Estado, les résultats de modèles numériques et d'analyses statistiques, ils sont aussi générés dans les départements de cet organisme et d'autres ont été obtenus par achat ou par échange d'informations avec différents instituts.



Figure 12 : Les zones concernées par le Puertos del Estado. (www.puertos.es)

1.2.1. L'échelle de Beaufort :

L'échelle du vent de Beaufort et sa version marine 1805.(Meaden et al., 2007), cette échelle est un système international utilisé pour classer la vitesse du vent en fonction de ses effets observables sur l'état de la mer et l'environnement. Conçu à l'origine en 1805 par Francis Beaufort, il attribue un numéro de force du vent (0 à 12) aux différentes vitesses du vent et à leurs effets correspondants.(Sleight & Ainslie, 2021)

Tableau 4 : L'échelle de beaufort

Beaufort	Description	Nœuds		Km/h		Vagues (m)	
		De	à	De	à	De	à
0	Calme	0		0		0.0	
1	Très légère brise	1	3	1	5	0.1	
2	Légère brise	4	6	6	11	0.2	0.5
3	Petite brise	7	10	12	19	0.6	0.9
4	Jolie brise	11	16	20	28	1	1.5
5	Bonne brise	17	21	29	38	2	2.5
6	Vent frais	22	27	39	49	3	4
7	Grand frais	28	33	50	61	4	5.5
8	Coup de vent	34	40	62	74	5.5	7
9	Fort coup de vent	41	47	75	88	7.5	10
10	Tempête	48	55	89	102	10	12.5
11	Violente tempête	56	63	103	117	12.5	14
12	Ouragan	64	>	118	>	16	>

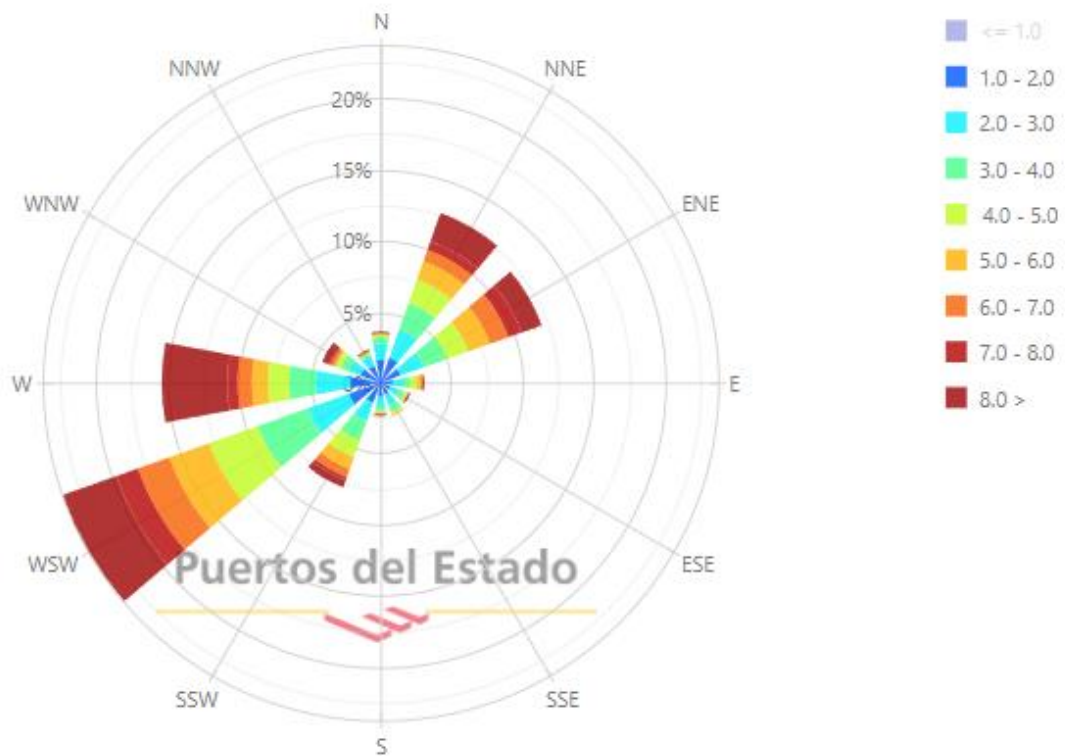


Figure 13 : Rose des vents (m/s) annuelle années 2013-2023

1.2.2. Interprétation de la rose des vents annuelle :

La rose montre que la direction du vent dominant vient de l'ouest sud-ouest, avec des vents de cette direction se produisant 23 % du temps avec une intensité de plus de 8 nœuds. Cela est probablement dû à l'influence des alizés, qui sont des vents qui soufflent sur l'océan Atlantique tropical. La deuxième direction de vent la plus courante vient d'ouest, les vents provenant de cette direction se produisant dans 15 % du temps. La vitesse du vent se situe généralement entre 3 et 4 nœuds, avec un maximum qui atteignant 8 nœuds.

Donc selon l'échelle de Beaufort, le maximum dans cette région est classé dans la case de la force N°3 : Petite brise, veut dire de petites ondulations se forment sur l'eau, les feuilles et les brindilles sont en mouvement constant.

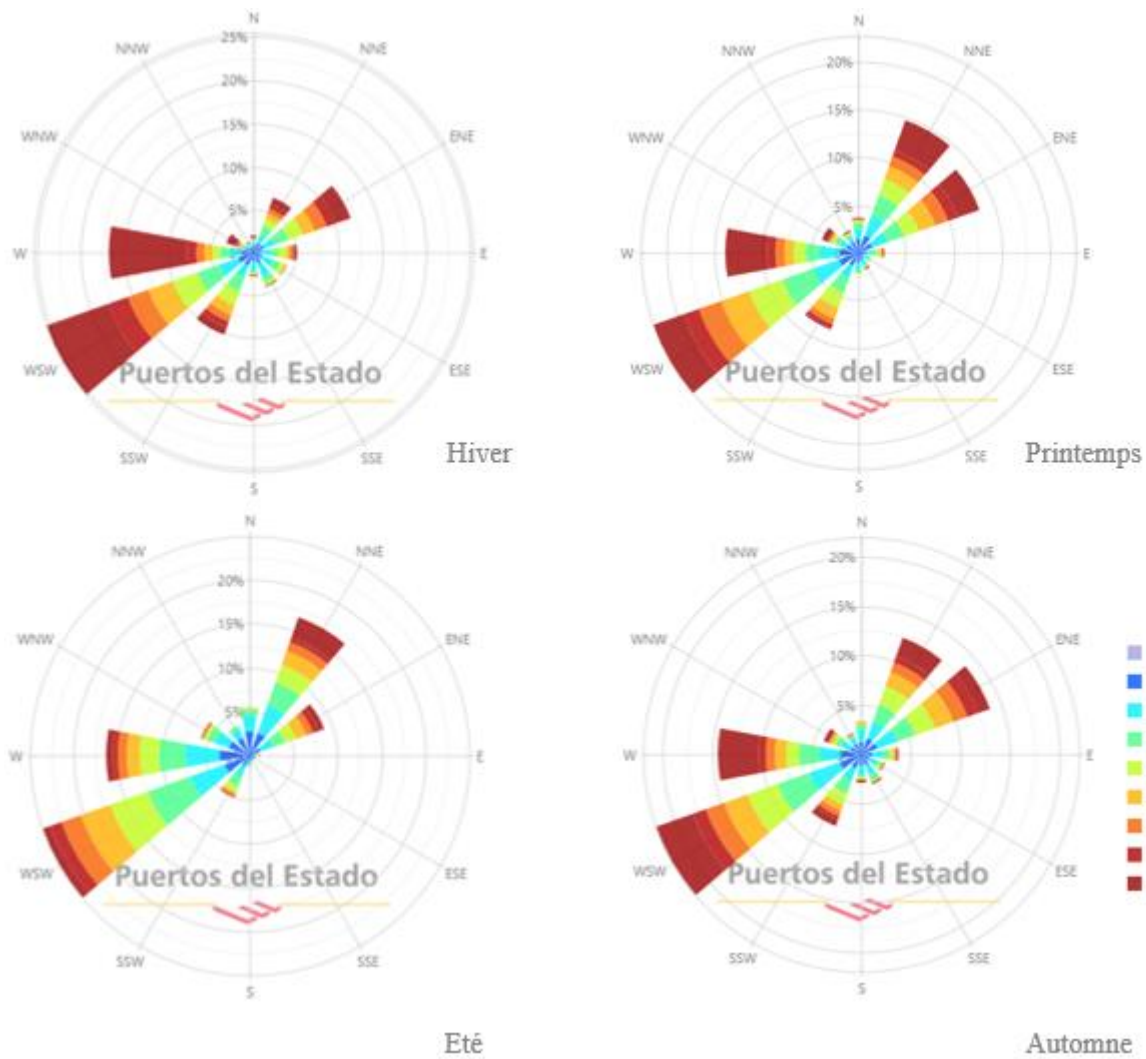


Figure 14 : Les roses des vents saisonnières 2013-2023

1.2.3. Interprétation des roses des vents saisonnières :

Les roses sont caractérisées par des vents dominants d'ouest sud-ouest, les vents venant de cette direction se produisant plus fréquemment en toutes saisons, cela est probablement dû à la plus forte influence des alizés pendant ces saisons.

La vitesse du vent est généralement modérée, avec des vitesses moyennes comprises entre 4 et 5 nœuds. Des rafales allant jusqu'à 8 nœuds sont possibles, mais elles sont relativement rares. Selon Beaufort l'intensité de vent dans la zone d'étude est comprise entre 0 et 3, le maximum est au force N°3 : petite brise.

8. L'état océanographique général :

L'océanographie est une discipline qui se penche sur les phénomènes océaniques tels que les courants, les vagues et les marées, qui peuvent avoir un impact sur l'ensablement des zones côtières.

8.1. Les marées :

Les marées sont le résultat de l'attraction gravitationnelle de la Lune et du Soleil sur la Terre. Elles se caractérisent par une montée et une descente périodique créant des variations dans le niveau de la mer. La rotation de la Terre et la forme des côtes influencent également les marées. (Guéry, 2018) Sur la côte et surtout sur l'estran, la marée est plus faible et les courants qu'elle produit sont assez faibles. (SALEM CHÉRIF, 2023)

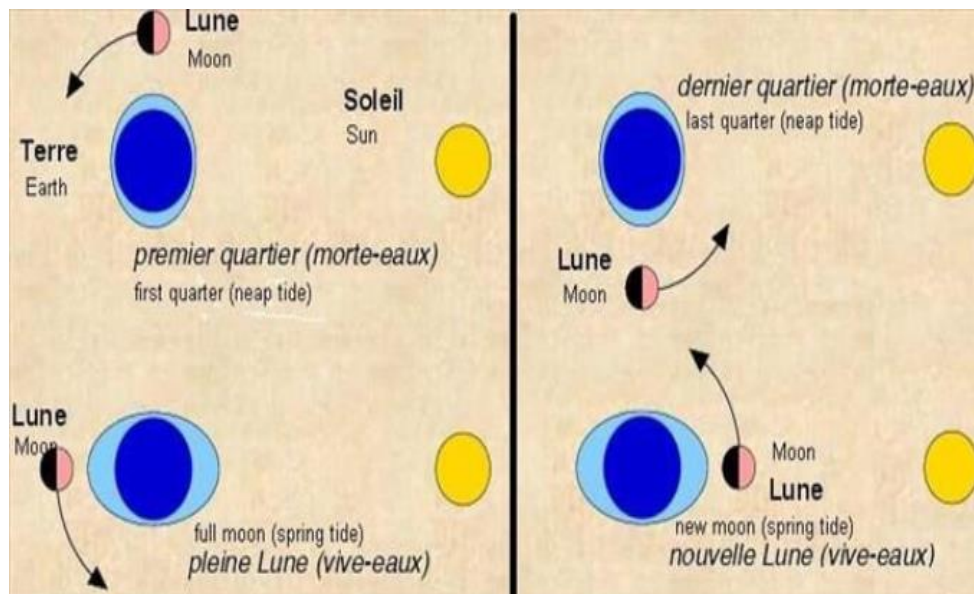


Figure 15 : Explication du phénomène de mortes eaux/vives eaux en lien avec la position de la lune et du soleil par rapport à la terre. (Fakhri, 2020)

Par définition, l'estran correspond à la zone qui est soumise au mouvement quotidien de la marée. La hauteur maximale atteinte par la pleine mer de vives-eaux (pmve) est sa limite supérieure, tandis que la hauteur minimale atteinte lors de la basse mer de vives-eaux (bmve) est sa limite inférieure. Le marnage désigne la hauteur d'eau qui sépare ces deux limites et varie chaque jour pour atteindre son maximum lors des marées de vives-eaux et son minimum lors des marées de mortes-eaux. (Troude & Sérodes, 1990)

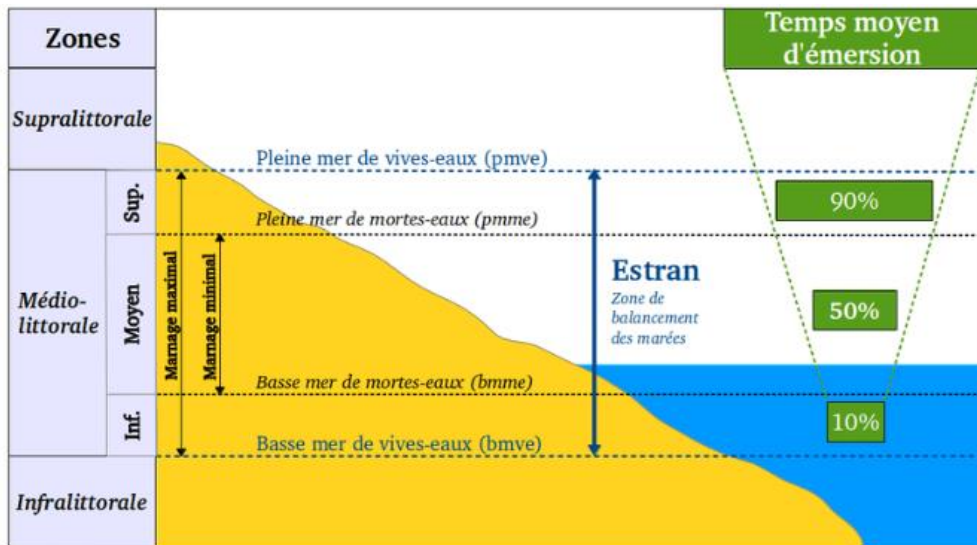


Figure 16 : L'estran ou zone de balancement des marées. Le marnage est défini entre la pleine mer de vives-eaux (pmve) et la basse mer de vives-eaux (bmve). (Péden, 2016)

La Méditerranée est une mer microtidale, ce qui implique une faible amplitude des marées. (Hervé, 2023a). Généralement inférieure à 1 mètre. Son bassin est fermé et relativement étroit, avec une largeur équivalente à la longueur d'onde des marées. Cela restreint l'extension du phénomène. L'étroitesse du plateau continental méditerranéen par rapport aux côtes atlantiques empêche une forte amplification des marées près des côtes. (Zerrouki & Hemdane, 2022)

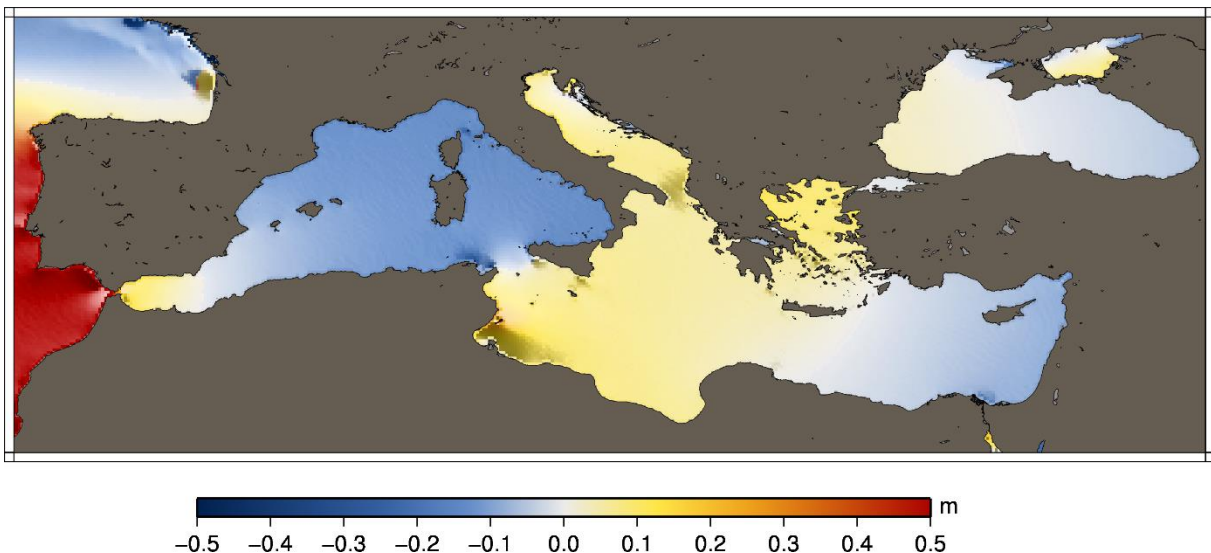


Figure 17 : Amplitude de la marée mer méditerranée. (CNES/CLS, 2013)

8.2. Les courants :

La mer méditerranée est alimentée principalement par l'océan atlantique. (Schroeder et al., 2012)

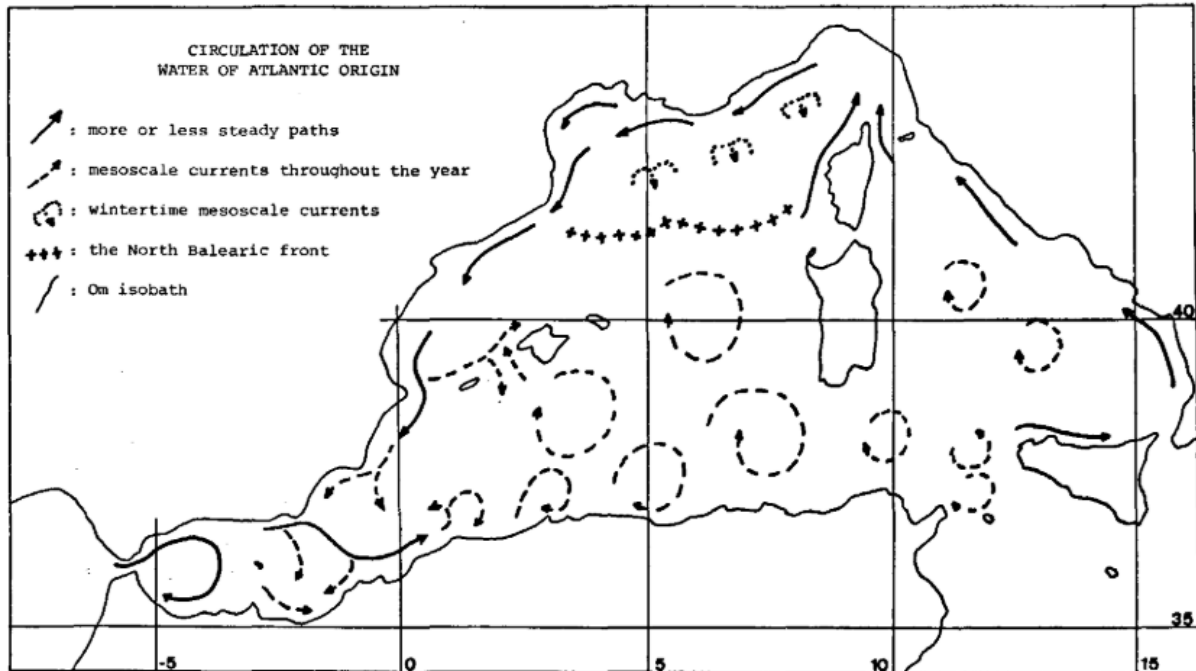


Figure 18 : Circulation de l'eau d'origine atlantique. (Millot, 1989)

Chapitre 02 : Evolution de trait de cote

1. Introduction :

L'évaluation du trait de côte est une pratique essentielle pour comprendre l'évolution des zones côtières et les risques associés à l'érosion ou l'ensablement. (Salomon & Pellegrin, 1995). Cette évaluation implique l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG) tels qu'ArcGIS pour cartographier et analyser les changements du trait de côte au fil du temps. Les études cartographiques et statistiques permettent de calculer les taux de variation historique du trait de côte, en utilisant des outils comme le Digital Shoreline Analysis System (DSAS) pour une analyse précise. L'analyse spatiale des données recueillies sur le trait de côte peut fournir des informations cruciales sur les tendances d'érosion ou d'accrétion, aidant ainsi à prendre des décisions éclairées en matière de gestion côtière et de prévention des risques. (Oyedotun, 2014)

L'évolution du trait de côte et l'ensablement sont des phénomènes étroitement liés dans le contexte de la dynamique côtière. L'évolution du trait de côte est influencée par divers processus naturels et anthropiques, tandis que l'ensablement fait référence à l'accumulation de sédiments le long des côtes. Les actions humaines telles que la construction de barrages, l'extraction de matériaux, ou les aménagements comme les ports, les épis et les brise lame front de mer peuvent perturber l'équilibre naturel du transport littoral, contribuant ainsi à l'érosion du trait de côte et à l'ensablement. (Ahmed, 2012)

2. Méthodologie de l'étude de l'évolution de trait de cote

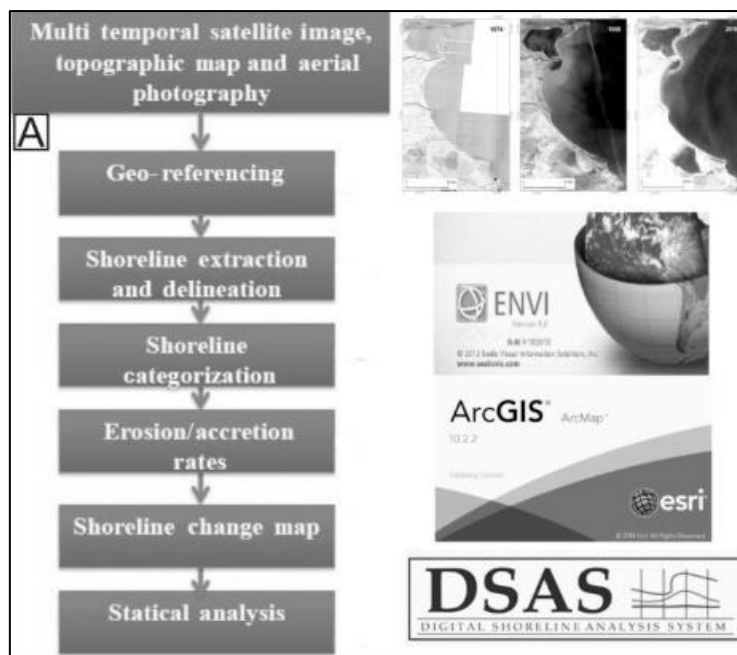


Figure 19 : Diagramme des étapes de travail de l'étude d'évaluation des traits de cote. (AMROUNI, 2020)

2.1. Collecte des données :

D’abord pour acquérir les données nécessaires pour faire cette étude, on a utilisé Google Earth pro pour digitaliser les traits de côte, on a choisi les images de bonne qualité et qui sont prise dans la même saison (dans notre cas la saison automnale) pour avoir des résultats correct, sachant que le niveau de la mer change durant l’année selon la saison ainsi que le trait de côte, donc il est recommandé de choisir une seule saison :

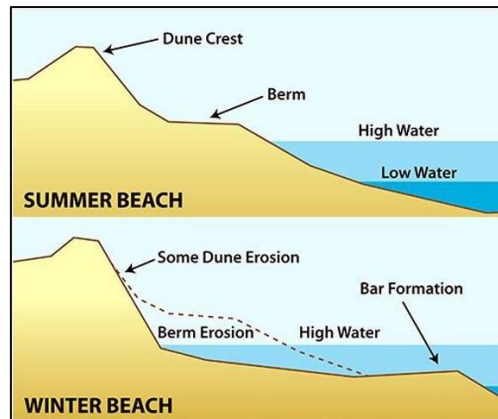


Figure 20 : Profils des plages sableuses pour la saison estivale (haut) et hivernale (bas). (Biausque, 2018)

2.2. Digitalisation et manipulation :

On a choisi de digitaliser 8 traits de cote selon la saison automnale :

Tableau 5 : Le choix des traits de cotes

	1	2	3	4	5	6	7	8
Date	10/2004	11/2013	11/2015	9/2017	9/2018	11/2021	10/2022	10/2023

Après la digitalisation des traits de cote on va enregistrer le fichier sous le format KML, et on va le convertir vers un Shape file pour avoir la possibilité de l’introduire dans le logiciel ArcGIS.

2.3. Google Earth pro :

Google Earth est un logiciel de géocartographie a été développé en 2001 sous le nom de «EarthViewer» par Keyhole Inc. et est maintenant détenu par Google depuis 2004. Il s'agit d'une carte virtuelle qui offre la possibilité de visualiser l'intégralité de la surface de la Terre avec une précision variable en fonction du lieu géographique, en utilisant des images satellites et des photographies aériennes. Le programme emploie plus de deux milliards d'images. Google Earth propose une visualisation en 3D de différents endroits (principalement des villes), une fonction

Timelapse et plusieurs autres fonctionnalités de cartographie et d'exploration.(Ariyadi & Kurniawan, 2020)

2.4. ArcGis :

ArcGIS est un système complet de gestion de l'information géographique (SIG) développé par la société ESRI. (Yang, 2017). Il permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques. Parmi les fonctionnalités de ce logiciel la visualisation et l'analyser des données géographiques et spatiales, il aide aussi à la gestion des données géographiques.(Price, 2022)

2.5. L'extension DSAS :

DSAS (Digital Shore line Analysis System) est un plugin développé par l'USGS (United States Geological Survey) disponible gratuitement qui fonctionne au sein du logiciel de Système d'information géographique Arc GIS d'ESRI (Environmental Systems Research Institute), Il calcule les statistiques de taux de changement pour une série chronologique de données vectorielles de trait de côte, Cet outil a été utilisé dans différentes études de mesure et suivi de la dynamique du trait de côte à travers le monde. (Himmelstoss et al., 2021). Pour quantifier les changements de position des différents traits de côtes ainsi obtenus, nous préconisons l'utilisation d'un module dénommé The Digital Shoreline Analysis System. (Thieler et al., 2009)



Figure 21 : Les principaux outils de DSAS

Les principaux outils de la barre d'outils du DSAS sont présentés dans la Figure 03, qui se présente de la manière suivante :

1. Sélectionner / Changer les paramètres : permet de déterminer les noms des fichiers à utiliser (vecteur traits de côte et ligne de base), ainsi que les options de sortie output.
2. Transects Cast : crée une nouvelle catégorie d'objets pour des transects en se basant sur les paramètres par défaut définis par l'utilisateur.

3. Le menu déroulant : liste tous les fichiers de transect identifiés qui ont été ajoutés au projet ArcMap en cours.
4. Effectue le calcul des statistiques : ouvre une fenêtre de dialogue contenant une liste précise des statistiques à effectuer.
5. En ce qui concerne DSAS : donne des renseignements sur le logiciel, y compris le numéro de série.

Les conditions pour que le DSAS fonctionne :

- 1- Il faut que les shorelines soit dans le même système de coordonnées (WGS_1984_UTM_Zone_30N)
- 2- La table attributaire des shorelines doit contenir des champs : date (texte) et incertitude (entier long)
- 3- La table attributaire de la baseline doit contenir le champ : ID (entier long)
- 4- Les shorelines ainsi que la baseline sont des vecteurs obligatoires qui doivent etres dans une geodatabase personnelle

Le principe de fonctionnement :

- 1- L'utilisateur trace une ligne de base qui va servir de référence pour mesurer les distances
- 2- DSAS génère des transects perpendiculaires à la ligne de base
- 3- Les changements du trait de côte sont calculés en utilisant les distances entre la ligne de base (baseline) et chaque intersection de trait de côte

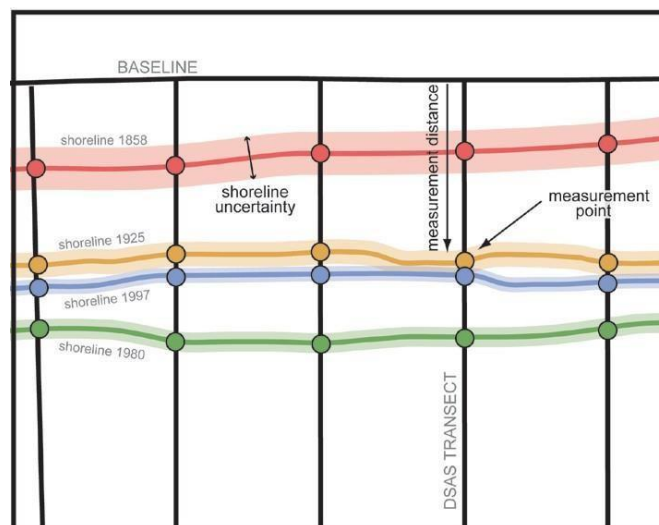


Figure 22 : Les mesures des distances entre la ligne de base et les transecs.

Dans le cadre de l'étude de l'évaluation du trait de côte, des méthodes telles que l'End Point Rate (EPR) et les Linear Regression Rate-of-change (LRR) sont utilisées pour mesurer les changements entre deux traits de côte successifs. Ces indices permettent d'estimer la distance parcourue par le trait de côte sur une période donnée, offrant ainsi une vision claire de l'évolution côtière. En combinant ces analyses cartographiques et statistiques, il est possible d'obtenir une compréhension approfondie des dynamiques du trait de côte et d'anticiper les impacts futurs liés à l'érosion ou à l'accrétion. **(Thior et al., 2021)**

Le Net Shoreline Movement, également connu sous le nom de NSM, est une évaluation du mouvement du littoral. Cette mesure évalue la distance entre le trait de côte le plus ancien et le plus récent sur des transects perpendiculaires. Une valeur de NSM négative signifie que le littoral est déplacé vers la terre, tandis qu'une valeur positive signifie que le littoral est migré vers la mer. Le NSM joue un rôle clé dans la compréhension des évolutions côtières et est fréquemment employé dans des études de cartographie et d'érosion côtière. **(Collin et al., 2013)** L'extension DSAS fournit deux fichiers à la sortie, l'un contenant les caractéristiques des points d'intersection « Transects intersect » et l'autre contenant les statistiques d'évolution « Transects rate » (EPR, NSM et LRR).

2.6. Le géo-référencement :

Google Earth Pro utilise par défaut le système de coordonnées géographiques WGS84 (degrés décimaux), exprimant la localisation d'un point par latitude et longitude. Il permet également l'utilisation d'autres systèmes de coordonnées comme l'UTM.

Notre zone d'étude est incluse dans la zone 30 donc le géoréférencement de l'image satellitaire ainsi que les vecteurs va être : WGS_1984_UTM_Zone_30N.

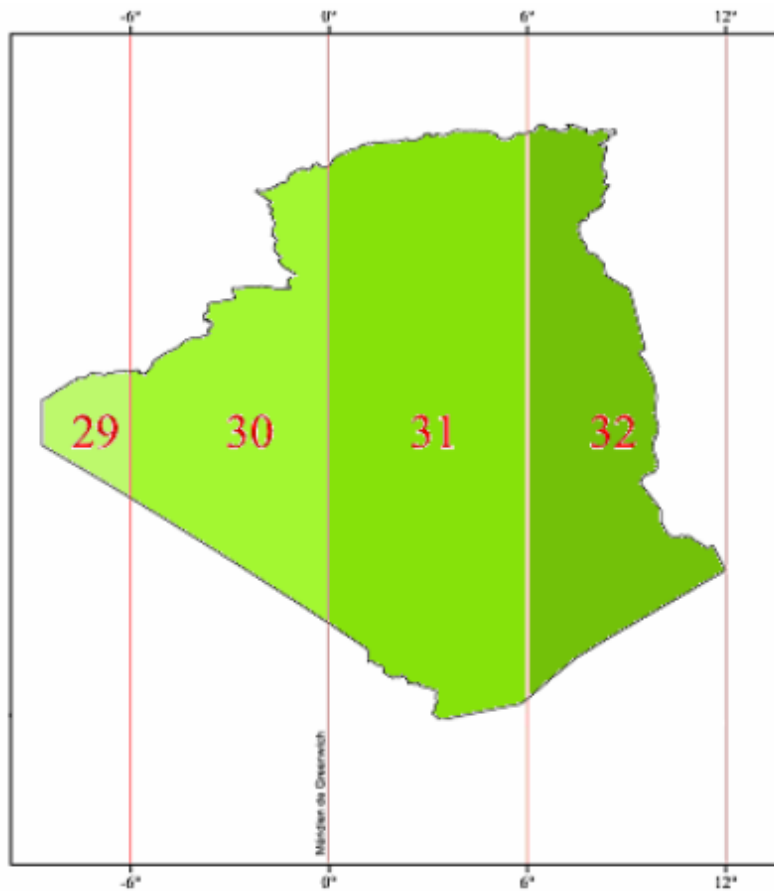


Figure 23 : Fuseaux de la projection UTM en Algérie. (INCT, 2007)

2.7. La division des zones :

Pour mieux comprendre les changements des traits de côte dans la zone d'étude, on va la diviser sur 2 parties, et chaque partie on va l'étudier sur 5 Périodes différente sur l'échelle de 19 ans.

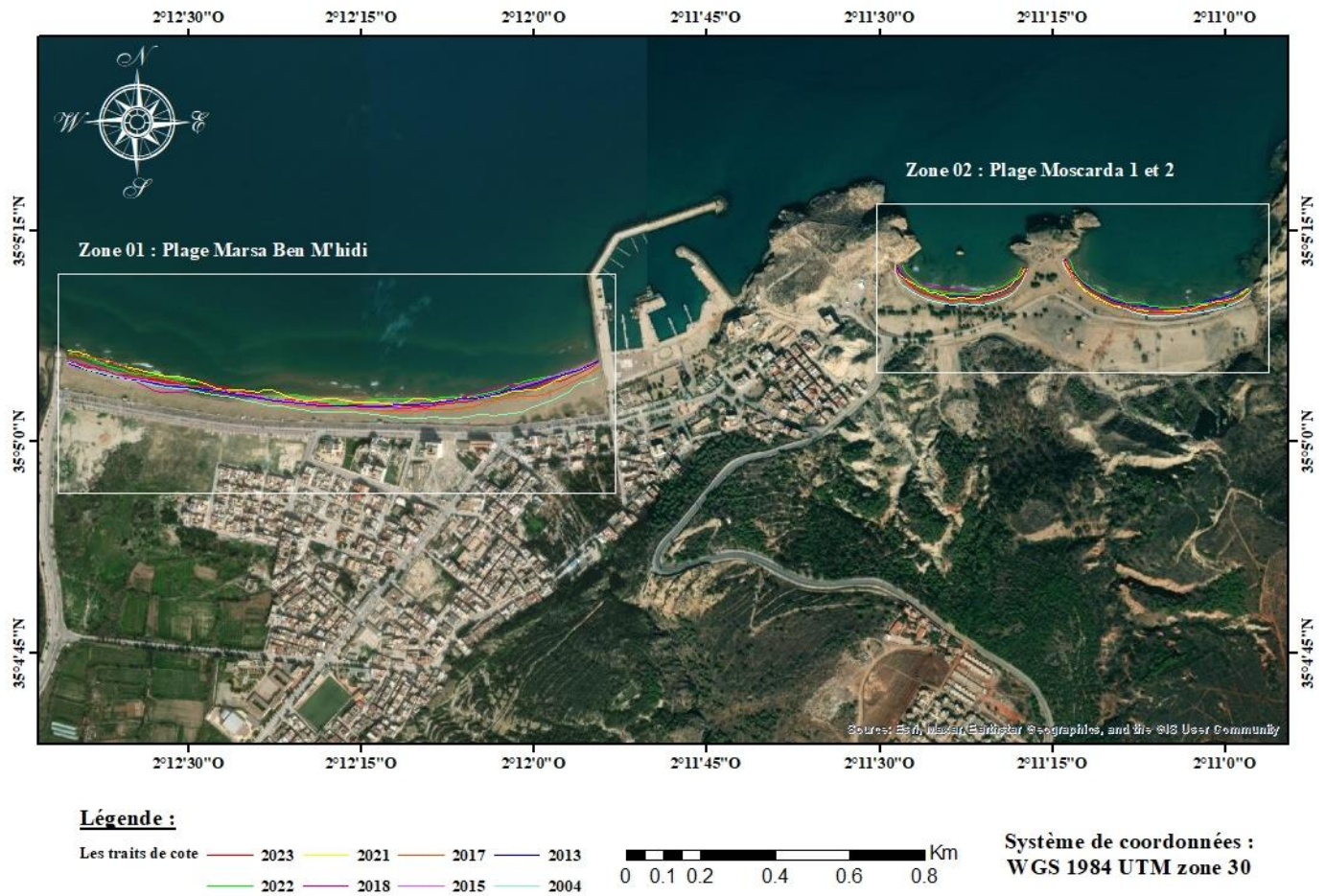


Figure 24 : Carte des provinces sédimentaires de la zone d'étude.

2.7.1. Zone 01 : Plage Marsa Ben M'hidi :

Cette zone représente la plage située à l'ouest du port Marsa Ben M'hidi, qui porte le même nom, on va étudier l'évolution des traits de cote sur une période de 19 ans, pour mieux comprendre le phénomène d'ensablement.

