

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur en Sciences de la Mer

Option : Aménagement du littoral

Thème :

Impact des ouvrages portuaires sur l'évolution d'un  
littoral soumis à une forte dynamique sédimentaire  
-Cas de Cap Djinet-

Présenté par :

**SAID HADDAD Sara**

Soutenu le 19/10/2017 devant le jury composé de :

<b>Mme. LAOUAR A.</b>	<b>Maître- assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Présidente</b>
<b>M. MEZOUAR K.</b>	<b>Maître de conférences A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Promoteur</b>
<b>Mme. MAHDID S.</b>	<b>Maitre- assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>M.BOUAICHA F.</b>	<b>Maître-assistant A</b>	<b>ENSSMAL</b>	<b>Examineur</b>

Année universitaire : 2016-2017

## Remerciements

"الحمد لله"

Au terme de ce travail, je remercie **Dieu** le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Un grand merci à **Mr. MEZOUAR K.** Maître de conférences A à l'ENSSMAL pour son encadrement et son suivi. Il m'a apporté avec son extrême gentillesse ; de nombreux conseils, La confiance qu'il m'a accordée durant toute l'année, et ses précieux conseils jusqu'au bout ; ont constitué une motivation qui m'a permis de mener à bien ce projet qu'il trouve dans ces mots mes vifs reconnaissances.

Mes remerciements s'adressent à Madame **LAOUAR A.** Maître- assistant A à l'ENSSMAL, qui m'a fait Honneur, d'accepter de présider le jury de cette soutenance.

Mes remerciements s'adressent à Madame **MAHDID S.**Maître-assistant A, ainsi que Monsieur **BOUAICHA F.** Maître -assistant A à l'ENSSMAL pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner ce travail.

Je remercie mes enseignants de l'**ENSSMAL** ; **M.OTMANI H** pour son aide et soutien. Une pensée particulière à **M.LARID** « paix à son âme ».

Ainsi que le personnel de la bibliothèque ; **MOUSTAFA** et **SID-ALI** et de l'administration : **NASSIMA.**

Mes remerciements s'adressent aussi à **Mme.SALEM CHERIF Y.** Doctorante à l'ENSSMAL pour son soutien.

Enfin, je présente mes remerciements et mon gratitude, à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail :*

*A ma très chère et adorable Maman, tous les mots du monde ne sauraient exprimer l'immense amour que je te porte, ni la profonde gratitude que je te témoigne pour tous les efforts et les sacrifices que tu n'as jamais cessé de consentir pour mon instruction et mon bien-être.*

*J'espère avoir répondu aux espoirs que tu as fondés en moi. Je te rends hommage par ce modeste travail en guise de ma reconnaissance éternelle et de mon infini amour. Que Dieu tout puissant te garde et te procure santé, bonheur et longue vie.*

*A mon très cher père qui n'est plus de ce monde mais reste toujours dans mon cœur, qu'il repose en paix.*

*A à ma sœur Nour et mes frères pour leur affection et leur patience tout le long de ce travail ainsi que tous les membres de mon aimable famille, je vous aime tous.*

*A tous mes amis qui m'ont soutenu et aidé de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, mes amis de l'ENSSMAL, en particulier mes camarades de la promo aménagement du littoral 2016/2017 vous êtes ma deuxième famille.*

*Sara*

## Citation

« ..... Réfugie- toi dans l'étude, tu échapperas à tous les dégoûts de l'existence ... »

## **LISTE DES FIGURES :**

<b>Figure I.1:</b> Profil d'une plage avec ses différentes composantes (Bonte, 2013 in KHALFANI ,2014).....	06
<b>Figure I.2 :</b> Caractéristiques hydrodynamiques en milieu littoral (Berni ,2011 in Mme JESSICA ASTIER, Avril,2014).....	07
<b>Figure I.3 :</b> Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques et anthropiques impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux (Aurélie DEHOUCK, Octobre 2006).....	09
<b>Figure I.4 :</b> Composant d'un système Morphodynamique côtiers (M.Alexis Stepanian, Décembre).....	10
<b>Figure I.5 :</b> Le profil d'une plage dissipative (Carlos Ley, 2012 in BOUALILI N, 2015).....	11
<b>Figure I.6 :</b> Le profil d'une plage réfléchissante (Carlos Ley, 2012 in BOUALILI N, 2015).....	12
<b>Figure I.7 :</b> Classification morphologique des plages selon les indices $\Omega$ et RTR (d'après Masselink and Short, 1993 ; modifié in Aurélie DEHOUCK, Octobre 2006).....	12
<b>Figure I.8 :</b> Les trois modes de transport sédimentaire (Chauchat, 2007) .....	13
<b>Figure I.9 :</b> Évolution des profils d'une plage soumise à des houles de tempête (Daniel CAMINADE ,1996).....	14
<b>Figure I.10 :</b> Schématisation du courant de retour : A/vue de profil sur une plage de pente homogène B/ vue en plan (Oula AMROUNI, 2008).....	15
<b>Figure I.11 :</b> Courant de dérive littorale (Bourgou & Miossec, 2010).....	16
<b>Figure I.12 :</b> Visualisation des phénomènes d'érosion (a) et d'accrétion (b) du profil de plage en réponse à l'évolution des conditions hydrodynamiques (modifié d'après Masselink and Puleo, 2006).....	16
<b>Figure II.1 :</b> Situation géographique de la zone de Cap Djinet (SAID HADDAD).....	20
<b>Figure II.2 :</b> Géologie régionale de Cap Djinet (Layoune & Tiguercha; 2011 in Otmani, 2014).....	21
<b>Figure II.3 :</b> Schématisation du réseau hydrographique de la zone d'étude (Akziz 2011 in Otmani ,2014).....	23
<b>Figure II.4 :</b> Températures mensuelles en (°C) dans la zone de Cap Djinet (ONM, Dellys, 1996-2014).....	24
<b>Figure II.5 :</b> Moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Cap Djinet (ONM,1996-2014).....	25
<b>Figure II.6 :</b> Roses saisonnière des vents au large de la zone d'étude.....	28
<b>Figure II.7 :</b> Rose annuelle des vents au large de la zone d'étude.....	28
<b>Figure II.8 :</b> Roses saisonnières des vents à proximité de la côte (Source ONM 1994-2013).....	29

<b>Figure II.9</b> : Rose annuelle des vents à proximité de la côte (Source ONM 1994-2013).....	29
<b>Figure II.10</b> : Roses saisonnières des houles au large de la zone d'étude (Source MEDATLAS 2004).....	32
<b>Figure II.11</b> : Rose annuelle des houles au large de la zone d'étude (Source MEDATLAS 2004).....	33
<b>Figure III.1</b> : Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne (SAID HADDAD).....	38
<b>Figure III.2</b> : Matériels utilisés pour l'analyse (ENSSMAL).....	38
<b>Figure III.3</b> : Tamiseuse et une colonne de tamis de type AFNOR (ENSSMAL).....	39
<b>Figure III.4</b> : Programme de Matlab pour le calcul des paramètres courbes granulométriques.....	42
<b>Figure III.5</b> : Carte de la répartition des D50 dans la plage aérienne (réalisée par SAID HADDAD).....	43
<b>Figure III.6</b> : Carte de la répartition des Q25 dans la plage aérienne (réalisée par SAID HADDAD).....	44
<b>Figure III.7</b> : Carte de la répartition du grain moyen Mz (mm) dans la partie aérienne (SAID HADDAD).....	44
<b>Figure III.8</b> : Histogramme unimodale (Matlab).....	45
<b>Figure III.9</b> : Histogramme bimodale (Matlab).....	46
<b>Figure III.10</b> : Histogramme plurimodale (Matlab).....	46
<b>Figure III.11</b> : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Partie aérienne).....	48
<b>Figure III.12</b> : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen (Partie aérienne).....	48
<b>Figure III.13</b> : Localisation des stations de prélèvements de la partie marine (SAID HADDAD).....	49
<b>Figure III.14</b> : Répartition de la fraction fine dans la partie marine (SAID HADDAD).....	49
<b>Figure III.15</b> : Carte de la répartition de la médiane D50 dans la partie marine (SAID HADDAD).....	50
<b>Figure III.16</b> : Carte de la répartition du décile supérieur D90 dans la partie marine (SAID HADDAD).....	51
<b>Figure III.17</b> Carte de la répartition du grain moyen Mz (mm) dans la partie marine (SAID HADDAD).....	51
<b>Figure III.18</b> : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Partie marine).....	53

<b>Figure III.19</b> : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen (Partie marine).....	53
<b>Figure IV.1</b> : Étapes de modélisation des trois modules HD, SW et ST sous Mike 21(SAID HADDAD) .....	59
<b>Figure IV.2</b> :Maillage du Mesh Generator sous MIKE Zero (Année 2009).....	61
<b>Figure IV.3</b> : Carte bathymétrique de la zone d'étude (2009).....	62
<b>Figure IV.4</b> : Carte bathymétrique de la zone d'étude (Année, 2017).....	63
<b>Figure IV.5</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°45 et une période de 8s (Année 2009).....	64
<b>Figure IV.6</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°360 et une période de 8s (Année 2009) .....	65
<b>Figure IV.7</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°315 et une période de 8s (Année 2009).....	65
<b>Figure IV.8</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°45 et une période de 8s (Année 2017).....	66
<b>Figure IV.9</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°360 et une période de 8s (Année 2017).....	67
<b>Figure IV.10</b> : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°315 et une période de 8s (Année 2017).....	67
<b>Figure IV.11</b> : Réfraction de la houle pour la direction Nord-ouest et une période de 8s (Année 2009 ,2017).....	68
<b>Figure IV.12</b> : Carte qui représente le champ des courants de la direction N°45 pour une période de 8s (Année 2009).....	69
<b>Figure IV.13</b> Carte qui représente le champ des courants de la direction N°360 pour une période de 8s (Année 2009).....	69
<b>Figure IV.14</b> : Carte qui représente le champ des courants de la direction N°315 pour une période de 8s (Année 2009).....	70
<b>Figure IV.15</b> : Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°45 et une période de 8s (Année 2017) .....	70
<b>Figure IV.16</b> : Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°360 et une période de 8s (Année 2017).....	71
<b>Figure IV.17</b> : Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°315 et une période de 8s (Année 2017).....	72
<b>Figure IV.18</b> : Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 45N° et période de 8s (Année2009).....	73
<b>Figure IV.20</b> : Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360 N° et une période de 8s (Année 2009).....	74
<b>Figure IV.21</b> : Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 45° et une période de 8s (Année 2017).....	75

<b>Figure IV.22</b> : Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360° et une période de 8s (Année 2017).....	75
<b>Figure VI.23</b> :Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 315° et une période de 8s (Année 2017).....	76
<b>Figure V.1</b> : Le concept du DSAS, d’après User Guide & Tutorial for the Extension for ArcGISv.9.0Digital Shoreline Analysis System ( Thieler <i>et al</i> , 2005).....	80
<b>Figure V.2</b> : Barre d’outils de DSAS (Thieler <i>et al</i> ,2005).....	80
<b>Figure V.3</b> : Organigramme qui résume les différentes étapes suivis (réalisé par SAID HADDAD) .....	82
<b>Figure V.4</b> : Digitalisation des traits et création d’une ligne de base .....	83
<b>Figure V.5</b> : Génération des transects à l’aide de DSAS.....	84
<b>Figure V.6</b> : La table attributaire issue lors du traitement sous Arcmap.....	84
<b>Figure V.7</b> : Évolution de la ligne de côte de Cap Djinet entre 2002 et 2016.....	85
<b>Figure V.8</b> : Position des transects générés à partir de DSAS.....	85
<b>Figure V.9</b> : Illustration des transects d’évolution du trait de côte entre 2002 et 2009.....	86
<b>Figure V.10</b> : Évolution du trait de côte en (m/an) entre 2002 et 2009.....	87
<b>Figure V.11</b> : Evolution du trait de côte en (m) entre 2002 et 2009.....	87
<b>Figure V.12</b> : Évolution surfacique de la zone d’étude de 2002 à 2009.....	88
<b>Figure V.13</b> : Illustration des transect d’évolution du trait de côte entre 2009 et 2011....	88
<b>Figure V.14</b> :L’évolution du trait de côte entre la période 2009-2011.....	89
<b>Figure V.15</b> : Évolution du trait de côte en (m) entre 2009 et 2011.....	89
<b>Figure V.16</b> : Taux d’évolution du trait de côte entre 2009 et 2011 .....	90
<b>Figure V.17</b> : Illustration des transects d’évolution du trait de côte de la zone d’étude entre 2014 et 2016.....	91
<b>Figure V.18</b> : Évolution du trait de côte en (m/an) entre 2014 et 2016 .....	91
<b>Figure V.19</b> : Évolution du trait de côte en (m) entre 2014 et 2016.....	92
<b>Figure V.20</b> : Analyse du taux d’évolution en surface de la zone d’étude entre 2014 et 2016.....	92
<b>Figure V.21</b> : Représentation du LRR selon chaque profil entre 2002 jusqu’à 2016 de la zone d’étude.....	93
<b>Figure V.22</b> : L’évolution du trait de côte en (m/an) durant toute la période allant de 2002 jusqu’à 2016.....	94
<b>Figure V.23</b> : l’évolution du trait de côte en (m) durant toute la période allant de 2002 jusqu’à 2016.....	95
<b>Figure V. 24</b> : Analyse du taux d’évolution en surface de notre zone entre 2002 et 2016.....	95
<b>Figure V.25</b> : Histogramme du bilan sédimentaire la zone d’étude entre 2002 et 2016.....	96
<b>Figure V.26</b> : Le modèle cartographique basé sur le calcul de l’End Point Rate (EPR)...	97

## **LISTE DES TABLEAUX**

<b>Tableau II.1:</b> Moyennes mensuelles des températures dans la station de Dellys (ONM, 1996-2014) .....	24
<b>Tableau II.2 :</b> Moyennes mensuelles des précipitations dans la station de Dellys (ONM, 1996-2014).....	25
<b>Tableau II.3 :</b> Fréquence annuelle et saisonnière des houles au large par direction (Source MADATLAS 1999-2004).....	31
<b>Tableau II.4 :</b> Fréquences des classes de hauteurs significatives en fonction des directions dominantes au large. Source MADATLAS (1999-2004).....	33
<b>Tableau II.5 :</b> Caractéristique générale du port de Cap Djinet (Otmani ,2014).....	35
<b>Tableau II.6 :</b> Caractéristiques générales des ouvrages de protection.....	35
<b>Tableau III.1:</b> Les valeurs adoptées pour MZ.....	41
<b>Tableau III.2:</b> Valeurs adoptées pour So.....	41
<b>Tableau III.3 :</b> Valeurs adoptées pour Sk.....	42
<b>Tableau III.4 :</b> Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats.....	47
<b>Tableau III.5 :</b> Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats (Partie marine).....	52
<b>Tableau IV.1:</b> Hauteurs des houles annuelles retenues par secteur de provenance au large (SSMO).....	60

## **LISTE DES ACRONYMES**

**D.H.I:** l'Institut **H**ydrolique **D**anois.

**DSAS:**Digital Shoreline Analysis System.

**EPR:** End Point Rate

**Hs:** Hauteur Significative.

**Km:**Kilomètre

**LRR:** Linear **R**egression **R**ate-of-change.

**m/an:**mètre par an.

**m:**mètre

**N:**Nord

**N.S.M:** Net Shoreline **M**ovement.

**NW :** Nord-Ouest

**ONM:** Office Nationale de **M**étéorologie

**S.H.O.M :** Service **H**ydrographique et **O**céanographique de la **M**arine.

**S.I.G :** Système d'Information **G**éographique.

**S.S.M.O:** Summary of **S**ynoptic **M**eteorological **O**bservation.

**SE :** Sud-Est

**SIG :**Systèmes d'Information **G**éographique.

**ST :** Transport **S**édimentaire

**SW:** Spectral **W**ave

**T :** Période

**U.T.M:** Universal **T**ime **M**ercator.

**W.G.S:** World **G**eoïde **S**ystem.

**TC:** Trait de **C**ôte

## **TABLE DES MATIERES**

Remerciement.....	i
Dédicace.....	ii
Citation.....	iii
Liste de figures.....	iv
Liste des Tableau .....	viii
Liste des acronymes.....	ix
Introduction générale .....	02
<b>CHAPITRE I : CONTEXTE GENERAL.....</b>	<b>04</b>
I.1 Les littoraux sableux.....	05
I.2. Profil général d'une côte sableuse.....	06
I.2.1. Définition générale des plages.....	06
I.2.2. Morphologie des plages .....	07
I.2.3. Hydrodynamique des plages.....	07
I.2.4. Concepts généraux de morphodynamique.....	08
I.2.5. Echelle spatio-temporelle de l'évolution morphologique des systèmes côtiers.....	08
I.2.6. Processus morphodynamique côtiers.....	10
I.2.7 Classification morphodynamique des plages .....	10
I.3. L'évolution des plages.....	13
I.3.1. Transport sédimentaire .....	13
I.3.2. Processus de l'évolution d'une plage .....	13
I.3.2.1. Les agents morfo-dynamiques (Facteurs naturels).....	13
I.3.2.2. Facteurs anthropiques .....	17
<b>CHAPITRE II : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE.....</b>	<b>18</b>
II.1. Situation géographique.....	19
II.1.1. La Baie de Zemmouri.....	19
II.1. 2. Site d'étude.....	19

II.2.	Cadre géomorphologique, géologique et sismique.....	20
II.2.1.	Plan géologique.....	20
II.2.2.	Plan stratigraphique.....	21
II.2.3.	Aléas sismique.....	22
II.2.4.	Plan géomorphologique.....	22
II.3.	Cadre hydrographique.....	22
II.4.	Cadre climatique de la côte de Cap Djinet.....	23
II.4.1.	Les températures.....	24
II.4.2.	Les précipitations.....	24
II.5.	Cadre météo-marin du Cap Djinet .....	25
I.5.1.	Les vents.....	26
II.5.2.	Les houles.....	30
II.5.3.	Les marées.....	34
II.6.	Caractéristiques générale de la zone d'étude.....	34
<b>CHAPITRE III : ETUDE GRANULO-SEDIMENTOLOGIQUE.....</b>		<b>36</b>
III.1.	Principe .....	37
III.2.	Prélèvement dans la partie aérienne.....	37
III.3.	Analyse au laboratoire.....	38
III.4.	Traitement des données.....	40
1.	Courbe granulométrique.....	40
2.	Les paramètres de position.....	40
3.	Indices granulométriques .....	41
III.5.	Résultats .....	42
III.5.1.	Partie aérienne .....	43
III.5.1.1	Analyse de la fraction grossière .....	43
III.5.1.2.	Courbes modales .....	45
III.5.1.3.	Résultats des indices granulométriques de la partie aérienne.....	47