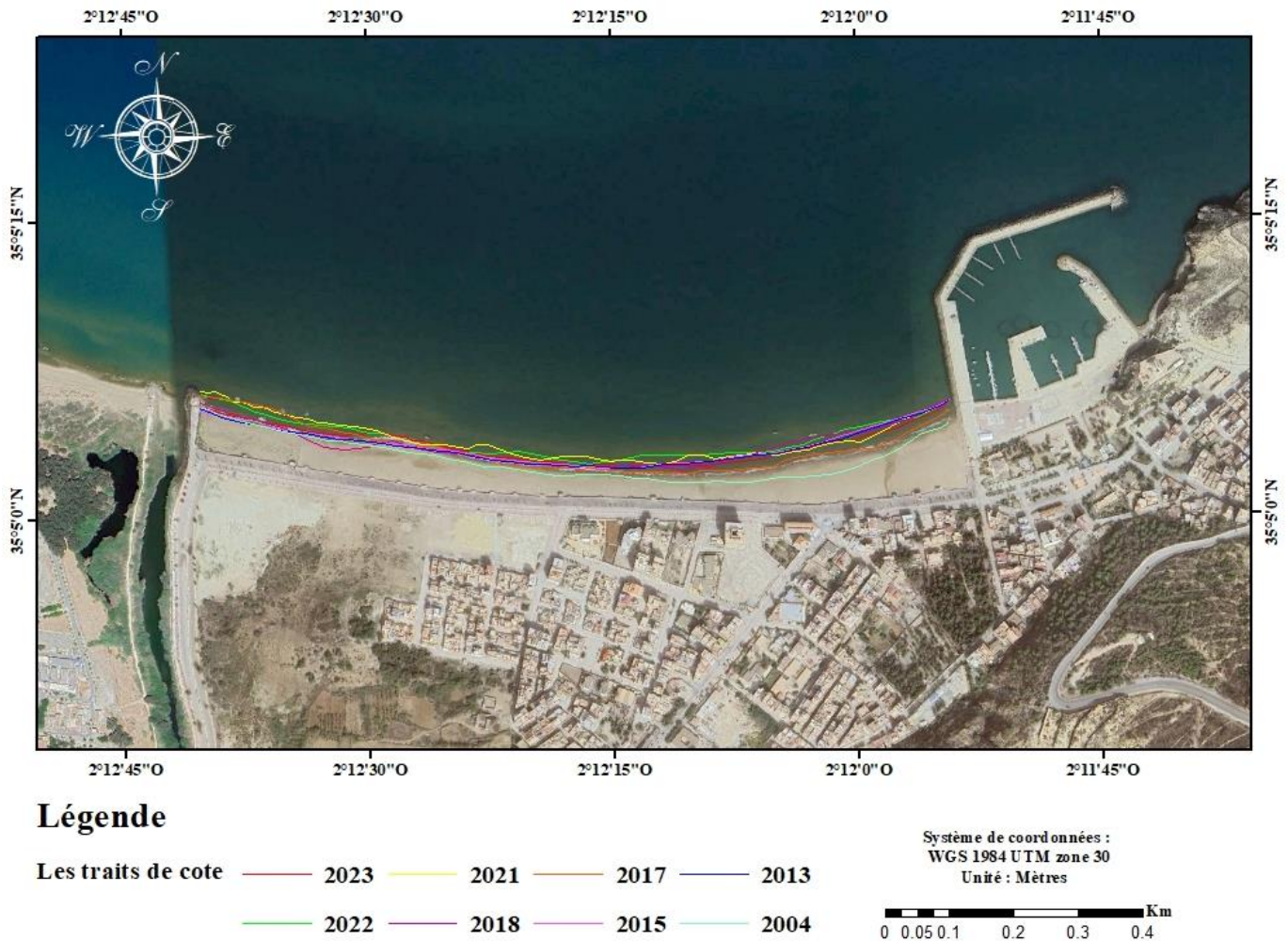
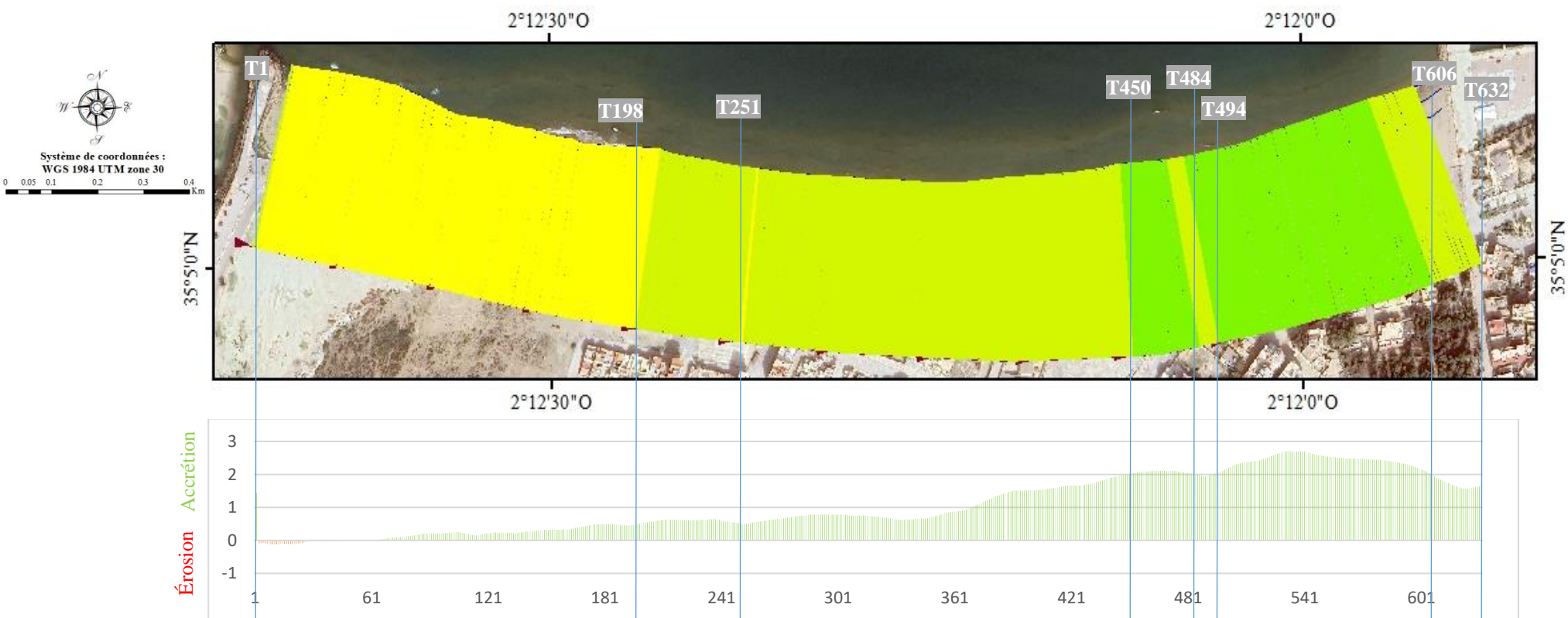


Figure 25 : Carte des traits de cote de la province sédimentaire de la zone 01 (Plage Marsa Ben M' hidi).

2.7.1.1. Période 2004-2017 :

L'espacement entre les transects a été de 2m pour cette étude, ce qui a permis d'obtenir 632 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 6 : évolution du trait de côte entre 2004 et 2017 de la province sédimentaire 01.



Transects	EPR (m/an)	NSM (m)	LRR (m/an)
T1 à T98	0.18	3.39	0.37
T199 à T251	0.6	11.31	0.64
T252 et T253	0.5	9.55	0.49
T254 à T450	1.07	20.35	1.06
T451 à T484	2.08	39.44	2.01
T485 à T494	1.97	37.48	1.94
T495 à T606	2.43	46.19	2.39
T607 à T632	1.7	32.25	1.61

Tableau 7 : Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR de la province sédimentaire 01.

Taux de changement de trait de côte EPR (m/an)	Classification des traits de côte
-4 à -3	Erosion très élevée
-3 à -2	Erosion élevée
-2 à -0,5	Erosion modérée
-0.5 à 0.5	Stable
0.5 à 2	Accrétion modérée
2 à 3	Accrétion élevée
3 à 4	Accrétion très élevée

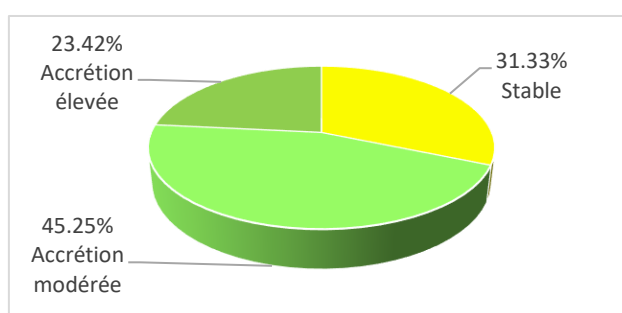


Figure 26 : Bilan accretion/erosion de la province sédimentaire entre 2004-2017.

Tableau 8 : Tableau érosion/accrétion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2013.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	45	574
Poucentage des transects	7.27%	92.73%
maximum	-0,12	2.7
Moyenne	-0.06	0.2
Nombre des transects	632	
Moyenne EPR	1.11	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	-2.37	51.24
Moyenne	-1.17	22.78
Moyenne totale	21.04	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale		2.73
Moyenne totale	1.13	

Les données d'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 01 entre 2004 et 2017 sont présentées dans le tableau 06, qui utilise le paramètre statistique End Point Rate EPR. Ces résultats permettent de visualiser les zones touchées par l'érosion ou l'accrétion. Les résultats divisent la zone en 8 phases, ce qui montre la différence de l'évolution du trait de côte le long de la plage Marsa Ben M'hidi, la figure 26 illustre une comparaison entre l'accrétion et l'érosion dans la même province. Elle résume les différents pourcentages présents dans le tableau 06 Le tableau 08 permet de comparer l'accrétion et l'érosion par rapport à l'EPR, L'NSM et le LRR. Selon le tableau 01 le NSM est presque positif pour toutes les phases (accrétion) entre 2017 et 2023. L'accrétion la plus importante est observée pour le transect T535, avec un NSM de 51.24 mètres. L'érosion la plus importante est observée pour le transect T10, avec un NSM de -2.37 mètres.

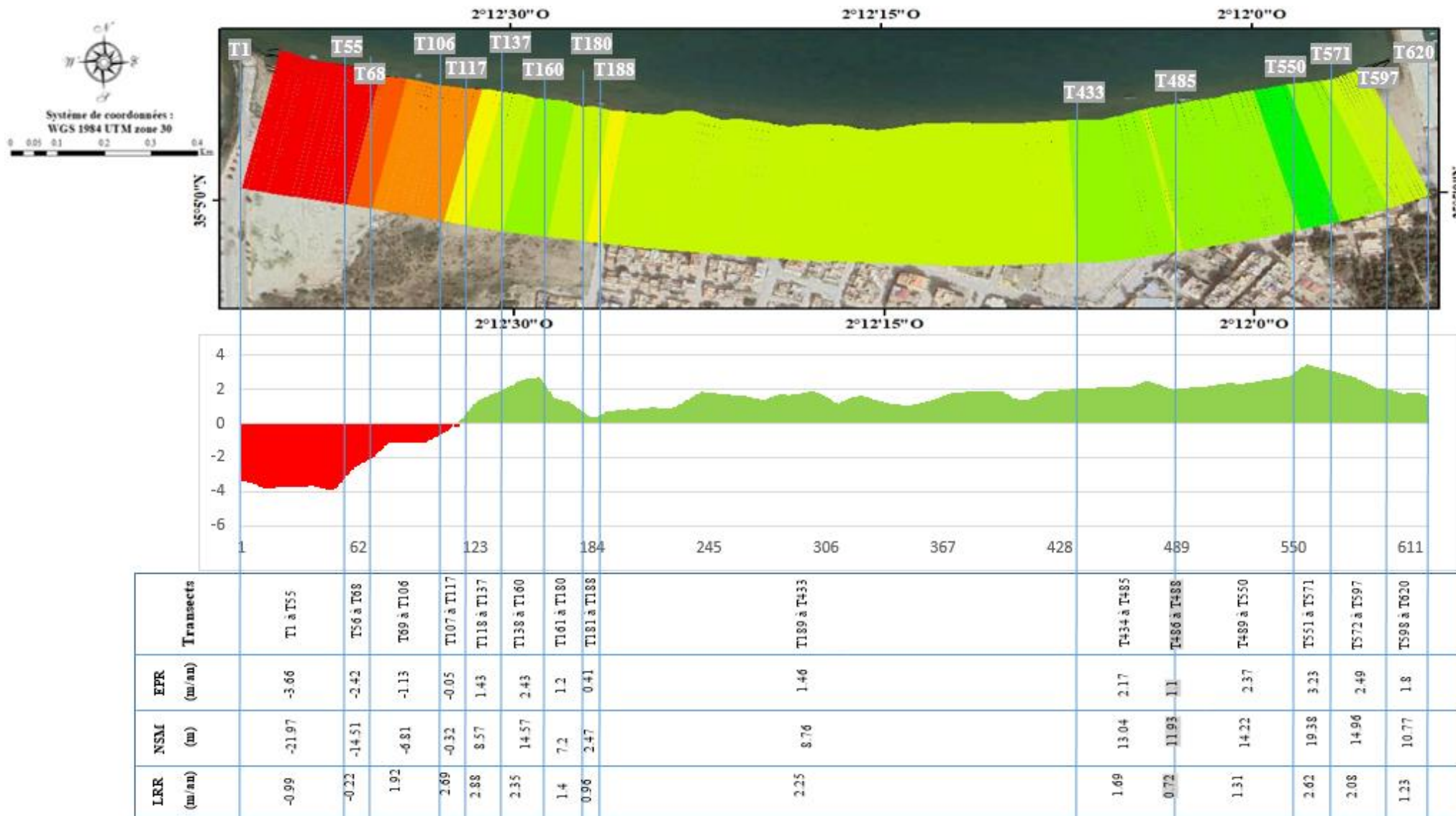
Selon les moyennes présenter dans le tableau 06, le paramètre LRR dans cette période sont toujours positifs, donc le trait de côte subies une accrétion avec une moyenne de 21.04 mètres au cours de la période 2004 à 2017 avec une vitesse moyenne de 1.13 mètres par an. (Tableau 07)

Les résultats de la variabilité spatiotemporelle du rivage montrent une accrétion très marquante, le budget sédimentaire global sur cette période est positif avec une superficie de 19904.111 m².

2.7.1.2. Période 2017-2023 :

L'espacement entre les transects a été de 2m pour cette étude, ce qui a permis d'obtenir 620 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 9 : Evolution du trait de côte entre 2017 et 2023 de la province sédimentaire 01.



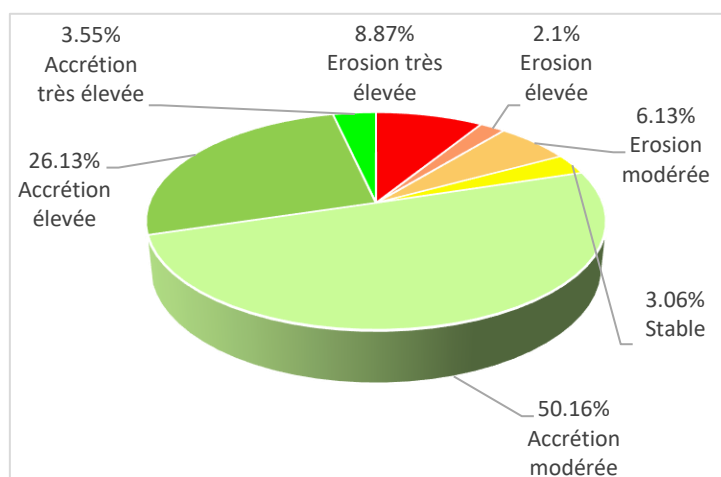


Figure 27 : Billan accretion/erosion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2017-2023.

Tableau 10 : Tableau erosion/accretion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2017-2023.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	113	574
Poucentage des transects	18.23%	81.77%
maximum	-3.9	3.46
Moyenne	-2.45	1.79
Nombre des transects	620	
Moyenne EPR	1.02	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	-23.44	20.74
Moyenne	-14.74	10.77
Moyenne totale	6.12	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale	-1.4	3.16
Moyenne totale	1.7	

Les données d'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 01 entre 2017 et 2023 sont présentées dans le tableau 09, qui utilise le paramètre statistique End Point Rate EPR. Ces résultats permettent de visualiser les zones touchées par l'érosion ou l'accrétion. Les résultats divisent la zone en 15 phases, ce qui montre la différence de l'évolution du trait de côte le long de cette plage, la figure 27 illustre une comparaison entre l'accrétion et l'érosion dans la même

province en utilisant le paramètre EPR. Elle résume les différents pourcentages présents dans le tableau 09. Le tableau 10 permet de comparer l'accrétion et l'érosion selon les 3 paramètres statistiques EPR, NSM et LRR.

Selon le tableau 09 Le NSM est positif pour 6 phases (accrétion) et négatif pour les 8 autres phases (érosion) entre 2017 et 2023. L'accrétion la plus importante est observée pour le transect T547, avec un NSM de 20.74 mètres. L'érosion la plus importante est observée pour le transect T47, avec un NSM de -23.44 mètres.

Le paramètre LRR dans cette période est : Pour les 2 premières phases, il est négatif, ce qui signifie qu'il y a une érosion du trait de côte, le reste des phases ce paramètre est positif alors le trait de côte avance sur la mer.

Donc le trait de côte subies une accrétion avec une moyenne de 10.77 mètres au cours de la période 2004 à 2017 avec une vitesse moyenne de 3.16 mètres par an. Il subies aussi une érosion avec une moyenne de -14.74 m avec une vitesse moyenne de -1.4 m/an, la vitesse moyenne total atteint 1.7m/an. (Tableau 10)

On observe que les valeurs de NSM, EPR et LRR sont généralement cohérentes entre elles. Cependant, il peut y avoir des différences en raison de la forme du trait de côte.

Les résultats de la variabilité spatiotemporelle du rivage montrent une accrétion très marquante, le budget sédimentaire global sur cette période est positif avec une superficie de 10113.31 m², avec des pertes d'une superficie de 3558.26 m².

2.7.1.3. Période 2004-2023 :

Cette période représente le trait de côte le plus ancien avec le plus récent, l'espacement entre les transects a été de 2m pour cette étude, ce qui a permis d'obtenir 631 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 11 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023(plus récent et plus ancien) de la province sédimentaire 01.



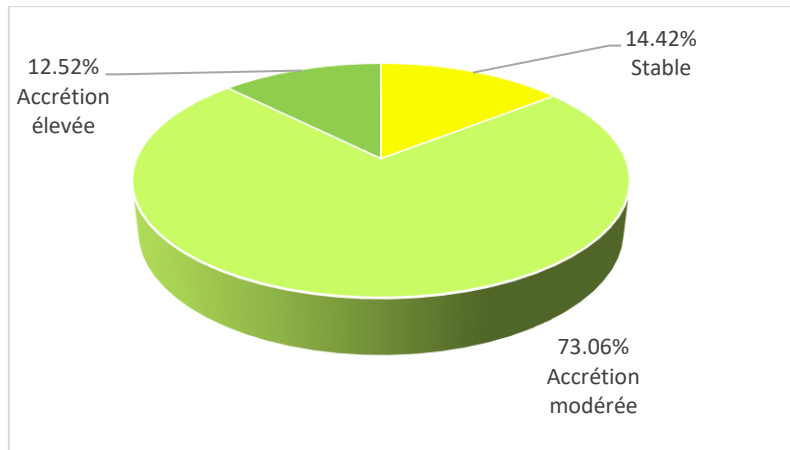


Figure 28 : Billan accretion/erosion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2023.

Tableau 12 : Tableau érosion/accrétion de la plage de Marsa Ben M'hidi période 2004-2023.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	0	631
Poucentage des transects	0%	100%
maximum	/	2.6
Moyenne	/	1.19
Nombre des transects	632	
Moyenne EPR	1.19	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	/	49.37
Moyenne	/	22.57
Moyenne totale	22.57	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale	/	2.8
Moyenne totale	1.47	

Le tableau 11 présente les données sur l'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 01 de 2004 à 2023, en utilisant l'EPR (End Point Rate). Grâce à ces résultats, il est possible d'observer les zones affectées par l'érosion ou l'accumulation. Les conclusions répartissent la zone en 6 phases, ce qui met en évidence les disparités dans l'évolution du littoral le long de cette plage. La figure 28 présente une comparaison entre l'accrétion et l'érosion dans la même province en utilisant des pourcentages basés sur le paramètre EPR. Elle présente une synthèse

des divers pourcentages figurant dans le tableau 10. Selon les trois paramètres statistiques EPR, NSM et LRR, le tableau 12 permet de faire une comparaison entre l'accrétion et l'érosion.

D'après le tableau 11, Durant toute la période 2017-2023, le NSM et le LRR ont été positifs, ce qui indique une croissance rapide avec une moyenne de 22,57 mètres et une vitesse moyenne de 1.47 m/an. La plus grande croissance a été observée pour le transect T529, avec un NSM de 49,37 mètres et une vitesse moyenne totale de 1.47 m/an. (Tableau 12) La cohérence entre les valeurs de NSM, EPR et LRR est généralement observée. La variabilité spatiotemporelle du rivage révèle une augmentation significative, avec un budget sédimentaire global positif sur cette période, avec une superficie de 26255.67 m².

2.7.2. Zone 02 : plages Moscarda 1 et 2 :

La plage Moscarda se trouve dans la wilaya de Tlemcen, à l'extrême nord-ouest de l'Algérie, à proximité de la frontière marocaine. Elle fait partie de la commune de Marsa Ben M'hidi.

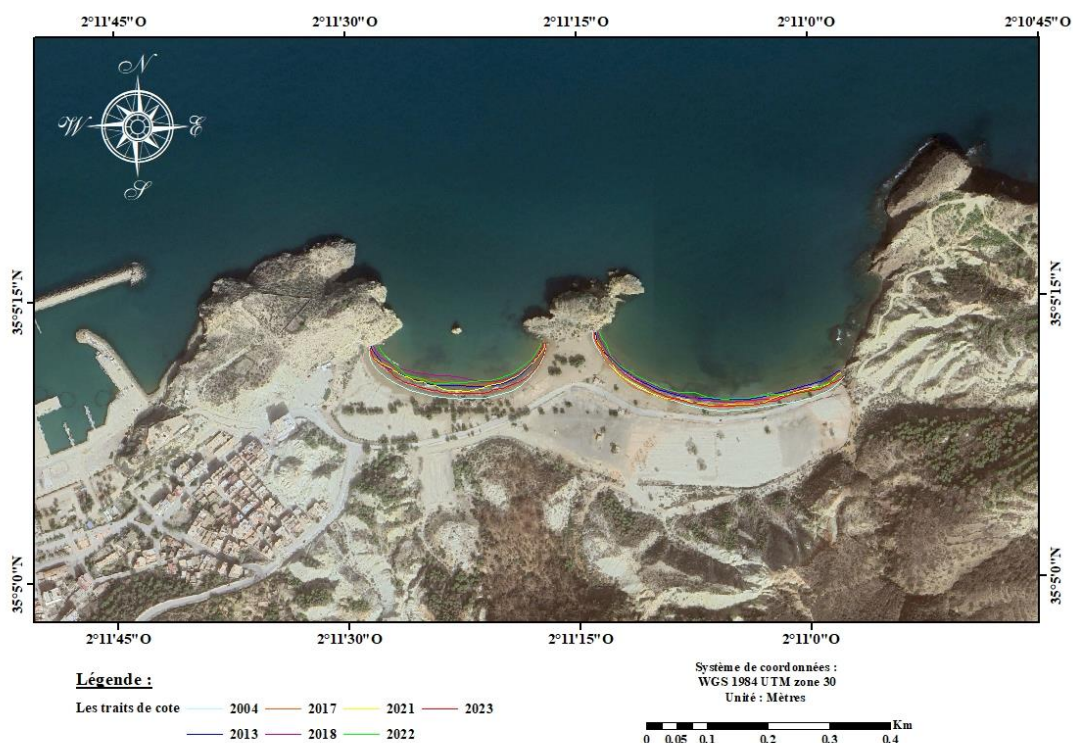


Figure 29 : Carte des traits de cote de la province sédimentaire de la zone 02 (Plage Moscarda).

2.7.2.1. Période 2004-2018 :

Pour cette étude, la distance entre les transects a été de 2 mètres, ce qui a donné lieu à 320 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 13 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023 de la province sédimentaire 02.

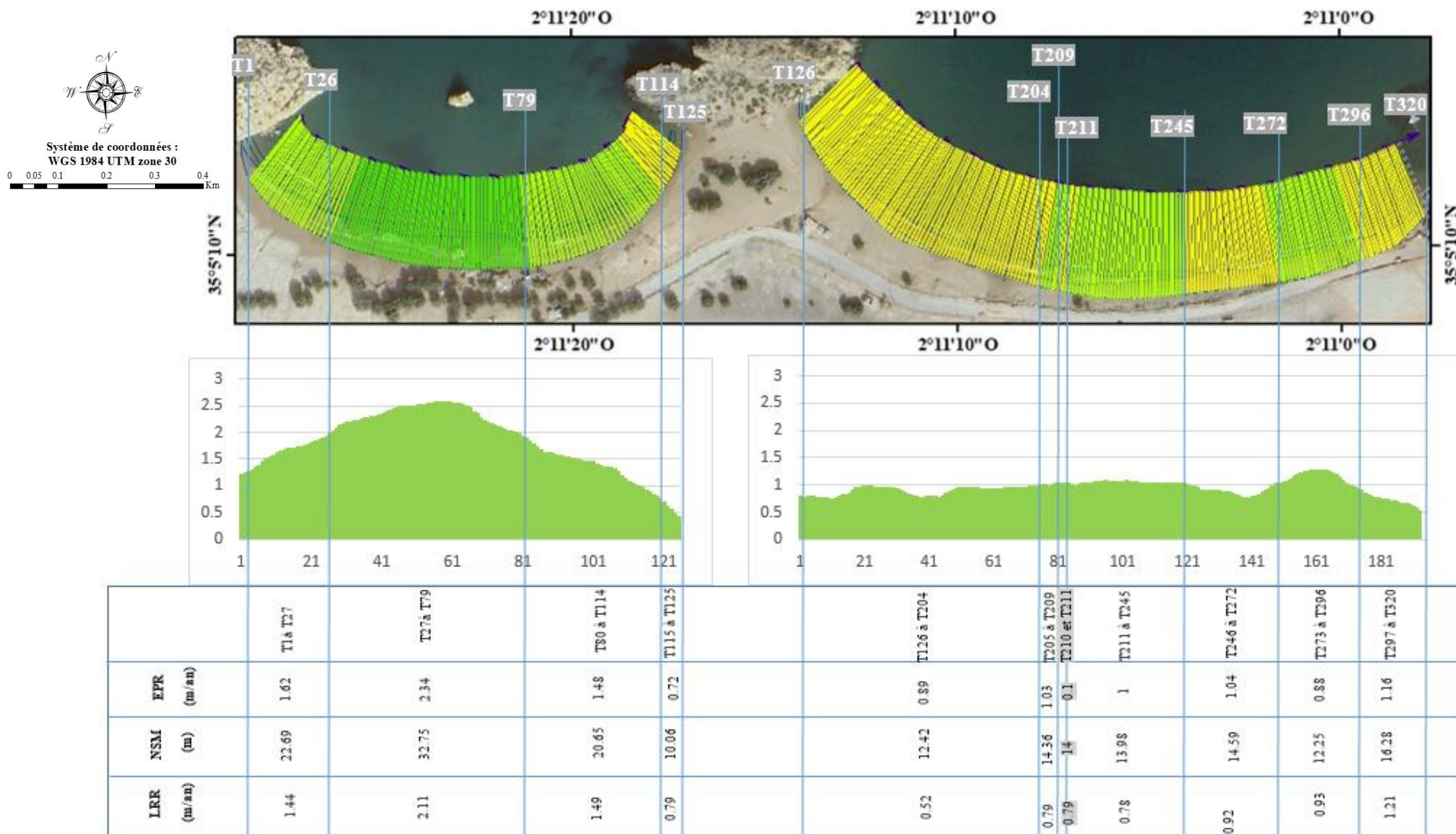


Tableau 14 : Classification des valeurs de changement du trait de côte à partir des paramètres EPR de la province sédimentaire 02.

Taux de changement de trait de côte EPR (m/an)	Classification des traits de côte
-5 à -3	Erosion très élevée
-3 à -2	Erosion élevée
-2 à -1	Erosion modérée
-1 à 1	Stable
1 à 2	Accrétion modérée
2 à 3	Accrétion élevée
3 à 5	Accrétion très élevée

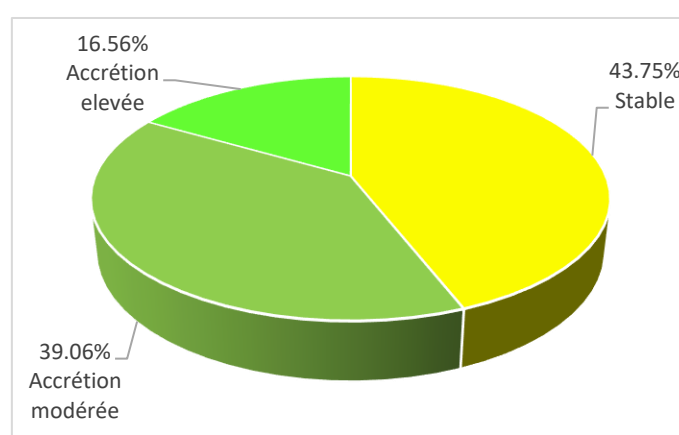


Figure 30 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2004-2017.

Tableau 15 : Tableau erosion/accretion des deux plages de Moscarda période 2004-2017.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	0	318
Poucentage des transects	0%	100%
maximum	/	2.57
Moyenne	/	1.28
Nombre des transects	318	
Moyenne EPR	1.28	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	/	35.96
Moyenne	/	17.89
Moyenne totale	17.89	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale	/	2.3
Moyenne totale	1.13	

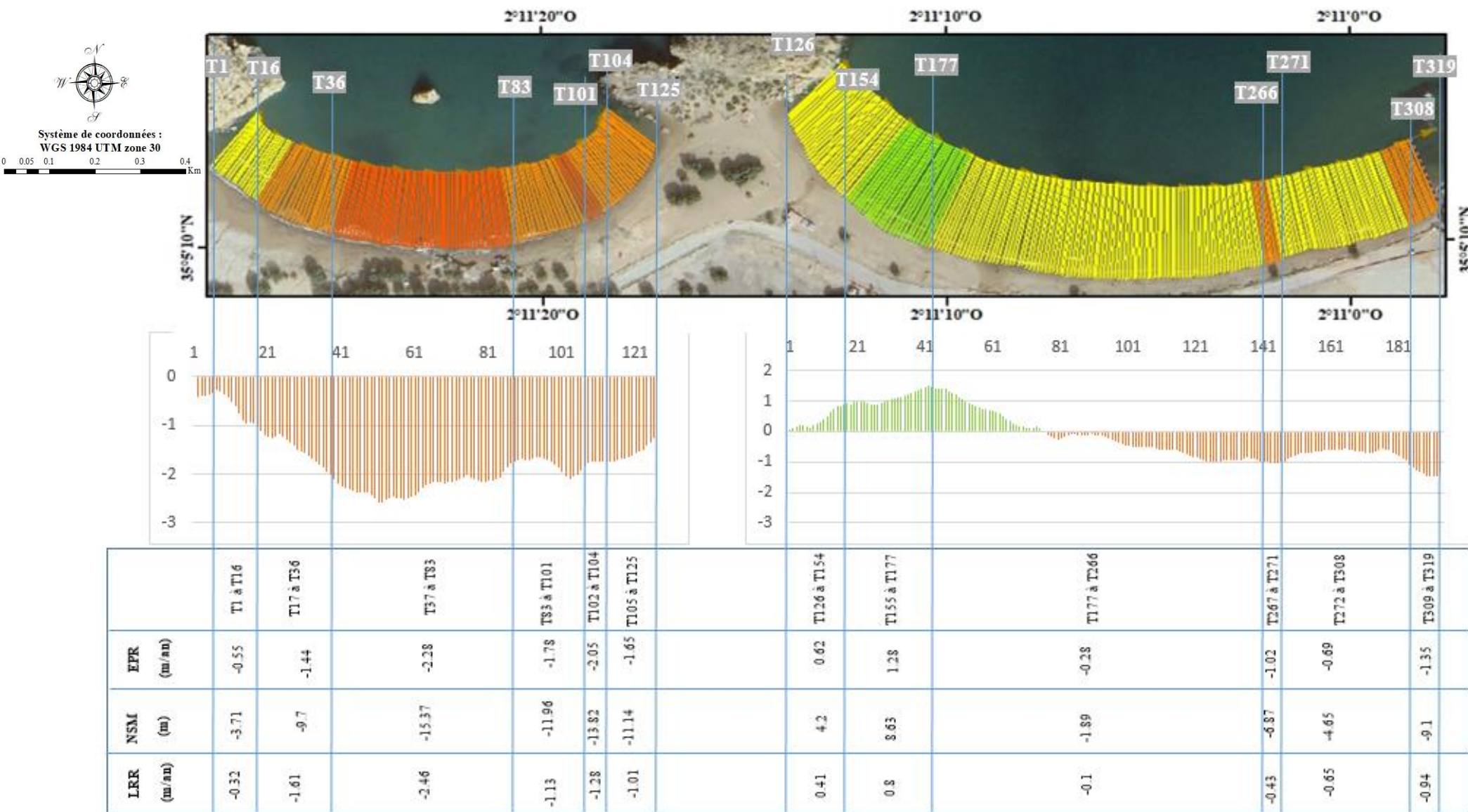
L'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 02 de 2004 à 2017 est représentée dans le tableau 13 en utilisant l'EPR (End Point Rate). Ces résultats permettent d'identifier les zones touchées par l'érosion ou l'accumulation. La zone est divisée en 11 phases par les conclusions, ce qui révèle les différences dans l'évolution du littoral le long de cette plage. Une comparaison entre l'accrétion et l'érosion dans la même province est illustrée dans la figure 30 en utilisant des pourcentages selon le paramètre EPR. Elle offre une synthèse des différentes proportions présentes dans le tableau 12. Les trois paramètres statistiques EPR, NSM et LRR permettent de comparer l'accrétion à l'érosion dans le tableau 14.

Selon le tableau 12, Le NSM et le LRR ont été positifs pendant toute la période 2004-2027, ce qui témoigne d'une croissance rapide avec une moyenne de 17,89 mètres et une vitesse moyenne de 1,13 m/an. Le transect T59 a connu la croissance la plus importante, avec un NSM de 35,96 mètres et une vitesse maximale de 1,13 m/an. On observe souvent une cohérence entre les valeurs de NSM, EPR et LRR. La variation spatiotemporelle du rivage met en évidence une augmentation notable, avec un budget sédimentaire global presque positif pendant cette période, avec une superficie de 9905.07 m², tandis que les pertes sont minimales avec une superficie de 181.92 m².

2.7.2.2. Période 2017-2023 :

La distance entre les transects a été de 2 mètres pour cette étude, ce qui a entraîné la création de 319 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 16 : Evolution du trait de côte entre 2017 et 2023 de la province sédimentaire 02.



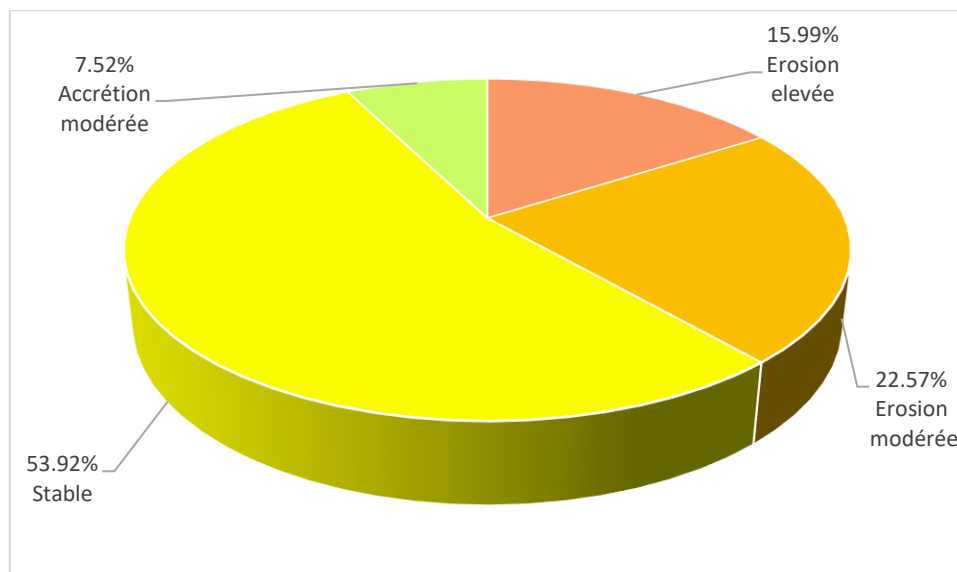


Figure 31 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2017-2023.