III.5.2.Partie marine.....	48
III.5.2.1.Analyse de la fraction fine.....	49
III.5.2.2.Analyse de la fraction grossière.....	50
III.5.2.3.Résultats des indices granulométriques de la partie aérienne.....	52
<b>CHAPITRE IV:MODELISATION NUMERIQUE HYDRODYNAMIQUE.....</b>	<b>55</b>
IV.1.Introduction.....	56
IV.2.Description des modèles de MIKE21.....	56
IV.3. Création de la bathymétrie sous le maillage.....	58
IV.3.1. Interpolation de la bathymétrie sur le maillage .....	58
IV.3.2.Génération de la géométrie du maillage.....	58
IV.3.3.Système de projection .....	59
IV.4. Méthodologie suivie .....	59
IV.5. Résultats et discussion.....	61
IV.5.1. Génération du maillage.....	61
IV.5.2. Etude bathymétrique .....	61
IV.5.3. Modélisation de la réfraction de la houle avec le module SW .....	63
IV.5.4. Etude courantologique .....	68
IV .5.5. Modélisation du transport sédimentaire .....	72
<b>CHAPITRE V : L'EVOLUTION DU TRAIT DE COTE .....</b>	<b>77</b>
V.1. Méthodes et techniques utilisées .....	79
V.1.1.Les logiciels utilisés.....	79
V.1.2.Méthodologie suivie.....	82
V.1.3. Méthode de digitalisation.....	82
V.2. Résultats et discussion.....	85
V.2.1.Période 2002-2009 .....	86
V.2.1.1.End Point Rate de la période 2002-2009.....	86
V.2.1.2.Analyse du bilan sédimentaire de la période 2002-2009.....	87

V.2.2.Période 2009-2011.....	88
V.2.2.1.End Point Rate de la période 2002-2009.....	88
V.2.3. Période entre 2014 et 2016.....	90
V.2.3.1.End Point Rate de la période 2014-2016.....	90
V.2.3.2.Analyse du bilan sédimentaire de la période 2014-2016.....	92
V.2.4.Analyse globale de la période 2002 jusqu'à 2016.....	93
V.2.5. Bilan surfacique de toute la période entre 2002 et 2016.....	95
<b>CONCLUSION GENERALE.....</b>	<b>99</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>102</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>107</b>

# **Introduction générale**

## Introduction générale

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique en regard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (Carter ,1988). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde (Bird, 1985 ; Komar, 1998 ; Paskoff, 2001 ; Stone et Orford, 2004). Les sociétés humaines ont depuis longtemps lutté contre l'érosion et la violence des tempêtes dévastatrices. En effet, on trouve des indices de protection côtière dès III siècle avant notre ère, dont les caractéristiques générales variant à long terme, mais également à court terme sous l'effet des actions anthropiques devenant ainsi problématiques sur cet équilibre dynamique naturel.

La réalisation d'ouvrages en zone côtière est susceptible de porter atteinte à l'environnement, en raison de l'importance des travaux à engager, des dimensions des aménagements projetés et de la fragilité de l'écosystème littoral. La construction ou l'agrandissement d'un port est ainsi une source possible de perturbations hydrodynamiques suffisante pour altérer l'équilibre sédimentologique du site et provoquer des mouvements du trait de côte. (Ahmed Ould Elmoustapha ,2000)

Dans cette optique, la connaissance de l'influence des ouvrages portuaires sur l'évolution future des plages et des côtes pourrait devenir un enjeu économique de première importance compte tenu du regroupement de la population mondiale sur les littoraux. La construction de ces ouvrages devra avoir pour principe d'apporter minimum de perturbations sur l'équilibre sédimentaire (Migniot & Bouloc, 1981).

Malheureusement, s'il est parfois possible de respecter ce critère pour un ouvrage implanté sur une côte où les mouvements sédimentaires sont faible, un tel respect paraît difficile dans une zone soumise à un fort transit sédimentaire.

La côte sableuse de Cap Djinet constitue un exemple parfait des environnements côtiers dont l'équilibre morfo-dynamique est contrôlé par la combinaison de facteurs humains et naturels. Ces environnements fragiles ont fait récemment l'objet d'occupations humaines qui se sont traduites par des aménagements de toutes sortes ayant plus ou moins réussis, pour des fins de développement économique :

Construction d'un port de pêche et de plaisance en 2007 qui est maintenant hors service, dont sa réalisation ; un important phénomène d'ensablement était observé, gênant la poursuite des travaux. Après sa réalisation, l'ouvrage s'est retrouvé avec d'énormes quantités de sable accumulées au niveau de la passe d'entrée bloquant ainsi la circulation

## Introduction générale

des bateaux. Ainsi que la construction d'ouvrages de défense (épis) ; la construction du d'une centrale électrique, ... etc.

Ces aménagements ont participé à l'instabilité morpho-dynamique de la côte notamment dans les plages sableuses du Cap au niveau desquelles les infrastructures du port de pêche et de plaisance ainsi que les ouvrages de défense constituent de véritables zones de piégeage des sédiments marins sous l'action de la dérive littorale et forment donc une barrière au transit littoral qui se traduit par des changements de la topographie de la côte et des fonds marins qui vont à leur tour modifier les mouvements de la mer près du littoral.

L'objectif principal de notre étude intitulé. «L'impact des ouvrages portuaires sur l'évolution d'un littoral soumis à une forte dynamique sédimentaire » vise à déterminer le degré d'impact de ces ouvrages sur l'évolution du littoral en se basant sur l'évolution historique du trait de côte de notre zone d'étude par l'utilisation du SIG ainsi que l'étude des conditions de transport sédimentaire avant et après la mise en place des ouvrages de protection en utilisant la modélisation numérique.

De manière à traiter notre sujet ce mémoire s'organise comme suit :

1<sup>er</sup> chapitre : consacré pour des généralités sur les plages sableuses ;

2<sup>ème</sup> chapitre : consiste à présenter notre zone d'étude ;

3<sup>ème</sup> chapitre : l'étude granulométrique pour les deux parties, terrestre et sous-marine ;

4<sup>ème</sup> chapitre : consacré à la modélisation numérique hydrodynamique qui consiste à faire une étude comparative de la bathymétrie, l'hydrodynamique et la réfraction de la houle entre deux états : avant l'implantation d'ouvrages de protection et après son implantation, ainsi que la simulation du transport sédimentaire et quantification du débit solide.

5<sup>ème</sup> chapitre : consacré à étudier l'évolution historique du trait de côte.

# **Contexte général**

### **Introduction :**

Le littoral est un lieu de convergence et de compétition entre des nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme. (MEZOUAR, 2009).

Cette réalité est complexe à appréhender. Seule une approche systémique permet d'aborder la dynamique de ce milieu, le rôle des interactions et l'organisation de l'espace. Comprendre le littoral, c'est donc comprendre à la fois ses caractéristiques morphologiques (relations entre formes et processus) et les facteurs qui entraînent les processus d'érosion dans l'espace et dans le temps. (Jean-Louis Borloo 2009).

Cette partie de ce mémoire expose un récapitulatif des concepts utilisés pour décrire le milieu sableux côtier ainsi que les différentes agressions auxquelles il est soumis qu'elles soient d'ordre anthropique ou naturel et pour finir nous expliqueront à travers les impacts de ces influences la réponse de ce milieu face à cette situation.

#### **I.1. Les littoraux sableux**

A l'interface entre mer et continent, les littoraux sableux représentent environ 34 % du linéaire côtier mondial (Hardisty, 1994 in Christophe Brière ,2003). Dans ces environnements, la tendance érosive naturelle est parfois accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (*Paskoff, 1998 in Christophe Brière ,2003*).

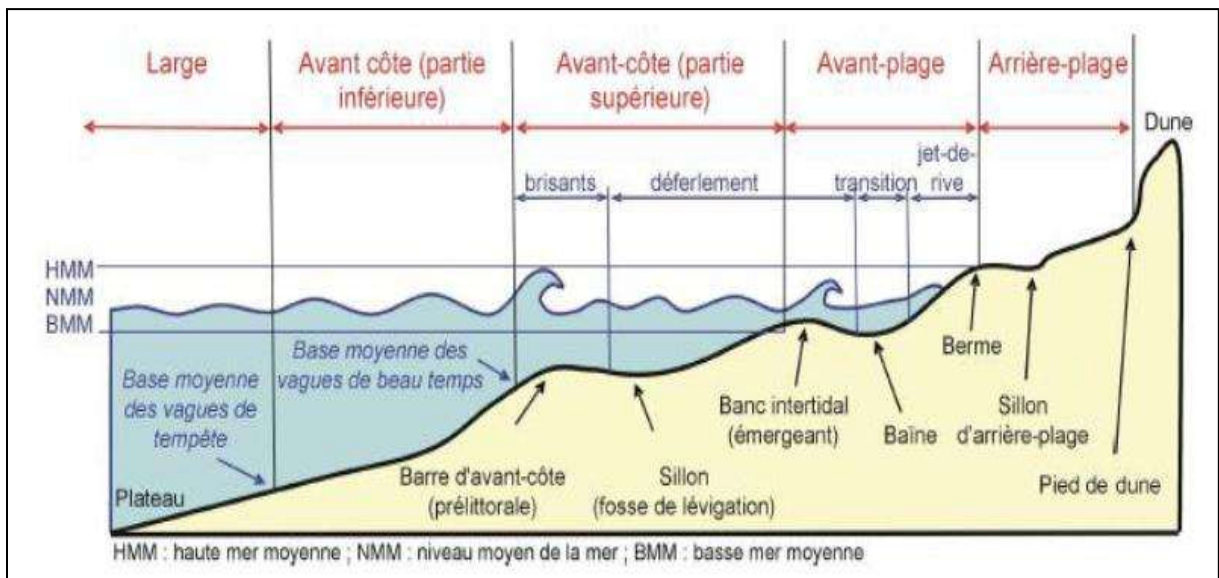
La dynamique naturelle des sédiments fluviaux, principale source d'alimentation des côtes, est entravée par l'aménagement des cours d'eau (barrages, stabilisation des berges). Localement, des effets néfastes d'ouvrages de protection (digues, épis, ouvrages portuaires) sont parfois ressentis, perturbant la dynamique sédimentaire naturelle. Enfin, l'extraction de granulats marins peut avoir des conséquences préjudiciables sur la stabilité du trait de côte en aggravant le déficit sédimentaire de la zone côtière.

## I.2. Profil général d'une côte sableuse

### I.2.1. Définition générale des plages

Les plages sont des accumulations littorales de sédiments qui vont des sables fins (de 0.063 à 0.2 millimètre) aux blocs (supérieures à 20 centimètres), les accumulations de galets étant parfois appelées grèves (Guilcher, 1954). Ainsi, il se forme une plage dès lors que le volume de sédiments disponibles est supérieur au volume transporté par les vagues et les courants littoraux. Ils existent de nombreux types de plages, auxquels sont parfois associées des dunes, résultat du transport éolien des sables depuis l'estran vers l'intérieur des terres.

On distingue, vers l'amont, l'arrière-plage (Backshore) partie de la plage qui est sujette à l'action des vagues uniquement durant les tempêtes. En absence de tempête le sable peut être remobilisé par les facteurs éoliens (Figure I.1).



**Figure 0.1:** Profil d'une plage avec ses différentes composantes (Bonte, 2013 in KHALFANI, 2014).

Vers la mer, la plage subaérienne (l'estran, espace intertidale ou farshore) soumise à l'action des vagues pendant les conditions non-tempêtuelles. Subdivisée en trois parties :

- **Haut de plage** : sous forme de bourrelets, qui sont dus à l'accumulation des matériaux par les mers les plus hautes ;
- **Moyenne plage**: marquée par une ligne de réflexion à partir de laquelle la pente diminue brusquement.

## Contexte général

- **Bas de plage:** submergé à chaque marée. Sa partie avale montre parfois une alternance de bancs surbaissés et de gouttières ou bâches.

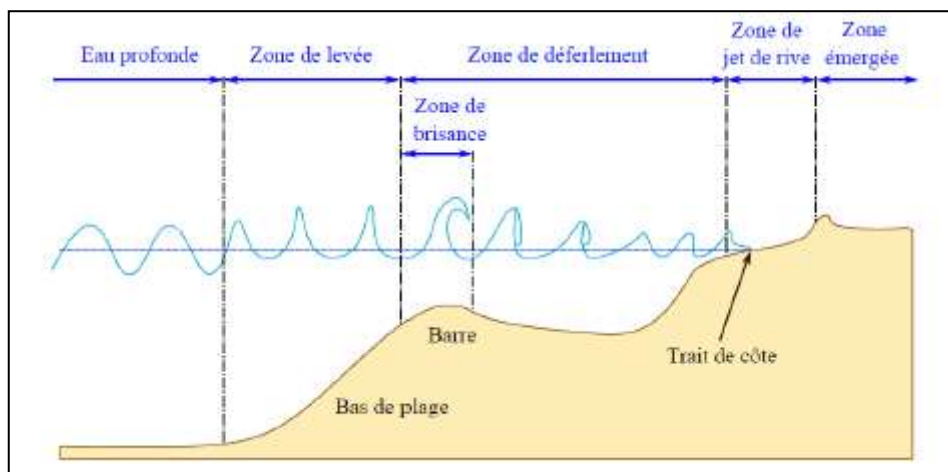
Et enfin, l'avant-plage (nearshore) constamment immergée et accidentée de barres et de rides, qui sont parallèles et parfois obliques au trait de côte et se forment quand la pente est douce et les sédiments abondants, et de sillons pré-littoraux (Faye, 2010).

### I.2.2. Morphologie des plages

Les plages présentent généralement un profil transversal plus ou moins concave. Leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent. Elle est forte quand les sédiments sont grossiers. En effet, le jet de rive apporte dans ce cas davantage de matériaux que la nappe de retrait n'en emporte car celle-ci est affaiblie par l'infiltration de l'eau plus importante sur un estran de galets que sur un estran de sable fin. L'équilibre est établi lorsque le profil est suffisamment raide pour que les effets du jet de rive, freiné par la pente, et ceux de la nappe de retrait, renforcée par elle, s'annulent.

### I.2.3. Hydrodynamique des plages

Les zones littorales sont des environnements dynamiques et complexes où se produisent de nombreuses interactions entre les agents responsables des différentes circulations hydrodynamiques. La majorité de ces agents sont des phénomènes oscillatoires qui se manifestent à différentes échelles spatio-temporelles : les ondes de gravité ou vagues (s), les ondes infragravitaires ou ondes longues ( $204 \ll T < 30030 \ll T_s$ ) et les ondes de marée (h). Le vent, à l'origine de la génération des ondes de gravité, est également responsable de circulations hydrodynamiques (Figure I.2).



**Figure 1.2:** Caractéristiques hydrodynamiques en milieu littoral (Berni ,2011 in Mme JESSICA ASTIER, Avril 2014).

#### **I.2.4. Concepts généraux de morphodynamique**

Les environnements côtiers sont des milieux dynamiques contrôlés par un large spectre spatio-temporel de forçages :

- **La tectonique**, responsable de la dynamique des bassins, contrôle l'évolution du littoral à l'échelle géologique (10<sup>6</sup> ans),
- **L'eustasie**, évolution d'ensemble du niveau marin, contrôle l'évolution du littoral à l'échelle «pluriséculaire» (10<sup>4</sup> ans),
- **L'hydrodynamique**, caractérisée par les processus côtiers (vagues, marées, courants) fonction de la climatologie locale (vents dominants, fréquence des tempêtes), contrôle l'évolution du littoral à l'échelle du « temps historique ».

#### **I.2.5. Echelle spatio-temporelle de l'évolution morphologique des systèmes côtiers :**

Les littoraux sont des environnements particulièrement dynamiques soumis à de nombreux forçages d'origine tectonique, eustatique ou encore hydrodynamique agissant à des échelles de temps différentes. Ainsi, à l'échelle des temps géologiques, l'évolution du littoral est principalement contrôlée par des facteurs tectoniques et eustatiques. A l'échelle des temps historiques, les environnements côtiers subissent l'influence de la climatologie locale (fréquence des tempêtes, vents dominants) et des processus côtiers de haute fréquence (marée, courants, vagues et turbulence). L'étude de l'évolution morphodynamique des littoraux consiste à relier leur développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps (Wright & Thom, 1977 in M.Alexis Stepanian). En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement morphodynamique d'un système côtier peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu.

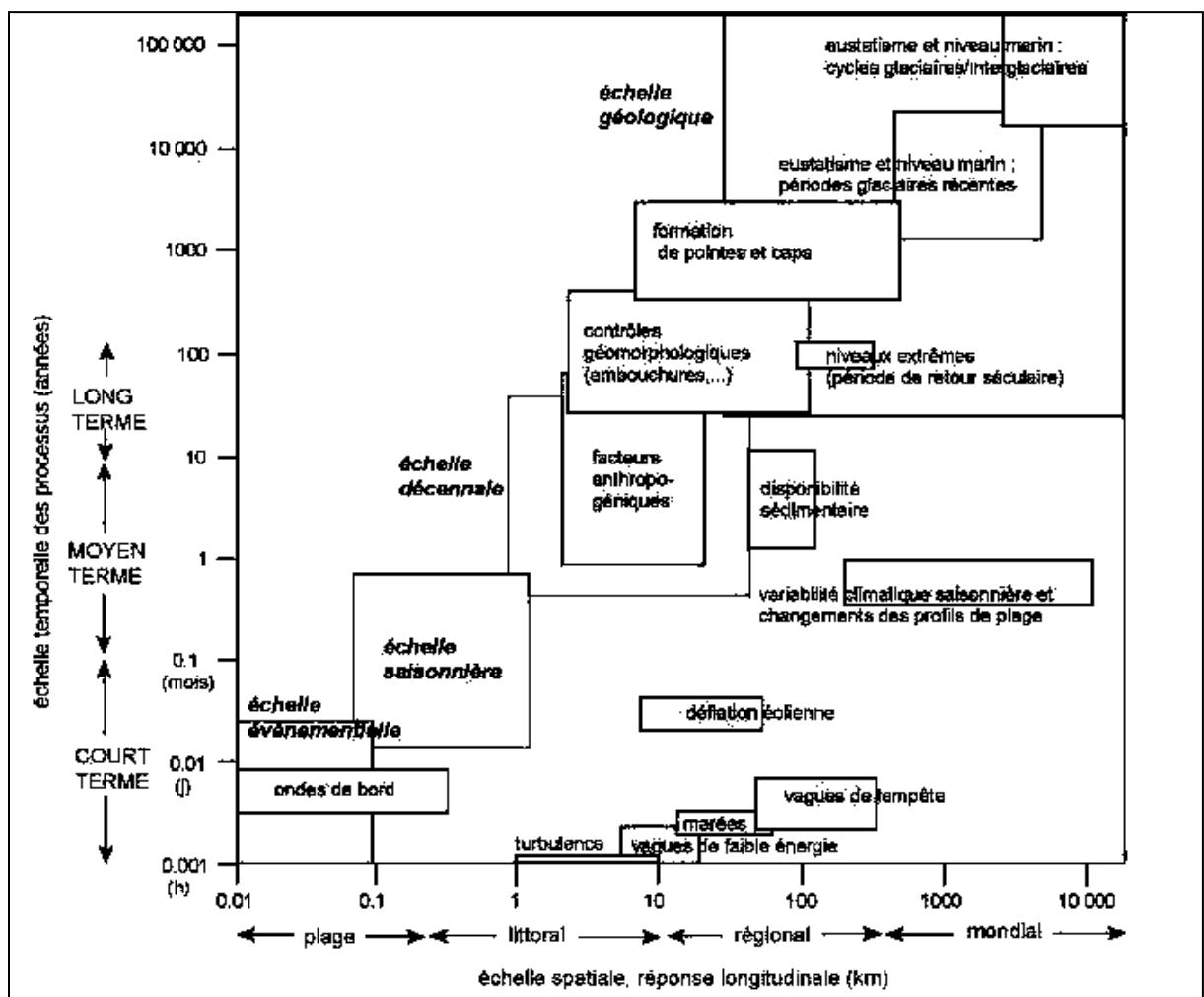
Dans le cas d'un système côtier, l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales du système et l'échelle temporelle associée peut être supposée (De Vriend, 1991). Il découle de cette relation une hiérarchisation spatiotemporelle (Kroon, 1994) des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière.

Selon la nomenclature de De Vriend, on peut en particulier distinguer les échelles suivantes :

- **Phénomènes à micro-échelle et instantanés** : tels que l'évolution des rides sédimentaires au passage d'une vague ou la construction de figures sédimentaires par les courants ;

- **Phénomènes à méso-échelle et moyen terme** : tels que l'évolution des barres littorales qui répondent à des processus de type événementiel (tempête) ou périodiques (cycle tidal et cycle météorologique saisonnier) ;
- **Phénomènes à macro-échelle, annuel à pluriannuel** : tels que l'évolution du trait de côte ou d'une embouchure incluant les variations environnementales long terme et l'action anthropique.

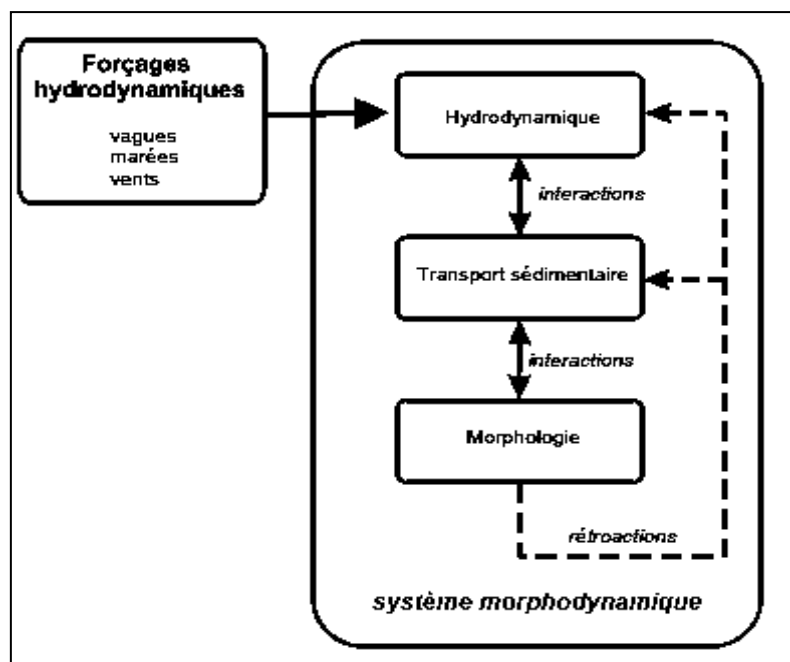
A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude des changements morphologiques considérés. En supposant que les échelles de temps et d'espace sont liées par des relations linéaires croissantes (De Vriend, 1991), on peut conceptualiser les systèmes côtiers et leurs évolutions comme un emboîtement de compartiments spatio-temporels (Kroon, 1994) (Figure I.3).



**Figure I.3** : Répartition spatio-temporelle des facteurs climatiques, hydrodynamiques, sédimentologiques et anthropiques impliqués dans la dynamique sédimentaire des littoraux, in Aurélie DEHOUCK, Octobre 2006).

### I.2.6. Processus morphodynamiques côtiers

A l'échelle des processus, le comportement d'un système côtier résulte des mouvements à l'interface eau/sédiments. Schématiquement, les conditions hydrodynamiques (vagues, courant, marée) induisent un transport sédimentaire responsable de l'évolution morphologique de la plage. Cependant, les conditions hydrodynamiques locales sont fonction des forçages au large mais sont également influencées par la topographie locale. Ces interactions non linéaires rétroactives (Phillips, 1992 ; Cowell & Thom, 1994) constituent une des propriétés principales des évolutions morphodynamiques des systèmes côtiers (Figure I.4).



**Figure I.4 :** Composant d'un système Morphodynamique côtiers (M. Alexis Stepanian, Décembre, 2002).

### I.2.7. Classification morphodynamique des plages

Les premières classifications ont été établies à partir d'observations sur de nombreuses plages ne comportant qu'une seule barre (Wright and Short, 1984). Ils ont considéré le paramètre (Gourlay, 1968) qui dépend de la granulométrie des sédiments et du forçage des vagues et qui permet de décrire trois classes distinctes de plage.

$$\Omega = H_b / \omega_s T$$

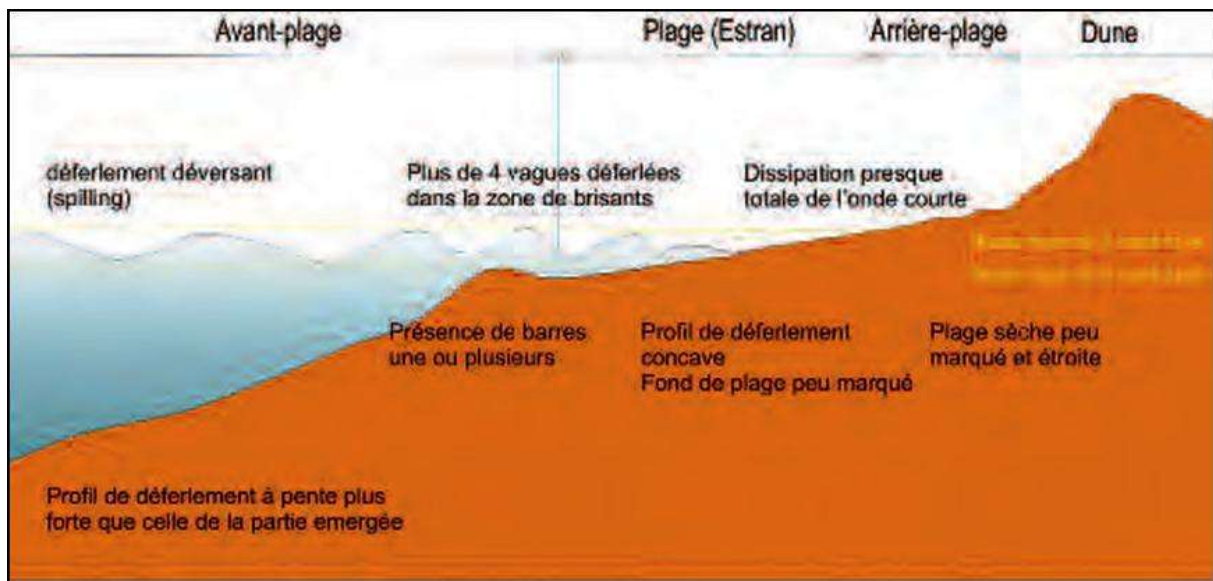
$H_b$ : hauteur des vagues au déferlement

$\omega_s$  : la vitesse de chute du sédiment.

$T$  : période de la houle

❖ **Les plages dissipatives ( $\Omega > 6$ )**

Une plage est dite dissipative lorsque le sable est relativement fin et que cette plage est soumise à des vagues énergétiques et courtes. Ces plages sont larges et caractérisées par une vaste zone de surf où les déferlements glissants (*spilling breakers*) dissipent leur énergie (Guza et Inman, 1975). Les conditions énergétiques sont fortes avec des vagues parfois supérieures à 2,5 m. La pente est faible. On retrouve ces plages sur les côtes méditerranéennes (Short, 1999) exposées à des forts coups de vent mais ne connaissant pas les conditions de houles océaniques en raison de la limitation du fetch (Oula AMROUNI, 2008) (Figure I.5)



**Figure I.5 :** Le profil d'une plage dissipative (Carlos Ley, 2012 in BOUALILI N, 2015).

❖ **Les plages réfléchissantes ( $\Omega < 1$ )**

Une plage est dite réfléchive lorsque le sédiment est mixte à grossier et qu'elle est exposée aux houles peu énergétiques ( $H_b < 1m$ ). On y observe des déferlements gonflants (*surging breakers*) (Wright et Short, 1984), voire plongeants (*plunging breakers*). Ces plages sont répandues sur les côtes exposées aux houles océaniques, pentues, étroites et ne présentent pas de barre d'avant côte. Les vagues ont tendance à se briser directement sur l'avant plage sableuse, en se transformant directement en jet de rive (Oula AMROUNI, 2008)(Figure I.6).

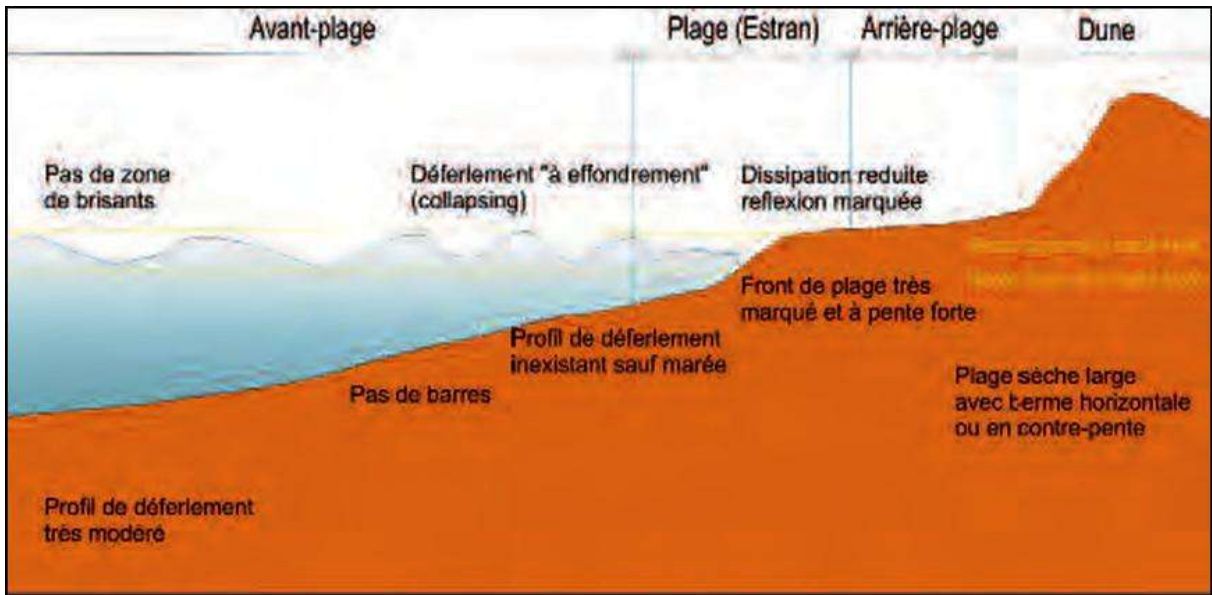


Figure I.6 : Le profil d'une plage réfléchissante (Carlos Ley, 2012 in BOUALILI N,2015).

❖ Les plages intermédiaires ( $1 < \Omega < 6$ )

Les plages intermédiaires sont les plus répandues avec un sédiment hétérogène, à granulométrie variée, et soumises à un régime variable de la houle. Elles sont caractérisées par la présence de barre(s) sédimentaire(s) tridimensionnelle(s). On y observe des déferlements plongeants et glissants selon la cambrure des vagues au large et la pente locale des barres sableuses (Castelle, 2004 in Oula AMROUNI, 2008) (Figure I.7).

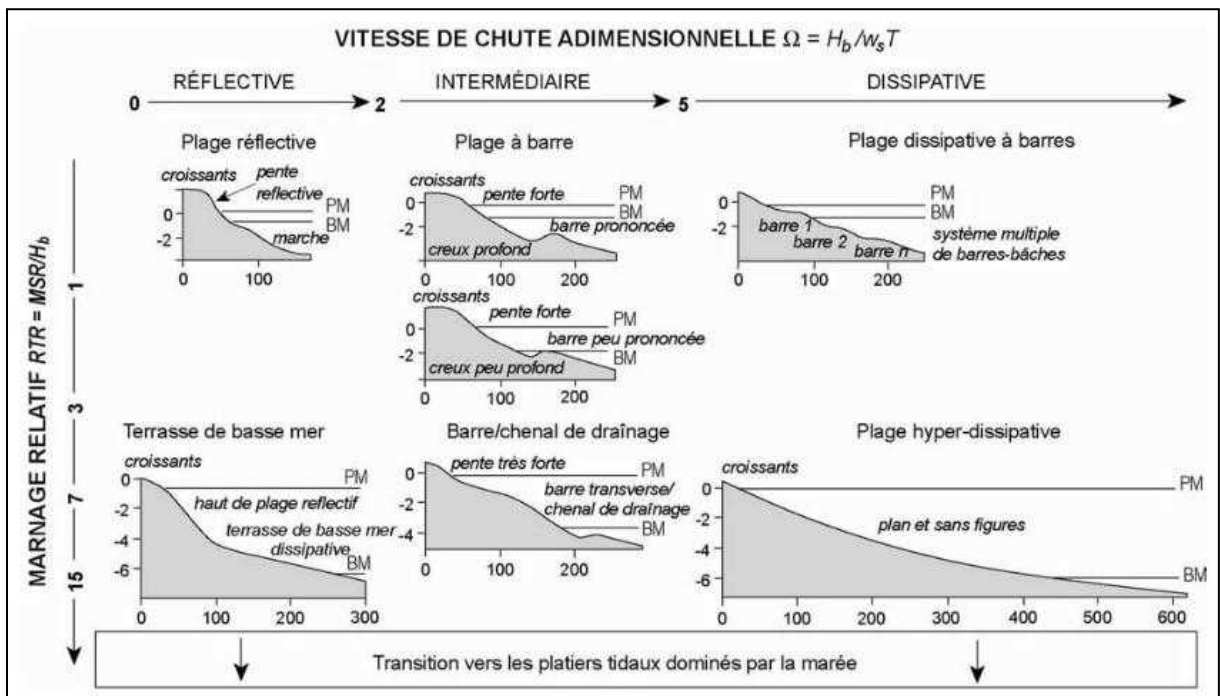


Figure I.7 : Classification morphologique des plages selon les indices  $\Omega$  et RTR (d'après Masselink and Short, 1993 ; modifié in Aurélie DEHOUCK, Octobre 2006)

### I.3. L'évolution des plages

La morphologie de la côte est tributaire de la nature des formations géologiques et de leur histoire récente. La ligne de démarcation entre la mer et la terre n'est pas stable. Elle est en perpétuelle oscillation du fait des différents changements climatiques à la surface du globe (réchauffement ou refroidissement). Ces oscillations se caractérisent par des avancées (transgressions) et reculs (régressions) de la mer. (Ahmed OULD ELMOUSTAPHA décembre 2000).