Tableau 17 : Tableau erosion/accretion des deux plages de Moscarda période 2017-2023.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	243	75
Poucentage des transects	76.42%	23.58%
maximum	-2.58	1.51
Moyenne	-1.22	0.78
Nombre des transects	318	
Moyenne EPR	-0.75	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	-17.39	10.2
Moyenne	-8.26	5.28
Moyenne totale	-5.07	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale	-3.03	1.01
Moyenne totale	-0.67	

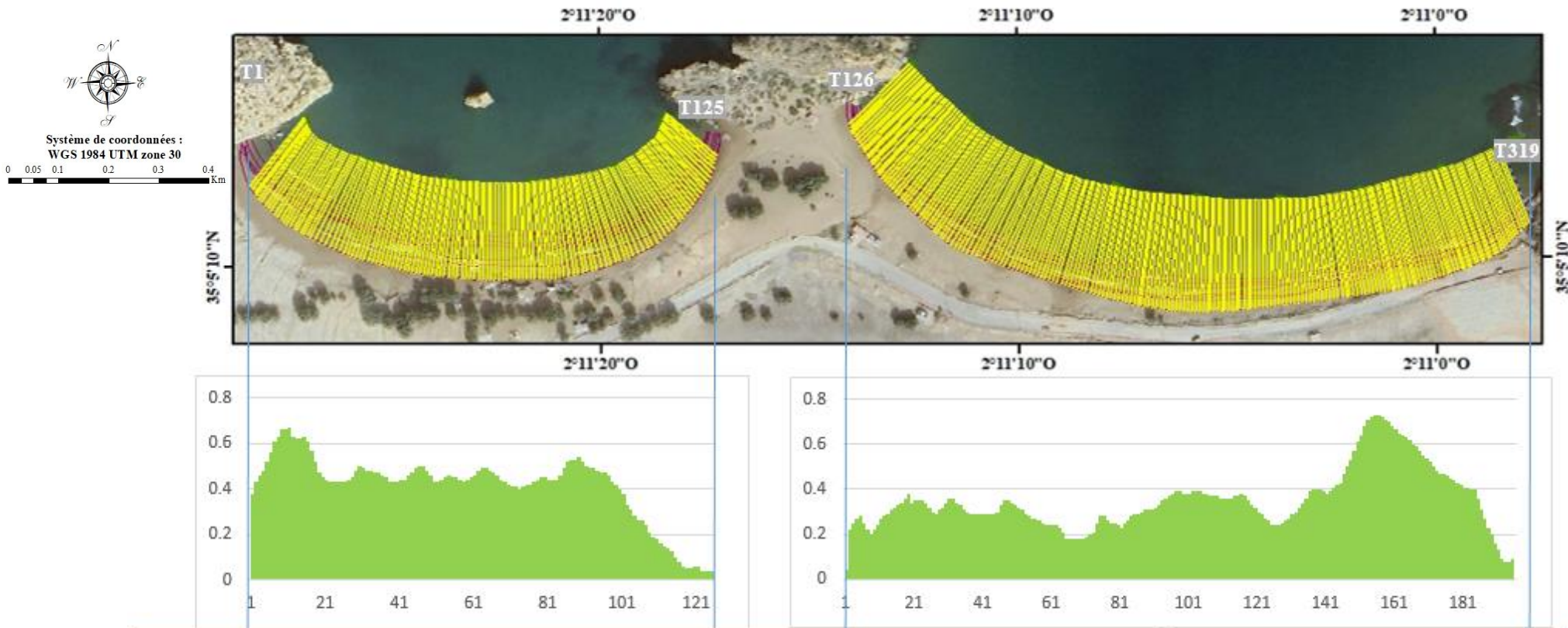
Le tableau 16 présente l'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 02 de 2017 à 2023 en utilisant l'EPR (End Point Rate). Grâce à ces résultats, il est possible de repérer les régions affectées par l'érosion ou la concentration. Les conclusions subdivisent la zone en 12 phases, ce qui met en évidence les disparités dans l'évolution le long de cette plage. La figure 31 présente une comparaison entre l'accrétion et l'érosion dans la même province en utilisant des pourcentages selon le paramètre EPR. Elle présente un résumé des diverses proportions contenues dans le tableau 16. Dans le tableau 17, les trois paramètres statistiques EPR, NSM et LRR permettent de faire une comparaison entre l'accrétion et l'érosion.

D'après le tableau 16, les niveaux de NSM et de LRR ont été négatifs pendant 10 phases et positifs pendant 2 phases pendant la période 2004-2027. Cela indique une érosion lente du littoral dans la plupart de la zone (10 phases) avec une moyenne de -8,26 m, tandis que la minorité (2 phases) a connu une croissance rapide avec une moyenne de 5,28 m, avec une vitesse moyenne totale de 0.67 m/an. Avec un NSM de 10.2, le transect T167 a enregistré la croissance la plus significative, ce paramètre atteint une valeur minimale de -17.35 m dans le transect T51. La valeur maximale du LRR est de 1.01 m/an d'accrétion et -3.03 m/an d'érosion (voir tableau 16). La cohérence entre les valeurs de NSM, EPR et LRR est fréquemment observée. La variation spatiotemporelle du rivage révèle une forte érosion par rapport à l'accrétion, avec un budget sédimentaire négatif de 4998,33 m², tandis que les accrétions représentent une superficie de 1020,95 m².

2.7.2.3. Période 2004-2023 :

La distance entre les transects a été de 2 mètres pour cette étude, ce qui a entraîné la création de 319 transects le long de la zone d'étude.

Tableau 18 : Evolution du trait de côte entre 2004 et 2023 de la province sédimentaire 02.



LRR (m/an)	NSM (m)	EPR (m/an)	Les Transects
0.76	7.84	0.41	T1 à T125
0.42	6.68	0.35	T126 à T319

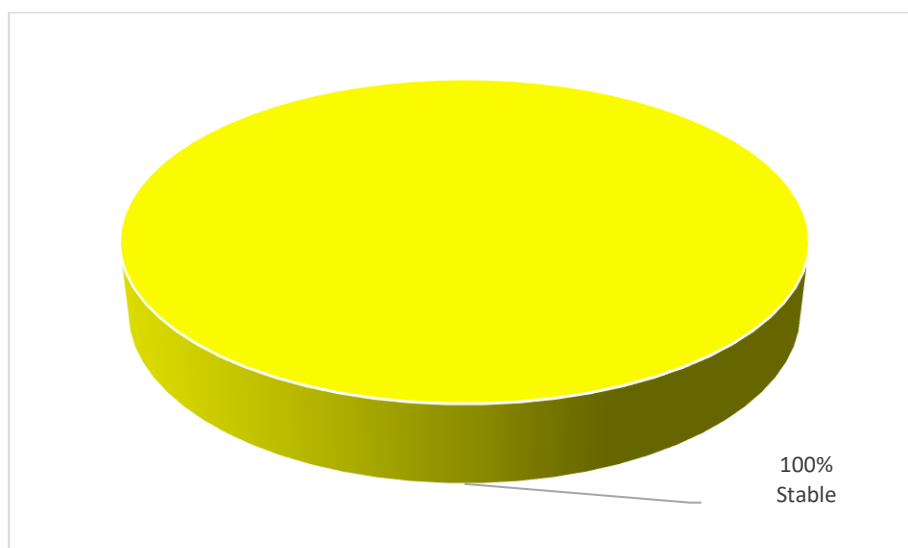


Figure 32 : Billan accretion/erosion des deux plages de Moscarda 1 et 3 période 2004-2023.

Tableau 19 : Tableau érosion/accréation des deux plages de Moscarda période 2004-2023.

EPR		
	Erosion	Accretion
Number des transects	0	319
Poucentage des transects	0%	100%
maximum		0.73
Moyenne		0.78
Nombre des transects	319	
Moyenne EPR	0.38	
NSM (m)		
	Erosion	Accretion
Maximum distance (m)	/	13.9
Moyenne	/	7.13
Moyenne totale	7.13	
LRR (m/an)		
	Erosion	Accretion
Vitesse maximale	/	0.94
Moyenne totale	0.55	

Le tableau 18 présente l'évolution du trait de côte de la province sédimentaire 02 de 2004 à 2023 en utilisant l'EPR (End Point Rate). Grâce à ces résultats, il est possible de repérer les régions affectées par l'érosion ou la concentration. Les conclusions subdivisent la zone en 2

phases, une phase pour chaque plage mais avec la même classification, La figure 34 présente une stabilité totale le long de ces deux plages selon le paramètre EPR. Dans le tableau 18, les trois paramètres statistiques EPR, NSM et LRR permettent de faire une comparaison entre l'accrétion et l'érosion, dans cette période il y a une stabilité avec un pourcentage nulle d'érosion D'après le tableau 18, les niveaux de NSM et de LRR ont été positifs le long de la cote pendant la période 2004-2027. Cela indique une accrétion avec une moyenne de 7.13 m, avec une vitesse moyenne totale de 0.55 m/an.

Les valeurs de LRR sont très faibles, cela explique l'accrétion dans la première période tableau13 et l'érosion dans la deuxième période tableau 16.

Avec un NSM de 13.9, le transect T279 a enregistré la croissance la plus significative, ce paramètre atteint une valeur minimale de 0.72 m dans le transect T122. La valeur maximale du LRR est de 0.94 m/an d'accrétion. La cohérence entre les valeurs de NSM, EPR et LRR est fréquemment observée. La variation spatiotemporelle du rivage révèle une accrétion représentent une superficie de 5749.31 m².

2.8. Conclusion :

L'étude de l'évolution de trait de côte montre une accrétion très importante par rapport au pourcentage de l'érosion de la zone d'étude, pendant 19 années, il y avait un gain de 5749.31 m² dans la première province sédimentaire, et 26255.67 m² dans la deuxième province ce qui donne le totale de 32004.98 m² des gains de la terre vers la mer, ce qui confirme que la zone d'étude est une zone de transit sédimentaire qui subit une accrétion.

Chapitre 03 : Etude bathymétrique

1. Introduction :

En règle générale, les fonds marins sont le prolongement naturel des structures terrestres. La géomorphologie du littoral est souvent étroitement liée à la topographie générale des fonds.(**Otmani et al., 2023**). Les cartes bathymétriques sont créées pour représenter l'intégralité des fonds marins à la plus haute résolution possible, et sont destinées à des usages variés. Les cartes des fonds marins permettent d'identifier les zones caractérisées par le type de sédiments. (**Tidey & Hulbe, 2019**)

La bathymétrie, évaluation de la topographie sous-marine des lacs, des réservoirs et des cours d'eau, est essentielle pour surveiller l'accumulation des sédiments et l'érosion dans les ports. Il est crucial d'avoir des données sur la profondeur fournie par les levés bathymétriques afin de prévoir les besoins de maintenance et d'optimiser les opérations portuaires. (**Mateo-Pérez et al., 2021**). La compréhension de la dynamique sédimentaire grâce aux données bathymétriques permet aux autorités portuaires, de planifier les investissements liés à l'envasement et d'obtenir des informations sur le transport des sédiments dans la zone portuaire, et de quantifier les volumes de sédiments pour les opérations d'extraction. (**Wang et al., 2013**)

1.1. La bathymétrie general:

1.1.1. La méthodologie :

1.1.1.1.1. Surfer :

Surfer est Développé par Golden Software c'est un logiciel complet de cartographie, de modélisation et d'analyse en 2D et 3D, conçu pour les scientifiques, les ingénieurs, les géoscientifiques et les professionnels de différents secteurs. Il propose une variété d'instruments performants pour concevoir des représentations visuelles de données géospatiales captivantes et informatives, principalement employés dans les domaines de l'environnement, de l'exploitation minière, du pétrole et du gaz, des systèmes d'information géographique (SIG), des ressources en eau, de l'archéologie et de l'exploration. (**NOURTI, 2020**)

Ses principales fonctionnalités incluent : Conversion rapide et facile de données XYZ en surfaces 3D, contours, vecteur, images, reliefs ombrés. Personnalisation poussée de pratiquement tous les aspects des cartes (titres, légendes, échelles). Prise en charge des projections cartographiques et des systèmes de coordonnées. Exportation vers Google Earth (KML/KMZ). Outils d'analyse avancés comme le calculi de volumes, la detection d'anomalies, la modélisation de flux souterrains. (**Katombe, 2020**)

1.1.1.1.2. Levé bathymétrique :

La réalisation d'un levé bathymétrique exécuté par radiales de longueurs variables jusqu'à atteindre les isobathe -10 m, -15m et -20m. Une équidistance d'environ 25m entre radiales comme représenté sur la figure 18

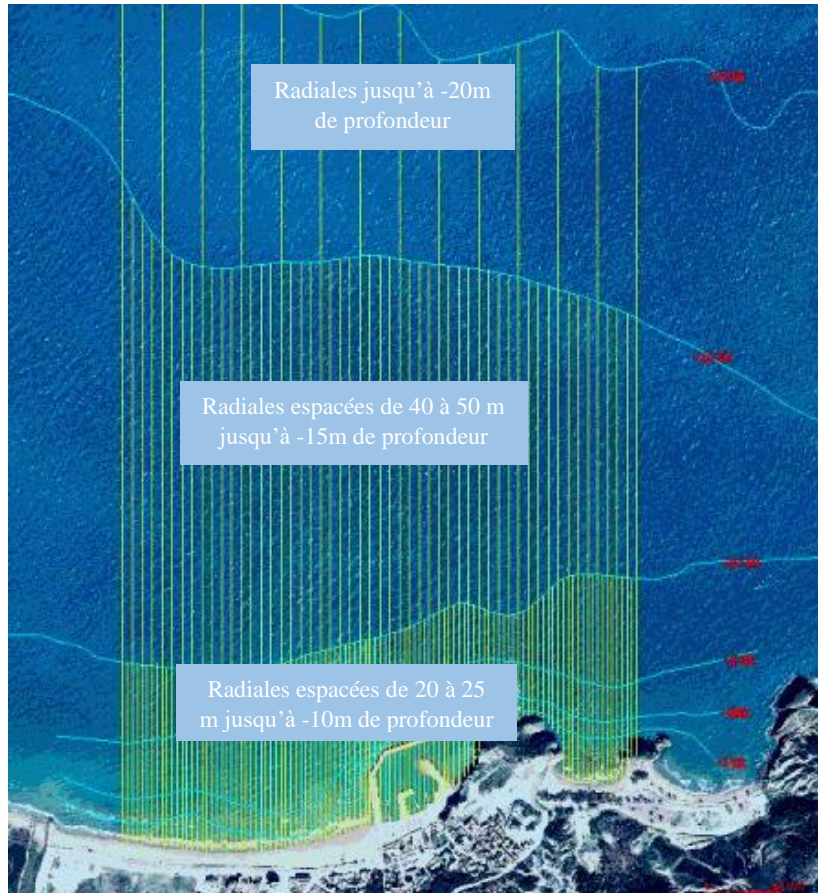


Figure 33 : Schéma représentatif de la configuration de la surface bathymétrique à lever.
(LEM, 2017)

1.1.1.1.3. La représentation de la bathymétrie avec surfer :

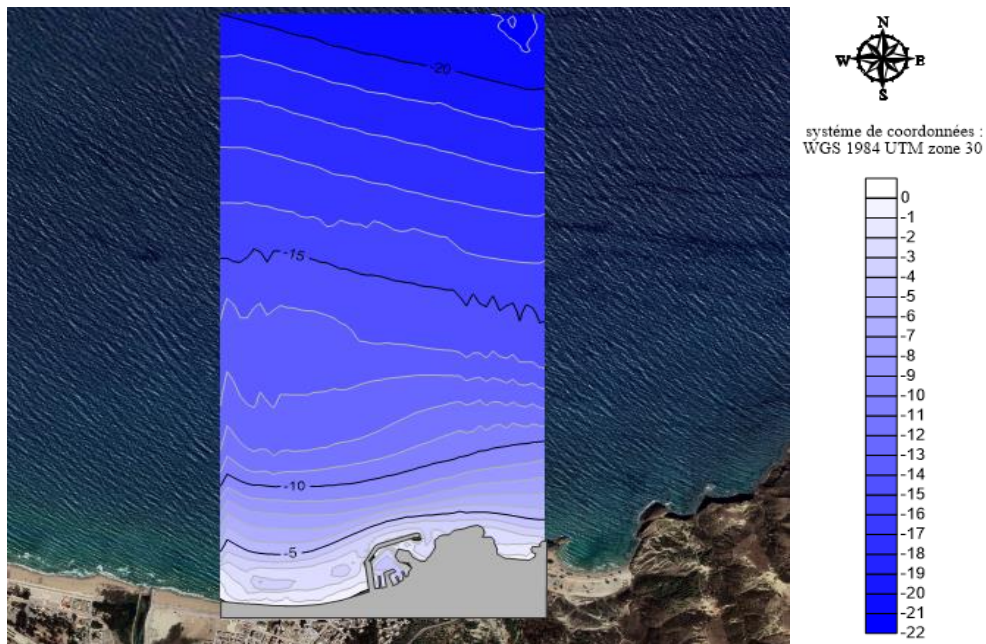


Figure 34 : Carte bathymétrique générale du port Marsa Ben M'hidi 2017.

La carte bathymétrique générale du port montre une zone peu profonde qui est proche du rivage allant de 0 à environ -10 mètres. En s'éloignant du rivage, la profondeur augmente progressivement, comme le montrent les isobathes de -10, -15, -20 mètres et plus profond.

1.2. La bathymétrie du port :

Afin de mieux visualiser le phénomène d'ensablement dans le port, il est préférable de faire une comparaison entre une ancienne et une récente bathymétrie.

1.2.1. La collecte des données :

Sachant que 2009 c'est l'année de construction de la jetée principale :

Tableau 20: Les données bathymétriques.

Type de données	Année	Source	Traité par
Levé bathymétrique	2017	LEM	Surfer
Une carte bathymétrique	2009	LEM	Digitalisé par Arc GIS

1.2.2. Résultats :

Après avoir traité les données dans les logiciels Surfer et Arc Gis, le résultat est comme suit :

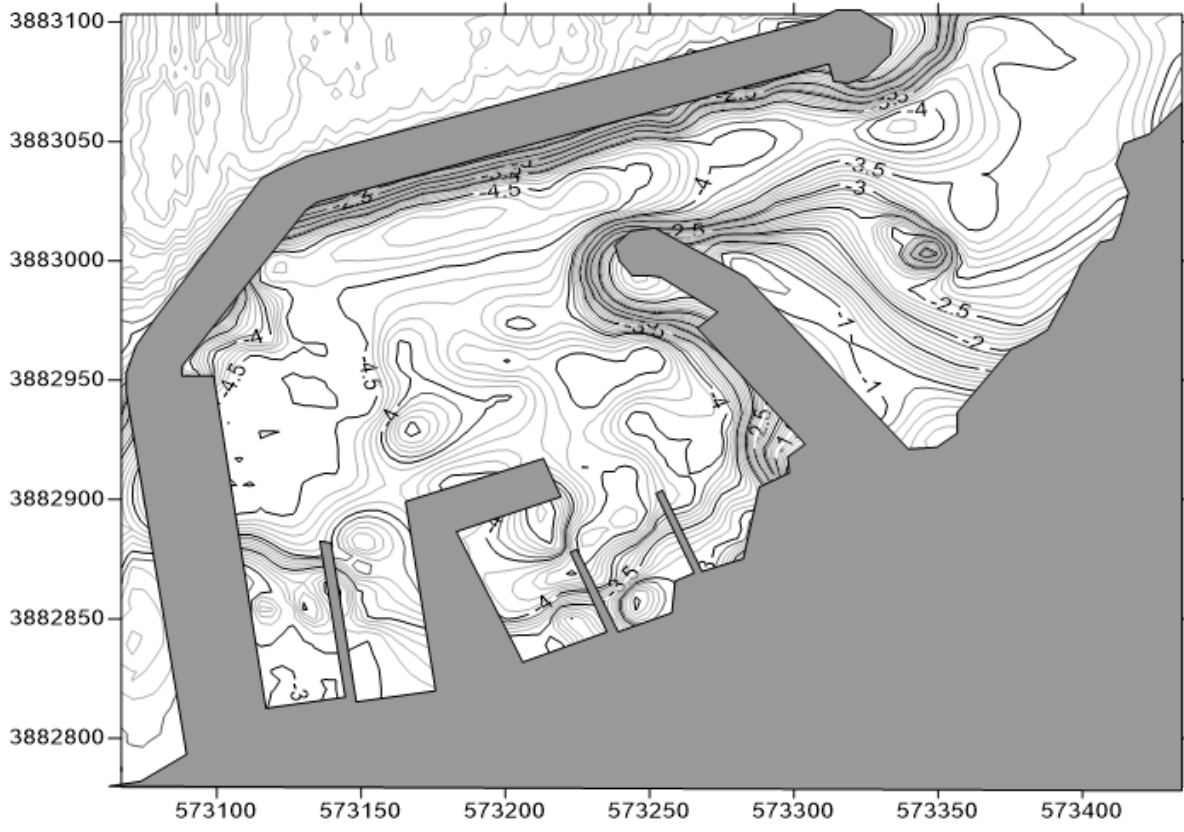


Figure 35 : Carte bathymétrique du bassin intérieur du port Marsa Ben M'hidi 2009.

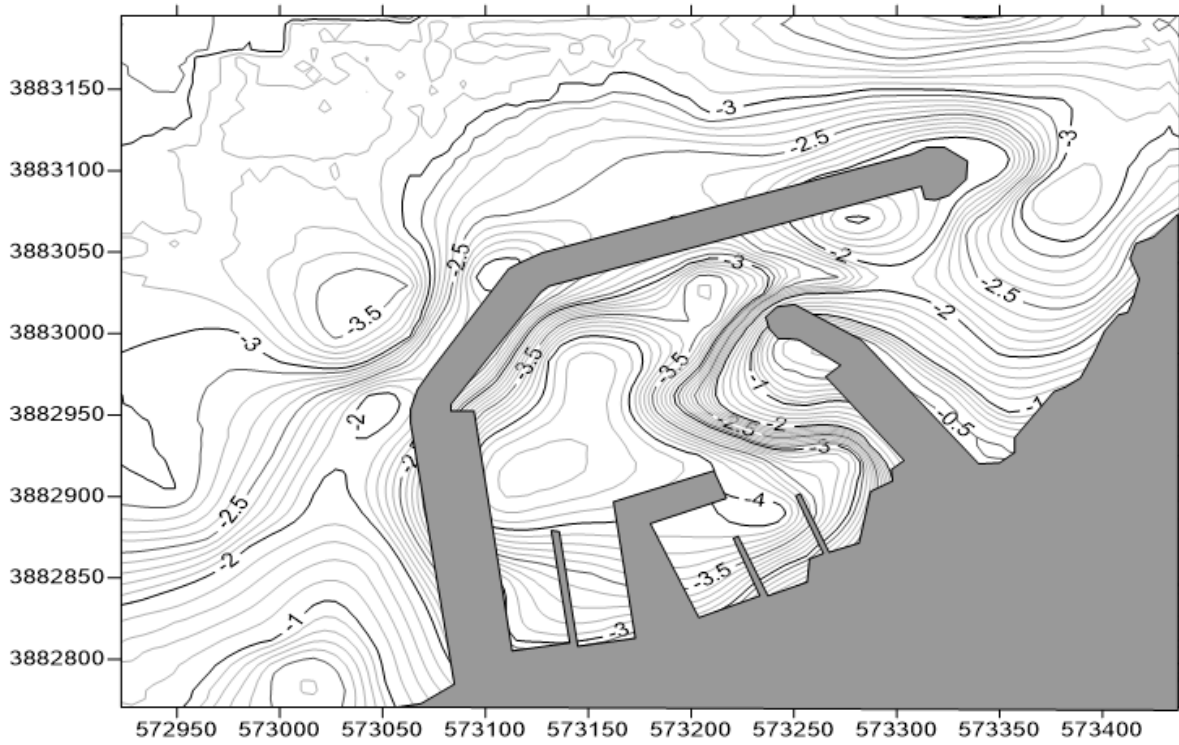


Figure 36 : Carte bathymétrique du bassin intérieur du port Marsa Ben M'hidi 2017.

1.2.3. La comparaison entre les deux bathymétries :

La profondeur du fond d'un cours d'eau, d'un lac, d'une mer ou d'un océan est représenté graphiquement par un profil bathymétrique, qui est une ligne imaginaire appelée axe de profil. Ce relief sous-marin est une coupe transversale qui permet de représenter la pente et la forme du fond. **(Mokhtar et al., 2023)**

Afin de mieux comparer les résultats, les profils sont un bon moyen pour visualiser la différence ainsi que les zones d'accumulation ou d'érosion.

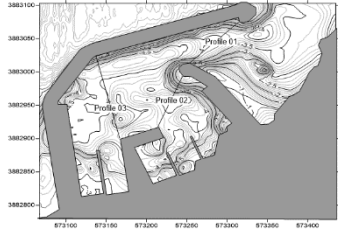
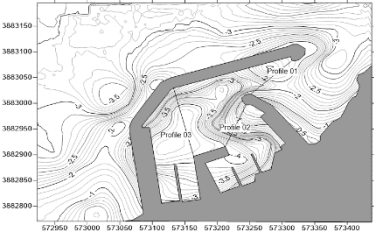
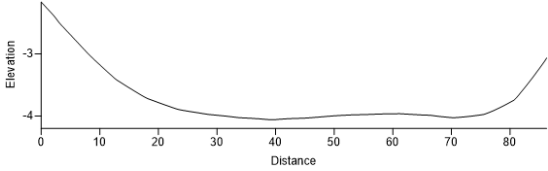
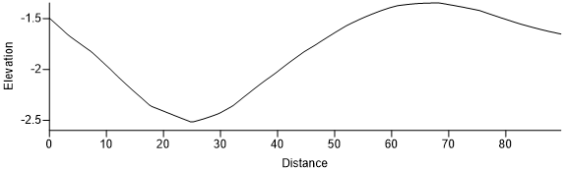
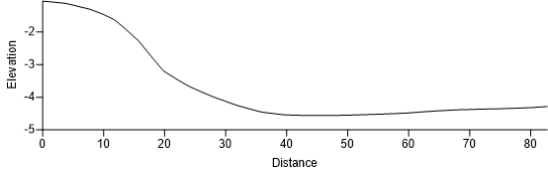
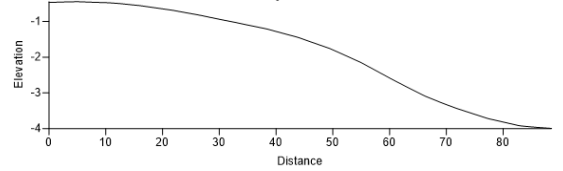
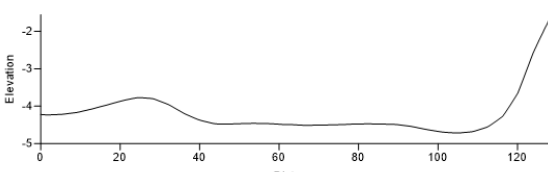
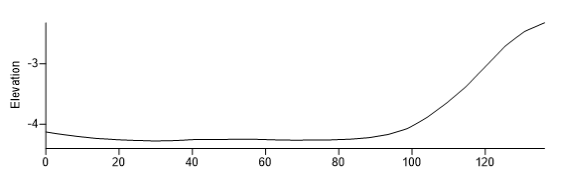
	Le port de Marsa Ben M'hidi 2009 (ancienne)	Le port de Marsa Ben M'hidi 2017 (récente)
La carte		
Profil 01 : passe d'entrée		
Profil 02 : derrière la jetée secondaire		
Profil 03 : dans le bassin du port		

Tableau 21 : Tableau de comparaisant entre les deux bathymétries 2009 et 2017

1.2.4. L'interprétation des résultats :

Dans le tableau, les données bathymétriques du port de Marsa Ben M'hidi sont comparées de 2009 à 2017. La bathymétrie est une méthode utilisée pour évaluer la profondeur des masses d'eau et dresser une carte de la topographie sous-marine. La comparaison offre la possibilité de repérer les variations de profondeur et les propriétés sous-marines au fil du temps.

Les courbes de niveau indiquent les variations de profondeur, les lignes plus rapprochées représentant des pentes plus raides. La distance sur l'axe des x indique la distance horizontale à partir d'un point de référence, tandis que la profondeur sur l'axe des y indique la profondeur de l'eau.

Les changements dans les courbes de niveau entre la carte 2017 par rapport à 2009 suggèrent des modifications de la profondeur et de la forme du fond marin.

1.2.4.1.1. Profil 01 : Passe d'entrée

Le profil 2009 a une pente graduelle est observée, indiquant la déclivité du fond marin à l'entrée, avec un maximum de -4m et un minimum presque -2m

Le profil 2017 montre des changements dans la pente du fond marin à l'entrée, avec un maximum -2.5m et un minimum de -1.5m, par rapport à l'allure, il y a une accumulation le long du profil mais il y a une accumulation des sédiments marquante dans le coté de la jetée secondaire, l'écart le plus important dans ce profil est environ 2.5m donc une vitesse maximale de -0.31m/an.

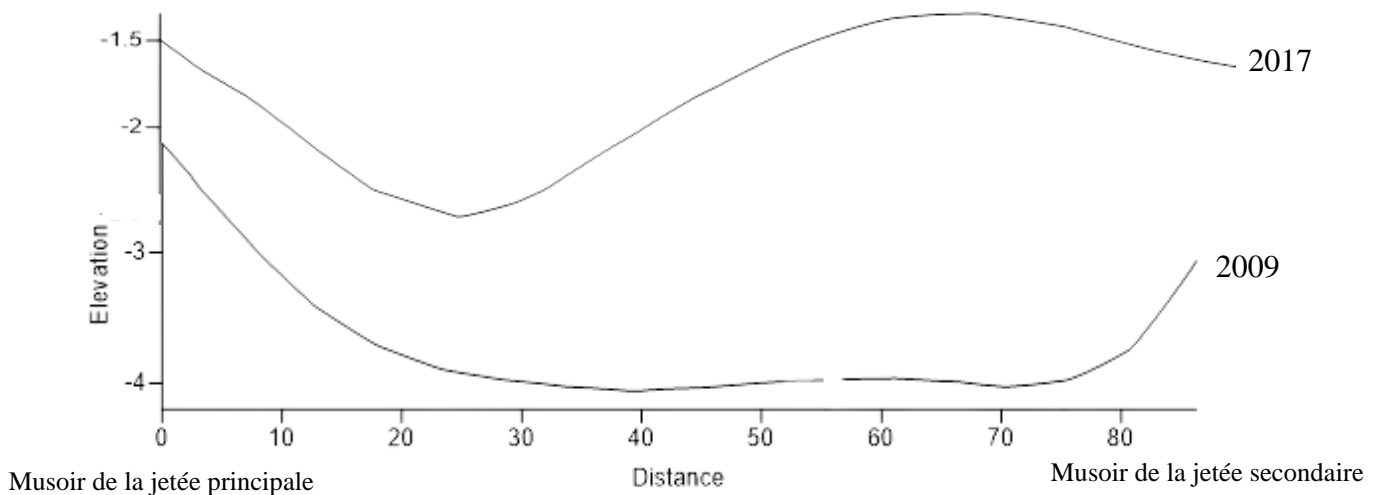


Figure 37 : Comparésant des profils de la bathymétrie 2009-2017 dans la passe d'entrée.

1.2.4.1.2. Profil 02 : Derrière la jetée secondaire

Le profil 02 montre la profondeur derrière la jetée secondaire jusqu'à le quai centrale du port, le profil 2009 indique l'état initiale avec un maximum de -4.5m et un minimum de presque -

1m, le profil 2017 mise à jour les changements dans cet endroit avec un maximum de -4 et un minimum de -0.5, ce qui indique une accumulation importante le long de ce profil, la différence maximale entre les 2 profils atteint plus que 3m de profondeur avec une vitesse maximale d'environ 0.38m/an.

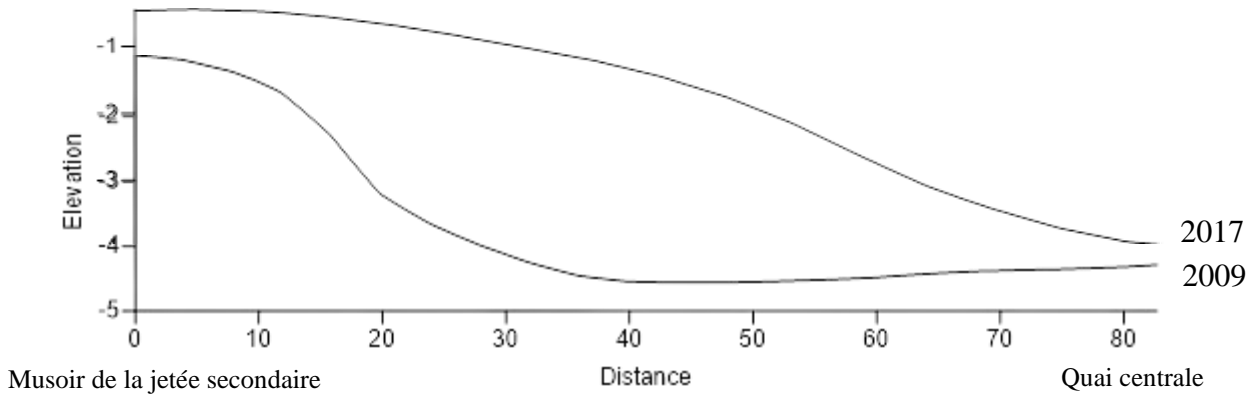


Figure 38 : Comparaissant des profils de la bathymétrie 2009-2017 derrière la jetée secondaire.



Figure 39 : Image Google Earth du port Marsa Ben M'hidi 2009.

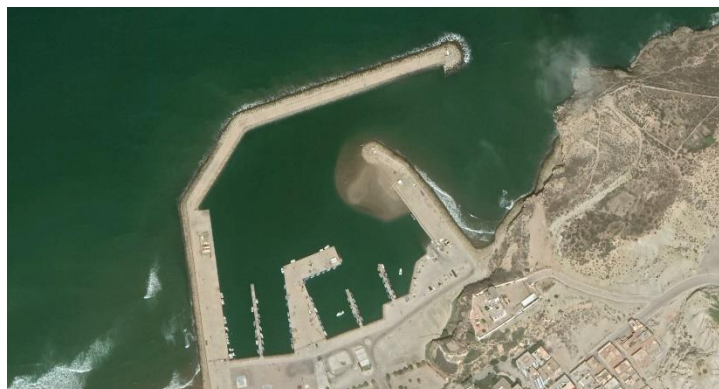


Figure 40 : Image Google Earth du port Marsa Ben M'hidi 2017.

1.2.4.1.3. Profil 03 : Dans le bassin du port

Le profil montre la profondeur dans le bassin portuaire. Le 0 représentent le quai central, ce qui indique une profondeur moyenne de -4 près de ce quai pendant la période 2009-2017,

Il n'y a pas beaucoup de changements dans ce profil par rapport aux profils précédents, mais dans ce profil il y a une faible érosion dans le centre du bassin, avec une accumulation au niveau de la jetée principale, l'écart le plus important atteint 1m d'érosion près de la jetée avec une vitesse de 0.125m/an d'érosion.

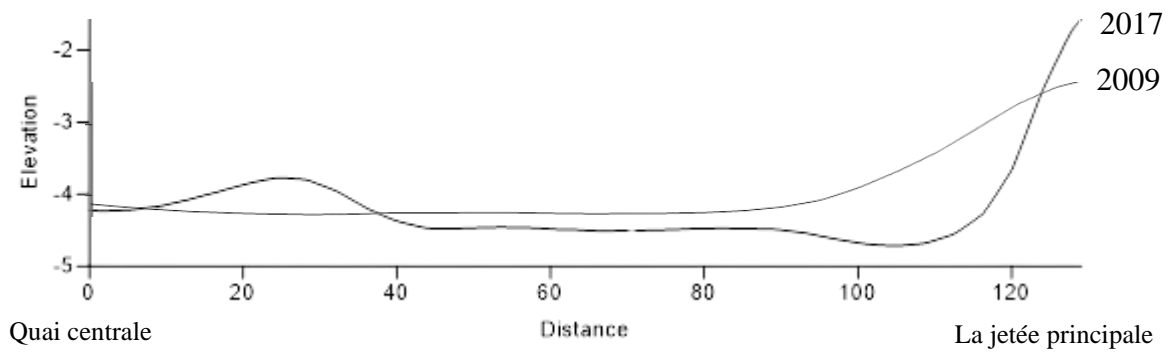


Figure 41 : Comparaison des profils de la bathymétrie 2009-2017 dans le bassin du port.

1.3. Conclusion :

Depuis la construction du port Marsa Ben M'hidi en 2009, il a connu une réduction des profondeurs notamment au niveau de la passe d'entrée est devenue palpable rendant l'accès au port une mission très risquée voire impossible. Selon l'étude bathymétrique effectuée au niveau du bassin intérieur du port les résultats montrent un ensablement très marquant surtout au niveau de la passe d'entrée et derrière la jetée secondaire, l'ensablement était très important au point d'apparaître dans les images satellitaires de Google earth.

Chapitre 04 : Etude sédimentologique

2. Introduction :

La sédimentologie est une branche de la géologie qui étudie l'origine, le transport, le dépôt et la transformation des sédiments, ainsi que les roches sédimentaires qui en résultent. **(Cojan & Maurice, 2021)**. Elle s'intéresse aux caractéristiques des particules sédimentaires, à leur mise en place et aux processus qui transforment les sédiments en roches sédimentaires. **(Deconinck & Chamley, 2011)**

Une étude sédimentologique vise à décrire les sédiments marins, à étudier leur distribution spatiale et donc leur mode d'organisation. L'analyse statistique des particules d'un sédiment meuble est devenue une pratique courante, les échantillons sont analysés en laboratoire à l'aide d'une analyse granulométrique. **(Dahmani, 2016)**

Les matériaux constitutifs des sédiments marins littoraux sont variés en fonction de leur origine géologique, de la taille et de la forme de leurs grains. Ils reflètent à la fois la qualité et la quantité des sources géologiques dont ils sont issus.