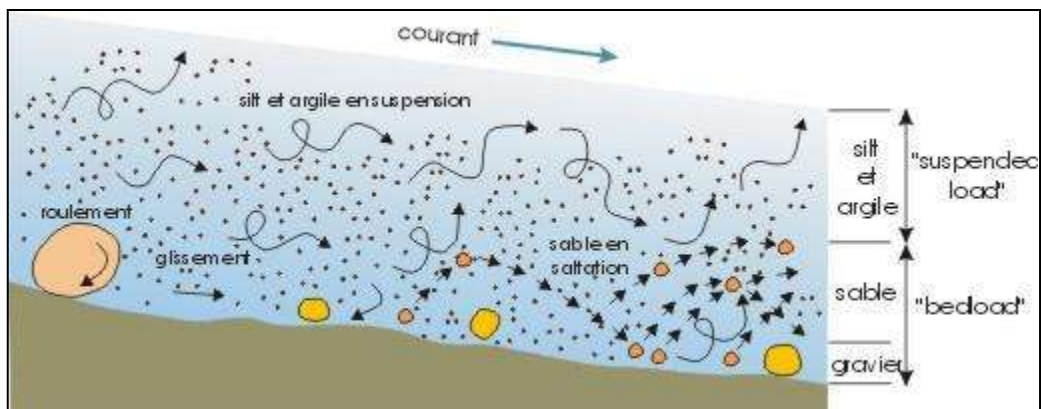
#### I.3.1. Transport sédimentaire

La mobilité de la côte provient des processus marins (houles, marées, courants...), climatologiques (vent, gel...) et anthropiques qui agissent sur les matériaux et déplacent les sédiments (sable, galets...). Les sédiments peuvent se déplacer soit par :

**Charriage** : les matériaux sont roulés ou glissent.

**Saltation** : le transport s'effectue par sauts successifs.

**Suspension** : les sédiments sont dispersés dans l'eau ou l'air sous l'effet de la turbulence (Figure I.8).



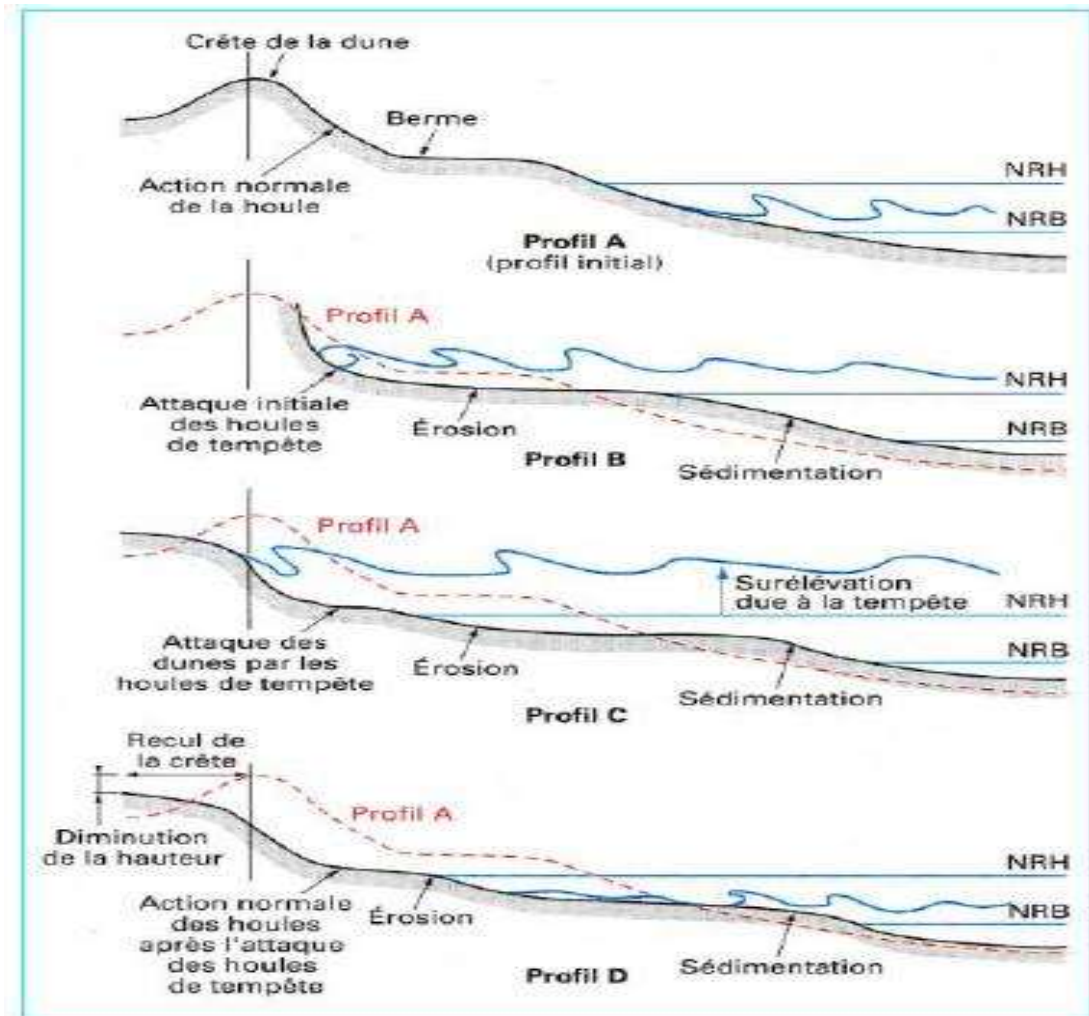
**Figure 1.8** : Les trois modes de transport sédimentaire (Chauchat, 2007).

#### I.3.2. Processus de l'évolution d'une plage

##### I.3.2.1. Les agents morpho-dynamiques (Facteurs naturels)

L'évolution du littoral et des fonds marins (avancée ou recul du rivage, érosion ou sédimentation des fonds) et les mouvements des sédiments, dépend de l'action de divers facteurs morpho-dynamiques d'origine météorologique ou marine (houles, courants, vents, mais également températures et précipitations) sur les matériaux de la côte et des fonds.

- **la houle près de la côte** : la houle est à l'origine de courants longitudinaux (dérive littorale) et transversaux susceptibles de transporter des sédiments et de modeler le paysage littoral (Figure I.9).



**Figure I.9** : Évolution des profils d'une plage soumise à des houles de tempête (Daniel CAMINADE ,1996).

- **Les courants de marée** : ces courants sont prépondérants au large mais, à l'approche de la côte, ils sont dominés par les courants de houle.
- **Les courants** :  
Le courant marin est défini comme une masse d'eau qui se déplace sur de très longues distances, à la surface ou en profondeur, suivant une direction donnée.

### 1. Les courants généraux

La vitesse du courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'Est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s au large des côtes algériennes.

## Contexte général

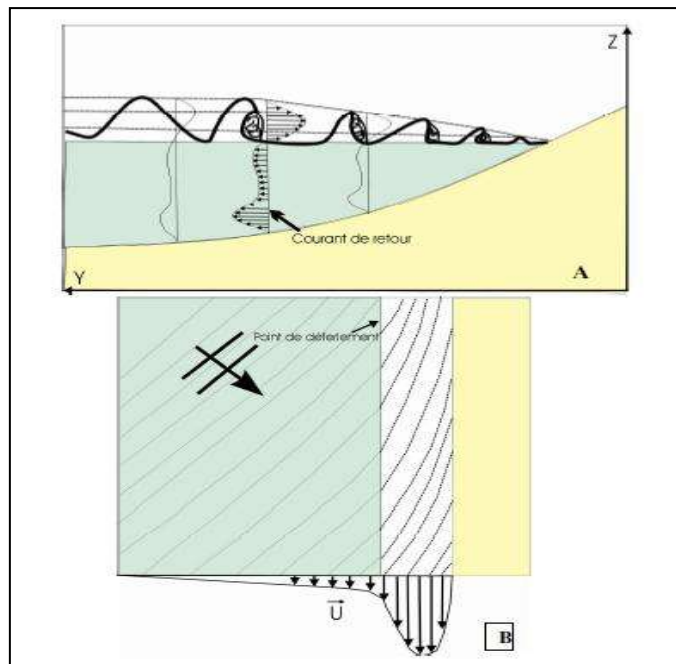
Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest (Benzohra, 1993 in Bouneb ,2016).

### 2. Les courants côtiers

La houle abordant le rivage engendre différents types de courants :

#### ❖ Les courants de retour

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



**Figure I.10** : Schématisation du courant de retour : A/vue de profil sur une plage de pente homogène B/ vue en plan (Oula AMROUNI, 2008).

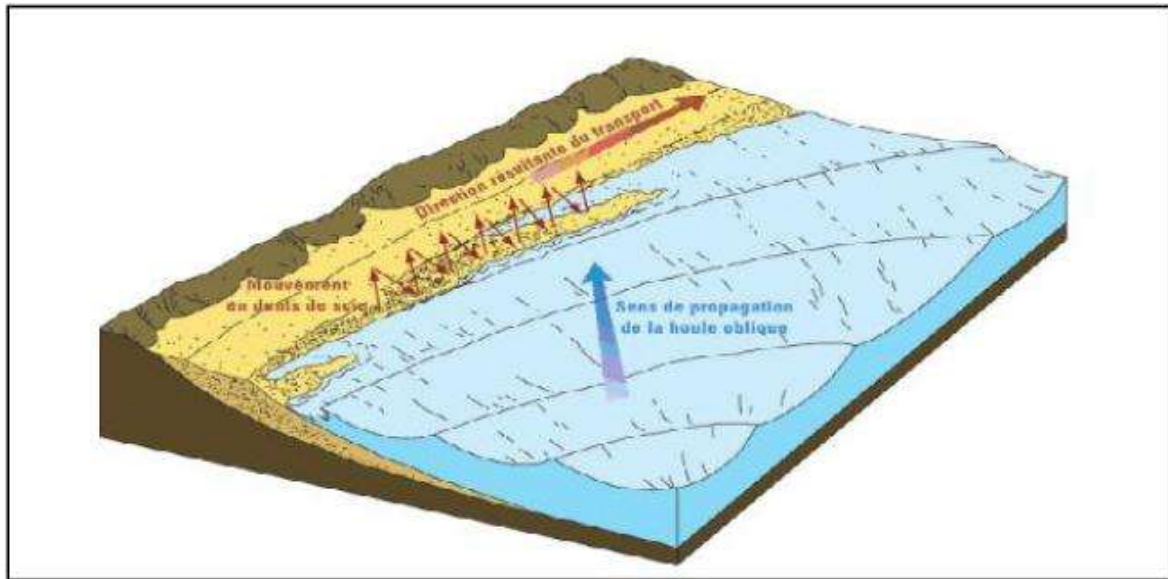
#### ❖ Les courants de la dérive littorale

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique. Elle donne naissance à un courant de dérive littoral, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°. (Figure I.11)

Ce courant parallèle au rivage, converge souvent dans les baies et diverge au niveau des caps, se manifeste dans la zone de déferlement des vagues.

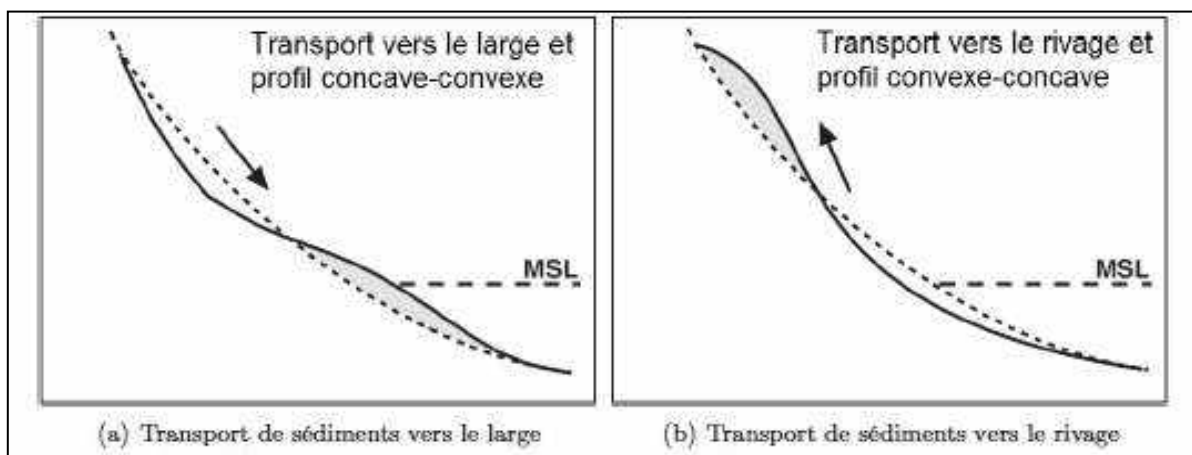
Il joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments et assure le transport latéral de ces derniers le long de la côte.

La dispersion des sables et les graviers de la frange littorale (fond de -10m) est capitale dans le maintien en équilibre et l'alimentation des plages. (Bourgou & Miossec, 2010).



**Figure I.11 :** Courant de dérive littorale (Bourgou & Miossec, 2010)

- **Les processus d'érosion continentaux :** la mobilité du littoral résulte du rapport de force entre le type de roches (formations plus ou moins meubles) et le contexte bioclimatique qui induit des processus pouvant libérer des particules puis les mobiliser, les processus peuvent être d'ordre mécanique (induits par des variations de température ou par la variation des teneurs en eau de la roche) ou d'ordre physico-chimique (Jean-Louis Borloo, 2009) (Figure I.12).



**Figure I.12 :** Visualisation des phénomènes d'érosion (a) et d'accrétion (b) du profil de plage en réponse à l'évolution des conditions hydrodynamiques (modifié d'après Masselink and Puleo, 2006).

- **Les précipitations** : dont le phénomène est renforcé sur les côtes, contribuent fortement, par écoulement ou infiltration, à faire évoluer les formes littorales. En outre, les régions littorales se caractérisent par la fréquence et la violence du vent. Au-delà de son influence sur la houle, les courants de surface ou les transports d'embruns, le vent transporte également les sables.
- **Le réchauffement climatique** : aujourd'hui, des interrogations sur l'ampleur exacte de l'élévation du niveau de la mer et sur le rythme qu'elle pourrait avoir dans les prochaines décennies demeurent. Néanmoins, tous les travaux s'accordent à dire qu'en relation avec le réchauffement actuel des températures atmosphériques, le niveau moyen de la mer s'élève. Cette élévation est plus rapide depuis 1990 que durant les cinquante dernières années. Le phénomène n'est pas homogène sur le territoire et il se poursuivra encore pendant plusieurs siècles, quelle que soit l'évolution mondiale d'émissions de gaz à effet de serre. L'élévation du niveau moyen des mers devrait atteindre, à l'échéance de 2100, la fourchette de 0,2 à 0,6 mètre, sous réserve de l'évolution des régions polaires, dont la fonte des glaces pourrait générer des valeurs beaucoup plus fortes. (Jean-Louis Borloo, 2009)

### I.3.2.2. Facteurs anthropiques

- **La réalisation d'ouvrages en zone côtière** : est susceptible de porter atteinte à l'environnement, en raison de l'importance des travaux à engager, des dimensions des aménagements projetés et de la fragilité de l'écosystème littoral.
- **La construction ou l'agrandissement d'un port** : est ainsi une source possible de perturbations hydrodynamiques suffisante pour altérer l'équilibre sédimentologique du site et provoquer des mouvements du trait de côte.
- **Les constructions très proches du trait de côte** : Les édifices construits trop proche du trait de côte ne tiennent pas longtemps. L'attaque de la construction commence à sa base par déflation du sable sous jacent et affaissement, la fondation petit à petit se trouve à découvert et déstabilise les édifices ; à la moindre tempête, l'effondrement commence.

## **Chapitre II :**

### **Présentation de la zone d'étude**

Présentation de la zone d'étude

## **II.1. Situation géographique**

### **II.1.1. La Baie de Zemmouri**

La baie de Zemmouri se trouve dans la wilaya de Boumerdès qui est l'une des wilayas côtières de l'Algérie, située à 60Km de l'Est d'Alger, c'est une baie ouverte s'étend de cap Djinet au Cap Matifou sur 54 km environ.

Le rivage est orienté SW-NE, ses coordonnées sont :

**-3°48'49''Est et 36°48'50''Nord** (Cap Matifou)

**-3°43'03''Est et 36°52'35''Nord** (Cap Djinet)

La baie de Zemmouri est limitée par :

- La Méditerranée occidentale au Nord.
- La plaine de la Mitidja au sud.
- Le Cap Djinet à l'Est.
- Le Cap Matifou à l'Ouest.

### **II.1.2. Site d'étude**

A l'extrême Est de la baie de Zemmouri se situe notre zone d'étude ' Cap Djinet ' .

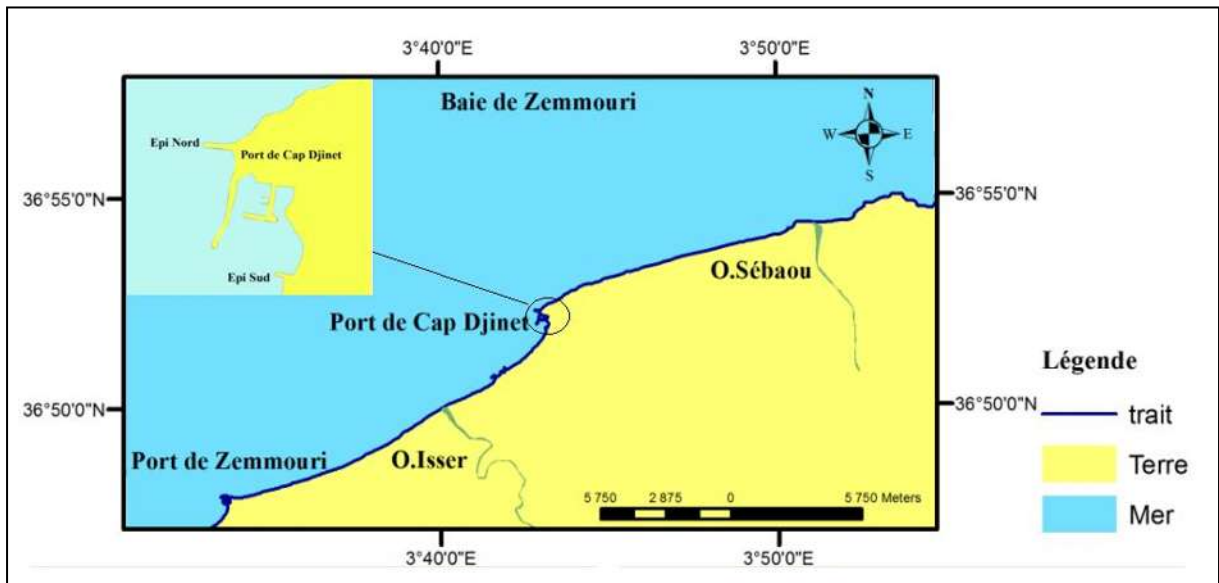
Notre étude va porter sur :

- Le port de Cap Djinet qui est localisé à 25km à l'Est du chef lieu de la wilaya de Boumerdes. Ces coordonnées géographiques sont :

**36°52'00.00''N et 3°43'30.21''E**

**36°52'52.44''N et 3°43'26.65''E** (Google earth Pro, 2016)

- Les plages adjacentes Est et Ouest.



**Figure II.1 :** Situation géographique de la zone de Cap Djinet (SAID HADDAD).

## II.2. Cadre géomorphologique, géologique et sismique

Afin de trouver des réponses à des phénomènes d'altération et/ou d'évolution du site et définir sa sensibilité face aux attaques et aux agressions marines. On doit définir l'aspect géologique et géomorphologique de notre zone.

### II.2.1. Plan géologique

Sur le plan géologique, le massif de Cap Djinet s'insère dans la province Algéroise qui s'étend sur près de 100 km de part et d'autre d'Alger et appartient à différentes coupures de la carte géologique de l'Algérie au 1/50 000, dont les feuilles de Dellys N°8, de Thénia N°22 et de Cherchell N°39 (Belanteur, 2001).

Dans l'Algérois, le magmatisme Miocène est distribué en une suite d'affleurements d'importance variable regroupés en trois régions. D'Est en Ouest ce sont :

- Les régions de Dellys et du Cap Djinet faisant l'objet de notre étude ;
- La région de Thénia et Zemmouri El Bahri - El Kerma ;

Et la région de Cherchell- Hadjout.

Autrement dit, la région de Djinet est située dans le domaine Alpin au Nord, le Tell ou le Domaine Alpin proprement dit, cet ensemble est charrié sur l'avant pays, le long d'une bande molassique miocène. Ce domaine est subdivisé en deux parties (Saadallah, 1992 in KHALFANI ,2014) :

## Présentation de la zone d'étude

Le Tell méridional ou zones externes limitées au Sud par le Front Sud des nappes telliennes.

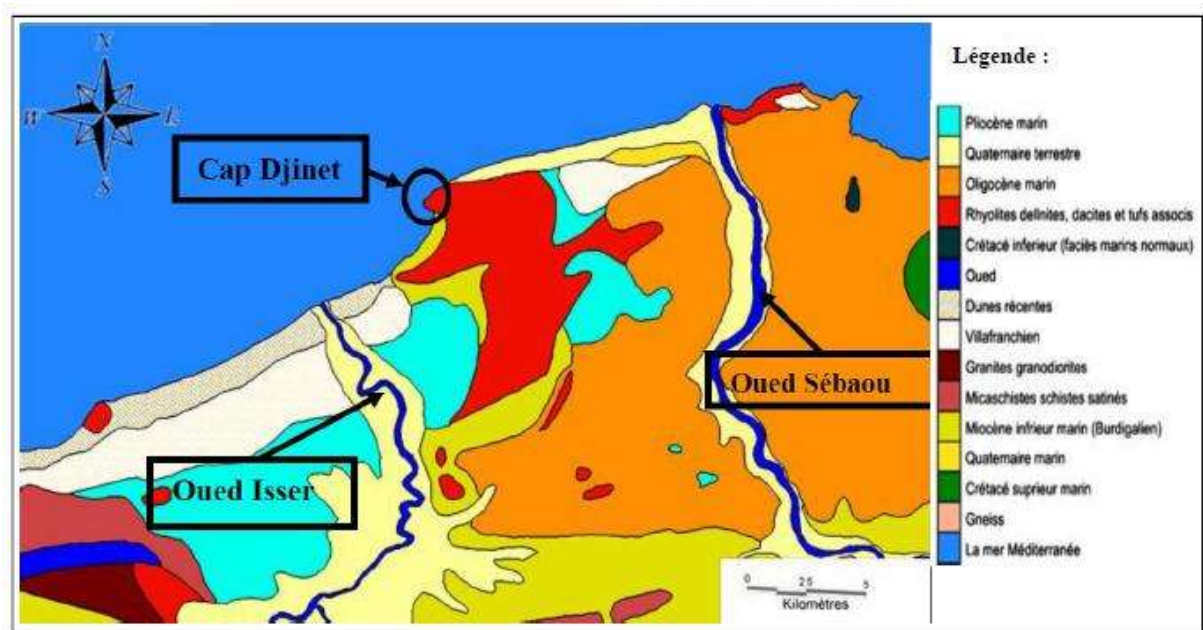
Le Tell septentrional ou zones internes limitées au Sud par l'accident Sud Kabyle.

La zone d'étude appartient aux zones internes où affleurent principalement trois types de formations géologiques :

-**Les formations métamorphiques** : Le Socle kabyle.

-**Les formations sédimentaires** : La Dorsale kabyle, les flyschs, l'Oligo-Miocène Kabyle, la série numidienne et les formations post-nappes.

-**Les formations éruptives** : Les Roches magmatiques.



**Figure II.2** : Géologie régionale de Cap Djinet (Layoune & Tiguercha; 2011 in Otmani, 2014).

### II.2.2. Plan stratigraphique :

**Quaternaire**: recouvrant la majeure partie de la zone d'étude, il constitue les dépôts de la plaine alluviale de l'oued Isser, ainsi qu'une grande partie des versants de deux rives, alors que les dépôts marins anciens se limitent à la partie Nord.

**Crétacé**: constitué d'argilites grises ou beiges avec des intrusions de calcaire. Ces terrains affleurent à 5 km au Nord de Bordj-Menail.

**Pliocène marin**: caractérisé par des formations sablo-argileuses au niveau des rives de l'oued Isser et argilo-marneuses dans la zone sublittoral.

**Miocène** : constitué de granite, granodiorite et l'andésite qui sont visibles dans les reliefs de Thénia et du cap Djinet.

**Oligocène marin:** couvre une grande partie du versant de l'oued Sébaou près de l'embouchure et s'étalant le long des côtes Est de Dellys, constitué essentiellement des schistes, de grés et de sables argileux.

### II.2.3. Aléas sismique

La région de Boumerdès a été classée moyennement sismique. Seuls les événements les plus importants et les plus récents ont fait l'objet d'une enquête macrosismique. Cependant, le séisme du 21 mai 2003 qui a touché la région de Boumerdès et sa périphérie et dont l'épicentre a été localisé dans la région de Zemmouri est classé parmi les séismes les plus catastrophiques et destructeurs qu'a connus l'Algérie ces dernières années. De fréquents séismes d'intensité faible à moyenne se produisent dans la région en mer. Ceci induit que la région n'est pas à l'abri de tsunamis.

### II.2.4. Plan géomorphologique

Notre région d'étude se présente sous forme d'une petite baie incurvée avec un réseau hydrographique plus ou moins intense. L'étude géomorphologique a fait ressortir quatre unités morphologiques.

- **la zone de montagne**, caractérisée par un relief peu montagneux (Djebel Djennad, +400m) dont les versants sont abrupts ( $45^\circ$ ), avec des plaines en légère pente avec un gradient de 1/15 à 1/20 vers la mer.
- **Les plaines littorales**, destinées à l'agriculture et à l'urbanisme, elles sont caractérisées par une pente faible (1% à 3%).
- **Le cordon dunaire**, longe toute la partie littorale avec une végétation plus ou moins intense, ce cordon s'étend sur une longueur de 15 km environ avec une largeur de 5 à 20m selon l'endroit.

Les plages, font partie de la catégorie des côtes basses, elles sont rectilignes et parallèles à la route nationale RN24, ces plages longent le Cap Djinet d'Est en Ouest.

## II.3. Cadre hydrographique

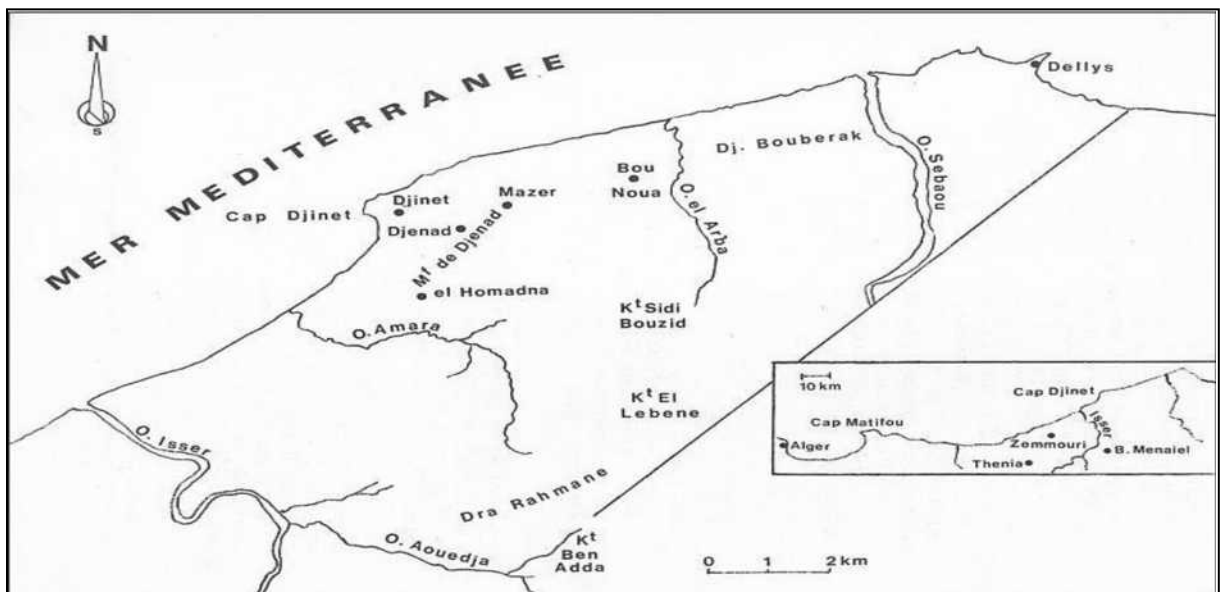
Le réseau hydrographique se définit comme l'ensemble des cours d'eau naturels ou artificiels permanents ou temporaires, qui participent à l'écoulement. Le réseau hydrographique est l'une des plus importantes caractéristiques d'un bassin versant.

Les oueds qui irriguent la région d'étude ainsi que l'abondance des matériaux qui arrivent en mer contribuent efficacement à l'évolution de la morphologie littorale en général et celle de la morpho-dynamique actuelle de la côte de Cap Djinet (Boutiba, 2006).

## Présentation de la zone d'étude

Les principaux apports alimentant Cap Djinet ont pour origine :

- **L'oued Sébaou à l'Est :** le plus important, prend naissance à 5 km au Sud – Ouest de Tablat et dont les coordonnées de son embouchure sur la côte sont  $36^{\circ}50'21''N$  et  $3^{\circ}40'1''E$ , son bassin couvre une superficie de  $4145 \text{ km}^2$  il coule sur un lit à topographie irrégulière, constitué de bancs de sables et de graviers.
- **L'oued Isser à l'ouest :** distant d'environ 13 km de notre zone d'étude et dont les coordonnées de son embouchure sont  $36^{\circ}54'39''N$  et  $3^{\circ}51'17''E$  d'une longueur de 110 km environ depuis sa source à l'amont dans le massif du Djurdjura à une altitude de 1837m. la superficie totale de son bassin versant est de  $2510 \text{ km}^2$  avec une largeur moyenne de 23km. (Figure II.13)



**Figure II.3 :** Schématisation du réseau hydrographique de la zone d'étude (Akziz 2011 in Otmani ,2014).

### II.4. Cadre climatique de la côte de Cap Djinet

La wilaya de Boumérdes est caractérisée par un étage bioclimatique subhumide à hiver doux et relativement pluvieux. Le climat de cette région est de type méditerranéen ; caractérisé par une saison humide de huit mois et une période sèche de quatre mois correspondant à la saison estivale.

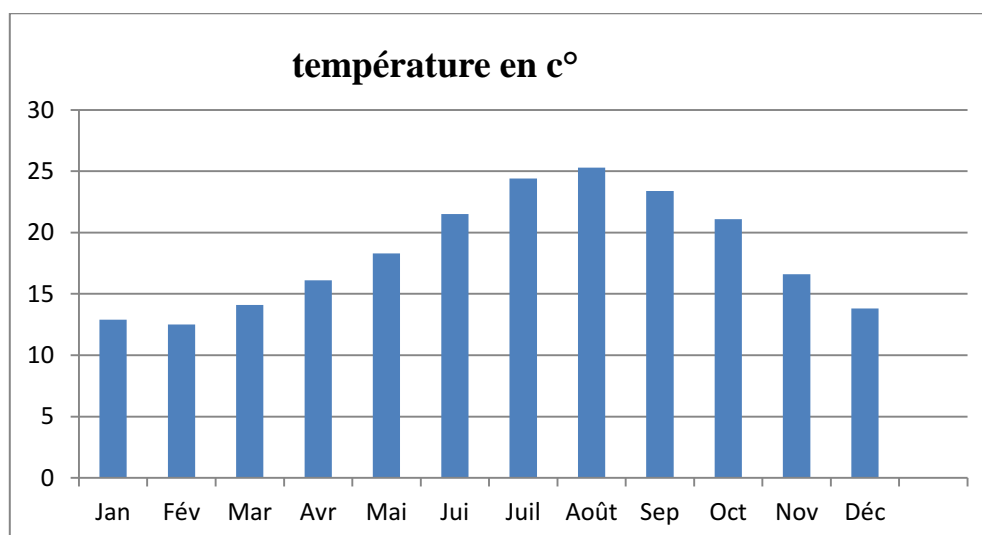
Cette synthèse sera confirmée par l'analyse des deux paramètres les plus déterminants à savoir : les températures et les précipitations. Cette évaluation s'est effectuée en fonction de la disponibilité des informations au niveau de la station de Dellys Afir (ONM), la période étudiée s'étale sur 18 ans (1996-2014).

### II.4.1. Les températures

L'étude de la variation de ce paramètre est basée sur l'analyse des moyennes mensuelles calculées à partir des enregistrements effectués régulièrement au niveau de la station marine la plus proche du site d'étude. Cette analyse démontre que la région d'étude est caractérisée par un climat à deux saisons : Un été sec et chaud et un hiver avec généralement des précipitations courtes et violentes (Lacri, 1980 in (Tireche, 2006)).

**Tableau II .1:** Moyennes mensuelles des températures dans la station de Dellys (ONM, 1996-2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Moy
température en c°	12,9	12,5	14,1	16,1	18,3	21,5	24,4	25,3	23,4	21,1	16,6	13,8	18,3



**Figure II.4 :** Températures mensuelles en (°C) dans la zone de Cap Djinet (ONM, Dellys, 1996-2014).

L'analyse de l'histogramme des températures fait ressortir que le mois le plus chaud de l'année est celui du mois d'Août (25.3°C), et le mois le plus froid est celui de Février (12.5°C).

### II.4.2. Les précipitations

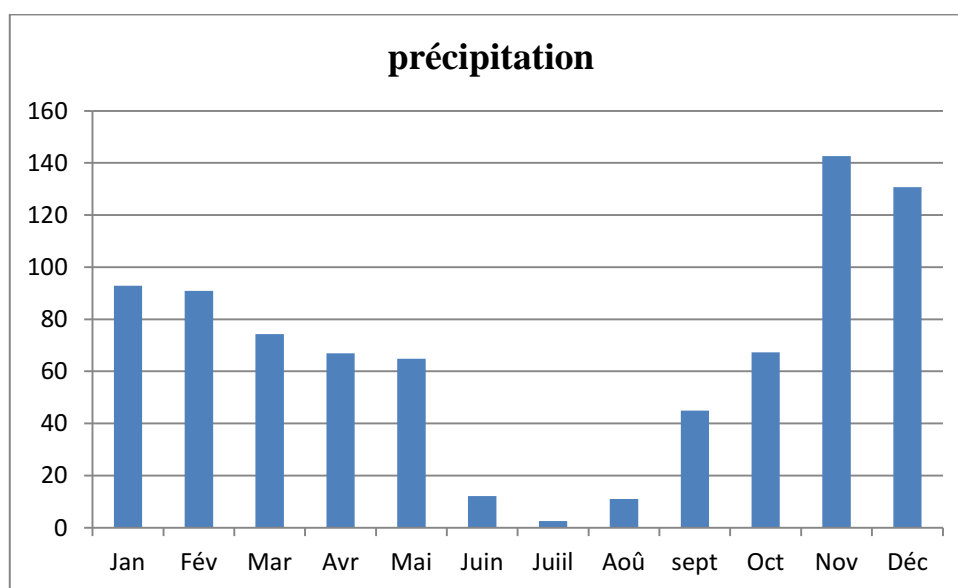
Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été. L'analyse de la carte pluviométrique du Nord de l'Algérie établie par l'ANRH sur la base de la pluviométrie moyenne montre que les précipitations s'intensifient au niveau des hautes altitudes (Chaîne de Montagnes) en avoisinant les 1300 mm/an, et diminuent au

## Présentation de la zone d'étude

niveau des basses altitudes à savoir la chaîne centrale vers le sud et littorale vers le nord en avoisinant les 1120 mm/an pour atteindre les 985 mm/an au niveau des plaines littorales.

**Tableau II.2** : Moyennes mensuelles des précipitations dans la station de Dellys (ONM, 1996-2014).

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	sept	Oct	Nov	Déc	Moy
précipitation	92,9	90,9	74,3	66,9	64,8	12,1	2,5	11	44,9	67,3	142,6	130,7	66,7



**Figure II.5** : Moyennes mensuelles des précipitations dans la région de Cap Djinet (ONM, 1996-2014).

D'après la figure (Figure II.5) ; nous remarquons :

- Une augmentation significative de la pluviosité de septembre à décembre, puis une diminution de janvier à août.
- Le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec un bilan global de 142.6 mm, par contre le mois le moins pluvieux est celui de Juillet avec un bilan global de 2.5 mm. Ce qui nous laisse déduire que cette région appartient au climat Méditerranéen subhumide.

### II.5. Cadre météo-marin du Cap Djinet

#### Principaux processus physiques en jeu dans l'érosion littorale

Cette partie reprend l'essentiel des actions des éléments naturels pouvant agir séparément ou ensemble sur les phénomènes de la submersion et d'érosion côtière.

### **I.5.1. Les vents**

Pour une région côtière, la connaissance des régimes du vent a une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (Moulin 1978). Ils jouent donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec (Boutiba, 2006) et d'autre part dans l'évolution des forçages hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes.

Deux bases de données sont utilisées pour décrire le régime général des vents :

- ❖ La première au large (Données du MEDATLAS 1999-2004).
- ❖ La seconde à la côte du site d'étude (Données de l'ONM 1994-2013).

L'analyse statistique des données enregistrées nous a permis de déterminer la fréquence d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse à deux échelles ; annuelle et saisonnières et de tracer les roses annuelle et saisonnières des vents.