1.4. Prélèvements des échantillons :

La collecte des échantillons de sédiments de surface, portant sur toute la zone d'étude, a eu lieu en février 2017. Au cours de cette campagne, 63 échantillons de sédiments marins ont été prélevés, avec une profondeur maximale de 0 à 20 m. Outre les sédiments de la mer, 07 échantillons (du P64 à P70) ont été collectés afin de dresser une description des sédiments des plages aériennes.

La localisation des stations de prélèvement d'échantillons est effectuée en utilisant le GPS de navigation, en se basant sur des coordonnées préétablies. Les collectes sont réalisées par des plongeurs pour les sites à plus de 10 mètres de profondeur, et par une benne de type VAN VEEN pour les sites à moins de 10 mètres de profondeur. Les échantillons pour l'analyse granulométrique sont conservés dans de petits sacs en plastique, contenant une étiquette et un numéro. Chaque point est accompagné de fiches techniques qui fournissent des informations sur la nature du fond, la couleur du sédiment et l'odeur de l'échantillon. **(LEM, 2019)**

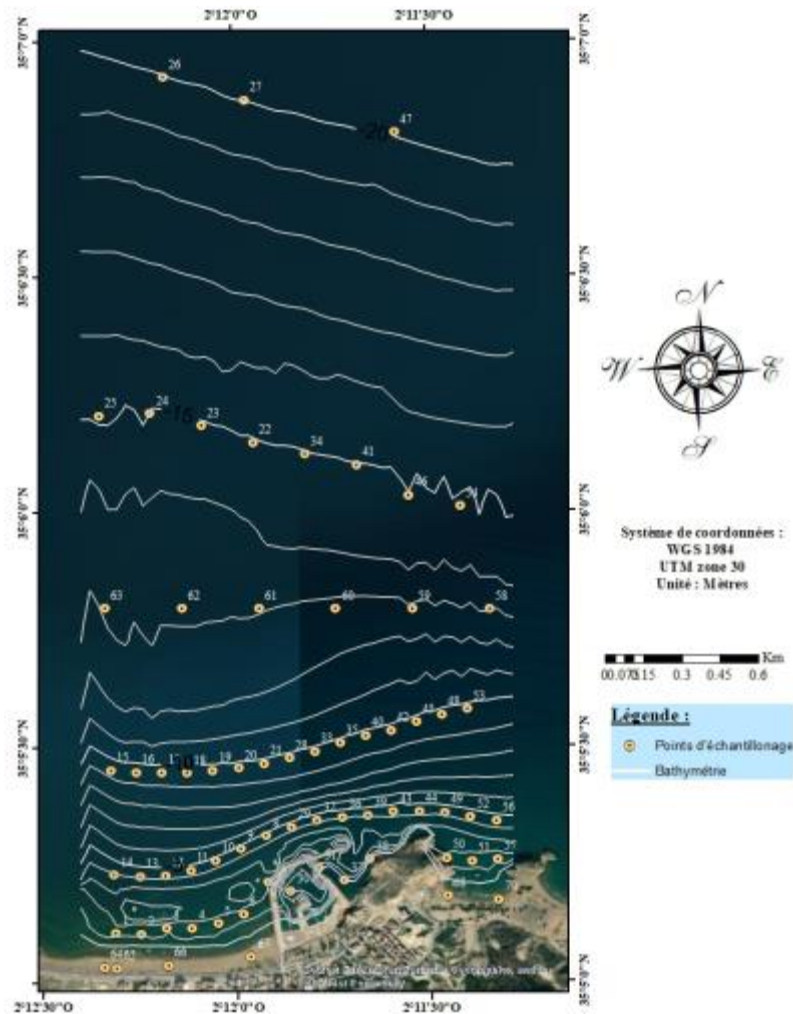


Figure 42 : Localisation des points de prélèvements port Marsa Ben M'hidi.

1.5. Méthode d'analyse au laboratoire :

La granulométrie permet de déterminer la taille et la répartition d'un ensemble de particules.

La méthode implique de passer un échantillon de sédiments à travers une série de tamis de diamètre décroissant, puis de déterminer le poids partiel de chaque tamis. La granulométrie permet de distinguer les différentes catégories de matériaux qui composent un même échantillon, peu importe sa nature chimique. **(Rivière, 1997)**

AFNOR (Association Française de Normalisation) est l'organisme français de normalisation, membre français de l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation). **(AFNOR, 2020)**

Cette association est impliquée dans l'élaboration de normes liées à l'analyse granulométrique, le processus crucial pour déterminer la distribution des tailles de particules dans divers matériaux. **(AFNOR, 2017)**

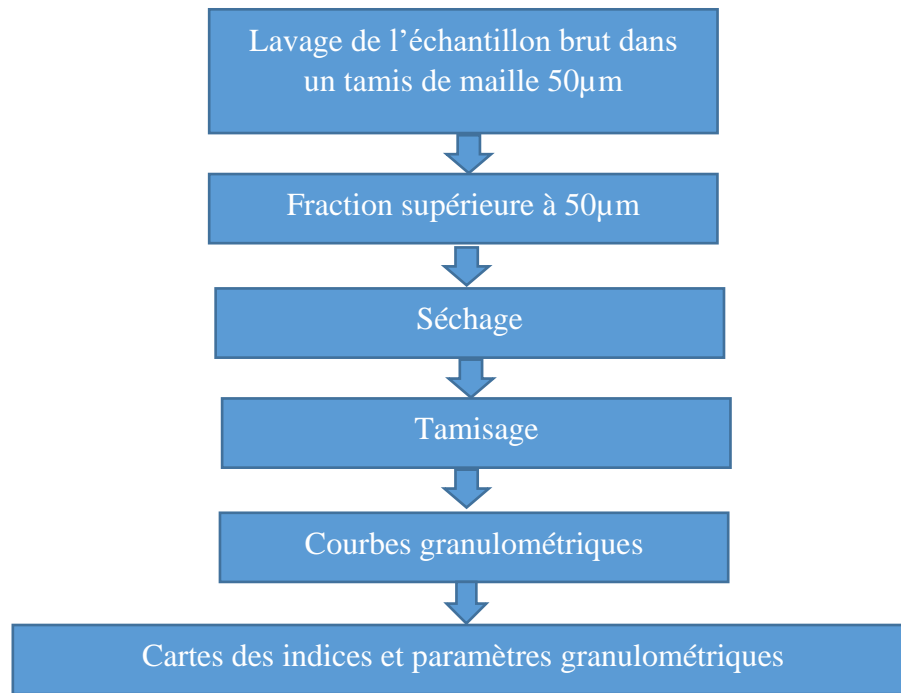


Figure 43: Méthodologie de travail de l'analyse granulométrique.

On détermine la granulométrie du matériel brut en le débarrassant simplement de la fraction fine par tamisage à 50 µm sous l'eau. En effectuant cette dernière opération, chaque sédiment est caractérisé par un indice de teneur en fraction inférieur à 50 µm. En complémentarité à 100%, cet indice permet de déterminer la quantité de sable (avec une fraction supérieure à 50 µm). Par la suite, la fraction grossière sera tamisée à sec pendant une durée de 30 minutes à l'aide d'une série de tamis de type « AFNOR ». Les tamis ont des diamètres allant de 50µm à 10 000µm. Une courbe granulométrique est créée pour chaque échantillon sur un diagramme semi-logarithmique, où l'ordonnée correspond au pourcentage total de refus et l'abscisse correspond au diamètre correspondant.

Pour chaque station, chaque échantillon est tamisé par une tamiseuse de type AFNOR dont le diamètre des mailles en microns des tamis est dans l'ordre décroissant :

Tableau 22 : Dimensions nominales des tamis de la norme AFNOR pour l'analyse granulométrique par tamisage après lavage. (Tarmoul, 2014)

Module	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Tamis (mm)	0.063	0.08	0.1	0.125	0.160	0.200	0.25	0.315	0.4	0.5	0.63
Module	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Tamis (mm)	0.800	1.00	1.25	1.60	2.00	2.50	3.15	4.00	5.00	6.30	8.00
Module	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	-
Tamis (mm)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80	-

Le refus fait référence à la partie du matériau retenue sur un tamis spécifique lors du processus de tamisage. Il s'agit du poids du matériau qui n'a pas passé par les mailles du tamis. **(Deconinck & Chamley, 2011)** La partie du matériau qui a traversé les mailles d'un tamis lors du processus de tamisage est appelée tamisât ou passant. Cela correspond au poids du matériau qui a traversé le tamis. **(Frank et al., 2019)**

1.6. La classification des sédiments :

Parmi les différentes classifications existantes, nous prenons en compte la classification de Folk, adoptée par l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI), reprise dans le tableau suivant :

Tableau 23 : Classes granulométriques adoptées par l'OHI

Galets grossiers	64 mm – 256 mm
Cailloux et galet	4 mm – 64 mm
Graviers	2 mm – 4 mm
Sables très grossiers	1 mm – 2 mm
Sables grossiers	0.5 mm – 1 mm
Sables moyens	0.25 mm – 0.5 mm
Sables fins	0.125 mm – 0.25 mm
Sables très fins	0.063 mm – 0.125 mm

1.7. Analyse des courbes :

Pour chaque échantillon, les poids collectés sur chaque tamis sont convertis en pourcentage pondéral des sédiments, ce qui permet d'établir les courbes granulométriques totales. **(Augris & Cressard, 1984)** On représente ces courbes sur un graphe semi-logarithmique en incluant le pourcentage cumulé des refus en ordonnées et le diamètre des grains en abscisses. L'analyse de ces graphiques permet de différencier la présence des diverses réserves de sédiments. **(Bail, 1978)**

Les sédiments collectés sur le site présentent la plupart du temps des courbes cumulatives semi-logarithmiques en forme de S à forte pente, bien qu'il y ait quelques différences dans leur apparence. La présence de courbes cumulatives semi-logarithmiques en forme de S dans les

sédiments indique que les sables sont transportés dans un environnement plus ou moins agité, avec une évacuation des particules fines par des courants. La composition du stock de sédiments est relativement homogène et l'énergie est adaptée à la charge transportée.

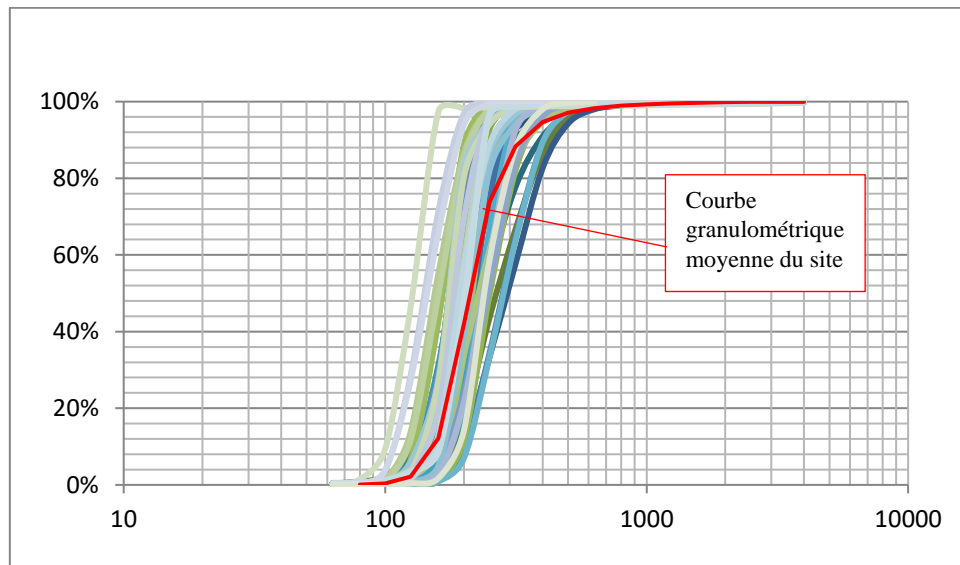


Figure 44 : Courbes granulométriques de la zone d'études (70 échantillons).

1.8. Indice de classement de Trask « So » :

L'indice de classification (ou hétérométrie) apporte une contribution à l'image du sédiment fournie par la médiane granulométrique en mesurant la répartition des tailles des grains autour de la valeur centrale. Le paramètre couramment utilisé dans les études sédimentologiques est le "Index de Sortage" de Trask,

Équation 1 : L'indice de classement de Trask "So"

$$So = \sqrt{\frac{Q75}{Q25}}$$

Cet indice est un bon critère du classement des sédiments étudiés. Il indique dans une certaine mesure le mode de dépôt : Un sédiment bien classé est le produit d'un vannage et d'un tri complet accompli lors d'un transport généralement long. Au contraire, les sédiments faiblement classés et mal classés sont des produits peu évolués qui ont été soumis à de courts transports n'ayant effectué aucun triage.

Tableau 24 : Valeurs de So représentant les types de classement. (Tarmoul, 2014)

Valeurs de So	[1 – 1.5]	[1.5 – 2.5]	[2.5 – 3.5]	[3.5 – 4.5]	>4.5
Classement	Très bien classé	Bien classé	Normalement classé	Faiblement classé	Mal classé

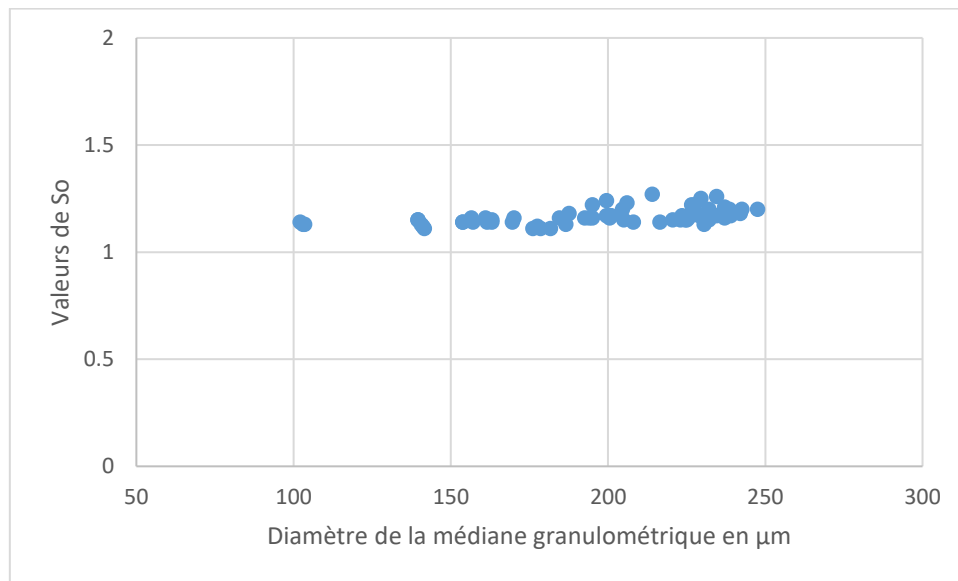


Figure 45 : Indice de classement de Task « So » des sédiments de la zone d'étude.

Le calcul de cet indice montre que les 70 échantillons ont des valeurs de « So » qui se situent entre 1 et 1.5. Représentant ainsi des sédiments bien à très bien classés.

1.9. L'indice d'asymétrie de l'histogramme (Skewness) :

Ce coefficient représente la symétrie par rapport à la médiane. Il offre la possibilité de mesurer la tendance des sédiments vers le grossier ou le fin. Si le mode est égal à 1, le sommet de la courbe de fréquence correspond au diamètre moyen. Si la proportion d'asymétrie est plus grande que 1, le classement est maximal du côté grossier ; au contraire, si la proportion est inférieure à 1, c'est du côté fin. La distance entre ce coefficient et l'unité augmente lorsque le mode est éloigné du diamètre moyen. De cette manière, l'asymétrie témoigne à la fois du milieu de stockage et des conditions de transport.

Équation 2 : L'indice d'asymétrie de l'histogramme (Skewness)

$$Sk = \frac{Q25 - Q75}{(Q50)^2}$$

Tableau 25 : Les limites de l'indice d'asymétrie « Sk ». (Dahmani, 2016)

Valeur de Sk	Asymétrie	Signification	Interprétation (intensité du courant)
Sk = 1	Nulle	Courbe à tendance symétrique	Courant modéré
Sk < 1	Positive	Décalage et classement maximum vers les particules grossières	Courant fort
Sk > 1	Négative	Décalage et classement maximum vers les particules fines	Courant faible

La majorité des valeurs de l'indice d'asymétrie, à savoir 66 échantillons sont égales à 1

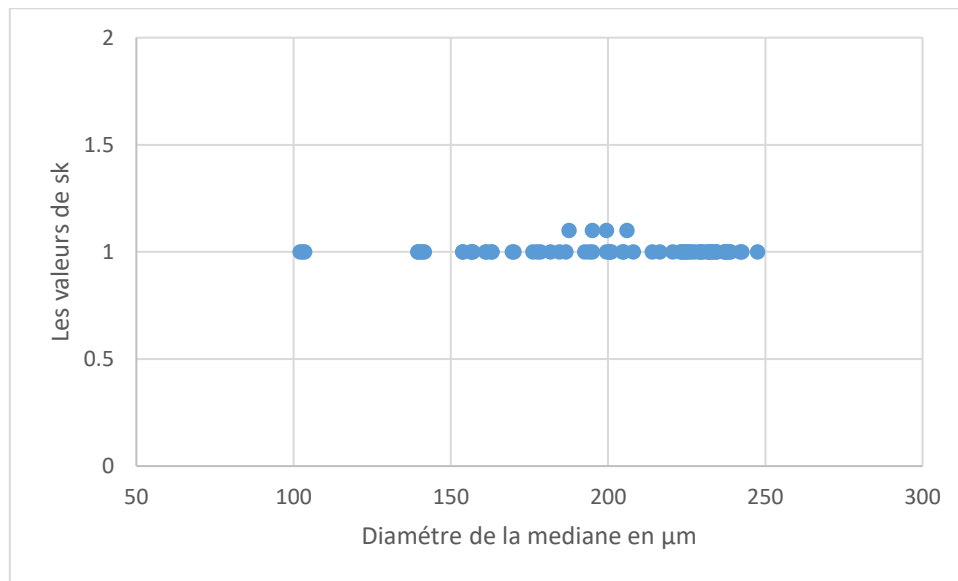


Figure 46 : L'indice d'asymétrie « Sk » des sédiments de la zone d'étude.

Les échantillons restants ont des valeurs très proches de 1. La lecture de ces valeurs indique globalement une symétrie du classement entre les particules fines et les particules grossières.

1.10. L'indice d'hétérométrie interquartile H_q :

Équation 3 : L'indice d'hétérométrie interquartile H_q

$$H_q = \frac{Q_3 - Q_1}{2} = \frac{d_{75} - d_{25}}{2}$$

L'indice de dispersion interquartile H_q permet d'analyser la répartition des données dans un échantillon. Plus l'indice est élevé, plus la répartition des valeurs est élevée, ce qui témoigne d'une grande diversité dans l'échantillon. Par contre, un indice plus bas indique une plus grande homogénéité des données, avec moins de fluctuations entre les valeurs. Par conséquent, en examinant l'indice d'hétérométrie interquartile H_q , il est possible d'évaluer la variété ou la similarité des données analysées.

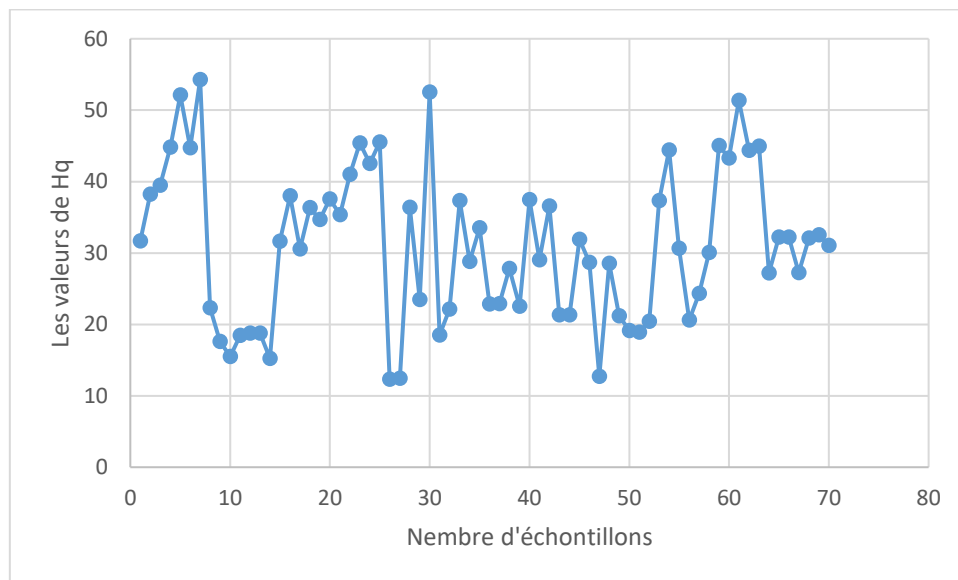


Figure 47 : L'indice d'hétérométrie interquartile H_q de la zone d'étude.

Les valeurs de cet indice montrent une grande variabilité, mais la plupart des valeurs sont élevées donc il y a une grande diversité dans l'ensemble des échantillons.

1.11. Diagramme de Passega :

Le modèle CM ou le diagramme de Passega peut être utilisé pour déterminer les conditions environnementales dans lesquelles les sédiments ont été transportés, sur la base des paramètres C (Un percentile de la distribution granulométrique) et M (la médiane : 50e percentile de la distribution granulométrique), ce qui est utile pour l'interprétation hydrodynamique des données granulométriques, il présente la taille du grain médian (D50%) en abscisse et les valeurs du D99% (percentile supérieur) en ordonnée. (Ayodele et al., 2019). Il comprend un ensemble de segments connus sous le nom de patterns qui illustrent diverses formes de transport :

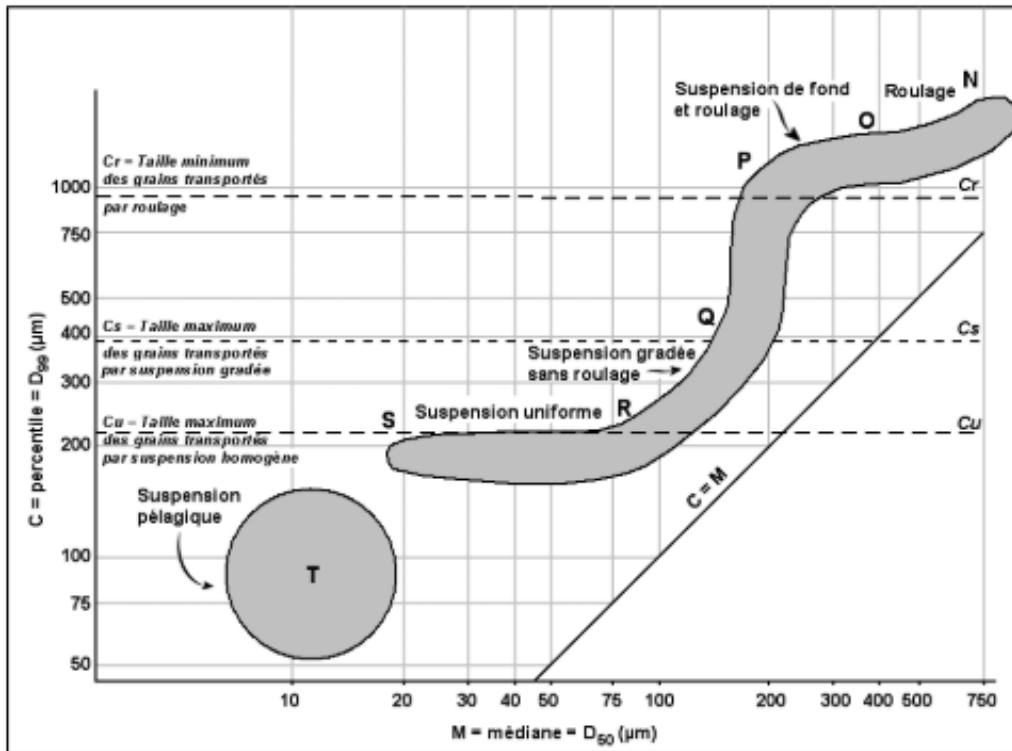


Figure 48 : Le diagramme original de Passega.1964. (Geoffrey et al., 2013)

- Le segment SR correspond aux sédiments qui sont transportés de manière homogène (uniforme).
- Les sédiments transportés en suspension graduelle sont représentés par le segment RQ.
- Le segment QP correspond aux sédiments qui sont transportés par saltation.
- Le segment PO correspond aux sédiments principalement transportés par charriage.
- Les sédiments transportés par roulement sont représentés par le segment ON.

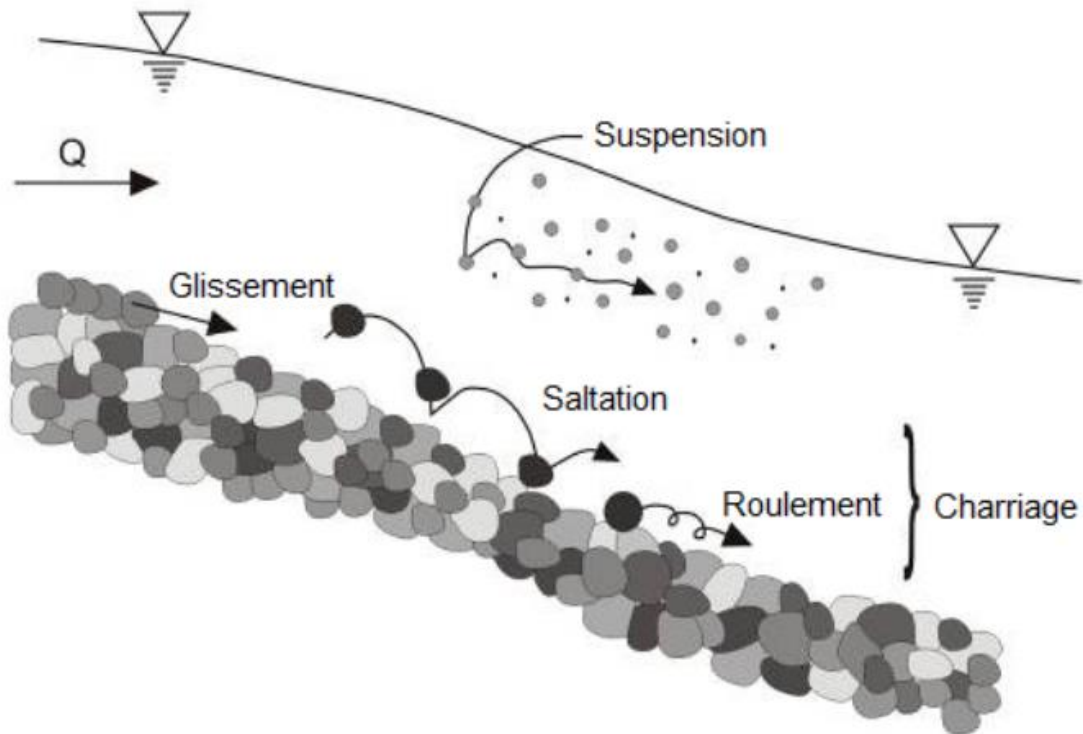


Figure 49 : Les différentes formes de transport des sédiments sous l'eau. (Antoine, 2013)

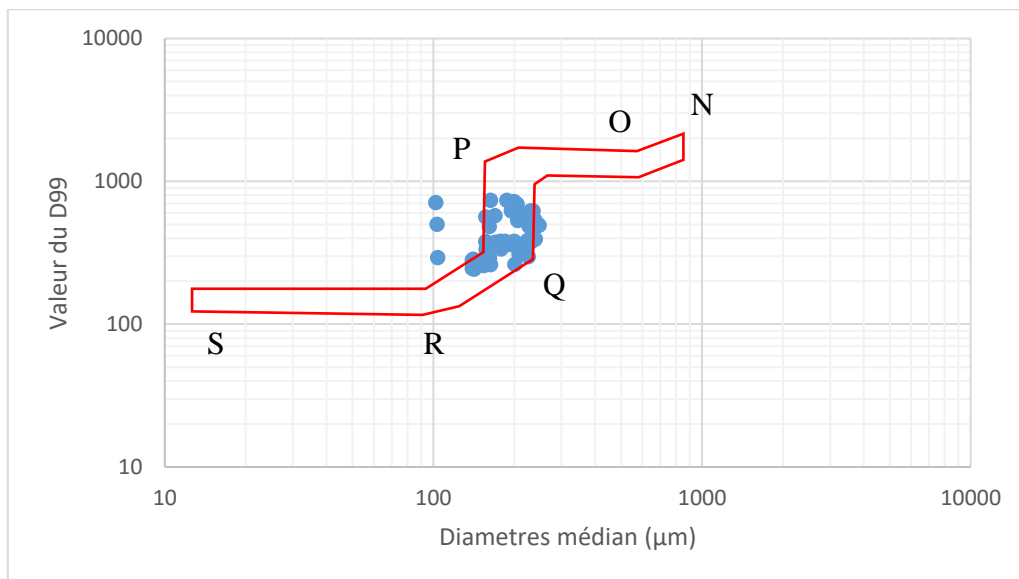
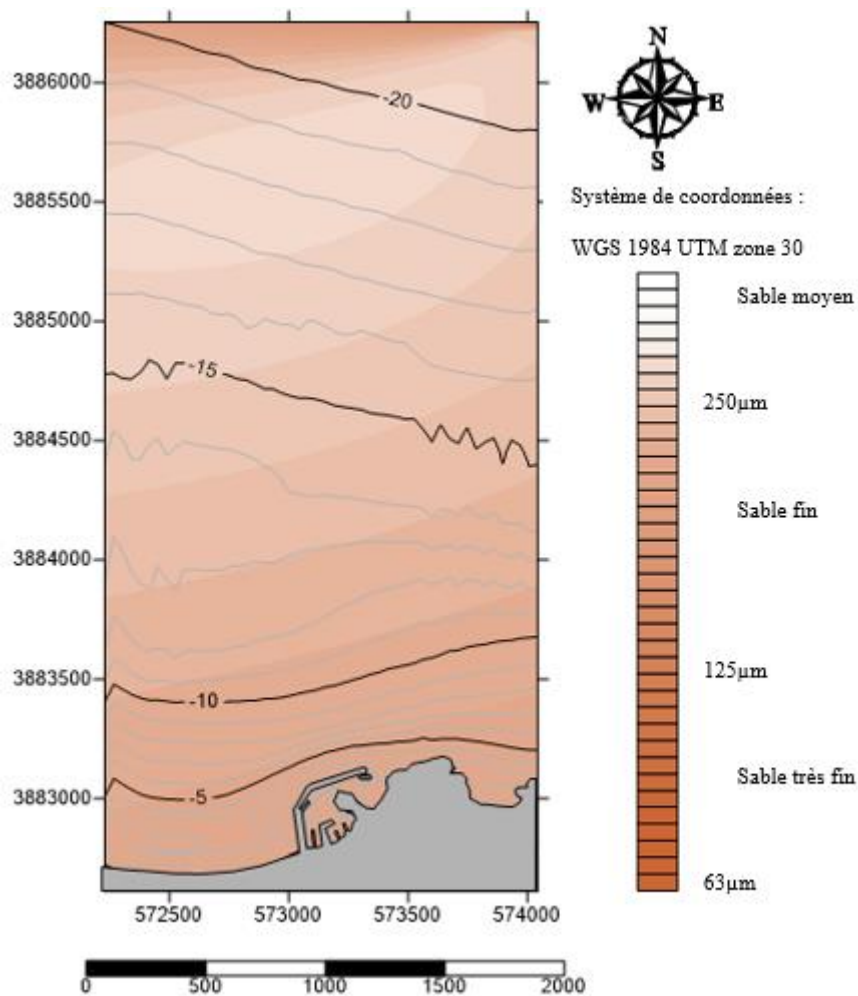


Figure 50 : Diagramme de Passegga de la zone d'étude.

La plupart des sables de la plage sous-marine (à l'exception des échantillons prélevés sur le rivage) sont situés dans le segment QP ou RQ, comme le montre le diagramme de Passegga. Selon cette présentation, les sédiments sont principalement transportés par saltation ou par suspension graduelle.

1.12. Médiane granulométrique :

Le diamètre du grain moyen, dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment, est appelé médiane granulométrique. Elle donne une estimation approximative de la taille moyenne des particules sédimentaires. Selon la carte de la distribution spatiale de la médiane granulométrique, il est observé que la morphologie sédimentaire de la zone étudiée est principalement constituée de sables fins ($125\mu\text{m} < D50 < 250\mu\text{m}$). En revanche, les sables très fins ($63\mu\text{m} < D50 < 125\mu\text{m}$) se manifestent très éloignés au large (à partir de - 20m). Notons que le calcul de la moyenne des médianes granulométriques des échantillons sous-marins (hors échantillons prélevés sur la ligne de cote) donne une valeur l'ordre de $196\mu\text{m}$ (soit 0,196 mm).



1.13. Les pélites :

Il est crucial de prendre en compte la concentration en fraction fine ou pélite ($<50\mu\text{m}$) car cela peut révéler des sources potentielles d'apport et des zones de dépôt préférées. Les valeurs

obtenues dans la zone prospectée varient de 0% à 34% de la masse totale de chaque échantillon, ce qui confirme le pourcentage des teneurs en fraction fine.

L'étude de la fraction fine consiste, à établir une carte des pélites qui montre la répartition de cette fraction au sein du site des « Marsa Ben M'hidi ».

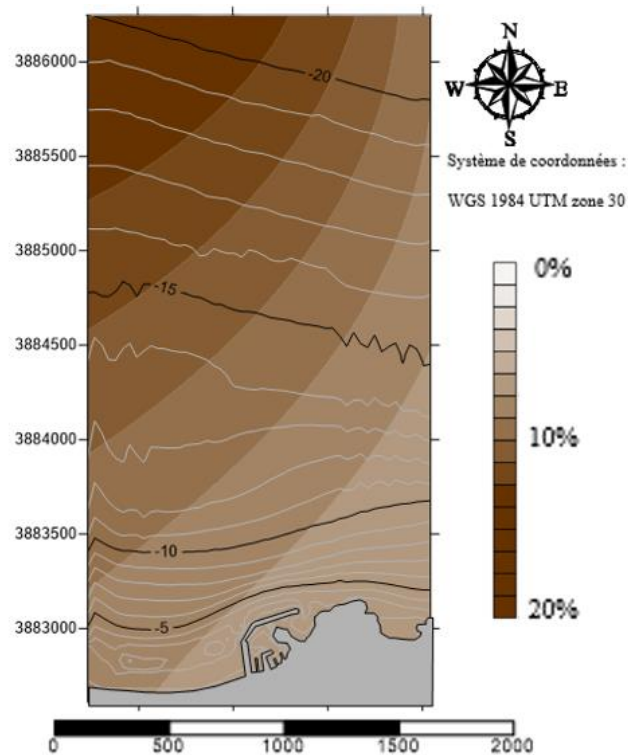


Figure 52 : Répartition de la fraction fine (pélites) dans la région de Marsa Ben M'hidi.

La teneur en fraction fine tend à augmenter localement et ou vers le large. Dans les profondeurs -15 à -20 m la carte traduit une teneur relativement forte en fraction fine.

Les valeurs de celle-ci ne dépassent pas les 20% de la masse totale de l'échantillon, par rapport aux échantillons qui sont à proximité de la ligne de côte ils ont des valeurs un peu faibles qui atteint presque 5%. Au-delà de -20m de profondeur il y a une augmentation graduelle des valeurs d'pélites vers le large.

1.14. Sédimentologie de la zone d'étude :

Selon le livre de l'ECLAIRE, Marsa Ben M'hidi une partie du golfe de Nemrous,

argileuse puis une Boues argilo-calcaire, on observe aussi une zone a affleurement sous-marin probable ou substratum immédiatement sous-jacent, des vases calcaires et des vases calcaréo-siliceuses vers l'est de la carte et c'est un peu loin de notre zone d'étude.

1.14.1. Substratum :

En géologie, le substratum, ou soubassement, est la formation géologique sur laquelle repose une unité plus récente, comme un sol ou une couche sédimentaire. C'est la couche la plus profonde et ancienne, constituée de roches ignées, métamorphiques ou sédimentaires. (**George & Michard, 2014**)

1.14.2. Sables et sablons siliceux :

Il s'agit d'un matériau lithoclastique, une accumulation de sédiments siliceux introduits dans le bassin par des agents périglaciaires comme les fleuves et les vents. Ce matériel terrigène montre une longue évolution avec des apports successifs et des remaniements. Les roches, principalement constituées de silex, quartz, grès et quartzites, sont souvent allochtones. Des galets autochtones, indicateurs géologiques, sont localement présents. Les cailloutis, généralement peu émoussés, et les sables montrent des traces d'usure ancienne causée par diverses actions, notamment éoliennes. (**Auffret et al., 2017**)

1.14.3. Boues silico-argileuse :

Les boues silico-argileuses combinent les caractéristiques des argiles (illite, chlorite, smectites) et des silicates (quartz, silice). Elles se forment par la dégradation mécanique et chimique de roches comme les micas et les feldspaths, contenant des particules fines et des minéraux transportés par l'eau ou le vent. (**Urbain, 1951**)

1.14.4. Boues argilo-calcaires :

Les boues argilo-calcaires sont un mélange d'argile et de carbonate de calcium, se formant généralement dans des milieux marins peu profonds comme les lagunes et les baies. Le carbonate de calcium provient de la précipitation chimique ou de la décomposition des coquilles d'organismes marins, tandis que les argiles sont apportées par les rivières ou l'érosion côtière. Compactées, elles deviennent des roches sédimentaires telles que les marnes et les calcaires argileux. Ces sédiments sont courants dans les séries géologiques du Mésozoïque et du Cénozoïque du nord de l'Algérie. (**Elmi & Benest, 1978**)

1.15. Synthèses de l'étude sédimentologique :

La répartition spatiale des sédiments montre une répartition qui correspond au schéma classique de la distribution des sédiments en mer, à savoir une réduction graduelle de la taille des particules de la côte vers le large.