#### **a- Régime général des vents au large**

Dans ce présent travail, nous avons exploité les données de la campagne MADATLAS (1999-2004) présenté sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière des vents, calculées à partir de la série de données enregistrée au niveau de la station la plus proche du site d'étude située à 3°E 37°N au large de la Baie d'Alger à 35m de profondeur.

L'analyse statistique des données au large nous a permis de déterminer la fréquence d'apparition du vent par direction à deux échelles ; annuelle et saisonnières et de tracer les roses de vents associés (Figure II.6). Les directions dominantes pouvant générer des vagues défavorables au site proviennent de deux secteurs:

- Nord Est à 17 % du temps annuellement mais avec des fréquences d'apparitions saisonnières importantes en été (29%) et faibles en hiver (8%).
- Ouest à 21% du temps annuellement mais avec des fréquences d'apparitions saisonnières importantes en hiver (27%) et faibles en été (10%).

Les pourcentages d'apparition des deux secteurs (NE et W) sont similaires durant l'année et les deux trimestres (Automne et Printemps), ils s'élèvent en moyenne et respectivement à (17% et 23%).

## Présentation de la zone d'étude

- ❖ L'analyse des données statistiques des vents montre que notre site d'étude est caractérisé par des vents provenant principalement des secteurs Ouest à Nord-Ouest pendant la saison hivernale de secteurs Est à Nord-est pendant la saison estivale. (Données du MEDATLAS 1999-2004).

### **b-Régime général des vents à la côte**

L'analyse du régime des vents à la côte a été réalisée par l'ONM, nous avons exploité les enregistrements de la station marine de Dellys durant la période (1994-2013).

L'analyse des données de l'ONM démontrent une répartition similaire pour la rose annuelle et les quatre trimestres (Hiver, Eté, Automne et Printemps). Les vents dominants proviennent du secteur Nord Est (entre 14 et 34°N) avec des fréquences d'apparition respectives de 65% annuellement et durant l'automne et le printemps, 75% durant l'hiver et 54% durant l'été (Figure II.8).

Les vents forts avec des vitesses maximales  $> 20\text{m/s}$  sont rares ( $< 0.1\%$ ). Les vents avec des vitesses pouvant atteindre les  $20\text{m/s}$  apparaissent pendant l'hiver. Les vents avec des vitesses qui ne dépassent pas les  $15\text{m/s}$  sont rares et apparaissent surtout pendant les trois autres trimestres. Les vents avec des vitesses qui oscillent entre 2 et 5 m/s sont dominants avec des fréquences d'apparition de 50% durant toute la période annuelle et durant le printemps et l'automne, 59% en période hivernale, et 40% en période estivale.

Le pourcentage calme pour toutes directions confondues est faible durant l'hiver (21.68%) et plus important durant l'été (41.37%), l'automne (33.20%) et le printemps (30.75%). (Données de l'ONM 1994-2013).

Présentation de la zone d'étude

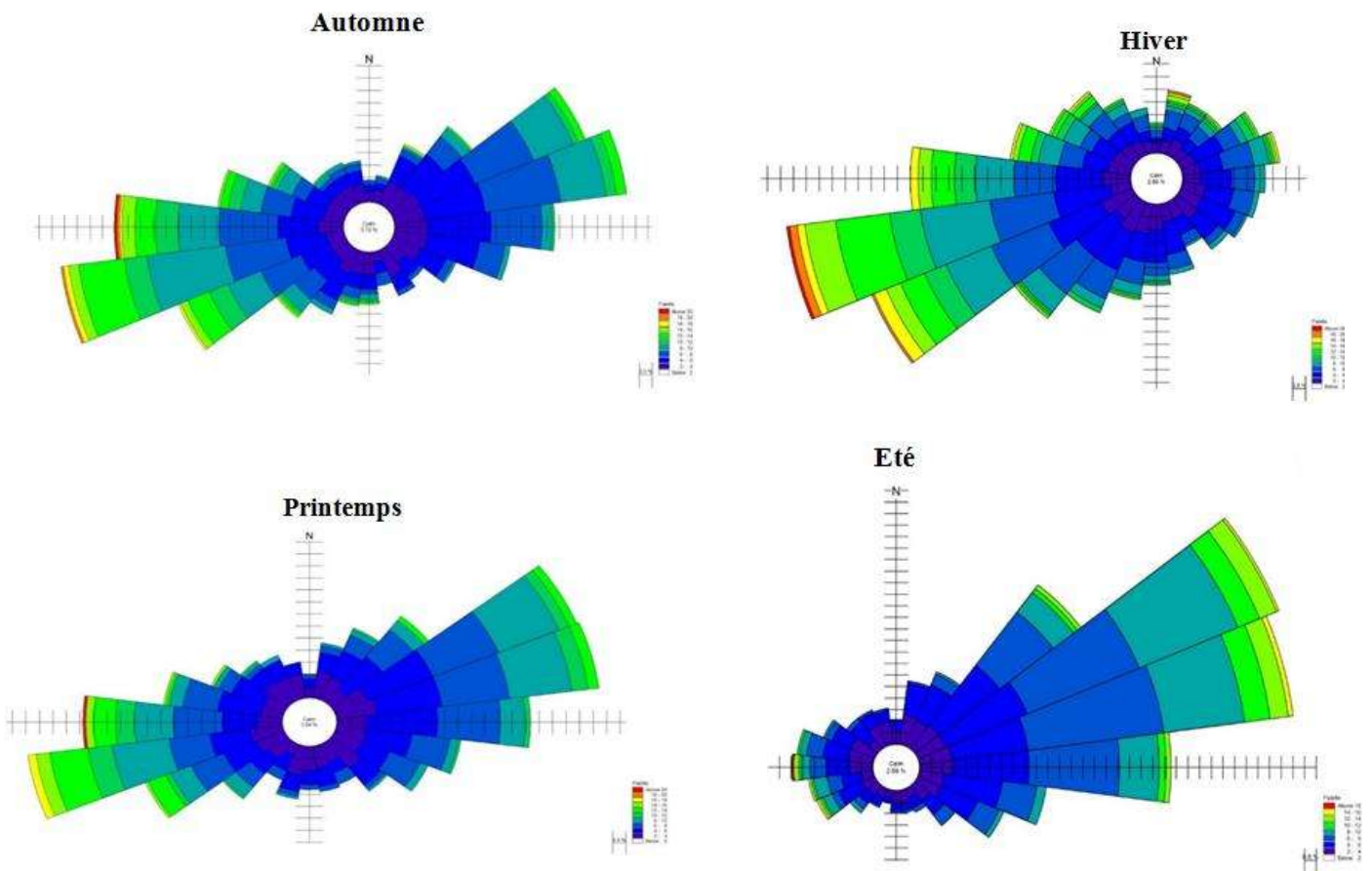


Figure II.6 : Roses saisonnière des vents au large de la zone d'étude.

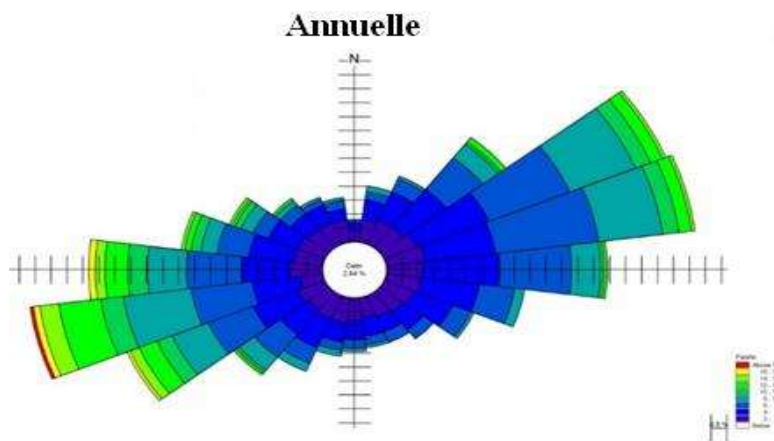


Figure II.7 : Rose annuelle des vents au large de la zone d'étude.

Présentation de la zone d'étude

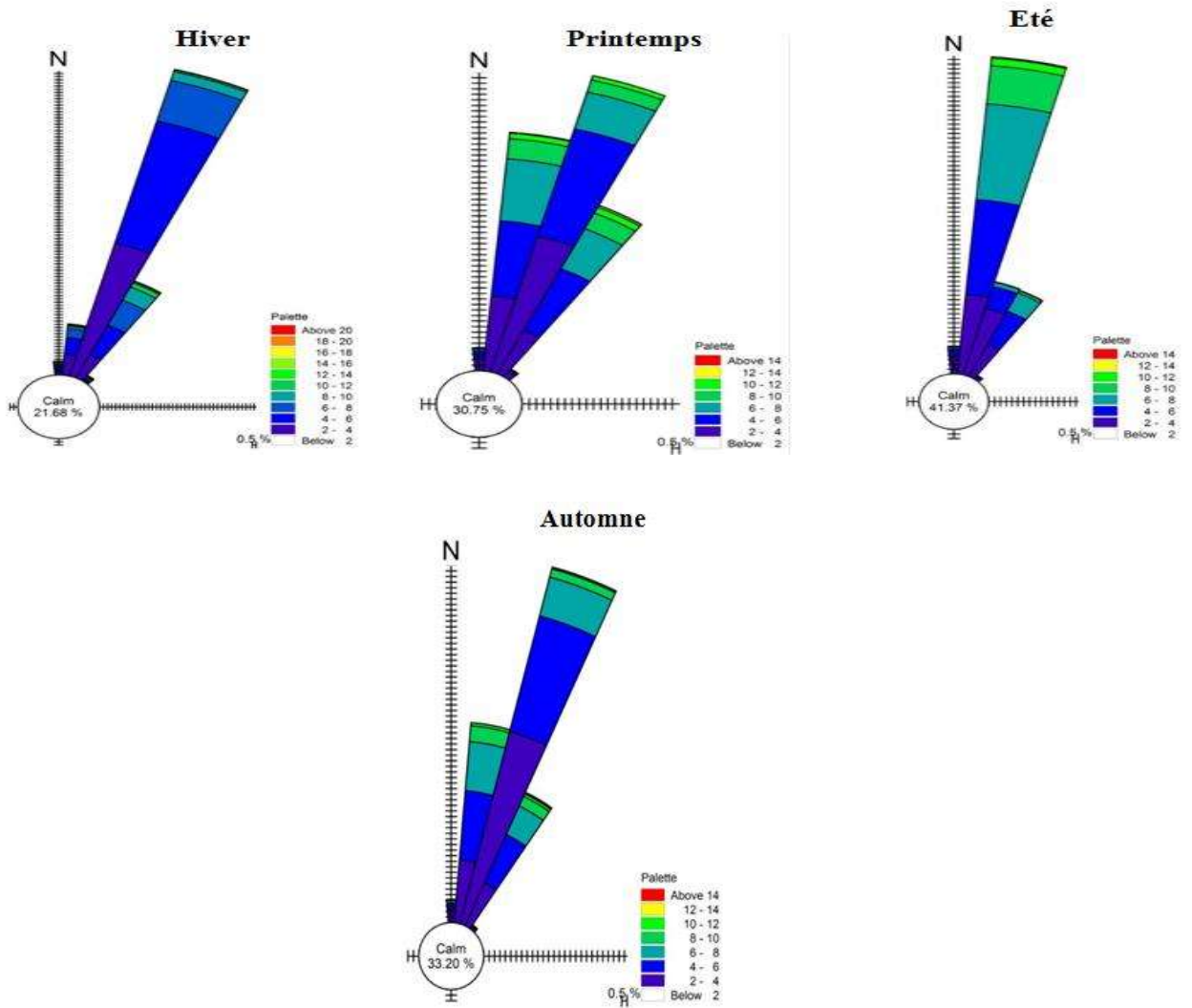


Figure II.8 : Roses saisonnières des vents à proximité de la côte (Source ONM 1994-2013).

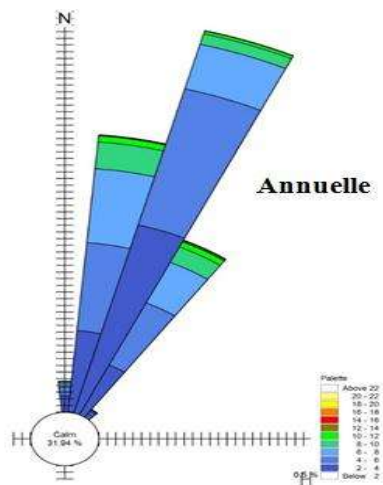


Figure II.9 : Rose annuelle des vents à proximité de la côte (Source ONM 1994-2013).

## II.5.2. Les houles

Les vagues sont générées par le vent, puis se propagent librement en formant la houle. Celle-ci est caractérisée par des valeurs moyennes de direction, de hauteur et de période. Aux abords des côtes, la houle est modifiée par la présence du fond, qui donne lieu à des processus de dissipation d'énergie. A l'approche des plages ou des hauts fonds, les vagues déferlent et transmettent ainsi une partie de leur énergie aux courants. Les vagues et les courants sont les principales causes des mouvements de sédiments sur les plages (MEZOUAR, 2009).

L'agitation (houle, mers de vent, clapots) et les courants induits sont les principaux agents responsables du transport des sables le long des rivages.

Les vagues sont principalement formées sous l'action du vent. Les conditions des houles à la côte dépendent alors de plusieurs facteurs :

- des caractéristiques du champ de vent (vitesse, direction et durée),
- de l'extension (météorologique et géographique) du champ de vent,
- de la profondeur des fonds marins.

Lors de sa propagation du large vers la côte, l'action du fond sur la houle va se faire ressentir. Les vagues subissent alors des déformations liées à la topographie sous-marine (réfraction, dissipation) et à la présence d'ouvrages côtiers (réflexion, diffraction).

Enfin à l'approche du rivage, la profondeur diminue fortement et le profil de la houle se modifie. En effet, lorsque la distance au fond diminue, la cambrure des vagues augmente. Pour finir la cambrure des vagues devient trop importante et, hormis sur des plages très pentues (ou sur des falaises), les vagues finissent par déferler à l'approche des côtes.

La forme que prend alors le déferlement dépend principalement de la pente des fonds. Sur un fond en pente régulière on distingue 3 grands types de déferlement : le déferlement glissant, le déferlement plongeant et le déferlement frontal ou gonflant (MEZOUAR, 2009).

La connaissance des caractéristiques de la houle au large : direction, amplitude, période, énergie permet de :

- Mieux analyser les constatations faites quand à l'évolution de littoral,
- Evolution spatiotemporelle du trait de côte,
- Submersion marine et inondation de l'arrière,
- Déterminer le dimensionnement des ouvrages de protection à réaliser,

## Présentation de la zone d'étude

- Mieux estimer le transit sédimentaire.

Les données de houles au large sont extraites à partir de la base de données MEDATLAS sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière. Ces fréquences d'apparition sont calculées à partir de la série de données enregistrée entre 1999 et 2004 au niveau de la station la plus proche du site d'étude localisée à 3°E et 37°N au large de la Baie d'Alger par 250 m de profondeur.

Le tableau (Tableau II.3) représente les fréquences d'apparition annuelle et saisonnières des houles par directions.

**Tableau II.3 :**Fréquence annuelle et saisonnière des houles au large par direction (Source MADATLAS 1999-2004).

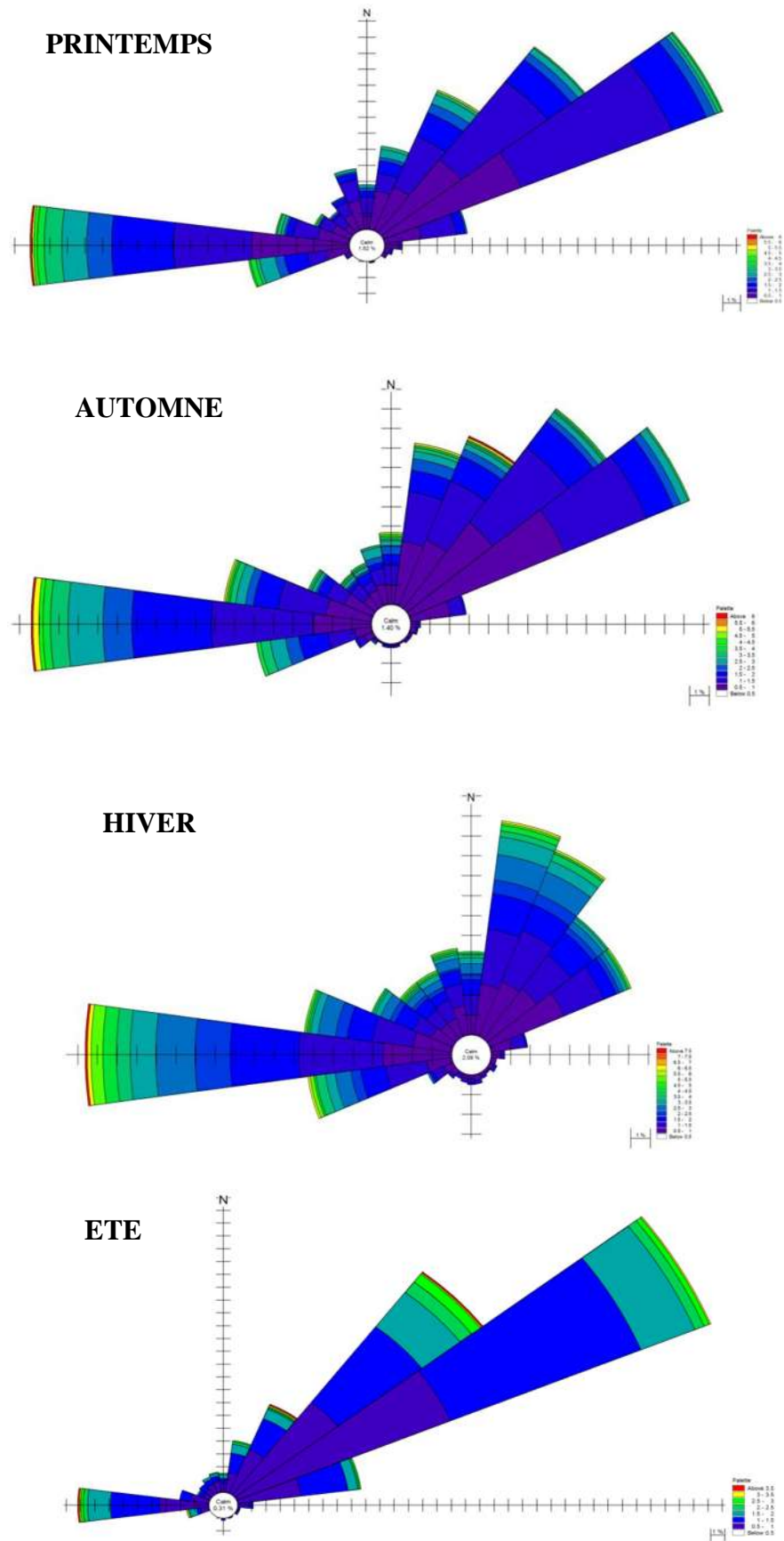
	Annuelle	Hiver	Printemps	Eté	Automne
<b>N (<math>0^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	13,57	19,5	11,93	7,2	15,16
<b>NE (<math>45^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	42,95	25,8	45,09	65,48	37,95
<b>E (<math>90^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	5,47	2,9	6,26	10,02	3,79
<b>SE (<math>135^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	0,4	0,9	0,3	0,3	0,5
<b>S (<math>180^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	0,4	1,4	0,1	0,2	0,6
<b>SW (<math>225^{\circ} \pm 15^{\circ}</math>)</b>	0,8	2,2	0,4	0	1,4
<b>W (<math>270^{\circ}N \pm 15^{\circ}</math>)</b>	27,3	33,7	28,16	12,92	31,1
<b>NW (<math>315^{\circ}N \pm 15^{\circ}</math>)</b>	7,7	11,7	6,28	3,5	8,29

L'analyse statistique des directions de houles au large nous a permis de tracer les roses annuelle et trimestrielles (Figure II.9 et Tableau II.3).L'analyse de ces roses fait ressortir que les directions dominantes proviennent des secteurs :

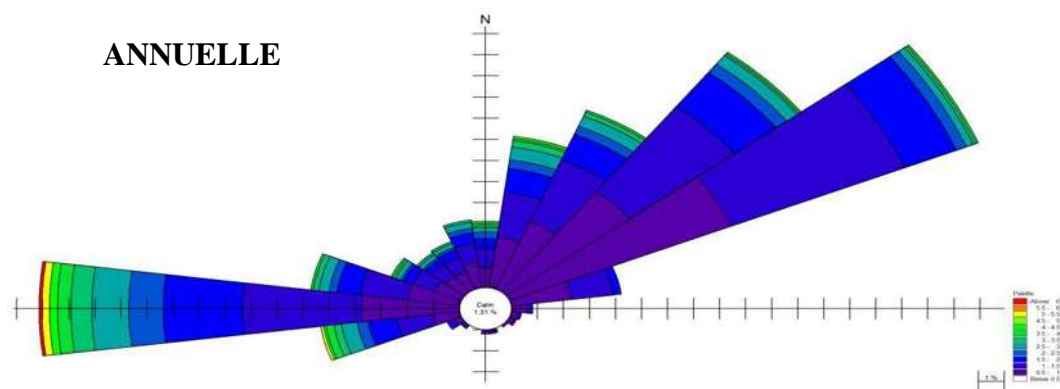
- ❖ Ouest à 27% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (34%) qu'en été (13%)
- ❖ Nord Est à 43% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (66%) qu'en hiver (26%).

Les houles en provenance du secteur Nord-est prédominent en été. Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui proviennent des deux secteurs Nord-est et Ouest prédominent durant l'automne, le printemps et annuellement.

Présentation de la zone d'étude



**Figure II.10** : Roses saisonnières des houles au large de la zone d'étude (Source MEDATLAS 2004).



**Figure II.11** : Rose annuelle des houles au large de la zone d'étude (Source MEDATLAS 2004).

**a- Les hauteurs significatives de la houle au large**

Les fréquences d'apparition des classes de hauteurs significatives en fonction des directions dominantes sont résumées dans le tableau (Tableau II.4)

**Tableau II.4** : Fréquences des classes de hauteurs significatives en fonction des directions dominantes au large. Source MADATLAS (1999-2004).

	Annuelle		Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	NE	W	NE	W	NE	W	NE	W	NE	W
<b>0,00 - 0,25</b>	0,8	0,1	1,1	0,4	0,7	0,3	0,2	0	1	0,1
<b>0,25 - 0,5</b>	7,21	2,64	4,3	2,8	6,16	3,54	10,33	1,5	7,64	2,48
<b>0,5 - 0,75</b>	11,47	4,17	6	4	11,02	5,15	18,76	3,91	10,23	3,78
<b>0,75 - 1</b>	9,14	4,27	3,9	4,5	11,12	3,44	14,44	2,81	7,94	4,86
<b>1 - 1,25</b>	6,3	3,55	3,3	4	7,79	3,53	10,03	1,7	4,77	4,27
<b>1,25 - 1,5</b>	3,45	2,95	2,2	3,3	3,74	2,42	5,42	1,6	2,67	3,96
<b>1,5 - 1,75</b>	2,03	2,13	1,3	2,8	1,72	2,83	2,9	0,5	1,9	2,89
<b>1,75 - 2</b>	1,33	2,03	1,1	2,9	1,63	2,02	1,8	0,4	1,1	2,59
<b>2 - 2,5</b>	1,32	2,44	1,8	3,7	1,21	2,52	1,3	0,2	1	3,08
<b>2,5 - 3</b>	0,4	1,31	1	2,2	0,4	1,41	0,3	0,2	0,2	1,69
<b>3 - 3,5</b>	0,3	0,91	0,6	1,3	0,2	0,8	0,2	0,1	0,3	0,7
<b>3,5 - 4</b>	0	0,4	0,1	0,9	0	0,3	0	0	0	0,3
<b>04-mai</b>	0	0,4	0,1	0,9	0,1	0,1	0	0	0,1	0,4
<b>05-juin</b>	0	0,1	0,11	0,3	0	0,1	0	0	0,1	0,1
<b>6 - 7,5</b>	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0

## Présentation de la zone d'étude

D'après le tableau (Tableau II.4), les agitations sont les plus fréquentes pour les deux secteurs le Nord-est et l'Ouest.

- Les agitations qui proviennent du Nord-est sont beaucoup plus faibles avec des hauteurs entre 0.3 m et 2m contrairement aux houles du secteur Ouest avec des Hs pouvant atteindre un maximum de 3.5m annuellement.
- Les fortes agitations proviennent du secteur Ouest avec des Hs de houles pouvant atteindre un maximum de 7.5m en hiver, 6m annuellement, au printemps, et en automne et 3.5m en été.
- Les houles de tempêtes sont rares et sont caractérisées par des Hs fluctuant généralement entre 3.5 et 7.5m, généralement ces houles extrêmes proviennent du secteur Nord-est

Les hauteurs significatives dominantes toutes directions confondues sont comprises entre 0.5 et 0.75 m durant toute l'année et pendant les quatre trimestres (Hiver, Printemps, Eté et Automne) avec des fréquences respectives de 23.14%, 17.5%, 23.47%, 29.78% et 22.28%, et des périodes piques comprise entre (5.03 - 5.53s).

### **II.5.3. La Marée**

La marée a une amplitude généralement faible en Méditerranée mais présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire. En pleine lune elle peut atteindre 25 à 30 cm en moyenne, et celle de la nouvelle lune varie de 5 à 15 cm. D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, etc.

(Benzohra, 1993, in BOUNEB&CHAMBI ,2016).

## **II.6. Caractéristique générales de la zone d'étude**

### **o Le port**

Réalisé pour un montant de plus de 156 milliards de dinars, le port de pêche et de plaisance de Cap Djinet est situé à 25 km à l'est du chef-lieu de wilaya de Boumerdès.

**Tableau II.5 :** Caractéristique générale du port de Cap Djinet (Otmani ,2014)

<b>Ouvrages de protection</b>	Jetée principale (ml)	425
	Jetée secondaire (ml)	170
	Largeur de la passe d'entrée (m)	40
<b>Ouvrage d'accostage</b>	Tirant d'eau(m)	3.5
	Superficie de terres pleines	17500 m <sup>2</sup>
	Superficie du bassin	4.2 ha
	Longueur des quais (ml)	358
	Longueur des appontements	180
	Nature des appontements	Béton
	Contre digue Est	220

○ **Ouvrages de protection**

**Tableau II.6 :** Caractéristiques générales des ouvrages de protection

	<b>Longueur</b>	<b>Largeur</b>
<b>Epi Nord</b>	130 m	30m
<b>Epi Sud</b>	100m	20m

**Chapitre III :**  
**Étude granulo-sédimentaire**

## **Introduction**

La granulométrie a pour objet de mesurer les dimensions et les variations de tailles des grains d'un produit sédimentaire. Elle permet de connaître la constitution fréquentielle des différentes fractions qui composent le stock sédimentaire d'une part et de définir les paramètres de la dynamique : mouvement des sédiments (zone d'accumulation, zone d'érosion, sens du transit sédimentaire) ,dans ce chapitre ; nous serons appelés à faire usage d'une méthode d'approche, basé sur les indices granulométriques classiques tels que : le diamètre du grain moyen, le Sorting (So) et l'asymétrie (Ski).

### **III.1. Principe**

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis le sédiment en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes (Ghomari F. & Bendi-Ouis A, 2008).

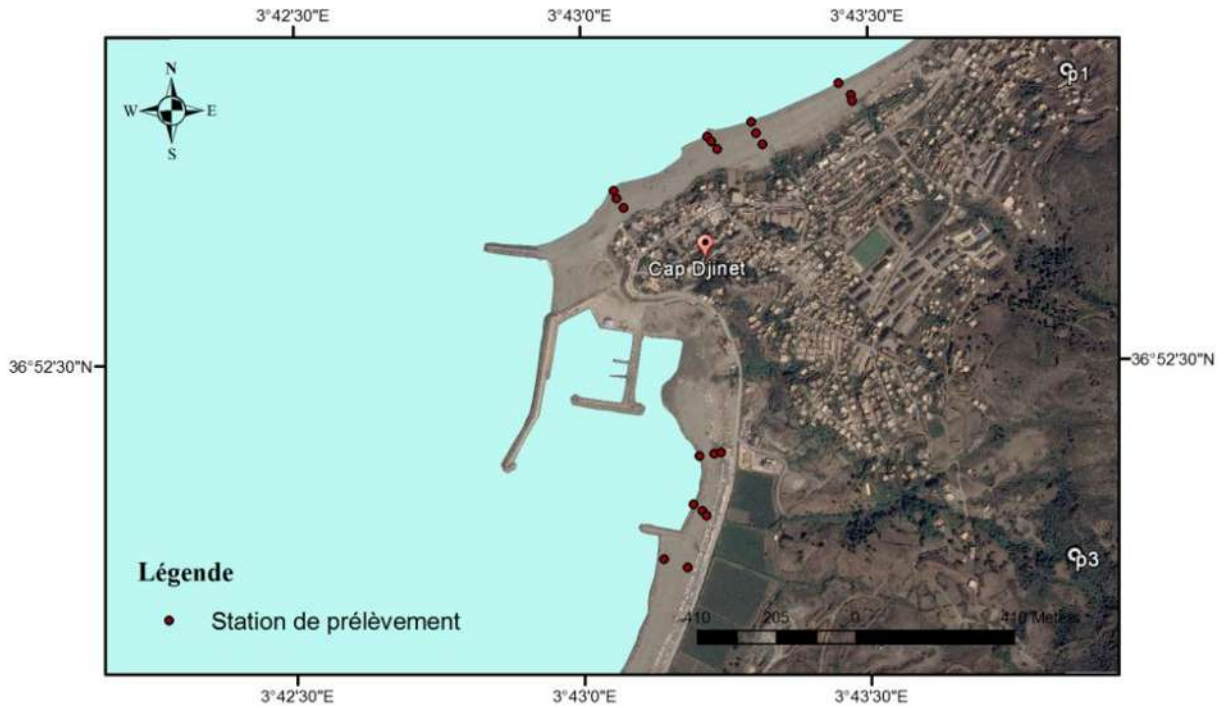
On fait passer le sédiment à travers une série de tamis dont les ouvertures (ou mailles) diminuent de haut en bas ; cette série est mise à vibrer un certain temps sur une tamiseuse. Chaque tamis retient une quantité de sédiment appelé refus de tamis.

Le refus de tamis constitue une classe granulométrique définie par sa limite inférieure qui est la maille du tamis lui-même et sa limite supérieure qui correspond à la maille du tamis immédiatement supérieur.

Le tamisage à sec, concerne uniquement la fraction grossière  $>$  à  $40\ \mu\text{m}$ . On procède donc au préalable, à l'élimination de la fraction fine  $<$  à  $40\ \mu\text{m}$  par tamisage sous l'eau sur un tamis de maille  $40\ \mu\text{m}$ . Chaque refus de tamis est ensuite pesé. Ces valeurs sont reportées sur un graphe comportant ; en coordonnées (en échelle arithmétique logarithmique) les poids cumulés et séparés en pourcentage de l'échantillon, et en abscisse, l'échelle logarithmique des mailles des tamis. (Bellahbib, 2015)

### **III.2. Prélèvement dans la partie aérienne**

Le travail de terrain, réalisé en Mai 2017. Un prélèvement de 20 échantillons de sédiments superficiels prélevés manuellement, en prenant les coordonnées métrique de chaque station à l'aide d'un GPS selon des radiales orientés perpendiculairement à la ligne de rivage, les échantillons ont été mis dans des sacs en plastique et étiquetés.



**Figure III.1 :** Positionnement des points de prélèvement dans la partie aérienne (SAID HADDAD).

### III.3. Analyse au laboratoire

- **Protocole d'analyse**

**Sécher et peser :** pour le séchage les échantillons sont placés dans une étuve; pendant 24 h à une température de 105°C. Après le séchage on pèse une quantité de 200g de chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision pour procéder aux différentes analyses granulométriques.



**Figure III.2 :** Matériels utilisés pour l'analyse (ENSSMAL).

**a- Détermination de la fraction fine (<40 µm) :**

En utilisant un tamis de **40 µm** de diamètre ; l'échantillon est lavée sous une source d'eau pour laisser passer la fraction fine et à l'aide d'une pissette qu'on peut rassembler et laver la totalité de l'échantillon pour diminuer au maximum la marge d'erreur, puis on fait le séchage encore une fois (105°C pendant 24h). La fraction péltique (<40µm) représente la différence entre la première et la deuxième pesée après lavage et qui sera traduit par pourcentage.

**b- Détermination de la fraction grossière :**

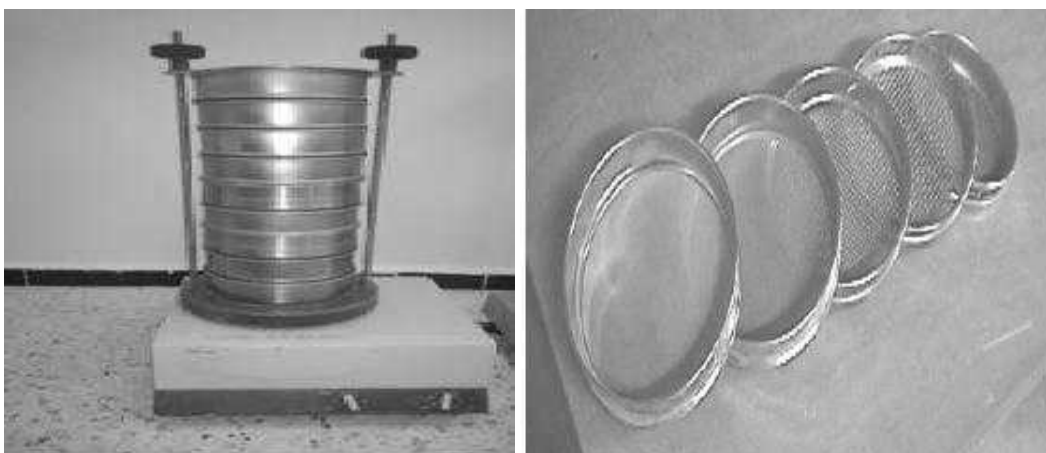
L'analyse granulométrique a été faite sur les sédiments séchés dans l'étuve.

**Tamissage :** Pour chaque échantillon nous avons utilisé une colonne de tamis de la série selon la norme AFNOR qui respectent la progression suivante : 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1200 µm, les tamis sont placés les uns sur les autres dans le sens décroissant. Le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne nous utilisons un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer le refus.

Chaque échantillon fait l'objet de 10 à 20 minutes de vibration avec une vitesse de secousses modérée de 20 secousses par seconde pour empêcher la cassure des grains de sédiment.

Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose. Chaque refus est alors versé délicatement dans une capsule pour être pesé.

**Peser :** sur un plan horizontal et à l'aide d'une balance de précision chaque refus de tamis va être pesé.



**Figure III.3 :** Tamiseuse et une colonne de tamis de type AFNOR (ENSSMAL).

### III.4. Traitement des données

#### Représentation graphique

**1- Courbe granulométrique :** Elle consiste à reporter en abscisse sur une échelle logarithmique la dimension des grains et des particules correspondant aux ouvertures des mailles des tamis. En ordonnées, les pourcentages cumulés des particules de taille supérieure à la dimension données sur l'axe des abscisses, sont portés sur une échelle arithmétique.

**2- Les paramètres de position :**

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

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

Le mode granulométrique correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

Il existe trois groupes principaux de courbes cumulatives :

- **Uni modales** : présentant un seul mode, elle indique une seule dynamique sédimentaire ;
- **Bimodales** : présentant deux modes, qui indique l'existence d'un mélange de deux stocks sédimentaires donc de deux dynamiques différentes ;
- **Plurimodales** : présentant plusieurs modes, révélant que la sédimentologie de la zone étudiée est très agitée.