Il est observé que la morphologie sédimentaire de la zone étudiée est principalement constituée de sables fins ($125\mu\text{m} < D50 < 250\mu\text{m}$) avec une moyenne de $196\mu\text{m}$. Les échantillons soumis à l'analyse granulométrique révèlent une légère augmentation des concentrations de la fraction fine ($<50\mu\text{m}$) près de la ligne de rivage, ce qui indique un faible hydrodynamisme dans la zone Marsa Ben M'hidi. De plus, il y a une embouchure de l'Oued Kiss à proximité de la plage qui alimente la plage avec les sédiments fins.

Les sédiments sont très bien classés en fonction de l'indice de classement de Trask « So », ce qui indique la présence de courants réguliers à très réguliers dans la zone d'étude. Concernant l'indice d'asymétrie « Sk », les sédiments sont symétriques. Les particules fines et grossières sont classées en fonction de l'existence de courants modérés, selon l'indice de dispersion interquartile Hq , il y a une grande diversité dans l'ensemble des échantillons. Le diagramme de Passega indique que les sédiments de la zone d'étude sont transportés par saltation ou par suspension graduelle ce qui montre que les sédiments sont classés comme sable ou argile selon la figure 57.

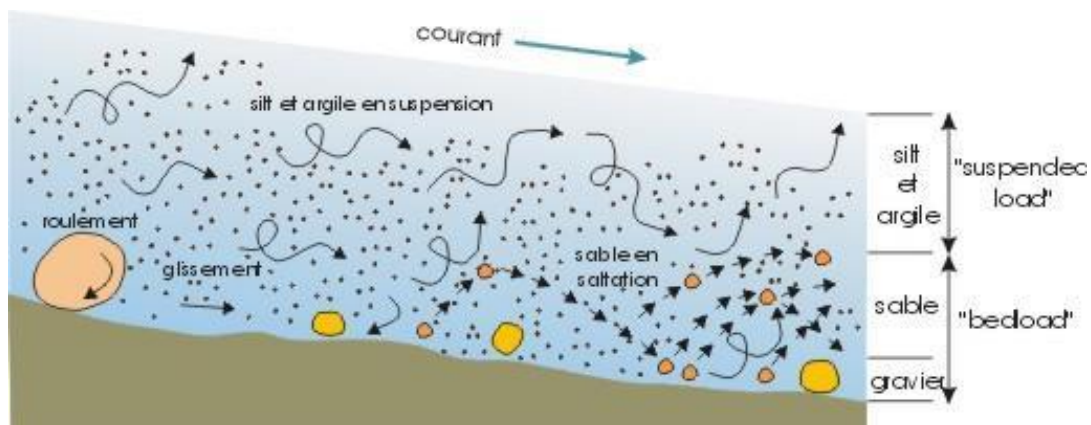


Figure 55: Types de transport selon les tailles des sédiments.

Le substratum marin de la zone d'étude témoigne de son ancienneté, tandis que les sables et les sablons siliceux suggèrent qu'une rivière alimente la plage et qu'elle a connu une évolution longue. La formation de boues argileuses silico est due à la dégradation mécanique et chimique des roches présentes dans la région. La carte de la couverture sédimentaire révèle l'existence de boues argilo-calcaires qui se forment dans les eaux peu profondes (plateau marin) en

mélangeant les sédiments fluviaux avec les substances émises par la dégradation des organismes marins. Cela indique que la diagénèse des sédiments est un peu importante près de la ligne de rivage.

Chapitre 5 : La modélisation numérique avec Mike 21

1. Présentation du Mike 21 :

Le transport des sables est influencé par les mouvements d'eau produits par les courants, par les vitesses orbitales liées à la houle, ou le plus souvent par une combinaison de ces deux phénomènes. La version ultérieure du logiciel MIKE 21, créée par DHI, offre la possibilité de représenter numériquement le transport sédimentaire en tenant compte de tous les paramètres impliqués dans cette problématique, en tenant compte d'un équilibre dynamique entre la propagation de la houle, la courantologie et le transport sédimentaire. Dans le but de saisir le fonctionnement hydro-sédimentaire du littoral de Marsat Ben M'Hidi, une modélisation rigoureusement bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est réalisée. Elle est réalisée en utilisant le couplé model FM de Mike 21, un système intégré puissant qui combine des modèles de houle, de courant et de transport sédimentaire dans un modèle morphologique entièrement en mouvement. Le SW, le HD et le ST sont les modèles combinés.

1.1. Le modèle SW :

Est un modèle de houle spectrale qui utilise la conservation de la densité d'action d'onde en prenant en considération les phénomènes de réfraction, de frottement sur le fond, de shoaling et de déferlement.

1.2. Le module HD :

Réalise une simulation des changements du niveau d'eau et des écoulements en réponse à différents types de contraintes. Le principal usage de ce modèle est de simuler de nombreux phénomènes hydrauliques tels que la marée, les courants provoqués par le vent et la houle, ainsi que les surcotes. On calcule les courants en se basant sur les contraintes de radiation obtenues à partir du modèle SW. On modifie localement le niveau d'eau aux frontières latérales pour tenir compte de la surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement. La surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement et les courants de dérive littorale seront causés par les gradients de contraintes de radiations.

1.3. Le modèle ST :

Représente le déplacement du sable sur le fond et en suspension en utilisant les courants et la houle en combinaison. Dans la zone de déferlement, on intègre les courants de retour. Le modèle est déterministe et nécessite une certaine flexibilité. L'équation de conservation de la masse sédimentaire permet de calculer les taux initiaux de sédimentation/érosion. Ce modèle est employé afin d'améliorer la morphologie des infrastructures portuaires, d'améliorer la protection côtière et de garantir la stabilité des estuaires.

2. La méthodologie :

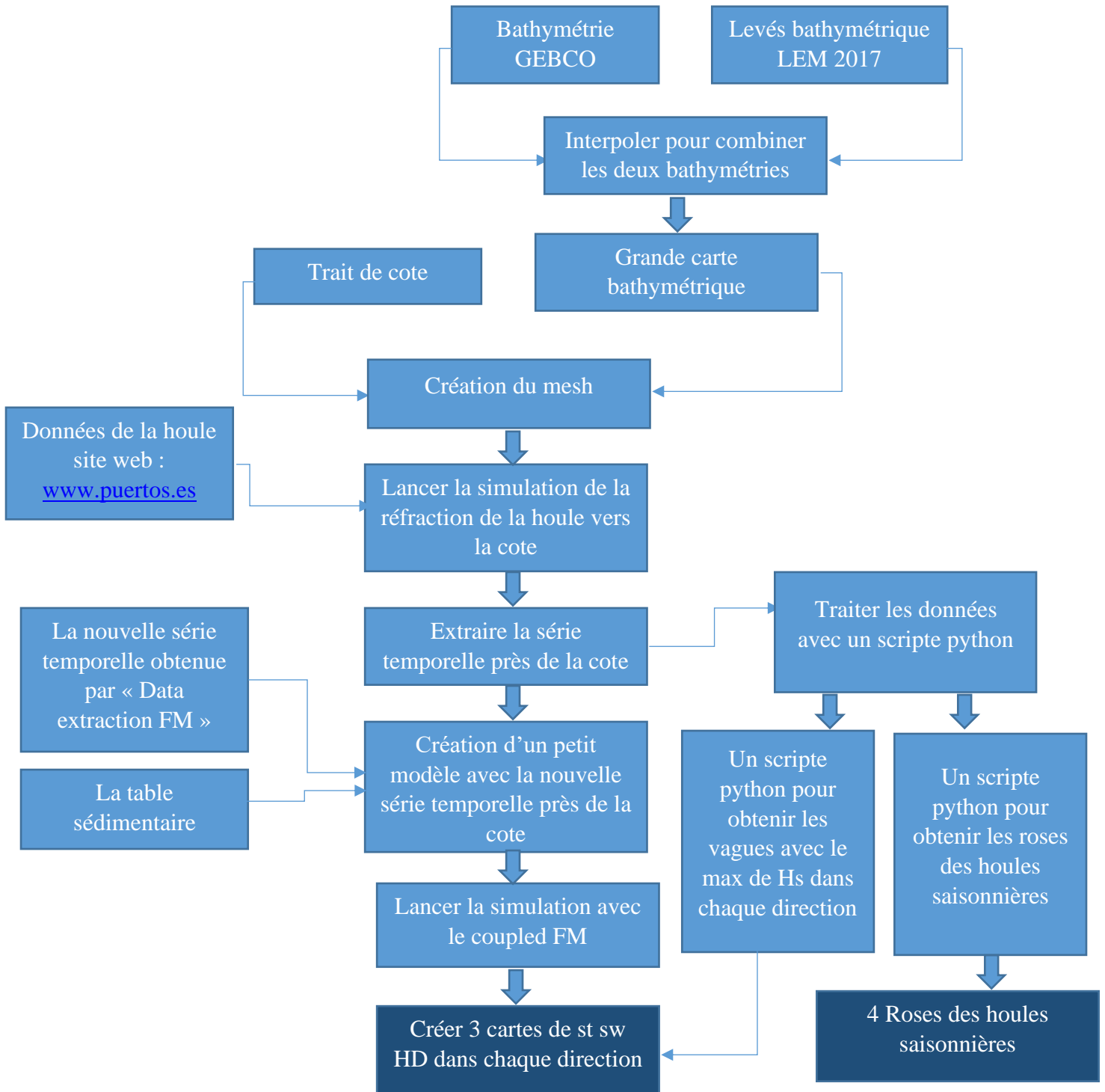


Figure 56: La méthodologie de la modélisation de la réfraction de la houle, le transport sédimentaire et les courants en utilisant le logiciel Mike 21.

2.1. Extraction des données de la houle :

Les données utilisées dans cette étude couvrent une période (01/01/2010_17/05/2024), l'extraction de la nouvelle série sera avec les mêmes périodes que la première.

2.1.1. La bathymétrie GEBCO :

La plateforme internationale GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) est un site web qui a pour objectif de fournir des informations bathymétriques précises et accessibles sur le fond des océans. L'Organisation hydrographique internationale (IHO) et le Comité intergouvernemental pour l'exploration de la mer (IOC) sont ses partenaires.

Les données utilisées dans l'étude couvrent toute la zone indiquée dans la figure 60, afin d'atteindre la position du SIMAR point 2060072 au large pour extraire la donnée près de la cote par la suite.

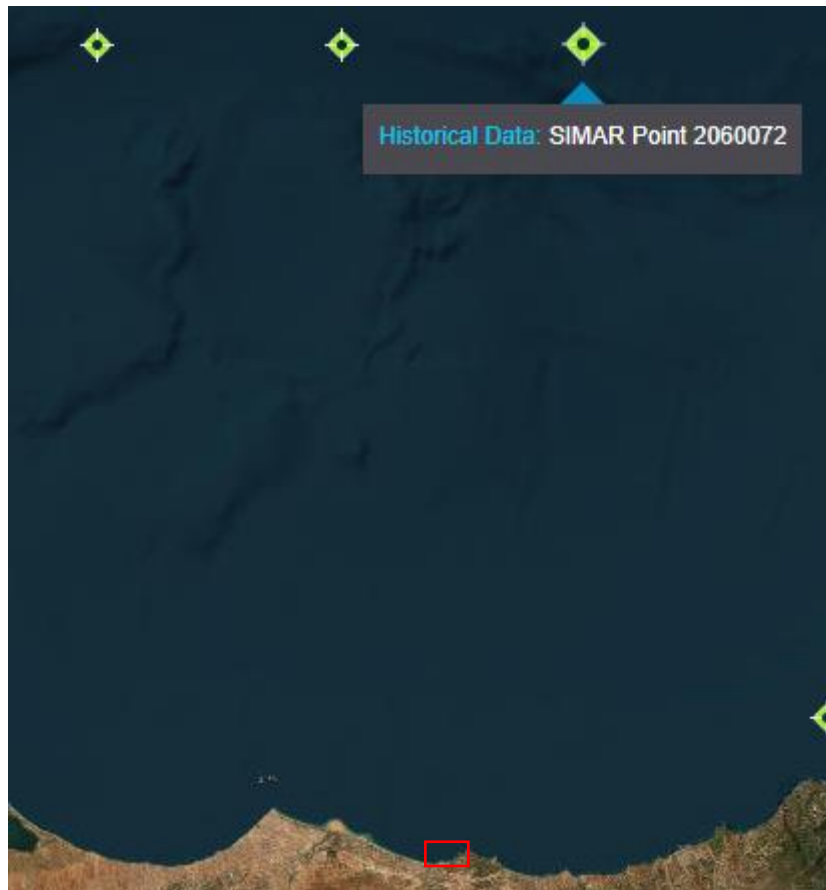


Figure 57 : Le SIMAR point 2060072. (www.puertoes.es)

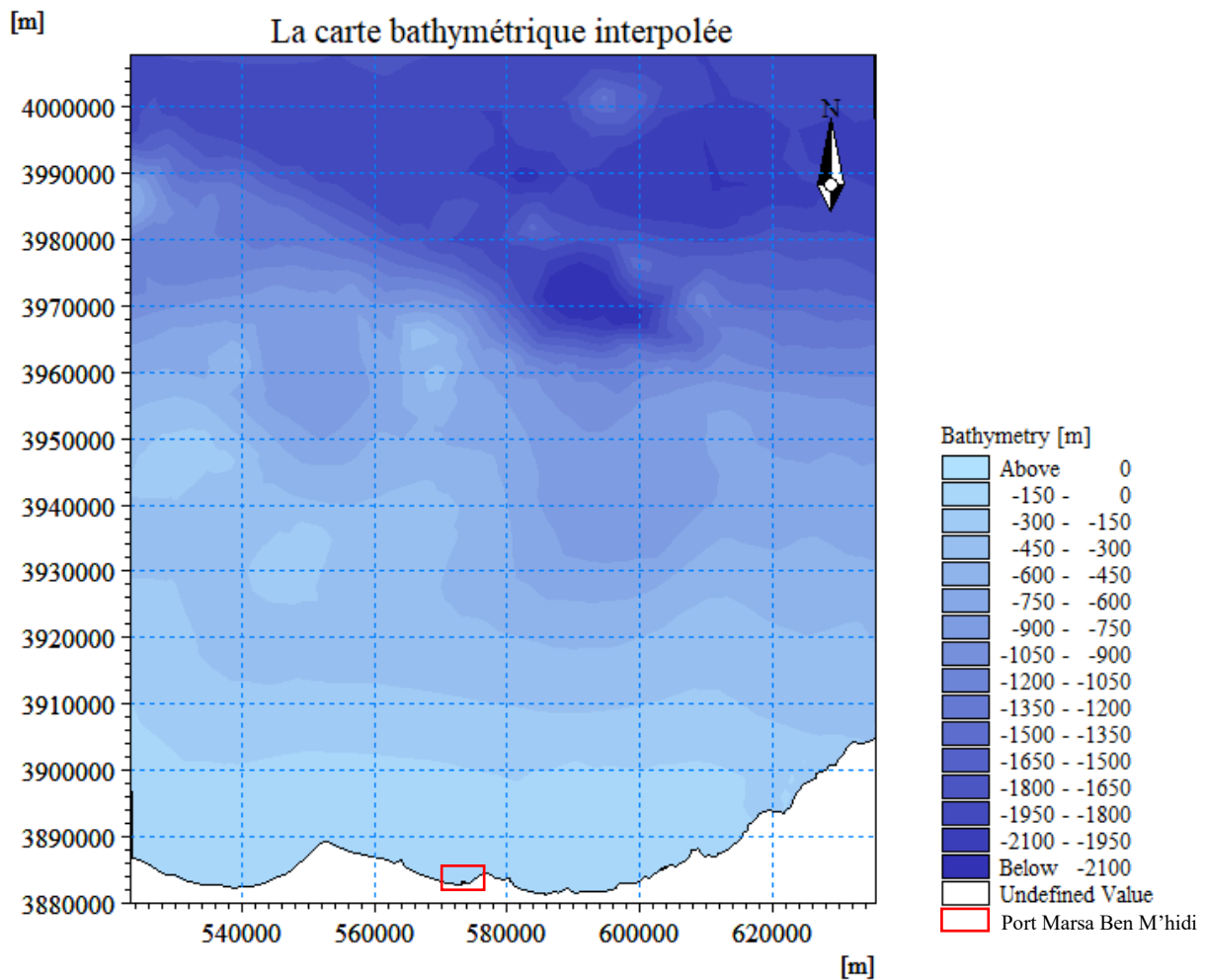


Figure 58 : Carte bathymétrique interpolée (bathymétrie GEBCO + levés).

La carte bathymétrique est aussi grande afin d'atteindre la localisation du SIMAR point 2060072 (figure 59)

2.1.2. Le maillage du grand modèle :

Pour ce modèle, la création d'un fichier mesh est basé sur l'utilisation de l'outil « refine depth/gradient » qui permet de construire un maillage pertinent et rapide qui ne cause pas des complications lors de la simulation, cet outil consiste à créer des mailles à mesure que la profondeur de la mer diminue, la surface des triangles diminue proportionnellement.

Le domaine spatial est discrétisé selon un maillage non structuré à éléments triangulaires permettant d'affiner la résolution du modèle au niveau de la zone d'intérêt. Le maillage est constitué d'environ 100000 nœuds et 26000000 éléments.

Le choix entre un maillage triangulaire et un maillage quadratique dépend souvent des spécificités du problème à résoudre et des caractéristiques du domaine à mailler. Toutefois, un maillage triangulaire est souvent considéré comme plus précis ou plus avantageux dans certains contextes, y compris dans l'utilisation du logiciel MIKE pour la modélisation hydraulique et

environnementale. Les triangles s'adaptent plus facilement aux formes complexes et aux frontières irrégulières, permettant de mieux capturer les détails géométriques du domaine d'étude, améliorant ainsi la précision de la modélisation. De plus, les maillages triangulaires permettent une adaptation locale en ajoutant des triangles plus petits dans les zones nécessitant une résolution plus élevée, sans affecter le reste du maillage.

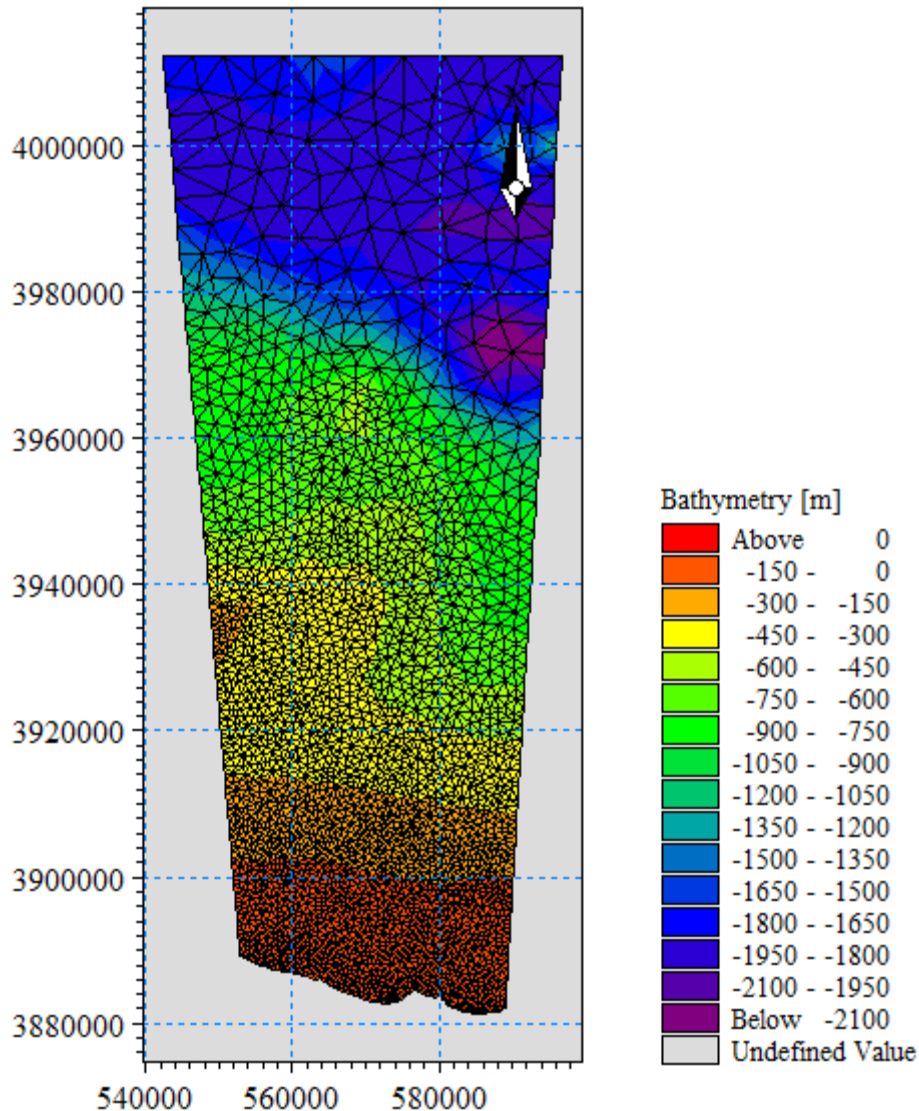


Figure 59 : Le mesh du grand modèle.

2.1.3. L'extraction de la donnée :

Après la simulation de la réfraction, le choix du point doit être proche du port afin d'utiliser la nouvelle série temporelle dans les prochaines simulations, l'extraction de cette série était avec « Data extraction ». Le résultat est un fichier avec l'extension. dfs0.

2.2. Les roses des houles :

2.2.1. La rose des houles annuelle :

La création de la houle annuelle est basée sur les données de la nouvelle série temporelle

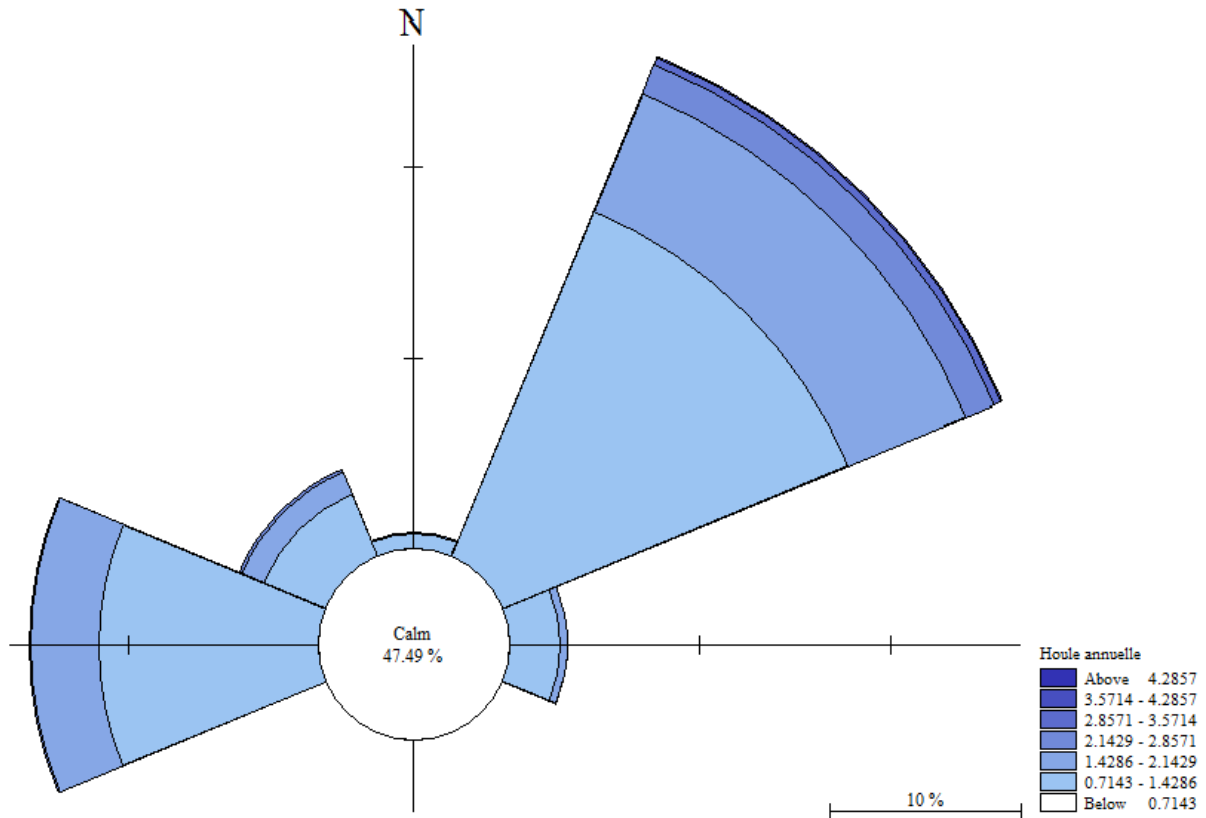


Figure 60 : La rose des houles annuelle 2013-2023.

La rose des houles fournie montre que la direction dominante des houles provient du nord-Est. La longueur de chaque secteur indique la fréquence relative des houles de cette direction, avec les houles venant du nord-Est étant les plus fréquentes. Les différentes nuances de bleu représentent l'intensité ou la hauteur des houles représente les événements extrêmes, classifiées en plusieurs catégories, où les houles les plus intenses, supérieures à 4.2857, sont les moins fréquentes, et la majorité des houles se situent dans les catégories intermédiaires de 1.4286 à 3.5714. Le centre de la rose révèle que 47.49% du temps, les conditions sont calmes, sans houle significative.

2.2.2. Les roses des houles saisonnières :

Pour créer les roses des houles saisonnières il faut trier les données de la 2^{ème} série temporelle en fonction des saisons (hiver, été, printemps et l'automne)

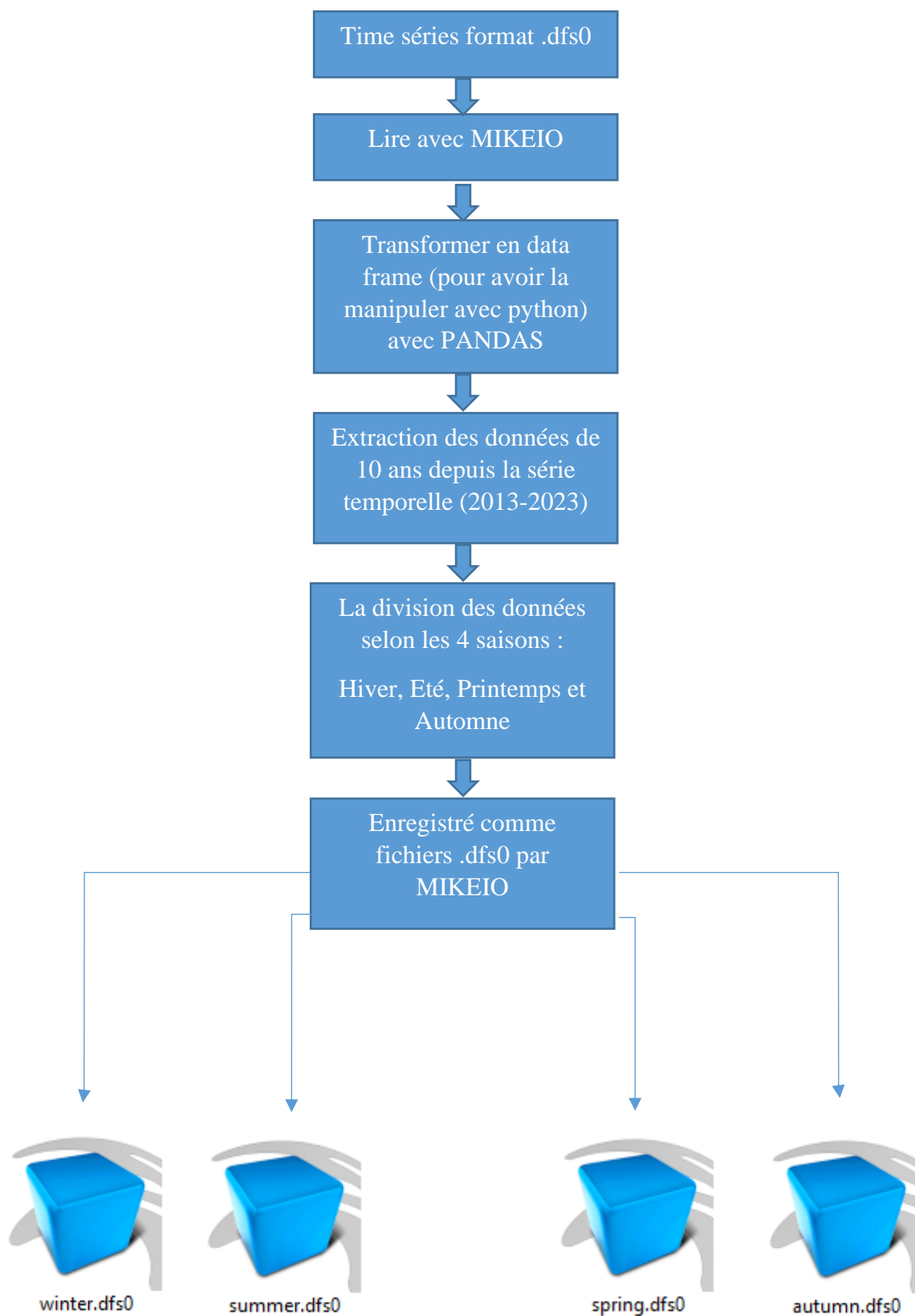
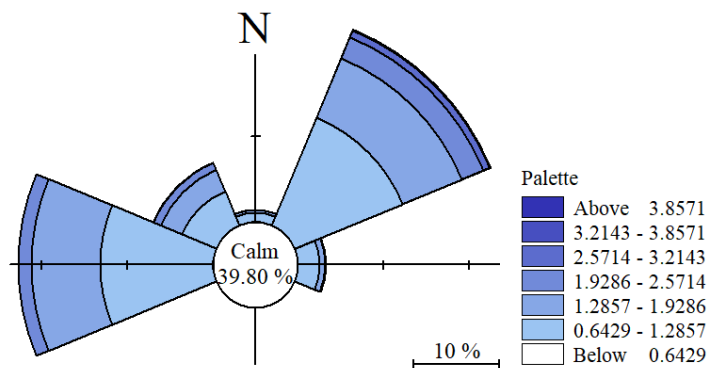
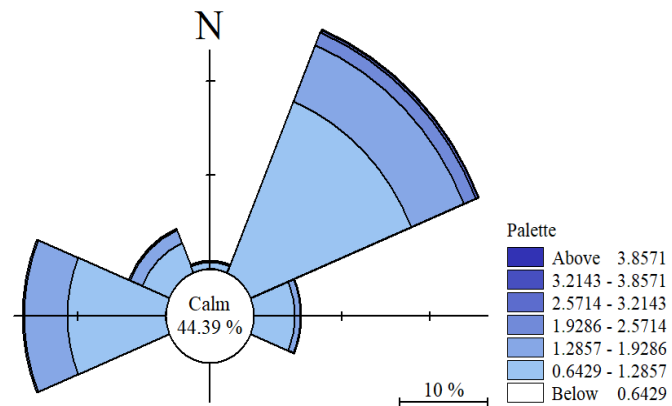


Figure 61 : Diagramme présentant la méthodologie de traitement des données de la houle par le Python pour les roses des houles.

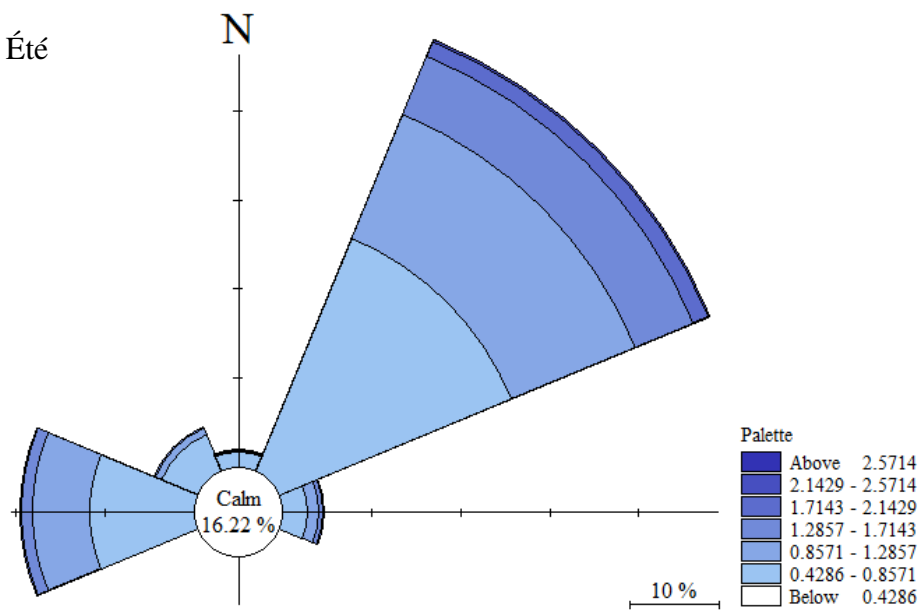
Hiver



Automn



Été



Printemps

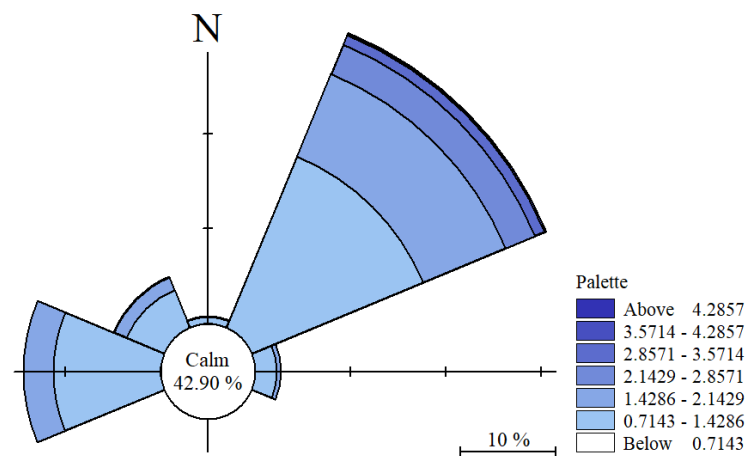


Figure 62 : Les roses des houles saisonnières 2013-2023.

L'image fournie se compose de quatre roses des vents saisonnières, décrivant la direction et l'intensité des vagues au cours des saisons : Hiver, Automne, Été et Printemps de 2013 à 2023. Les couleurs plus foncées indiquent des hauteurs de vagues plus élevées. Les roses montrent collectivement les tendances saisonnières de la direction et de la hauteur des vagues sur une période de dix ans, ce qui est utile pour comprendre le comportement des vagues et les impacts potentiels sur les zones côtières à différentes saisons. Voici une interprétation de chaque graphique :

2.2.2.1. Hiver :

Le graphique montre la prédominance des directions des vagues pendant la saison hivernale. La catégorie "Calme" indique que 39,80 % du temps, il n'y a pas de vagues significatives. L'intensité des couleurs représente différentes gammes de hauteurs de vagues, les teintes plus foncées indiquant des hauteurs de vagues plus élevées. En hiver, les vagues les plus hautes (bleu foncé) proviennent le plus souvent la direction Nord-Est.

2.2.2.2. Automne :

Les conditions "calmes" représentent 44,39% du temps, ce qui indique une grande partie de la saison sans vagues notables. La direction prédominante des vagues est le Nord-Est. Là encore, les teintes plus foncées représentent des hauteurs de vagues plus élevées.

2.2.2.3. Été :

Les conditions "calmes" sont présentes 16,22% du temps. La direction prédominante des vagues est le Nord-Est. Les vagues les plus hautes (bleu foncé) en été proviennent de la direction Nord-Est.

2.2.2.4. Printemps :

Les conditions "calmes" représentent 42,90% du temps. Les directions prédominantes des vagues sont toujours le Nord-Est.

2.2.2.5. Observations générales :

Chaque rose est divisée en sections représentant les directions du compas, les données sur la hauteur des vagues étant représentées à l'aide d'un gradient de couleur. Le pourcentage de conditions calmes varie d'une saison à l'autre, l'automne présentant le pourcentage le plus élevé et l'été le plus faible. Les vagues proviennent généralement des directions du Nord-Est en toutes saisons, avec des variations de la hauteur des houles.

2.3. La simulation de st, sw et HD dans la zone d'étude :

2.3.1.1.1. Création du mesh :

Pour ce modèle, la création d'un fichier mesh est basée sur l'utilisation des arcs, parce qu'il n'y a pas assez de changement dans la bathymétrie dans la zone d'étude par rapport au premier modèle, le domaine spatial est discrétisé selon un maillage non structuré à éléments triangulaires permettant d'affiner la résolution du modèle au niveau de la zone d'intérêt. Le maillage est constitué d'environ 100000 nœuds et 26000000 éléments.

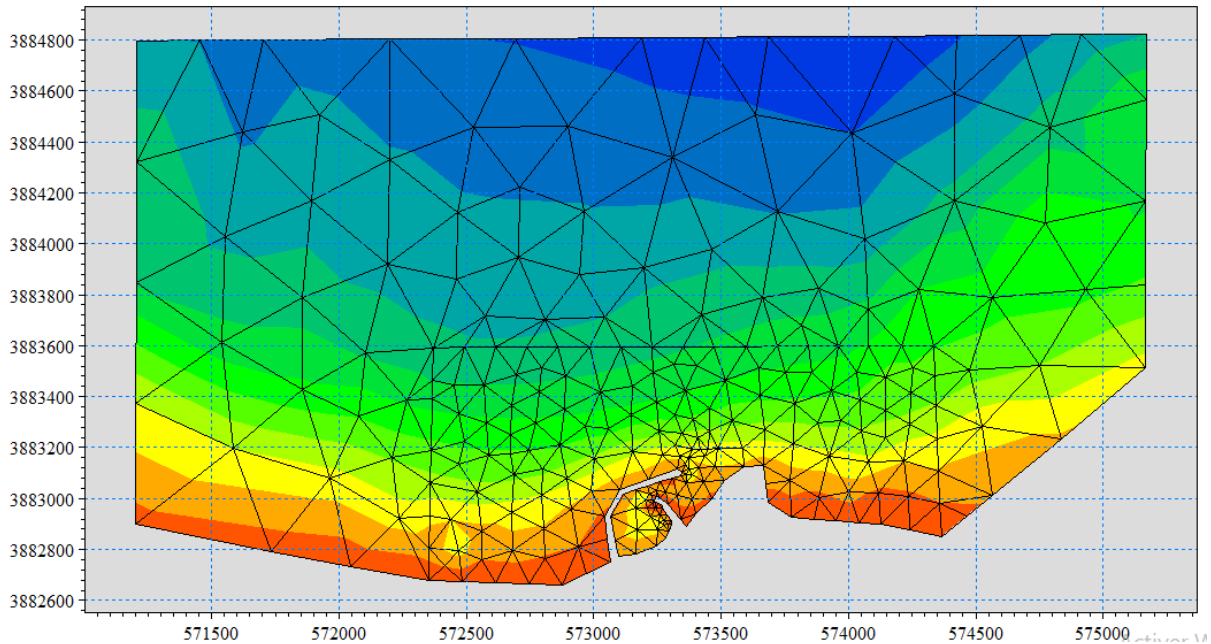


Figure 63 : Le mesh du petit modèle

2.3.1.1.2. Traitement des données avec python :

Le travail a été réalisé avec Google colab dans un notebook python, le traitement des données en Python est une discipline vaste qui comprend la collecte, le nettoyage, l'analyse et la visualisation des données. Python est particulièrement apprécié pour cette tâche en raison de sa syntaxe simple et de la richesse de ses bibliothèques. Le Google Colab Notebook est un environnement en ligne gratuit proposé par Google pour écrire et exécuter du code Python. Colab, abréviation de "Collaboratory," permet aux utilisateurs de collaborer en temps réel sur des documents interactifs appelés notebooks. Ces notebooks combinent du texte formaté en Markdown, du code exécutable, des graphiques et d'autres éléments interactifs.

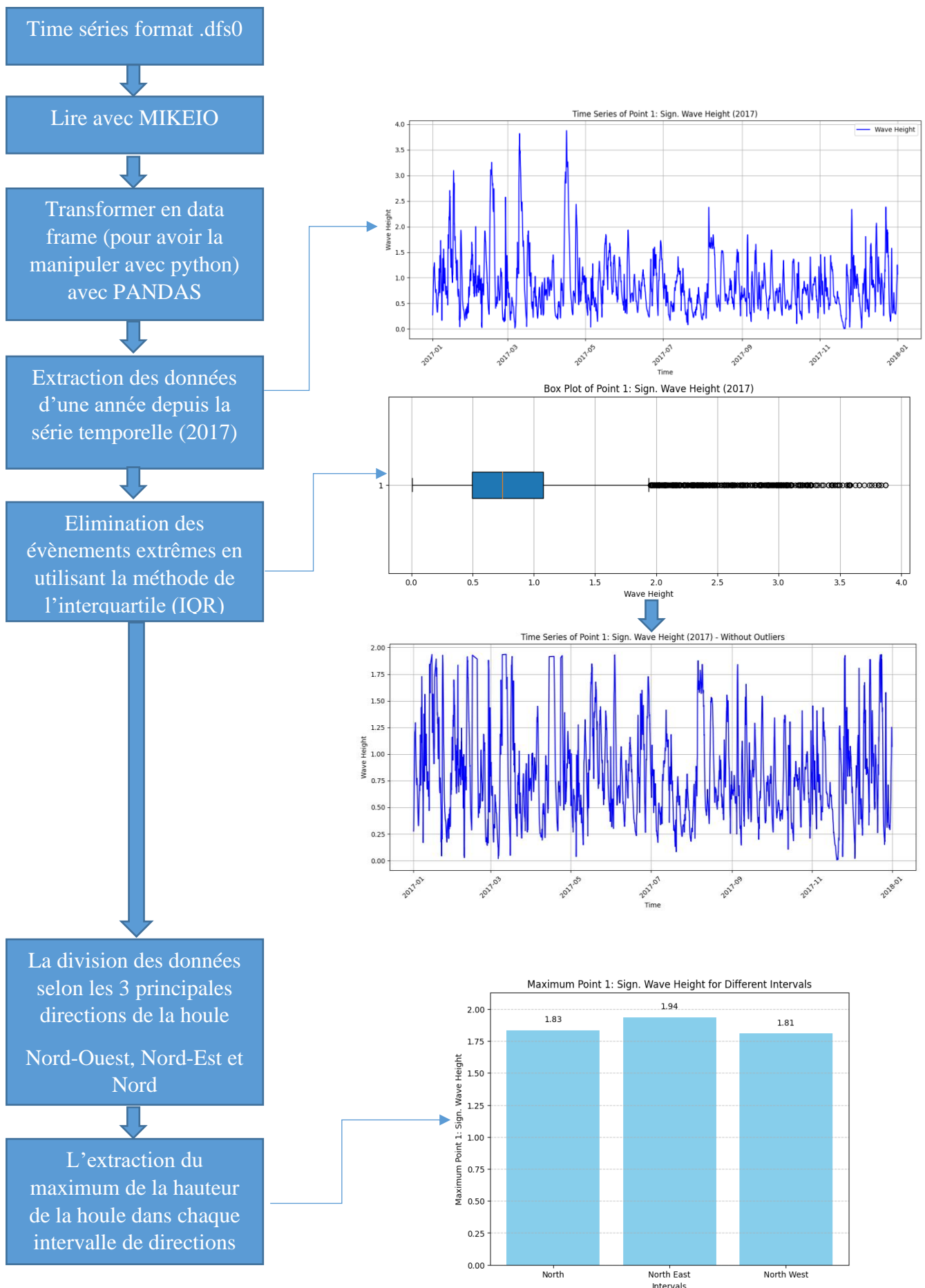


Figure 64 : Diagramme présentant la méthodologie de traitement des données de la houle par le Python pour les cartes.

2.3.1.1.3. Le résultat des traitements des données :

Le pas	Temps	Hs	Période	La direction
812	2017-02-03 21 :00 :00	1.834575	5.848317	Nord
1695	2017-03-12 16 :00 :00	1.935866	5.332409	Nord-Est
423	2017-01-18 16 :00 :00	1.809492	5.714303	Nord-Ouest

2.3.1.1.4. Les résultats de la simulation :

Après le traitement des données, nous avons obtenu un Hs dans chaque direction, la représentation des résultats selon chaque direction. Dans toutes les cartes les flèches indiquent la direction.

Dans les cartes qui représentent les directions de la houle, la couleur représente la hauteur des vagues, allant du rouge (hauteur maximale) au vert et jaune (hauteur minimale).

Dans les cartes qui représentent le transport sédimentaire, les couleurs varient du beige clair au brun foncé, indiquant une capacité de transport sédimentaire croissante.

Dans les cartes qui représentent, les couleurs varient du rouge (courants forts) au bleu (courants faibles).

2.3.1.1.4.1. Direction nord :

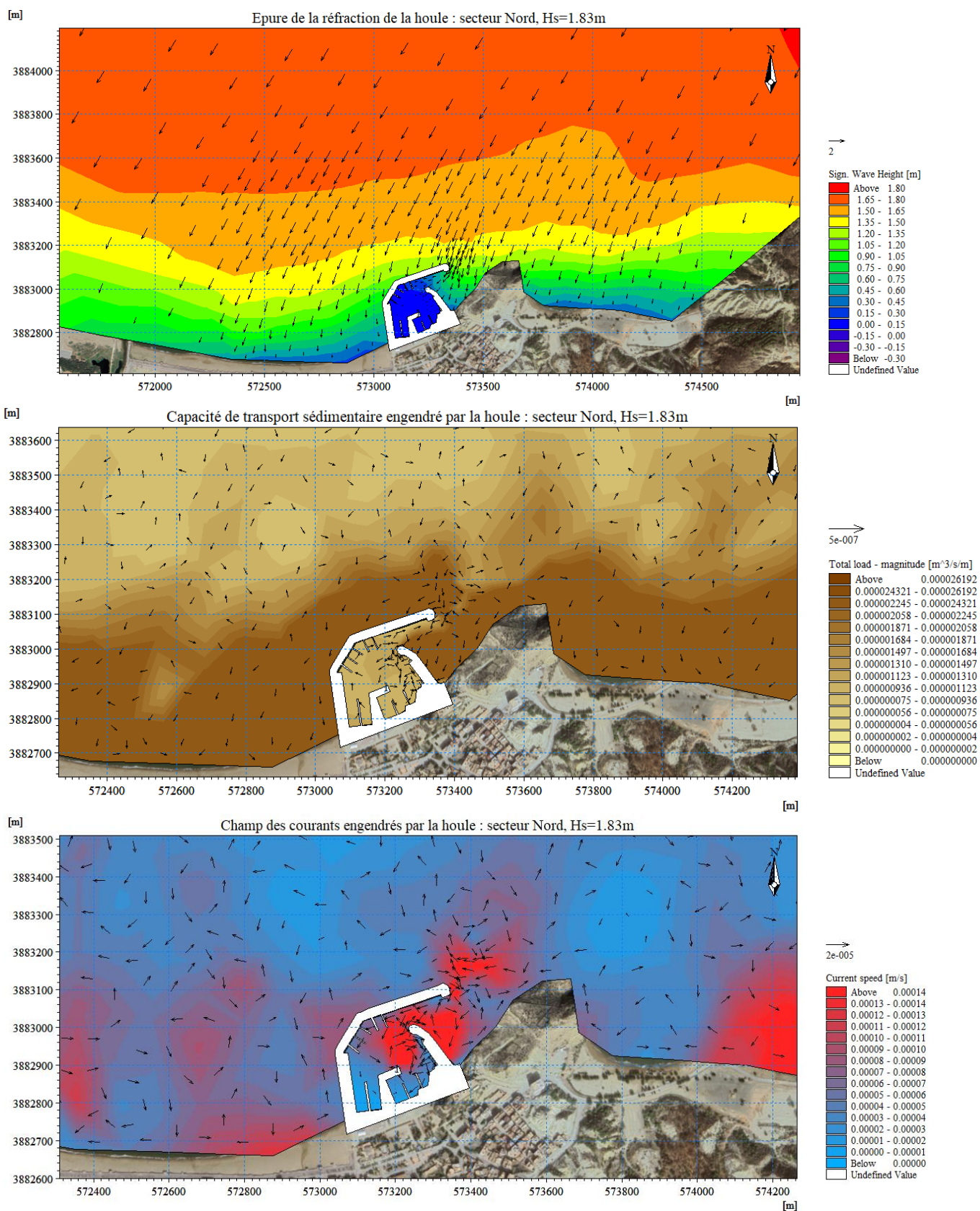


Figure 65 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord.

La propagation de la houle se traduit à l'approche du rivage par une légère modification de ces caractéristiques à savoir une petite diminution de la hauteur de la houle et une déviation de l'angle d'incidence (phénomène de réfraction). La houle aborde la côte en gardant une bonne partie de son énergie du large.

A noter que le paramètre $H(m)$ représente la hauteur de la houle en mètre, les vecteurs représentent de par leur sens la direction de propagation de la houle, la carte de la houle secteur Nord indique que le bassin intérieur du port est totalement abrité (couleur bleu indique une houle de 0.15m-0.30 m presque stable)

Les courants littoraux induits par la houle de direction, génèrent des courants de direction. Ces courants évoluent près du rivage avec une forte intensité surtout autour de la jetée secondaire du port et près de la jetée principale où la vitesse des courants varie entre 0.00014m/s. Dans la représentation graphique des résultats des courants, les vecteurs représentent de par leur sens la direction du courant, ce dernier est influencé par la bathymétrie de la zone, il y a aussi des courants tourbillonnaires un peu au large, le transport sédimentaire est induit par les courants. Sur le plan sédimentologique la capacité de transport solide exprimée en $m^3/s/m$. (La capacité de transport solide des courants littoraux représente la capacité de ces derniers à mettre en mouvement les particules sédimentaires) montre que la zone d'étude est sujette à un transport sédimentaire important (couleur sombre). Une partie des sédiments transportés est piégée par le port et une autre partie longe la jetée principale du port pour continuer la dérive le long de la plage à l'ouest.

Les sédiments proviendraient des oueds limitrophes de la zone en question. Une fois déversés en mer, les sédiments sont transportés par les courants. La partie Est du Littoral étant plutôt rocheuse et n'est parsemée que de quelques plages sableuses.

2.3.1.1.4.2. Direction Nord-Est :

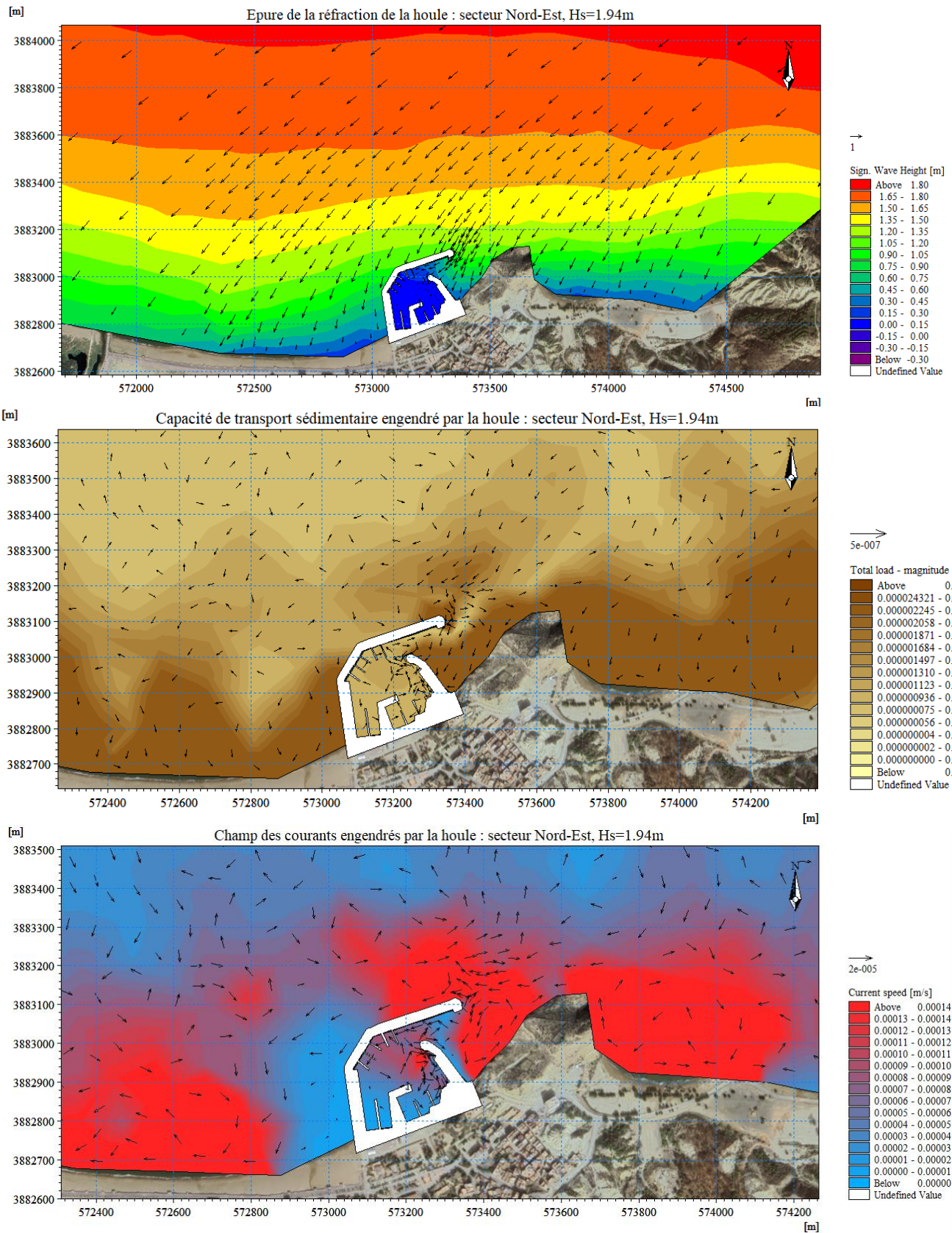


Figure 66 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord-Est.

La houle Nord-Est, la houle dominante aborde la côte avec une modification légère de l'angle d'incidence, cette déviation est due au phénomène de la réfraction. Le paramètre $H(m)$ correspond à la hauteur de la houle en mètres, tandis que les vecteurs représentent la direction de propagation de la houle. La carte de la houle du secteur Nord-Est indique également que le bassin intérieur du port est complètement couvert (la couleur bleue indique une houle de 0.15m-0.30m presque stable).

Les courants de direction sont générés par les courants littoraux causés par la houle de direction. Il y a une forte intensité de ces courants près du rivage, en particulier avant la passe d'entrée, où la vitesse des courants atteint 0.00014m/s. Dans la visualisation graphique des résultats des courants, les vecteurs représentent la direction du courant en fonction de leur sens, ce qui est influencé par la bathymétrie de la zone. De plus, il existe également des courants tourbillonnaires légèrement au large, ce qui entraîne le transport des sédiments.

En ce qui concerne les sédiments, la capacité de transport solide démontre que la zone d'étude est exposée à un transport sédimentaire considérable (couleur foncée). Une partie des sédiments transportés est piégée avant la jetée secondaire du port et une autre partie derrière le musoir de la jetée principale du port. Il y a aussi un transport important le long de la plage Ouest.

2.3.1.1.4.3. Direction Nord-Ouest :

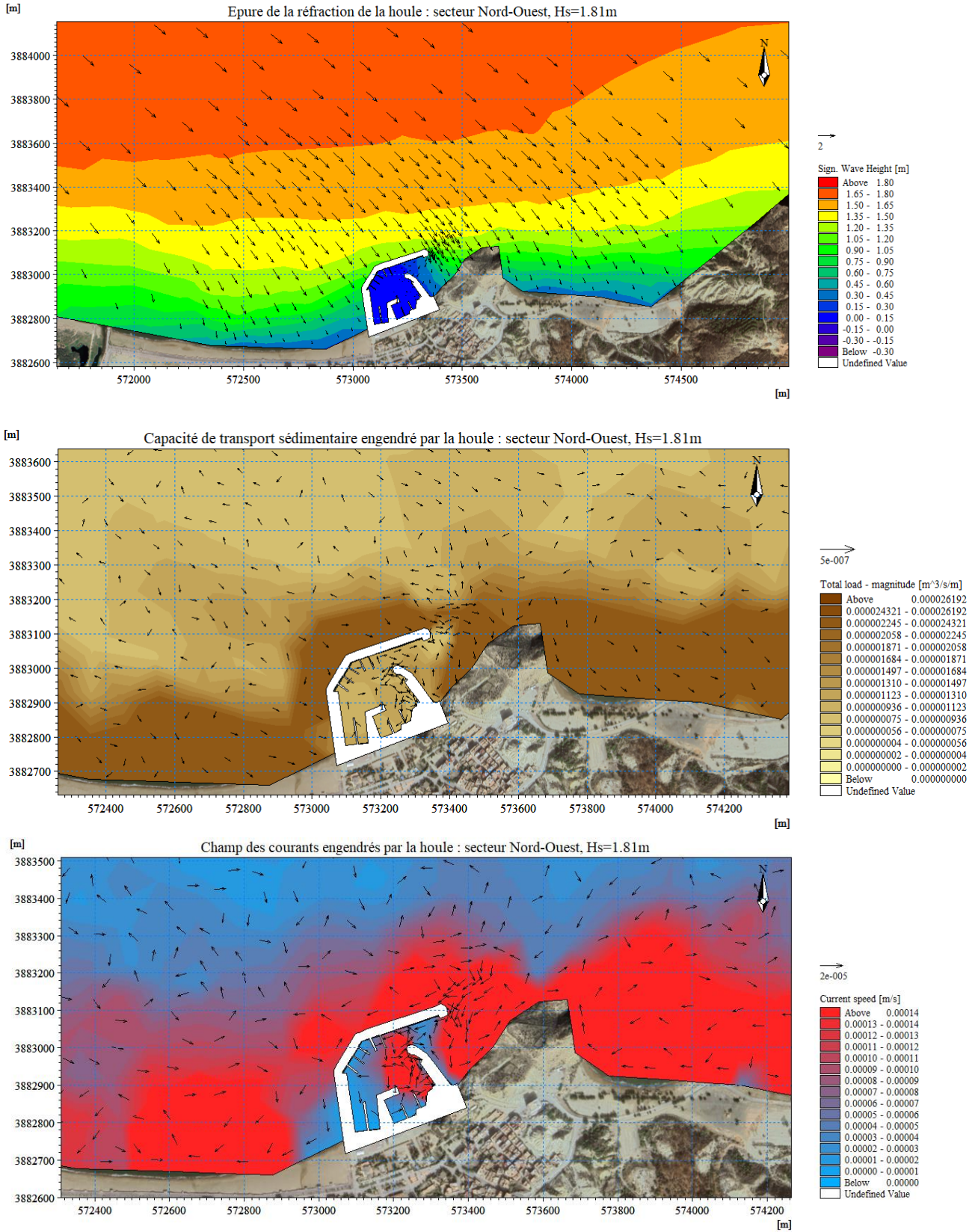


Figure 67 : Action des houles, courants et transports sédimentaire direction Nord-Ouest.

Le phénomène de la réfraction entraîne une légère déviation de l'angle d'incidence de la houle Nord-Ouest sur la côte. La hauteur de la houle en mètres est représentée par le paramètre $H(m)$, tandis que les vecteurs indiquent la direction de propagation de la houle. On peut également observer sur la carte de la houle du secteur Nord-Ouest que le bassin intérieur du port est entièrement couvert (la couleur bleue indique une houle à peu près stable de 0.15m-0.30m). Les courants de direction sont créés par les mouvements de la houle de direction qui se produisent sur les côtes. Ces courants sont particulièrement intenses près du rivage, notamment avant la passe d'entrée, derrière la jetée secondaire dans le bassin intérieur du port, derrière la jetée principale et dans les deux plages Est et Ouest du port où la vitesse des courants atteint 0.00014m/s. Les vecteurs représentent la direction du courant en fonction de leur sens dans la visualisation graphique des résultats des courants, ce qui est influencé par la bathymétrie de la zone. En outre, des courants tourbillonnaires légèrement plus loin sont également présents, ce qui permet le transport des sédiments.

En ce qui concerne les sédiments, la capacité de transport solide démontre que la zone d'étude est exposée à un transport sédimentaire considérable (couleur foncée). Une partie des sédiments transportés est piégée avant la passe d'entrée du port et une autre partie derrière la jetée principale du port. Il y a aussi un transport important le long de la plage Est et la plage Ouest.

Chapitre 07 : Solutions de protection et d'aménagement

1. Introduction :

Au cours des chapitres précédents, plusieurs études ont démontré l'ensablement du port Marsa Ben M'hidi, telles que l'étude de l'évolution du trait de côte et l'étude bathymétrique. Le but principal de ce mémoire consiste à trouver des variantes afin de minimiser à éliminer ce problème.

Dans ce chapitre, nous explorons les solutions proposées pour lutter contre l'ensablement en utilisant la modélisation numérique avec le logiciel MIKE21. Grâce à cet outil, nous pouvons évaluer l'efficacité de diverses variantes et déterminer leurs impacts.

Chaque solution sera évaluée en termes de son efficacité à réduire l'ensablement, ainsi que de ses impacts environnementaux. Nous discuterons des avantages et des inconvénients de chaque approche, en soulignant les solutions qui offrent les meilleures perspectives de faisabilité.

Ce chapitre vise à fournir une analyse approfondie et critique des différentes solutions proposées pour lutter contre l'ensablement, en utilisant les capacités avancées de la modélisation numérique avec MIKE21.

1.1. Variante 01 : un épi à l'est du port :

Un épi est une structure de protection maritime, généralement constituée de pierres, de béton, ou d'autres matériaux solides, construite perpendiculairement ou obliquement par rapport à la côte. Son rôle principal est de protéger les rivages contre l'érosion causée par les vagues ou les courants marins, dans notre cas d'étude, il sert à bloquer le transport sédimentaire.

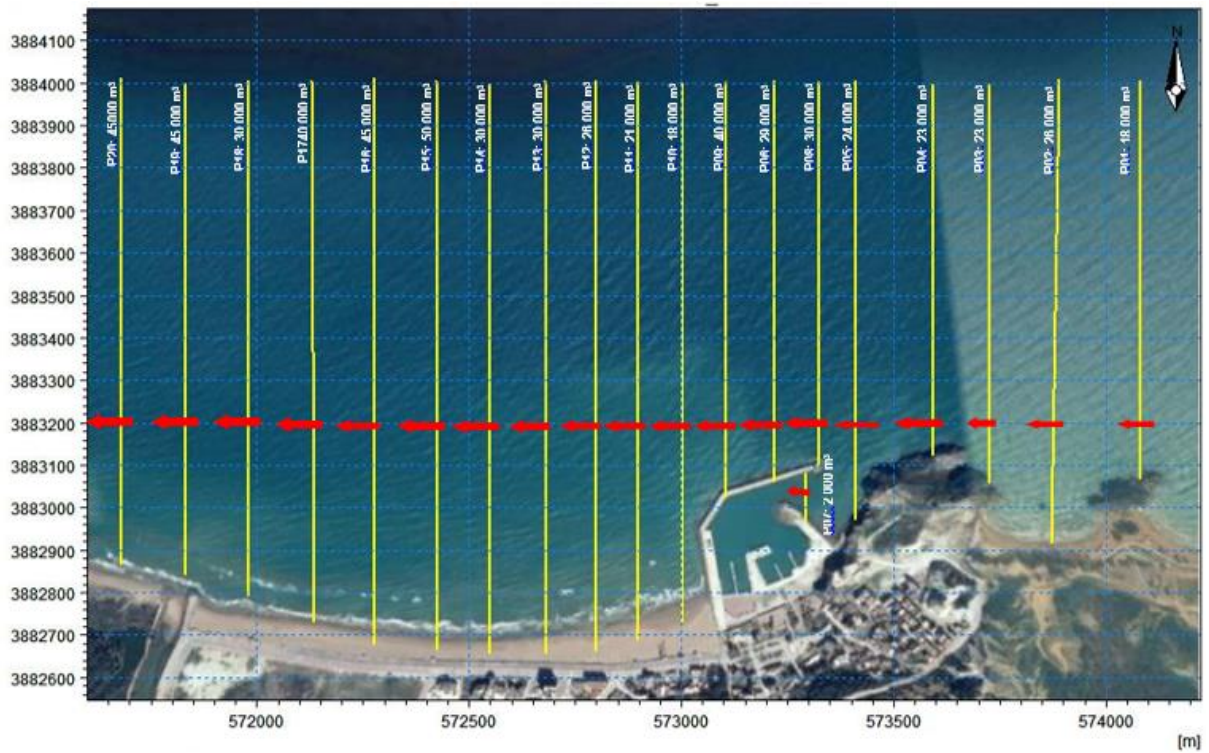
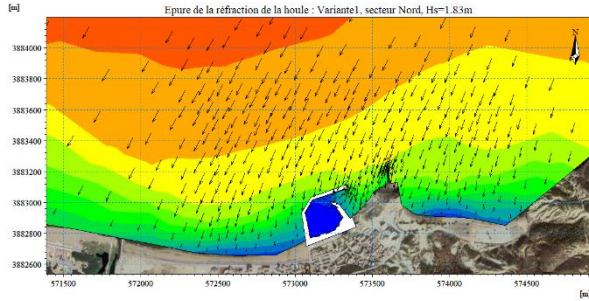


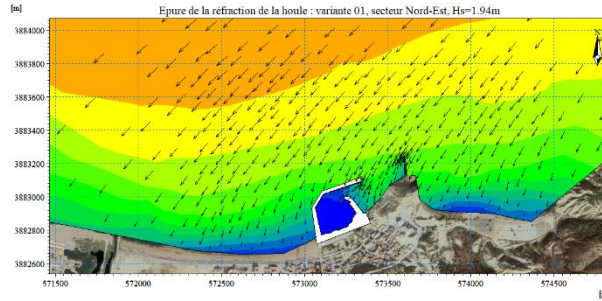
Figure 68 : Synthèse du transport sédimentaire annuel par profil (valeurs en m^3/an). (LEM, 2017)

Selon la figure, la synthèse du transport sédimentaire montre que le transport dominant est de l'est à l'ouest, donc la première variante sera un épi pour bloquer ce transport.

Direction Nord



Direction Nord-Est



Direction Nord-Ouest

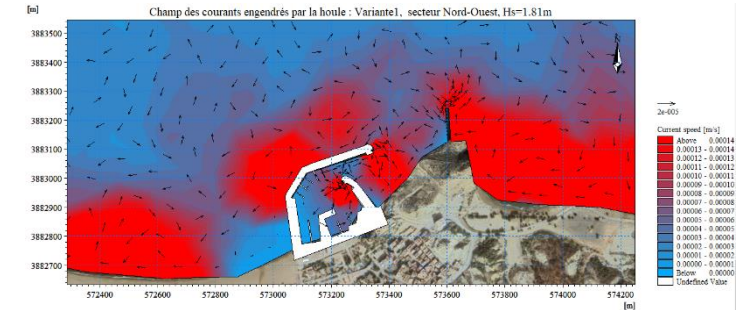
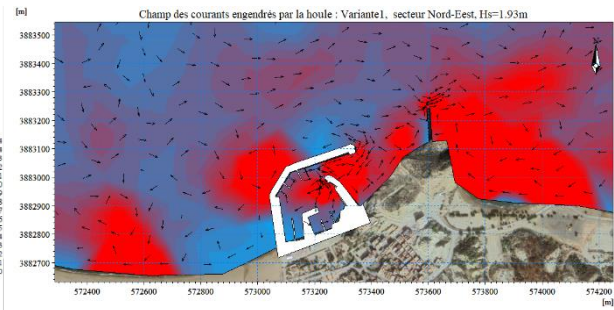
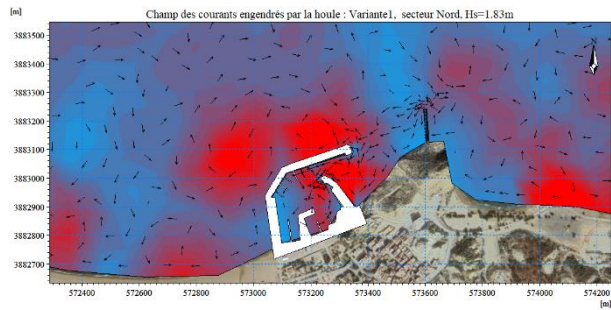
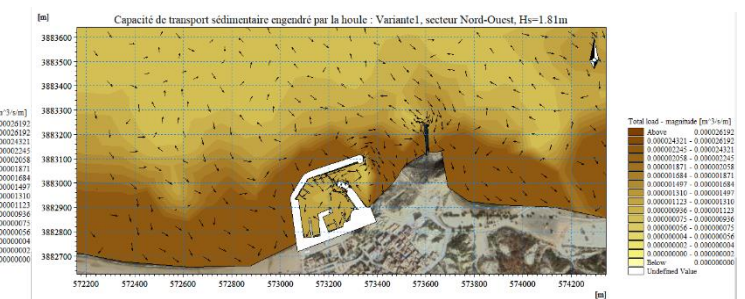
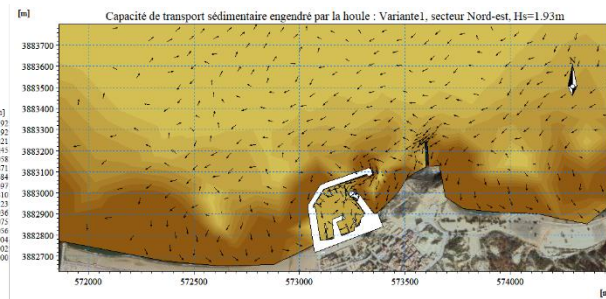
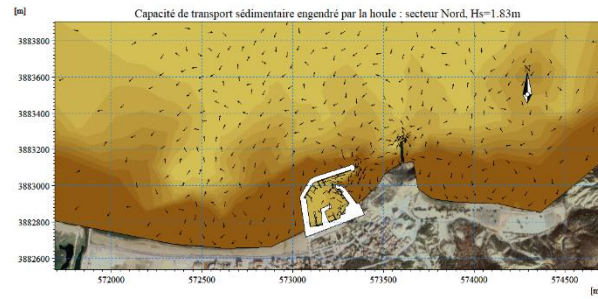
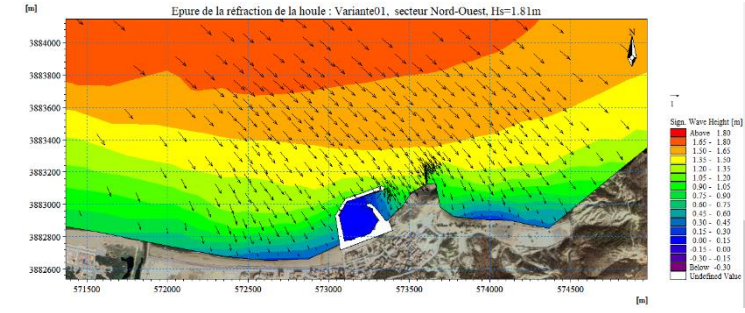


Figure 69 : Variante 01 : un épi à l'est du port

Après la modélisation numérique avec le logiciel de MIKE 21, les résultats sont représentés dans la figure précédente, cette simulation a été réalisée afin de voir le comportement du site après la construction de l'épi. L'analyse de l'ensemble des résultats permet d'évaluer les effets de cette variante sur les mouvements sédimentaires, et ainsi de fournir des éléments permettant d'évaluer l'efficacité de cette solution sur le risque de l'ensablement à l'intérieur et aux abords du port.

On remarque que l'épi a minimisé un peu le transport sédimentaire qui vient de l'est, mais il reste encore le transport sédimentaire au niveau de la passe d'entrée.

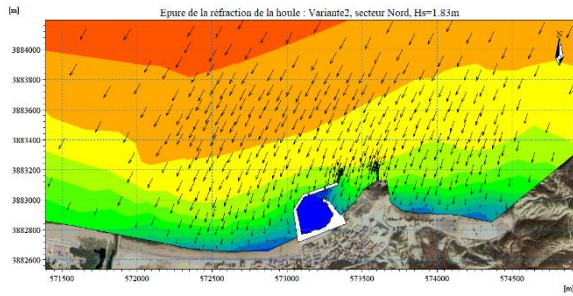
1.2. Variante 02 : épi + extension de la jetée principale

On se basant sur les résultats de la première variante, pour minimiser le transport sédimentaire qui vient de l'Ouest, il faut ajouter une extension de 100m incliné avec 160° par rapport à la jetée principale.

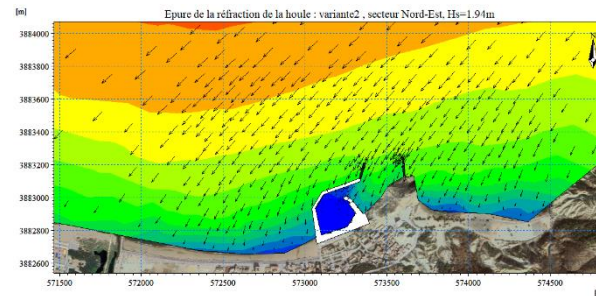
Des simulations numériques ont été réalisées afin de voir le comportement hydro-sédimentaire du site, les résultats sont présentés ci-après par la direction de houle considérée.

L'analyse de l'ensemble des résultats permet d'évaluer les effets des changements apportés sur les mouvements sédimentaires, et ainsi de fournir des éléments permettant d'évaluer l'efficacité de cette solution sur le risque de l'ensablement à l'intérieur et aux abords du port.

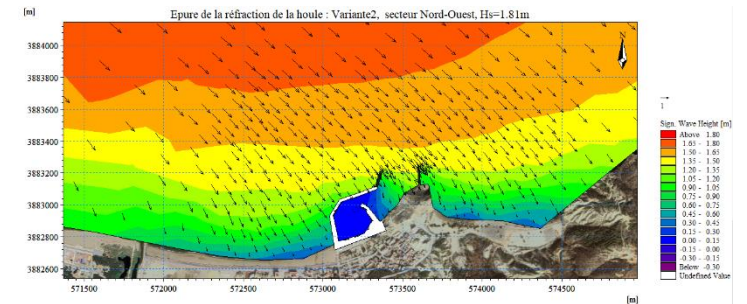
Direction Nord



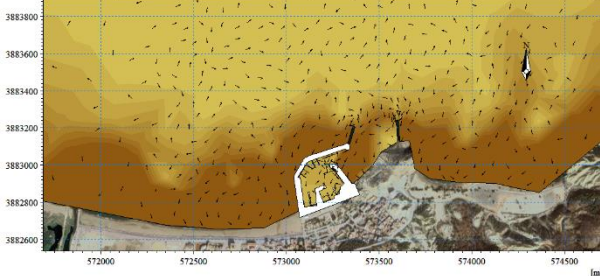
Direction Nord-Est



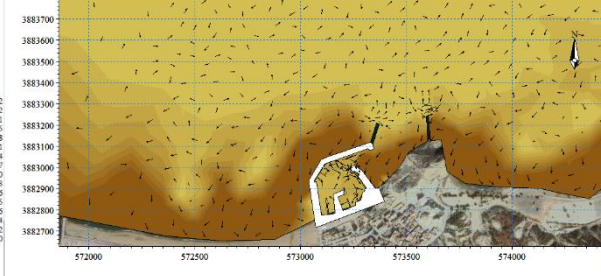
Direction Nord-Ouest



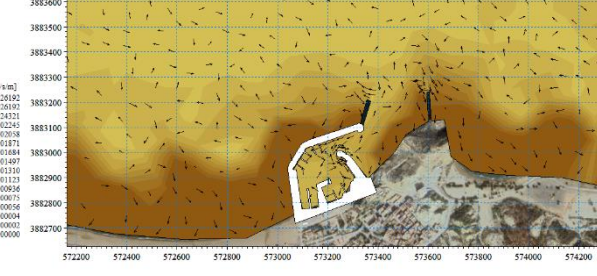
Capacité de transport sédimentaire engendré par la houle : Variante2 secteur Nord, Hs=1.83m



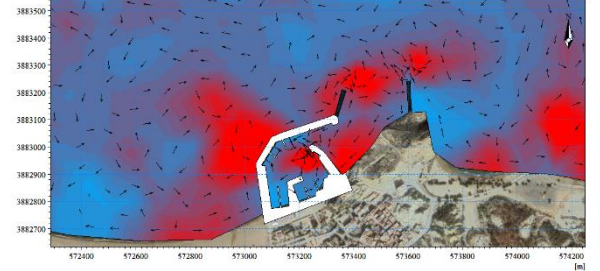
Capacité de transport sédimentaire engendré par la houle : Variante2, secteur Nord-est, Hs=1.93m



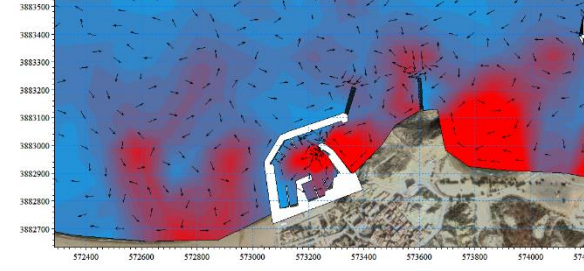
Capacité de transport sédimentaire engendré par la houle : Variante2, secteur Nord-Ouest, Hs=1.81m



Champ des courants engendrés par la houle : Variante2, secteur Nord, Hs=1.83m



Champ des courants engendrés par la houle : Variante2, secteur Nord-Est, Hs=1.93m



Champ des courants engendrés par la houle : Variante2, secteur Nord-Ouest, Hs=1.81m

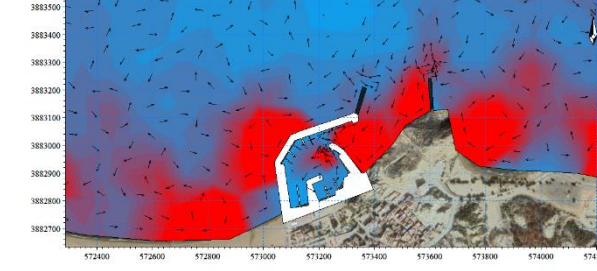
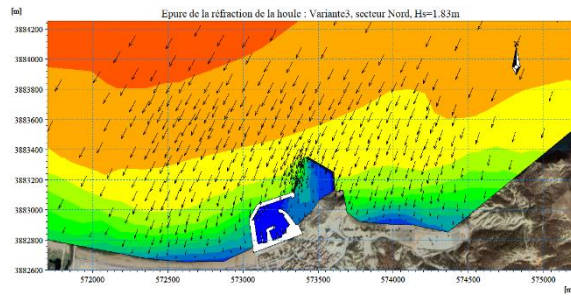


Figure 70 : Variante O2 : épi + extension de la jetée principale.

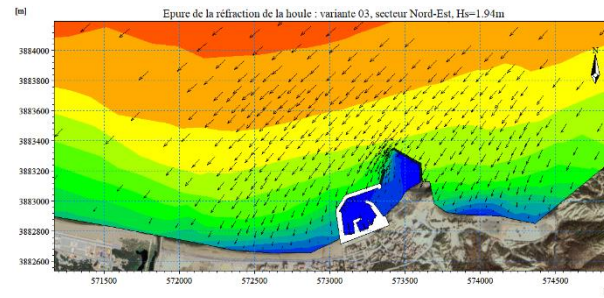
1.3. Variante 03 :

Selon les résultats de la modélisation de la variante 02, il reste encore un transport important des sédiments venant de l'Est et le Nord-Est, donc une extension de l'épi peut minimiser ce transport, avec une petite inclinaison de 160° afin de lutter contre le transport sédimentaire venant du Nord-Est. Cet épi va jouer le rôle d'une nouvelle jetée et donc une nouvelle passe d'entrée orientée vers le Nord-Ouest.

Direction Nord



Direction Nord-Est



Direction Nord-Ouest

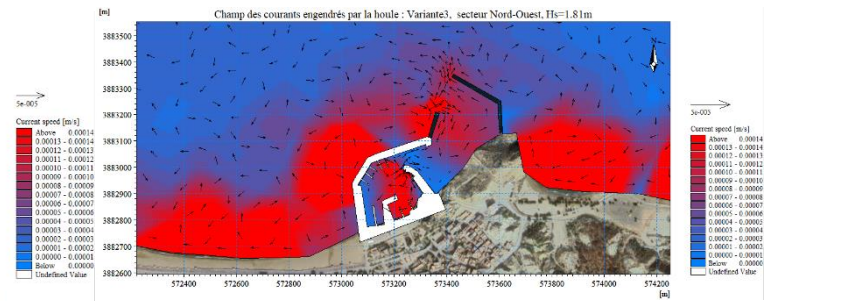
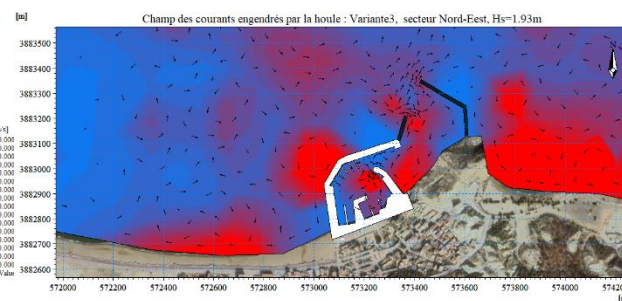
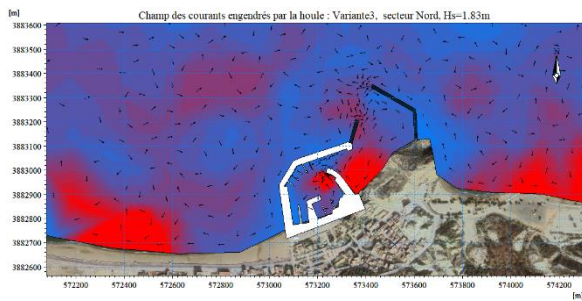
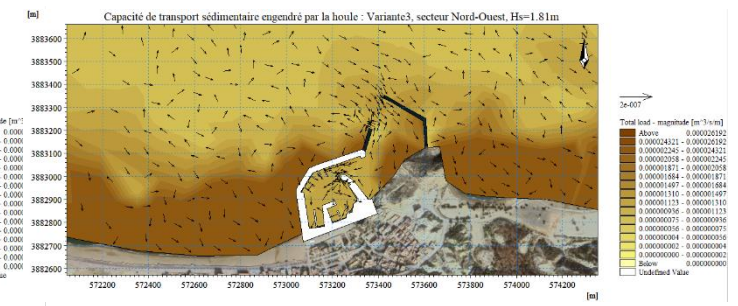
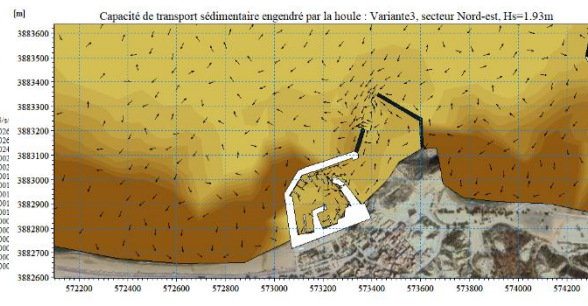
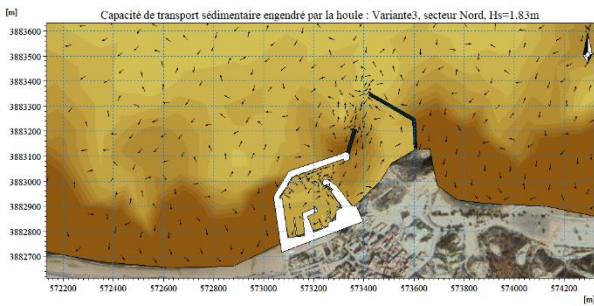
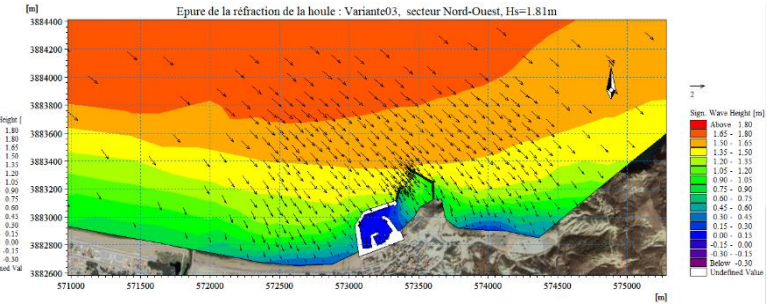
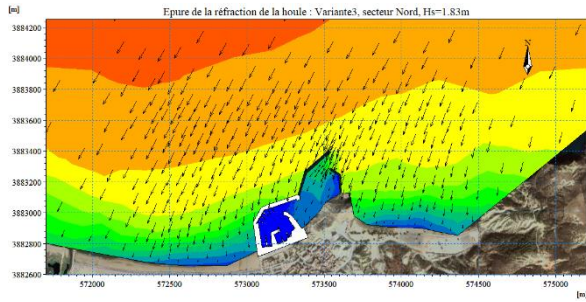


Figure 71 : Variante 03 : Nouvelle passe d'entrée orienté vers le Nord-Ouest.

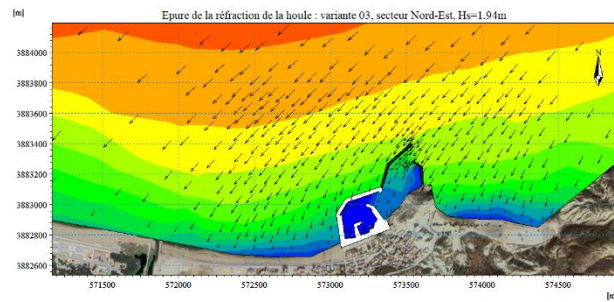
1.4. Variante 04 :

Le résultat de la modélisation numérique de la variante 03 montre que cette variante ne bloque pas le transport sédimentaire complètement, donc on va essayer de changer l'orientation de la nouvelle passe d'entrée.

Direction Nord



Direction Nord-Est



Direction Nord-Ouest

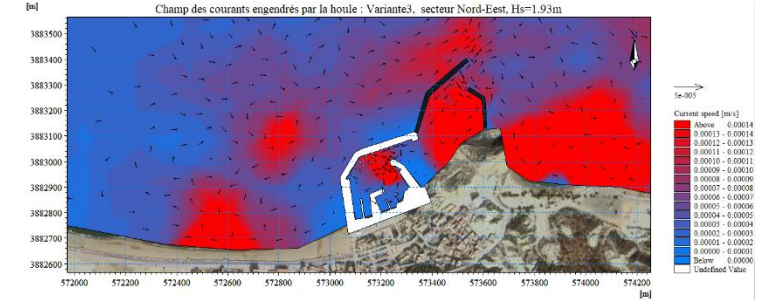
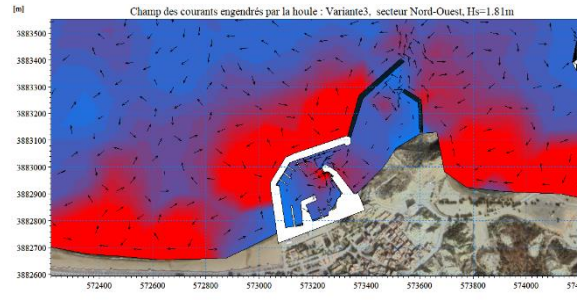
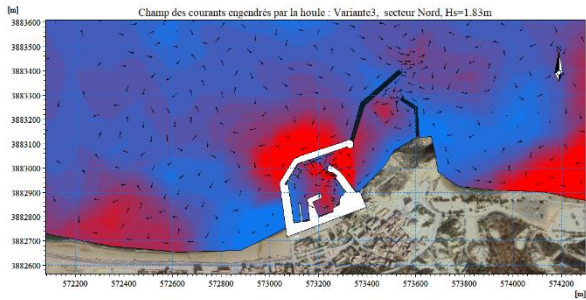
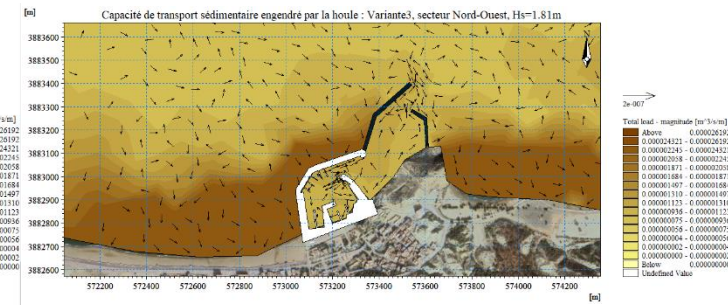
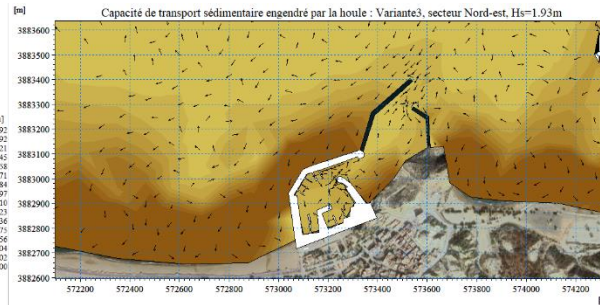
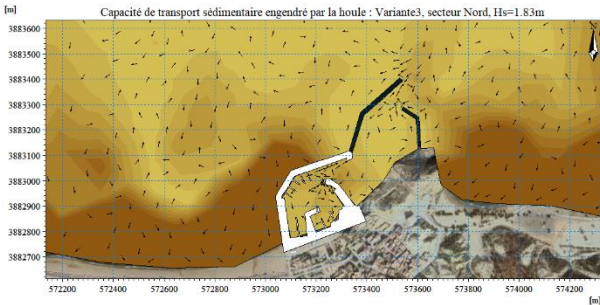
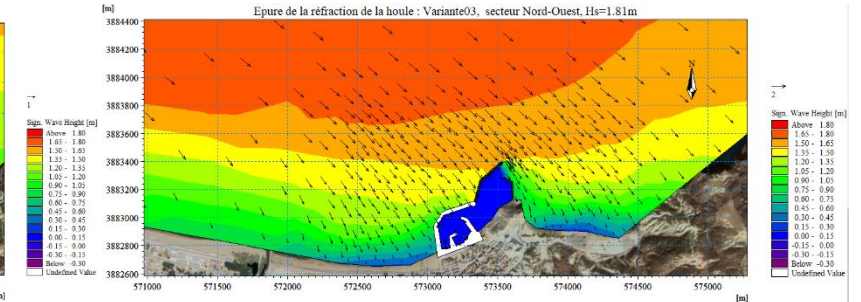


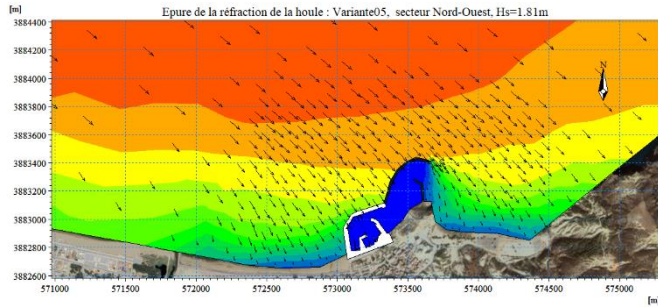
Figure 72: Variante 04 : Nouvelle passe d'entrée orientée vers le Nord-Est.

1.5. Variante 05 :

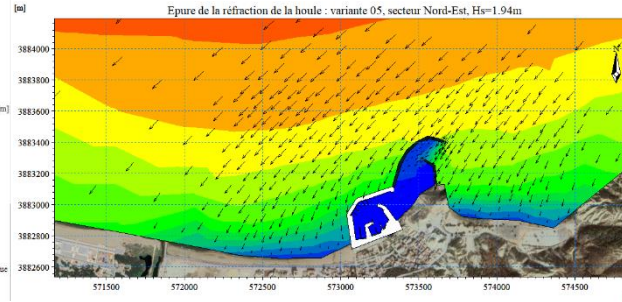
Les résultats de la variante 04 montrent un bon résultat par rapport aux variantes précédentes, mais il reste aussi un transport sédimentaire induit par la houle du secteur Nord, ce transport vient du Nord-Est et la passe d'entrée est orienter vers la même direction. Sachant que la houle dominante est de secteur Nord-Est, donc le port sera exposé au risque d'agitation.

La variante 05 sert à bloquer ce transport donc elle consiste à construire l'extension de la jetée principale sous forme d'un arc en respectons la distance de la passe d'entrée qui est de 100m pour assurer la bonne circulation des engins maritimes.

Direction Nord



Direction Nord



Direction Nord

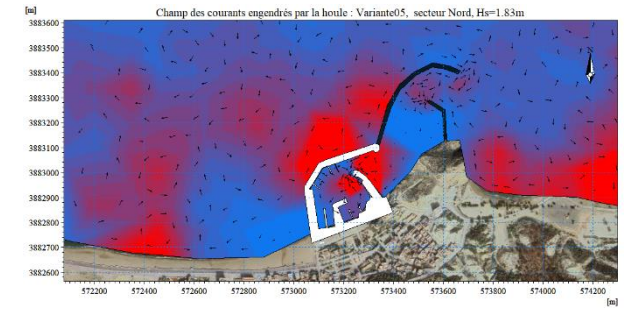
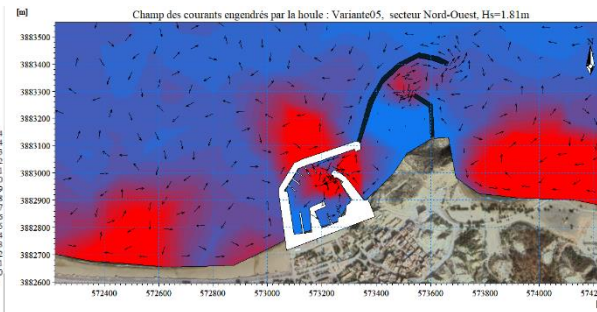
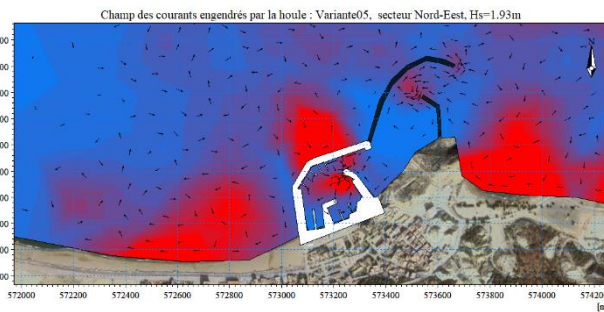
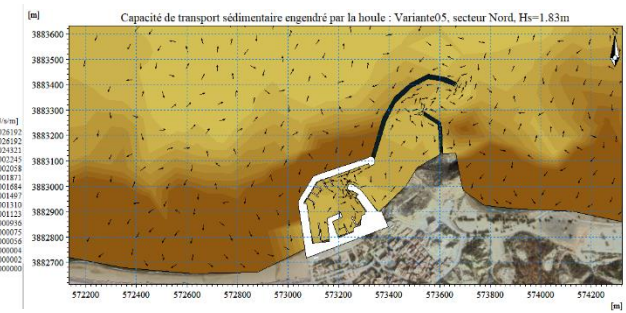
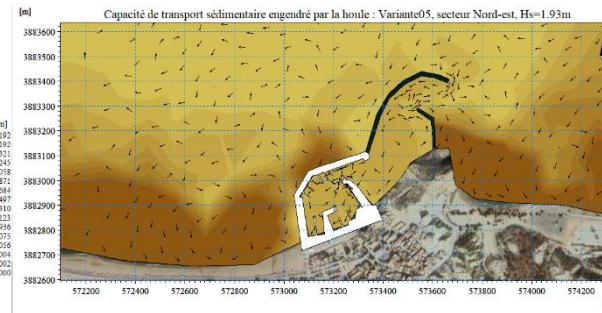
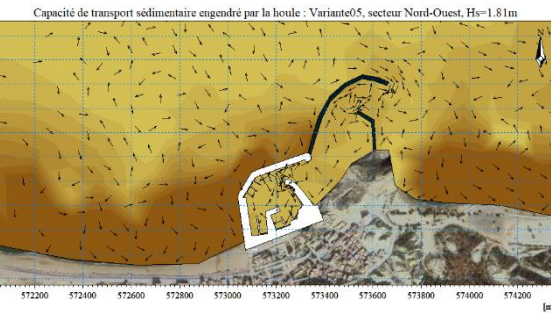
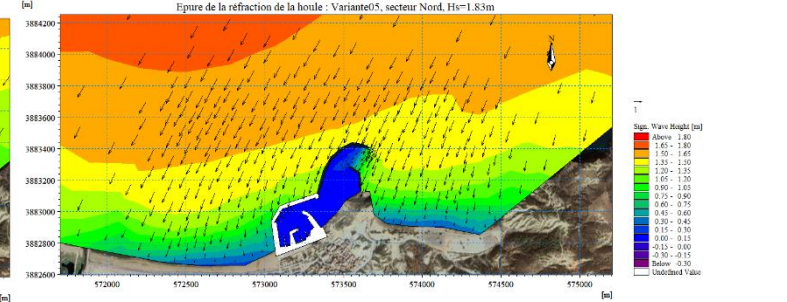


Figure 73 : Variante 05 : extension de la jetée principale en forme d'un arc.

1.6. Conclusion :

Selon les résultats de cette étude, il a été démontré que la variante cinq, qui consiste à prolonger la jetée principale en forme d'un arc avec l'épi de l'autre côté, peut entraver le transport sédimentaire. Cette variante est une solution pour réduire, voire éliminer, le transport sédimentaire et donc l'ensablement du port.

Conclusion générale :

Cet mémoire était basée sur plusieurs études, les résultats de ces études aident à mieux comprendre le problème de l'ensablement du port de Marsa Ben M'hidi, ils aident aussi à trouver la solution pour minimiser ce problème. L'étude d'évaluation des traits de côte menée a permis de mettre en lumière une accrétion marquante dans la zone étudiée, confirmant ainsi l'importance du transport sédimentaire dans cette région. Les résultats obtenus à travers les différentes analyses réalisées permettent de tirer des conclusions significatives sur la dynamique sédimentaire et les processus hydrodynamiques en jeu. L'étude bathymétrique, comparant entre des données anciennes et des mesures récentes, a révélé une accumulation notable de sédiments dans la passe d'entrée et derrière la jetée secondaire. Cette accumulation est le signe d'un dépôt sédimentaire continu et substantiel, corroborant les observations de l'étude initiale des traits de côte. L'analyse sédimentologique a, quant à elle, fourni une cartographie détaillée de la distribution des sédiments et de leur nature. Les sédiments identifiés sont principalement des sables fins provenant des oueds de la région. La modélisation numérique réalisée avec le logiciel MIKE 21 a grandement facilité la visualisation des résultats. Grâce à cette modélisation, il a été possible de simuler le comportement de la houle selon différentes directions ainsi que les courants induits par ces houles. Les résultats ont montré les principales directions du transport sédimentaire, offrant ainsi une compréhension plus complète des dynamiques en jeu. Enfin, des propositions de variantes ont été formulées pour atteindre une solution idéale face au problème de l'ensablement dans ce port. Toujours avec le logiciel MIKE 21, Ces propositions tiennent compte des données et analyses obtenues tout au long de cette étude, visant à apporter des solutions concrètes et efficaces pour la gestion durable des sédiments.

Cependant, il convient de noter que certaines difficultés ont affecté la précision du travail. En particulier, l'utilisation d'un maillage très lâche a réduit la précision des résultats obtenus. J'aurais préféré utiliser un maillage plus serré afin d'améliorer la finesse et l'exactitude des simulations.

De plus, la modélisation numérique a été réalisée sur mon ordinateur personnel, dont les capacités étaient limitées. Cette contrainte matérielle m'a obligé à agrandir les mailles et à réduire le nombre de points du trait de côte, afin de diminuer le nombre de triangles et ainsi alléger le processus de calcul. Cela a indéniablement impacté la qualité et la précision des

résultats. Le temps consacré à la partie de la modélisation était également très court, ce qui a restreint la possibilité de réaliser des simulations plus détaillées et d'explorer plus en profondeur les différentes variantes de scénarios envisagés. Une période plus longue aurait permis d'affiner les paramètres de la modélisation et de mieux calibrer les simulations pour obtenir des résultats plus robustes, j'aurais ajouté une partie sur le dimensionnement des variantes avec les matériaux qu'il faut utiliser, j'avais l'intention de présenter les variantes en modèle 3D aussi. J'aurais aimé s'il y avait une sortie sur le terrain pour que je puisse observer et mieux comprendre la morphologie ainsi que le problème de l'ensablement de ce port. J'aurais aussi souhaité faire l'échantillonnage des sédiments moi-même et réaliser l'analyse granulométrique. Il n'y avait pas assez de données pour mieux traiter ce phénomène, je n'ai pas trouvé beaucoup de données bathymétriques. J'aurais aimé faire d'autres comparaisons avec des bathymétries plus récentes ou plus anciennes. Je n'ai pas trouvé non plus le MNT (modèle numérique de terrain) avec une bonne résolution. J'aurais voulu mener une étude complète sur les bassins versants qui affectent le port, vu que la source principale des sédiments est les oueds. Un chapitre sur la quantification du transit sédimentaire longitudinal aurait été une bonne addition pour comprendre le transport sédimentaire de la zone mais je n'ai pas assez des connaissances sur les formules empiriques pour le calcul des flux sédimentaires longitudinaux.

Malgré ces limitations, les résultats obtenus fournissent une base solide pour comprendre les dynamiques sédimentaires et proposer des solutions pour le problème de l'ensablement dans le port. Des améliorations futures, notamment avec des ressources informatiques plus puissantes et un temps d'analyse prolongé, permettraient d'affiner ces résultats et d'approfondir les recommandations

Bibliographie :

Abane, A., & Abba, L. (2022). Etude de la dynamique sédimentaire des formations géologiques d'âge Jurassique inférieur et moyen de la coupe Ain Tolba, Monts des Traras. Mémoire d'ingénieur. Spécialité géologie. Tlemcen

AFNOR. (2017). 30 histoires hors norme : Elles ont changé le monde et votre quotidien (Illustrated édition). AFNOR.

AFNOR. (2020). Les clés de l'audit certification ISO 45001. Association française de normalisation.

Ahmed, A. (2012). Le comportement dynamique de l'ensablement en relation avec la topographie dans le bassin saharien (Maroc) – Analyse par SIG. International Conference of GIS-Users, Taza GIS-Days, May 23-24, 2012 Proceeding Book, p617-p620.

Ahrens, C. D., & Henson, R. (2018). Meteorology Today: An Introduction to Weather, Climate, and the Environment (12e édition). Brooks/Cole.

Antoine, G. (2013). Suspended sediment dynamics along harnessed rivers: Arc River and Isère River.

Ariyadi, M. H., & Kurniawan, E. (2020). Google Earth Pro as a Learning Media for Mitigation and Adaptation of Landslide Disaster. International Journal of Information and Education Technology, 10(11), 820-815. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.11.1464>

Auffret, J.-P., Hommeril, P., & Larsonneur, C. (2017). La mer de la manche, modèle de bassin sédimentaire épicontinental sous climat tempéré. 10.

Augris, C., & Cressard, A. (1984). Les granulats marins. [Enligne]. [Consultée le 13/05/2024] <https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4940/>

Ayodele, O., Madukwe, H., Ayodele, O. S., & Madukwe, H. (2019). Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria. International Journal of Geosciences, 10, 295-316. <https://doi.org/10.4236/ijg.2019.103017>

Bail, P. (1978). Rivière, A. (1977) : Méthodes granulo-métriques, techniques et interprétation, Paris, Masson, 170 p., 12 fig., 16 x 24 cm, 130 FF. Géographie physique et Quaternaire, 32(3), 289-290. <https://doi.org/10.7202/1000308ar>

Ballais, J.-L. (2010). Des oueds mythiques aux rivières artificielles : L'hydrographie du Bas-Sahara algérien. Physio-Géo. Géographie physique et environnement, Volume 4, Article Volume 4. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.1173>

Baudet, S. (2019, mai 6). « EN », le petit sigle qui simplifie la vie de tous les Européens. Groupe AFNOR. [Enligne]. [Consultée le 20/05/2024] <https://www.afnor.org/actualites/en-le-petit-sigle-qui-simplifie-la-vie-de-tous-les-europeens/>

Beltrando, G. (2011). Chapitre 3—Le cycle de l'eau. In *Les climats* (p. 71-98). Armand Colin. <https://doi.org/10.3917/arco.beltr.2011.01.0071>

- Bensaoula, F. (2007).** Etude de la karstification à partir des données de forages : Le cas des Monts de Tlemcen (Algérie). *Karstologia*, 49(1), p15-p24.
<https://doi.org/10.3406/karst.2007.2596>
- Biausque, M. (2018).** Approche multi-proxys de la réponse des plages sableuses ouvertes aux événements de tempêtes, en incluant les phases de récupération.
- Bouabdallah, M. (2008).** Le littoral méditerranéen entre l'oued Kiss et le Cap des Trois Fourches (NE du Maroc) : Évolution naturelle et impact des aménagements [These de doctorat, Paris Est]. <https://theses.fr/2008PEST0055>
- Bouabdallah, M., & Larue, J.-P. (2009).** Évolution du littoral de la baie de Saïdia : Dynamique naturelle et impact des aménagements (Maroc oriental). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, Volume 3, Article Volume 3. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.878>
- Boumeaza, T., Sbai, A., Salmon, M., Benata, M., & Ozer, A. (2010).** Impacts écologiques des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia, Maroc oriental. *Méditerranée. Revue géographique des pays méditerranéens / Journal of Mediterranean geography*, 115, Article 115. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.4888>
- Brunschwig, H. (1962).** Histoire, passé et frustration en Afrique noire. *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 17(5), 873-884. <https://doi.org/10.3406/ahess.1962.420891>
- Clifton, B. (2012a).** *Advanced Web Metrics with Google Analytics (3e édition)*. Sybex Inc., U.S.
- Clifton, B. (2012b).** *Advanced Web Metrics with Google Analytics (3rd ed. edition)*. Sybex.
- CNES/CLS. (2013).** [Carte].
- Cojan, I., & Maurice, R. (2021).** *Sédimentologie (3e édition)* (3eme éd.). <https://www.librairie-gallimard.com/livre/9782100827664-sedimentologie-3e-edition-isabelle-cojan-maurice-renard/>
- Collin, A., Long, B., & Archambault, P. (2013).** 29- Salt-marsh characterization, zonation assessment and mapping through a dual-wavelength LiDAR. *Remote Sensing of Environment*, 114, 520-530. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.011>
- Coque, R. (1998a).** *Geomorphologie. 6eme Edition*. Armand Colin.
- Dahmani, A. (2016).** Utilisation de la modélisation physique et numérique pour l'étude des paramètres hydrodynamiques dans la zone centre Algéroise « Le site des Sablettes ». Mémoire magister. Spécialité : aménagement du littoral. Dely Brahim ENSSMAL.
- Deconinck, J.-F., & Chamley, H. (2011).** *Bases de sédimentologie—3ème édition (3e édition)*. Paris. Dunod.
- Delecluse, P. (2011).** 16. Caractéristiques de la variabilité climatique. In C. Jeandel & R. Mosseri (Éds.), *Le climat à découvert* (p. 78-80). CNRS Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.11366>
- Dubois, E.-P. (2020).** *Cours de navigation et d'hydrographie*. Hachette Livre BNF.

- Ducos, J. (2013).** Mutation corporelle et matière aérienne : De l'approche météorologique du corps dans les textes français du Moyen Âge. In D. Hüe, J. de Gramont, & B. Baillaud (Éds.), *Corps et encyclopédies* (p. 167-187). Presses universitaires de Rennes. <https://doi.org/10.4000/books.pur.55279>
- Elmi, S., & Benest, M. (1978).** Les « Argiles de Saïda » : Faciès flyschoides du Callovo-Oxfordien du sillon tlemcénien (Ouest algérien) ; stratonomie, environnement, interprétation et évolution paléogéographique. *Travaux et Documents des Laboratoires de Géologie de Lyon*, 4(1), p203-p261.
- Fakhri, E. (2020).** Contribution à l'optimisation de l'architecture de parcs d'hydroliennes. Mémoire d'ingénieur. Spécialité : architecture.
- Francis, L. (1915).** Port Say, un rêve inachevé – Lalla Ghazwana. [Enligne]. [Consultée le 2/03/2024] <https://www.pecheurs-de-nemours-ghazaouet.com/port-say-le-reve-inacheve/>
- Frank, R., Cuira, F., & Burlon, S. (2019).** Calcul des fondations superficielles et profondes. Ponts chaussées.
- Geoffrey, H., Eric, H., Yannick, L., Anne-Cécile, D., Jean, V. C., Alexandre, P., & François, P. (2013).** Images CM de Passega des Rivières Adrennaises. 32. <https://doi.org/143-157>. doi : 10.1002/gj.885
- George, P., & Michard, A. (2014).** Géomorphologie. [Enligne]. [Consultée le 5/04/2024] <https://www.dunod.com/histoire-geographie-et-sciences-politiques/geomorphologie>
- Guéry, J.-L. (2018).** Marées, vents et courants (2e édition). VOILES VOILIERS.
- Hamai, L. (2016).** Etude thermomécanique de la zone de transition mer-continent de la marge algérienne : Implication géodynamique.
- Hammouda, S. A. (2011).** Contribution à l'étude des ressources minérales dans les monts des Traras (calcaire, Sable et argile) état actuel, perspectives et impact sur l'environnement.
- Hervé, N. (2023a).** Synthèse du sixième rapport de synthèse du GIEC.
- Hervé, N. (2023b).** Synthèse du sixième rapport de synthèse du GIEC.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2021).** Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide. In *Open-File Report (2021-1091)*. U.S. Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- INCT. (2007).** Rapport national de l'Algérie (p. 23). Institut nationale de cartographie et de télédétection. Kharouba. Alger
- Katombe, G. (2020).** Apprendre Surfer : Table, Géoreferencement, Digitalisation, Carte, Model numérique de terrain.
- Lang, M., Sauquet, É., & Chastan, B. (2015).** Les bassins versants. In A. Euzen, C. Jeandel, & R. Mosseri (Éds.), *L'eau à découvert* (p. 144-145). CNRS Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.editions-cnrs.9907>
- Leclaire, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algéro-baléares (précontinent algérien). Éditions du Muséum.

- LEM. (2017).** Etude de protection contre l'ensablement de Marsa Ben M'hidi. Rapport d'activité documentation non publier. Alger : LEM
- LEM. (2019).** Etue de protection contre l'ensablement du port Marsa Ben M'hidi, mission 2. Rapport d'activité documentation non publier. Alger : LEM
- Malardel, S. (2008).** Fondamentaux de Météorologie—2ème édition—A l'école du temps (2e édition). Cepadues.
- Mateo-Pérez, V., Corral-Bobadilla, M., Ortega-Fernández, F., & Rodríguez-Montequín, V. (2021).** Chaima. *Energies*, 14(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/en14092486>
- Meaden, G. T., Kochev, S., Kolendowicz, L., Kosa-Kiss, A., Marcinoniene, I., Sioutas, M., Tooming, H., & Tyrrell, J. (2007).** Comparing the theoretical versions of the Beaufort scale, the T-Scale and the Fujita scale. *Atmospheric Research*, 83(2), 446-449. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2005.11.014>
- Meghraoui, M., Habi, M., Morsli, B., Regagba, M., & Seladji, A. (2017).** Mapping of soil erodibility and assessment of soil losses using the RUSLE model in the Sebaa Chioukh Mountains (northwest of Algeria). *Journal of Water and Land Development*, 34(1), 205-213. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0055>
- Ménard, M. (1965).** Économie maritime et portuaire (1). L'importance du port dans l'économie bordelaise. <https://www.quebecloisirsnumerique.com/en/products/economie-maritime-et-portuaire-1-l-importance-du-port-dans-l-economie-bordelaise>
- Miller, F. P., Vandome, A. F., & McBrewster, J. (2010).** Cycle de l'Eau : Hydrologie, Hydrogéologie, Hydrologie de surface, Hydraulique urbaine, Précipitations, Nappe d'eau souterraine, Ressources en eau. Alphascript Publishing.
- Miller, K. (2003).** Caribbean datums and the integration of geographical data. *Caribbean Journal of Earth Science*, p37.
- Millot, C. (1989).** La circulation générale en Méditerranée occidentale : Aperçu de nos connaissances et projets d'études. *Annales de géographie*, 98(549), p497-p515. <https://doi.org/10.3406/geo.1989.20925>
- Moine, N. L. (2008).** Le bassin versant de surface vue par le souterrain : Une voie d'amélioration des performances et du réalisme des modèles pluie-débit ? (P. 348) [Phdthesis, Doctorat Géosciences et Ressources Naturelles, Université Pierre et Marie Curie Paris VI]. <https://hal.inrae.fr/tel-02591478>
- Mokhtar, K., Chuah, L. F., Abdullah, M. A., Oloruntobi, O., Ruslan, S. M. M., Albasher, G., Ali, A., & Akhtar, M. S. (2023).** Assessing coastal bathymetry and climate change impacts on coastal ecosystems using Landsat 8 and Sentinel-2 satellite imagery. *Environmental Research*, 239, 117314. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117314>
- Nadia, Z., Haddouche, D., & Foudil, K. (2014).** L'écosystème steppique de la wilaya de Tlemcen (Nord Ouest Algérien) et les facteurs contribuant à sa sensibilité à la désertification. <https://doi.org/10.13140/2.1.1866.7207>

- Nouad, A., & Merzoug, Ab. (2017).** Cartographie et pétrographie du massif gabbro-dioritique de la région de Sidi Sofiane et lithostratigraphie des formations sédimentaires associées (Monts des Traras ; Oranie—Algérie). Abou Bekr Belkaid. Tlemcen.
- Nourti, M. (2020).** Comment utiliser logiciel Surfer ? : Logiciel Surfer. Nourti&sliman.
- Otmani, H., Belkessa, R., & Walid, B. (2023).** Valorisation économique des terres agricoles perdues par l'érosion, cas des falaises marines de la région de ain taya (alger). <https://doi.org/10.5281/zenodo.7491449>
- Oyedotun, T. D. T. (2014).** Shoreline geometry: DSAS as a tool for Historical Trend Analysis. *Geomorphological Techniques (Online Edition)*.
- Péden, R. (2016).** Impact du changement climatique sur le métabolisme des protéines d'une espèce clé des communautés intertidales, *Mytilus edulis*.
- Perrodon, A. (1922-) A. (1957).** Étude géologique des bassins néogènes sublittoraux de l'Algérie occidentale. Service de la carte géologique de l'Algérie. Alger.
- Plumelle, C. (Éd.). (2017).** Théorie et pratique de la géotechnique - Tome 1 : Outils pour la conception des ouvrages. MONITEUR.
- Price, M. H. (2022).** Price, M: ISE Mastering ArcGIS Pro. McGraw Hill Ryerson.
- Remini, B. (2020).** Etude expérimentale de l'évolution de l'ensablement derrière les brises vents.
- Rivière, P. (1997).** Méthodes granulométriques : Techniques et interprétations. Dunod.
- Rome, S., & Giorgetti, J.-P. (2007).** La montagne corse et ses caractéristiques climatiques. *La Météorologie*, 2007(59), p39-p50. <https://doi.org/10.4267/2042/14846>
- Rosso, J.-C. (2021).** INFO 495' PORT SAY. In *Géologie Méditerranéenne*.
- Salem Cherif, Y. (2023).** Dynamique et évolution morphosédimentaire des plages sableuses : De l'étude des processus à la modélisation. Application sur trois sites du littoral algérois.
- Salomon, J.-N., & Pellegrin, J.-C. (1995).** I -L'évolution du trait de côte. *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 4(1), p9-p24. <https://doi.org/10.3406/tlga.1995.1058>
- Schroeder, K., Lafuente, J., Josey, S., Artale, V., Buongiorno Nardelli, B., Carrillo, A., Gacic, M., Gasparini, G., Herrmann, M., Lionello, P., Ludwig, W., Millot, C., Özsoy, E., Pisacane, G., Sánchez-Garrido, J., Sannino, G., Santoleri, R., Somot, S., Struglia, M., & Zodiatis, G. (2012).** Circulation Of The Mediterranean Sea And Its Variability. In *The Climate of the Mediterranean Region : From the Past to the Future* (p. 187-256). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416042-2.00003-3>
- Sleight, S., & Ainslie, B. (2021).** The Complete Sailing Manual (5th edition). DK.
- Suharini, E., Ariyadi, M. H., & Kurniawan, E. (2020).** Google Earth Pro as a Learning Media for Mitigation and Adaptation of Landslide Disaster. *International Journal of Information and Education Technology*, 10(11), 820-815. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2020.10.11.1464>

- Talhaoui, A., El Hmaidi, A., Jaddi, H., Ousmana, H., & Manssouri, I. (2020).** Article 2020-ElHmaidi-Talhaoui IQE ESJ. *European Scientific Journal*, 16, 64-85.
<https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n2p64>
- Tarmoul, F. (2014).** Évaluation de la Qualité du Milieu Marin dans la Baie d'El Djamila en Vue de la Mise en Place d'un Réseau de Surveillance. ENSSMAL.
- Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009).** The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change. In Open-File Report (2008-1278). U.S. Geological Survey.
<https://doi.org/10.3133/ofr20081278>
- Thior, M., Sy, A. A., Cisse, I., Dieye, E. H. B., Sane, T., Ba, B. D., Solly, B., & Descroix, L. (2021).** Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance. Mappemonde. Revue trimestrielle sur l'image géographique et les formes du territoire, 131, Article 131. <https://doi.org/10.4000/mappemonde.5939>
- Tidey, E. J., & Hulbe, C. L. (2019).** Sub-Antarctic Auckland Islands Seafloor Mapping Investigations Using Legacy Data. *Geosciences*, 9(2), Article 2.
<https://doi.org/10.3390/geosciences9020056>
- Troude, J.-P., & Sérodes, J.-B. (1990).** Caractéristiques hydrodynamiques d'un estran à forte sédimentation. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 17(2), 148-155.
<https://doi.org/10.1139/190-019>
- Urbain, P. (1951).** Comparaison des caractères géologiques et géochimiques de deux séries de roches argileuses. *Bulletin du Groupe français des Argiles*, 4(1), 63-75.
<https://doi.org/10.3406/argil.1951.909>
- Wang, X. H., Andutta, F. P., Wang, X. H., & Andutta, F. P. (2013).** Chaima. In *Sediment Transport Processes and Their Modelling Applications*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/51022>
- Yang, C. (2017).** Introduction to GIS Programming and Fundamentals with Python and ArcGIS® (1st edition). CRC Press.
- Yourid, K. (2016).** Analyse et contribution à l'étude pluviométrique dans la région côtière de l'Ouest d'Algérie. 66.
- Zerrouki, C., & Hemdane, Y. (2022).** Effet des seiches sur le signal de la marée d'un littoral microtidal. Cas du Port d'Alger.
- Zettam, A. (2018).** Transfert des Nitrates du Bassin versant de la Tafna (Nord-Ouest de l'Algérie) vers la Mer Méditerranée Approche couplant mesures, modélisation et changement d'échelle vers les grands bassins versant Nord Africains.
- Zettam, A., Taleb, A., Sauvage, S., Boithias, L., Belaidi, N., & Sánchez-Pérez, J. (2017).** Modelling Hydrology and Sediment Transport in a Semi-Arid and Anthropized Catchment Using the SWAT Model : The Case of the Tafna River (Northwest Algeria). *Water*, 9(3), 216.
<https://doi.org/10.3390/w9030216>

Annexes :

ةيبعشلا ةيطارقميدلا ةيرنازجلا ةيروهمجلا
République Algérienne Démocratique et Populaire
يملعلل ايلعلا ميلعتلا ةرازو
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
رحبلا مولعل ايلعلا ةينطولا ةسردملا لحاسلا ةنيهنو
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Business Model Canvas

Thème :

**Agence de voyage balnéaire pour la sensibilisation
environnementale littorale sur les différents déficit
naturelles ou anthropique**

Présenté par :

Moussaoui Meriem

Mers Safaa

Ait Hamma Massinissa

Benmhammed Djillali

1. Premier axe : Présentation du projet

1.1 L'idée du projet (solution proposée)

Le domaine de la micro-entreprise proposée est le voyage et tourisme, portant le code d'activité 605012.

En faisant un stage pratique au sein du Commissariat National du Littoral à Bejaia, les ingénieurs ont parlé de la non sensibilisation de la population aux problèmes du littoral et de leur ignorance de pouvoir contribuer à sa protection ou sa destruction et dans le but de pouvoir faire face à ce problème, je pense que la solution adéquate est de les informer sur ce côté ignoré et du fait que le meilleur moment de pouvoir atteindre cet objectif est lorsque les gens sont en détente, et dans le bais du décrit exécutif du 1275, une idée de création d'une agence de voyage balnéaire dont le but est la sensibilisation environnementale littorale sur els différent défit qu'ils soient naturels ou anthropique dont le littoral est sujet, m'est venue en tête.

1.2 Les valeurs proposées

Cette agence de voyage balnéaire propose aux clients les valeurs suivantes :

- 1- Découverte : Offrir des expériences de voyage permettant de découvrir la richesse des écosystèmes côtiers et leur fragilité.
- 2- Authenticité : Promouvoir des séjours immersifs au cœur des communautés côtières pour une expérience authentique.
- 3- Aventure éco-responsable : Proposer des activités d'aventure respectueuses de l'environnement, comme le kayak de mer ou la randonnée côtière.
- 4- Bien-être : Mettre en avant le bienfait du bord de mer pour le bien-être physique et mental.
- 5- Connectivité : Encourager une reconnexion avec la nature et une déconnexion numérique temporaire.
- 6- Apprentissage : Offrir des opportunités d'apprentissage sur les écosystèmes côtiers et les enjeux environnementaux.
- 7- Engagement : Impliquer les clients dans des actions concrètes de protection de l'environnement côtier.
- 8- Héritage : Sensibiliser les clients à la préservation des littoraux pour les générations futures.
- 9- Réduction des prix : garantir un meilleur rapport prix / qualité.

1.3 Equipe de travail

Notre équipe de travail est composée des étudiants suivants :

- Moussaoui Meriem étudiante en 5^{ème} année en Gestion et protection du littoral qui a eu l'idée du projet et à participer à son développement.
- Mers Safaa étudiante en 5^{ème} année en Gestion et protection du littoral, qui a fait l'étude du marché.
- Ait Hamma Massinissa étudiant en 5^{ème} année en Gestion et protection du littoral qui s'est occupé du plan financier.
- Benmhammed Djillali étudiant en 5^{ème} année en Gestion et protection du littoral a revu le plan de production et d'organisation.

1.4 Objectif du projet

Notre objectif est de pouvoir protéger le littoral en rassasiant la raison implicite des gens d'acquérir de l'information sur le domaine littoral et marin, afin de pouvoir mettre l'accent sur leurs chances de contribuer à la valorisation des écosystèmes marins et à leur bienveillance.

Tout en développant la culture environnementale bleue et verte.

1.5 Calendrier de réalisation du projet

Le tableau ci-dessous renseigne sur l'organisation temporelle de la création de notre projet.

Tableau 26 : Organisation temporelle de la création du projet

Les taches réalisées selon les mois	1	2	3	4
Choix du local et la préparation des documents nécessaires pour avoir l'agrément	×	×		
Commande des équipements et l'achat des matériaux nécessaires			×	
Commencement du projet				×

2 Deuxième axe : Aspect innovant

2.1 La nature de l'innovation

Dans le cas de cette agence, les aspects innovants dont le modèle d'affaires centré sur la sensibilisation environnementale, les forfaits de voyages éco-responsables, les activités immersives et éducatives, constituent une nouvelle proposition de valeur sur le marché du tourisme balnéaire traditionnel.

Même si certaines technologies innovantes éco-responsables peuvent être utilisées (innovation technologique), l'essentiel de l'innovation réside dans la création d'une nouvelle offre de

services touristiques orientée vers la durabilité et la sensibilisation littorale ; ce qui correspond bien à la définition des "innovations du marché".

2.2 Domaine d'innovation

Le principal domaine d'innovation pour notre projet est le nouveau modèle.

En effet, la proposition semble modifier de manière significative le modèle d'affaires traditionnel des agences de voyages balnéaires en adoptant un nouveau système de création de valeur centré sur :

- La sensibilisation et l'éducation des clients aux enjeux environnementaux côtiers
- La promotion d'un tourisme durable et éco-responsable
- L'offre d'expériences transformatrices alliant découverte, bien-être et engagement écologique

Cela implique une modification profonde du modèle d'affaires, passant d'un modèle classique de vente de séjours balnéaires à une approche holistique incluant des objectifs environnementaux et éducatifs au cœur de la proposition de valeur.

3 Troisième axe : Analyse stratégique du marché

3.1 Le segment du marché

Notre marché cible serait les personnes ou institutions déjà sensibilisées et engagées dans la protection de l'environnement littoral en Algérie, des clubs scientifiques des universités locales, des familles (l'âge exigé est plus de 5ans), des individus algériens soucieux de l'état de précarité du littoral, organisme éducatifs privés, des voyageurs en enquête d'authenticité d'immersion culturelle, de bien-être ou simplement curieux de découvrir un nouveau mode de tourisme durable.

Nous avons choisi un marché cible des eco-conscients car il représente un segment de clientèle naturellement réceptif à notre proposition de valeur centrée sur l'éducation environnementale et les pratiques durables. Cependant, pour assurer la croissance, nous viserons également à conquérir le marché potentiel plus large en éveillant leur intérêt via notre offre innovante.

La raison est double : d'une part fidéliser une base de clientèle déjà alignée sur nos valeurs, et d'autre part séduire de nouveaux publics pour les sensibiliser à l'importance de préserver les littoraux tout en leur faisant découvrir ce nouveau tourisme immersif et transformateur.

3.2 Mesure de l'intensité de la concurrence

Pour une meilleure visualisation du pourcentage d'apparition de notre micro-entreprise dans le marché, une analyse des concurrents directs et indirects semble indispensable,

3.2.1 Concurrents directs

Agences de voyage et de tourisme en Algérie : Il existe environ 168 agences de tourisme et de voyage à Alger, selon une étude de l'ASJP. Ces agences offrent des services de voyage et de tourisme, notamment des forfaits touristiques, des réservations d'hôtels, des transports, et des activités de loisirs.

3.2.2 Concurrents indirects

Gouvernement et institutions publiques : telles que l'Office national du tourisme (ONT), peuvent être des concurrents indirects. Ils peuvent offrir des services et des infrastructures touristiques qui peuvent influencer les choix des touristes et les offres de services de les nôtres.

3.3 Forces et faiblesses des concurrents

Forces

- Les agences de voyage et de tourisme à Alger ont une longue expérience et une bonne connaissance du marché.
- Le gouvernement et les institutions publiques ont des ressources financières et des infrastructures touristiques importantes.

Faiblesses

- Les agences de voyage et de tourisme à Alger peuvent être limitées par leur taille et leur capacité à répondre aux besoins spécifiques des touristes.
- Le gouvernement et les institutions publiques peuvent être limités par leur capacité à répondre aux besoins spécifiques des touristes et à offrir des services touristiques de qualité.

3.4 La stratégie marketing

3.4.1 Relation clientèle

La relation client est au cœur de notre modèle d'affaires. Nous mettons un point d'honneur à accompagner chaque voyageur de manière personnalisée, de la conception de leur séjour jusqu'au retour, en passant par le déroulement du voyage. Notre équipe est à l'écoute des besoins et attentes spécifiques de chaque client afin de leur proposer une expérience sur-mesure, qui allie découverte du littoral et sensibilisation aux enjeux environnementaux. Nous les guidons dans le choix des activités, des hébergements et des transports les plus écoresponsables, en fonction de leurs centres d'intérêt et de leur budget. Pendant le séjour, nous restons joignables pour répondre à toutes leurs questions et gérer d'éventuels imprévus. Au retour, nous prenons soin de recueillir leur avis et leurs suggestions pour améliorer en continu notre offre.

Au-delà de cet accompagnement individualisé, nous souhaitons créer une véritable communauté de voyageurs éco-responsables, soucieux de préserver l'environnement littoral.

Nous organiserons régulièrement des événements de sensibilisation, des ateliers participatifs et des actions de terrain pour impliquer nos clients dans la protection du littoral. Cela permettra de tisser des liens entre eux et de les fédérer autour d'une cause commune. Nous mettrons également en place un programme de fidélité pour récompenser les voyageurs les plus engagés et les plus fidèles. Ils pourront ainsi bénéficier de réductions sur leurs prochains séjours, de cadeaux éco-responsables et d'un accès privilégié à des activités exclusives.

En plaçant la relation client au cœur de notre stratégie, nous souhaitons créer une expérience touristique unique, qui dépasse le simple séjour pour devenir un véritable engagement en faveur de l'environnement. Nos clients seront ainsi des acteurs à part entière de notre mission de sensibilisation et de préservation du littoral.

3.4.2 Canaux de diffusion

Afin de toucher notre cible de voyageurs soucieux de l'environnement, nous avons choisi d'utiliser une combinaison de canaux digitaux et physiques. Tout d'abord, nous allons développer un site web dédié qui met en avant notre mission de sensibilisation et notre offre de séjours éco-responsables. Ce site sera optimisé pour le référencement naturel (SEO) afin d'être facilement trouvé par notre public cible. Nous serons également très actifs sur les réseaux sociaux, notamment Facebook, Instagram et LinkedIn, pour créer du contenu engageant, interagir avec notre communauté et promouvoir nos activités.

En parallèle, nous comptons nouer des partenariats stratégiques avec des agences de voyage, des tour-opérateurs et des médias spécialisés dans le tourisme durable. Cela nous permettra d'accéder à un bassin de clientèle plus large et de bénéficier de leur expertise et de leur visibilité. Nous participerons également à des salons et événements dédiés au tourisme et à l'environnement, tels que le Salon du Tourisme Responsable ou le Salon des Énergies Renouvelables. Ces événements seront l'occasion de rencontrer directement nos clients potentiels, de présenter notre offre et de tisser de nouveaux liens.

Enfin, nous envisageons de développer des collaborations avec des associations de protection de l'environnement et des collectivités locales. Cela nous permettra non seulement de sensibiliser un public plus large, mais aussi de nous impliquer concrètement dans des actions de préservation du littoral. En multipliant les canaux de communication et de distribution, nous souhaitons ainsi toucher efficacement notre cible, tout en renforçant notre image d'acteur engagé et responsable dans le secteur du tourisme.

4 Quatrième axe : Plan de production et d'organisation

4.1 Approvisionnement

Pour assurer le bon fonctionnement de notre agence de voyage et de tourisme balnéaire, nous mettons en place une politique d'achat adaptée à nos besoins spécifiques. Nous achetons des matières premières telles que du papier, de l'encre et du matériel de bureau pour la conception de brochures, dépliants et autres supports de communication. Nous utilisons également des matériaux et des fournitures spécifiques pour les activités de préservation du littoral, comme des gants, des sacs poubelles et des pinces. Pour équiper nos locaux, nous achetons les équipements suivants des ordinateurs, des imprimantes et du mobilier de bureau.

Nous travaillons avec des fournisseurs, les plus importants ; des fournisseurs de matériel de bureau et de papeterie, des associations de protection de l'environnement pour le prêt de matériel de nettoyage, des entreprises de location de véhicules pour les excursions et activités sur le littoral, et des hébergements éco-responsables pour la réservation des séjours. Nous allons également établir une politique de paiement et des délais de réception pour chaque fournisseur, en fonction de leurs besoins spécifiques. Par exemple, nous payons à 30 jours pour les fournisseurs de matériel de bureau et d'imprimerie, à la commande pour les associations de protection de l'environnement et les entreprises de location de véhicules, et nous recevons les matériaux de bureau et les supports de communication dans les 5 à 10 jours ouvrés, tandis que nous recevons immédiatement le matériel de nettoyage et les hébergements réservés.

4.2 La main d'œuvre

Notre projet de micro entreprise créera environ 05 postes clés pour assurer son bon fonctionnement. Nous aurons besoin d'un gestionnaire d'agence diplômé en tourisme qui sera partenaire avec nous, avec une expérience solide dans le secteur, qui sera basé dans notre bureau. Pour la vente de nos voyages et activités, nous en serons responsable. De 04 guides touristiques diplômé en protection de l'environnement marin et côtier que nous pouvant prendre place vue que le but est de sensibiliser les gens sur les problèmes du littoral algérien. Nous pourrons également faire appel à des manutentionnaires pour nous aider dans certaines activités de préservation du littoral comme le nettoyage des plages. En réunissant cette équipe expérimentée et motivée, nous serons en mesure de mener à bien notre mission de sensibilisation et de préservation du littoral.

4.3 Les principaux partenaires

Pour réussir la mise en place de notre projet, nous comptons nous appuyer sur un écosystème d'acteurs variés qui pourront nous apporter leur soutien, leur expertise et leur accompagnement.

Tout d'abord, nous travaillerons avec des fournisseurs engagés dans une démarche éco-responsable, comme des entreprises spécialisées dans le matériel de nettoyage et les équipements écologiques pour nos activités de préservation du littoral, des sociétés de transport touristique pour faciliter les déplacements de nos voyageurs, et des hébergements qui respectent des critères environnementaux stricts. Au niveau local, nous nouerons des partenariats avec les collectivités, les associations de protection de l'environnement pour obtenir les autorisations nécessaires, bénéficier d'un soutien logistique et promouvoir nos activités auprès des touristes et des habitants. Nous nous appuyerons également sur l'expertise de laboratoires spécialisés dans l'environnement et de centres de recherche en tourisme durable pour mieux évaluer l'impact de nos activités et adopter les meilleures pratiques en matière de tourisme responsable, les clubs de plongé locaux, les écoles privées, les hôtels locaux, les entreprises de transport locales, les traiteurs locaux. En fédérant cet écosystème d'acteurs autour de notre projet, nous serons en mesure de mener à bien notre mission de sensibilisation et de préservation du littoral, en nous appuyant sur des compétences et des ressources complémentaires.

5 Cinquième axe : Plan financier

5.1 Stratégie de financement

Nous comptons financer notre agence de voyage et tourisme balnéaire à partir des aides de l'état.

5.1.1 Coût du capital social

Le cout de notre investissement est de **3 940 500** DA comme expliquer dans le tableau ci-dessous

Tableau 27: coût d'investissement

Besoin	Prix unitaires (DA)	Quantités	Prix total (DA)
Installation			
Loyer du local (50m ²)	12000/Mois	12	144 000
Matériels bureautiques			
Bureaux	21000	5	105 000
Chaises	6000	8	48 000
Armoires	25000	5	125 000
Fournitures			
Papiers	750	6 rames/an	4 500
Ancres	400	48 cartouches/an	19 200
Stylo/Marqueurs/registres	--	--	12 000
Matériels informatiques			
PC	100000	5	500 000
Imprimante scanner	46000	1	46 000
Logiciels	0	--	0
Autres			
Loue des bus	7000	54/ an	378 000
Electricité/eau	--	--	En moyenne 25 000
Traiteur	500	2160	1 080 000
Hôtels	5000	120	600 000
Abonnement internet		20	25 000
Site web	--	1	200 000
Publicité et marketing	--	--	600 000
Total	--	--	2 940 500

5.1.2 Etude de rentabilité annuelle

5.1.2.1 Coûts des amortissements

Le tableau ci-dessous renseigne sur le calcul des amortissements qui est de **82 400 DA**

Tableau 28 : Coût d'amortissement

Besoin	Prix unitaire	Quantité	Prix total	Prix total par an (DA/an)
Matériels bureautiques				
Bureaux	21000	5	105000/ 10an	10 500
Chaises	6000	8	48000/ 10an	4 800
Armoires	25000	5	125000/ 10an	12 500
Matériels informatiques				
PC	100000	5	500000/ 10an	50 000
Imprimante scanner	46000	1	46000/ 10an	4 600
Logiciels	0	--	0	0
Total (DA)	--	--	824 000	82 400

5.1.2.2 Le coût des charges annuelles

Le tableau ci-dessous renseigne sur le calcul des coûts des charges annuelles qui est de **3 170 100 DA**

Tableau 29 Coût de charges annuelles

Besoin	Prix unitaire	Quantité	Prix total par an (DA/an)
Amortissements	--	--	82400
Installation			
Loyer du local (50m ²)	12000/Mois	12	144 000
Fournitures			
Papiers	750	6 rames/an	4 500
Ancres	400	48 cartouches/an	19 200
Stylo/Marqueurs/registres	--	--	12 000
Autres			
Loue des bus	7000	54 /an	378 000
Electricité/eau	--	--	En moyenne 25 000
Traiteur	500	2160	1 080 000
Hôtels	5000	120	600 000
Abonnement internet	--	--	25 000
Site web	--	1	200 000
Publicité et marketing	--	--	600 000
Total	--	--	3 170 100

5.1.2.3 Le coût des revenus

Pour pouvoir générer des revenus on se base sur les sources suivantes

Tableau 30: Sources et coût des revenus

Service	Prix unitaire	Quantités	Prix total DA/an
Excursions (B to C)	3500	40/7jrs	6 720 000
Excursions (B to B)	2500	240/ an	600 000
Total	--	--	7 320 000

6 Sixième axe : Prototype expérimentale

Du fait que l'argument scientifique est le plus puissant à utiliser pour convaincre donc on compte donner des cartes pour nos clients renseignâtes sur l'état de dégradation de l'environnement, et les expliquées d'une manière simplifiée que ce soit pour les grands ou les petits ; dont les exemples suivants :

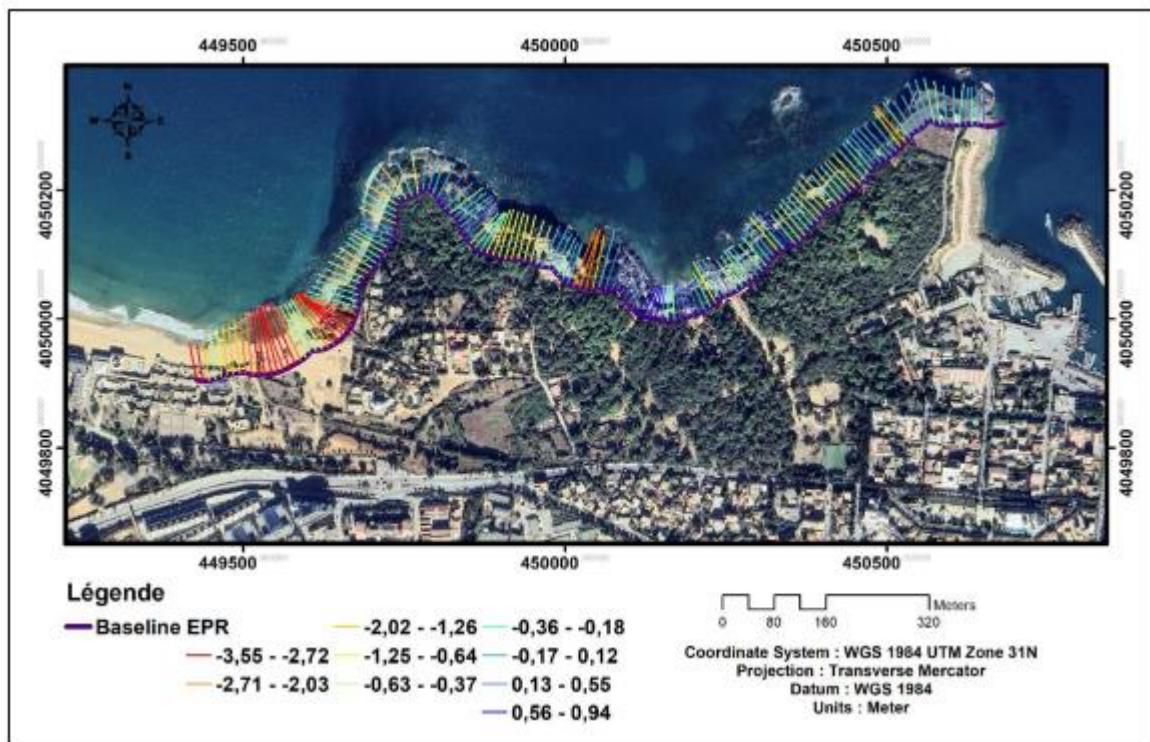


Figure 74: Résultat cartographique de la vitesse de l'érosion/accrétion au niveau des ruines romaine de Tipaza (Moussaoui, 2024)

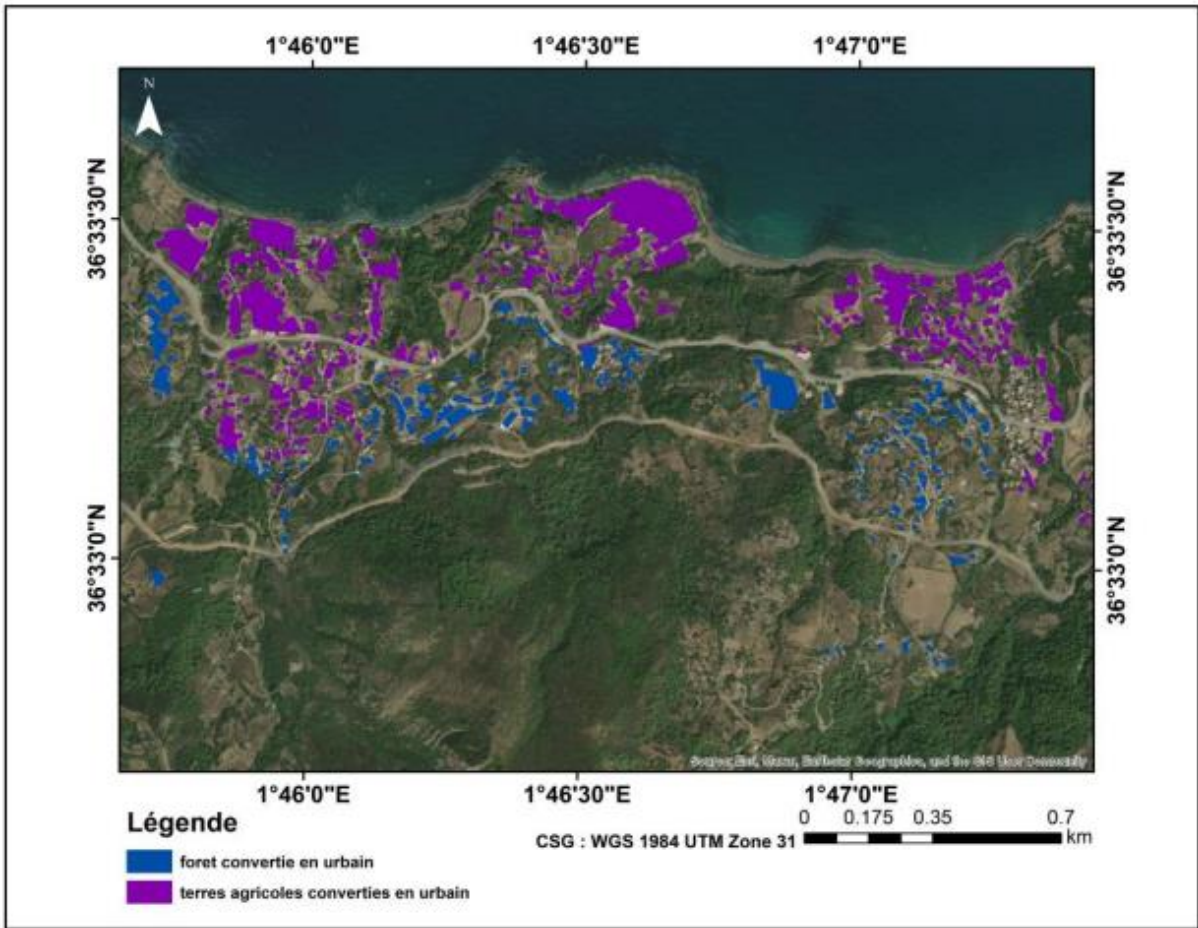


Figure 75 : les terres perdues en conversion en urbain (Ikhlifaine entre 2004-2023) (Moussaoui, 2024)

<p><u>Partenaires clés</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Les ecoles privés locales. -Les hotels locales. -Les entreprises du transports locales. -Organisation environnementales locales. -Clubs de plongé locaux. -Fournisseurs engagés dans une démarche éco-responsable. -Traiteurs -Agences de voyages 	<p><u>Activités Clés</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Création de circuits et excursions éducatives. -Animation des activités de sensibilisation sur les sites. -Préparation de contenu pedagogique <p><u>Ressources clés</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Equipe de guides nature formée de 04 personnes 	<p><u>Propositions de valeur</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Voyage combinat découverte et éducation environnementale cotiere. -Experiences immersives sur terrains. -Sensibilisation ludique à l'environnement littoral. 	<p><u>Relation Client</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Acompagnement personnel avant/pendant/apres voyage. -Programme de fidélité (abaissement des prix). -Création d'une communauté de voyageurs eco-responsable. -Assurence du logement et nourriture <p><u>Canaux</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Site web -Réseaux sociaux -Participation aux salons et événements dédiés au tourisme et à l'environnement 	<p><u>Clients</u></p> <ul style="list-style-type: none"> -Individus (familles agés plus de 5ans). -Clubs scientifiques local -Elèves des ecoles privés en Algérie. - voyageurs en enquête d'authenticité d'immersion culturelle
<p><u>Coûts</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Location : 144 000DA Materiels bureautique : 27 800 DA Matériels informatique : 54 600 DA Fournitures : 35 700 DA Loue des bus: 378 000DA Electricité/eau: 25 000 DA Traiteur: 1 080 000 DA Hôtels: 600 000 DA Abonnement internet: 25 000 DA Site web: 200 000 DA Publicité et Marketings: 600 000 DA Total: 3 170 100 DA 		<p><u>Revenus</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Excursions (B to C): 6 720 000 DA Excursions (B to B): 600 000 DA Total : 7 320 000 DA 		

Figure 76 : Le Business Model Canvas

Résumé :

Le mémoire "Ensablement du port de Marsa Ben M'Hidi (W. de Tlemcen) : Étude hydro-sédimentaire et solutions" analyse les dynamiques hydro-sédimentaires responsables de l'ensablement du port et propose des solutions pour y remédier. Le premier chapitre offre un aperçu historique du port, examine la problématique de l'ensablement et présente les aspects environnementaux pertinents. Le deuxième chapitre utilise l'outil DSAS pour analyser l'évolution du trait de côte et confirmer l'impact de l'ensablement. Le troisième chapitre se concentre sur la cartographie du fond marin pour identifier les zones d'accumulation de sédiments. Le quatrième chapitre analyse la nature, la composition et la distribution des sédiments pour comprendre les processus de transport et d'accumulation. Le cinquième chapitre utilise une modélisation numérique avec le logiciel Mike 21 pour simuler les dynamiques sédimentaires et identifier les sources et trajectoires des sédiments. Enfin, le sixième chapitre propose et évalue des solutions pour réduire l'ensablement de manière durable. Ce mémoire combine des études théoriques, des analyses pratiques et des propositions concrètes pour gérer l'ensablement des ports.

Abstract:

The thesis "Silting of the Port of Marsa Ben M'Hidi (W. of Tlemcen): Hydro-sedimentary Study and Solutions" analyzes the hydro-sedimentary dynamics responsible for the silting of the port and proposes solutions to address this issue. The first chapter provides a historical overview of the port, examines the silting problem, and presents relevant environmental aspects. The second chapter uses the DSAS tool to analyze shoreline evolution and confirm the impact of silting. The third chapter focuses on seabed mapping to identify sediment accumulation zones. The fourth chapter analyzes the nature, composition, and distribution of sediments to understand the transport and accumulation processes. The fifth chapter employs numerical modeling with the Mike 21 software to simulate sediment dynamics and identify sediment sources and trajectories. Finally, the sixth chapter proposes and evaluates solutions to sustainably reduce silting. This thesis combines theoretical studies, practical analyses, and concrete proposals to manage port silting.

ملخص:

تُحلل الأطروحة بعنوان "ترمل ميناء مرسى بن مهدي (ولاية تلمسان): دراسة هيدرولوجية-رسوبية وحلول" الديناميكيات الهيدرولوجية-الرسوبية المسؤولة عن ترمل الميناء وتقدم حلولاً لمعالجة هذه المشكلة. يوفر الفصل الأول نظرة عامة تاريخية على الميناء، ويفحص مشكلة الترميل، ويقدم الجوانب البيئية ذات الصلة. يستخدم الفصل الثاني أداة DSAS لتحليل تطور خط الساحل وتأثير الترميل. يركز الفصل الثالث على رسم خرائط قاع البحر لتحديد مناطق تراكم الرواسب. يحلل الفصل الرابع طبيعة وتكوين وتوزيع الرواسب لفهم عمليات النقل والتراكم. يستخدم الفصل الخامس النمذجة الرقمية باستخدام برنامج Mike 21 لمحاكاة ديناميكيات الرواسب وتحديد مصادر ومسارات الرواسب. أخيراً، يقترح الفصل السادس ويقيم حلولاً لتقليل الترميل بشكل مستدام. تجمع هذه الأطروحة بين الدراسات النظرية والتحليلات العملية والمقترحات الملموسة لإدارة ترمل الموانئ.