**3-Indices granulométriques :**

**3-1-Indice central (TRASK & WARD, 1954) :** C'est de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des sédiments.

$$MZ = (\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}) / 3 \dots\dots\dots(1)$$

**Tableau III.1 :** Les valeurs adoptées pour MZ :

Limite de Mz	Taille moyenne
Mz < -6	Galet
-6 < Mz < -2	Granule
-2 < Mz < -1	Sable très grossier
-1 < Mz < 0	Sable grossier
0 < Mz < 1	Sable moyen
1 < Mz < 2	Sable fin
2 < Mz < 3	Sable très fin
3 < Mz < 3.98	Vase

**3-2-l'indice de dispersion ; indice de classement (Folk et Ward) :**

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

$$S_o = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6} \dots\dots\dots(2)$$

**Tableau III.2.** Valeurs adoptées pour So :

La valeur de So	Le classement
So < 1	Très bien classé
1 < So < 2.5	Bien classé
2.5 < So < 3	Normalement classé
3 < So < 4	Mal classé

**3-3-Indice d'Asymétrie (SKi ; Skewness de Trask) :**

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

$$SK = \frac{\varphi_{16} + \varphi_{84} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{84} - \varphi_{16})} + \frac{\varphi_5 + \varphi_{95} - 2\varphi_{50}}{2(\varphi_{95} - \varphi_5)} \dots\dots\dots(3)$$

Tableau III.3 : Valeurs adoptées pour Sk :

Valeur	Asymétrie	Interprétation
Sk < 1	Négative	Courant fort ; le classement meilleur vers les sables grossiers
Sk = 1	Symétrie	Courant régulier ; autant de grossiers que de fins
Sk > 1	Positive	Courant faible ; le classement meilleur vers les sables fins

III.5.Résultats:

Le traitement des données et le calcul des différents paramètres granulométriques a été effectué par un programme de **Matlab** (voir annexe 1) basé sur l'interpolation entre deux matrices (tamis et les diamètres des tamis) à l'aide de l'extension Kutools de l'Excel, les paramètres sont affichés sous forme d'un tableau.

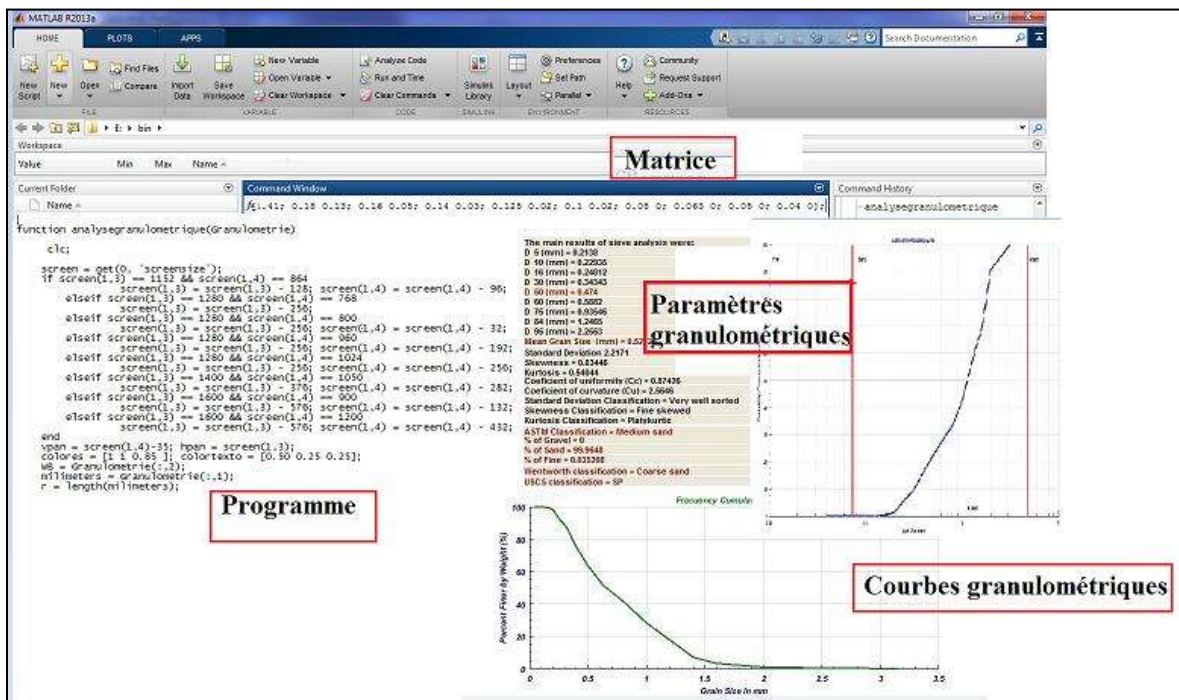


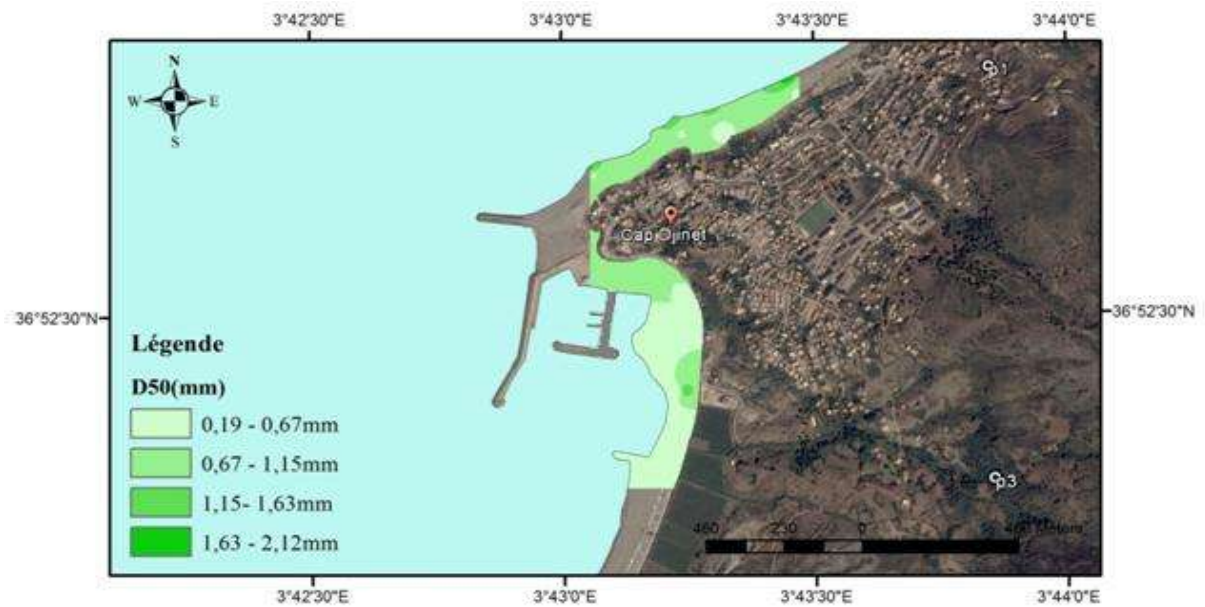
Figure III.4 : Programme de Matlab pour le calcul des paramètres courbes granulométriques.

Pour la cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques ; nous avons utilisé le logiciel **ArcGIS 10.2** ; par importation des données à partir d'Excel.

### III.5.1. Partie aérienne

#### III.5.1.1. Analyse de la fraction grossière

- **La Médiane (D50)**

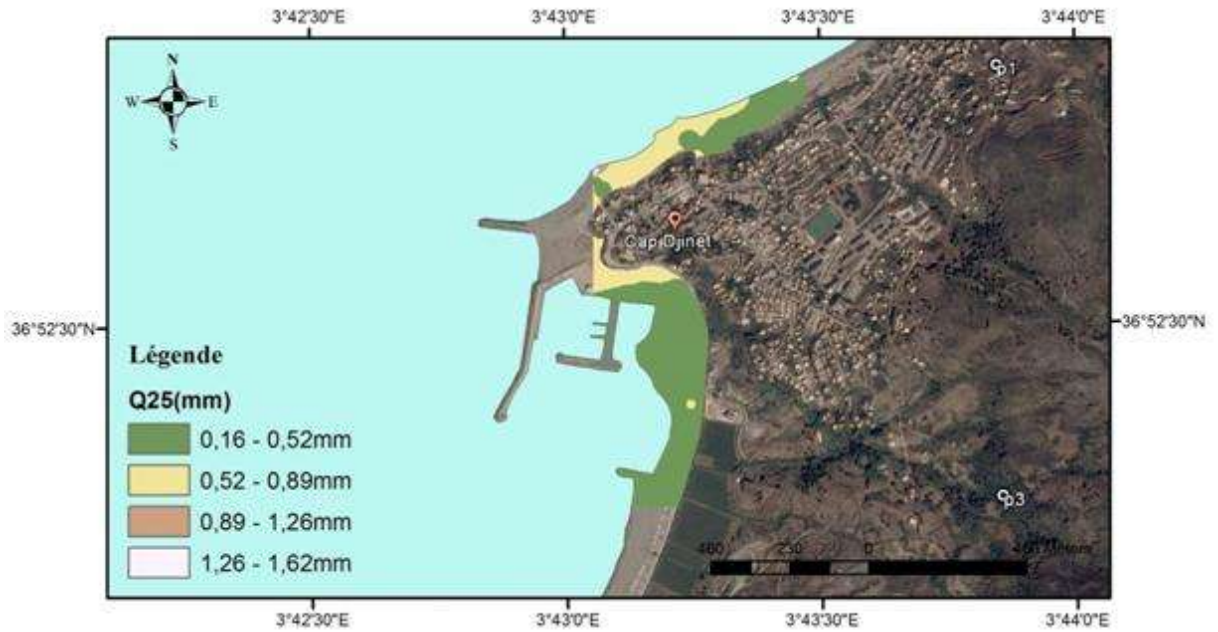


**Figure III.5 :** Carte de la répartition des D50 dans la plage aérienne (réalisée par SAID HADDAD).

D'après la carte (Figure III.5), nous remarquons que les diamètres augmentent selon un ordre croissant de l'Ouest vers l'Est avec la présence d'un sable moyen au niveau des stations (1.4.7 et 10). Les sédiments les plus fins se concentrent dans la zone comprise entre le port et l'épi sud (0.19 et 0.67 mm), cette répartition est peut être due au transport sédimentaire par jet de rive ou par courant littoral de la houle moins intense qui a créé une barre de sable parallèle au rivage.

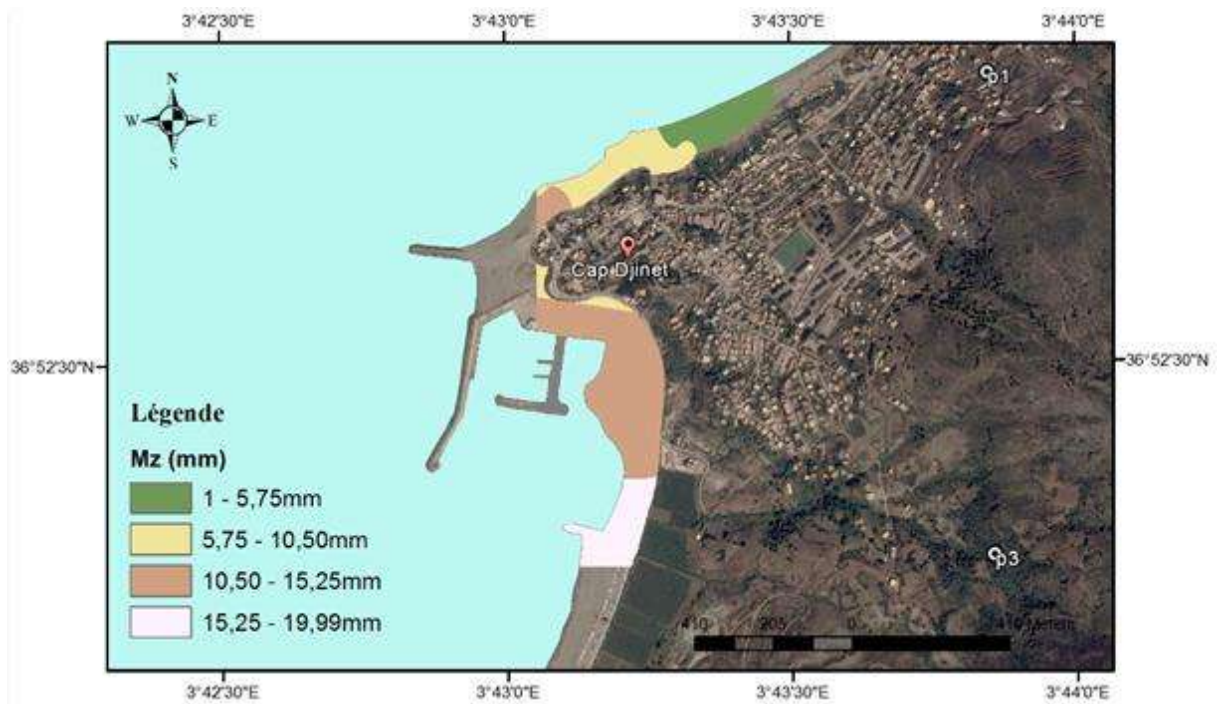
- **Le quartile inférieur Q25**

La carte de la répartition du quartile inférieur dans la partie aérienne (Figure III.6) montre une dominance des sédiments de diamètre de 0.52-0.89 mm au niveau de la partie centrale. Cependant, les plages adjacentes de cotés Est et Ouest se caractérisent par un sable plus fin de diamètre de 0.16-0.52 mm.



**Figure III.6 :** Carte de la répartition des Q25 dans la plage aérienne (réalisée par SAID HADDAD).

- **Le grain moyen Mz**



**Figure III.7 :** Carte de la répartition du grain moyen Mz (mm) dans la partie aérienne (SAID HADDAD).

Les résultats obtenus (Figure III.7) montrent que la répartition du grain moyen de la fraction grossière augmente de l'Est vers l'Ouest. Les valeurs les plus élevées sont

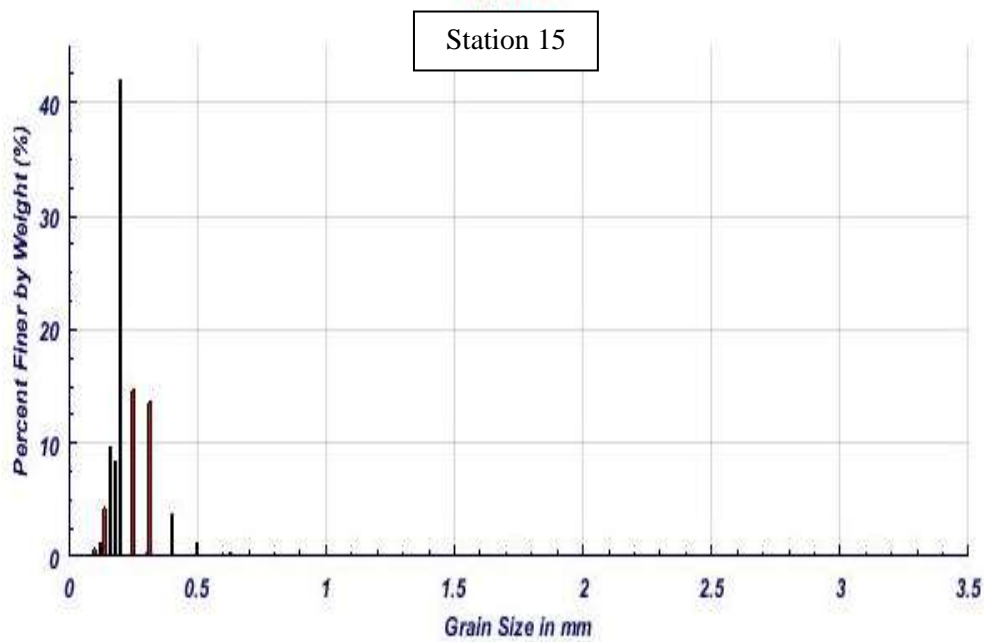
L'étude granulo-sédimentaire

enregistrées au voisinage des infrastructures portuaires et l'épi sud, cela indique l'existence d'un stock sédimentaire hétérogène.

### III.5.1.2. Courbes modales

- **Courbes unimodales**

Indique la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment (Figure III.8).



**Figure III.8** : Histogramme unimodale (Matlab).

- **Courbe bimodale**

Indique la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.(Figure III.9)

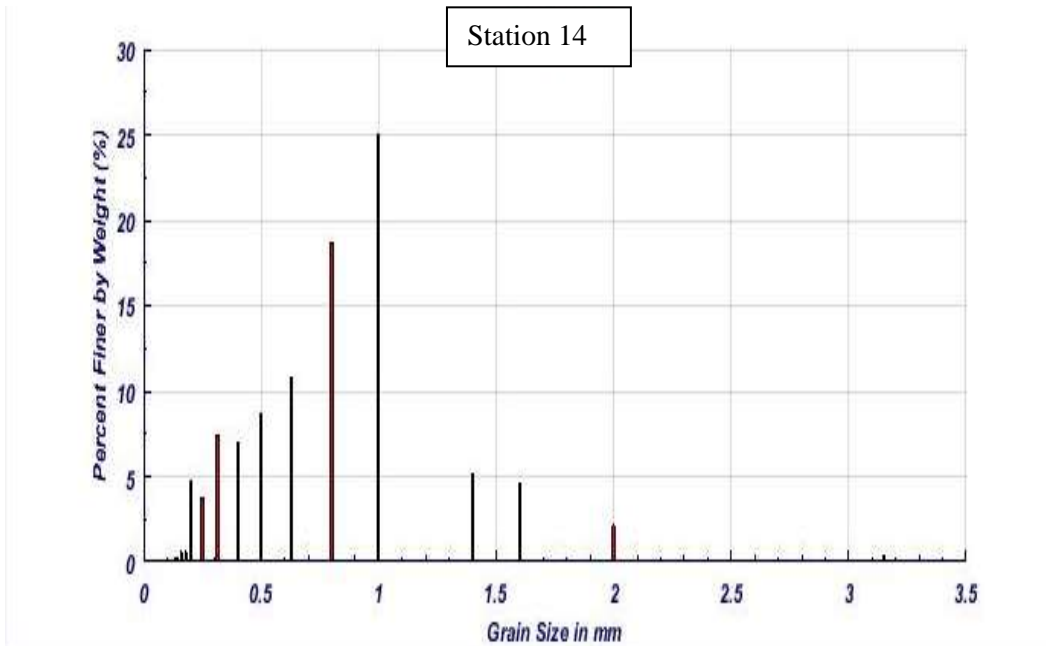


Figure III.9 : Histogramme bimodale (Matlab).

○ **Courbe plurimodale**

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique (Figure III.10).

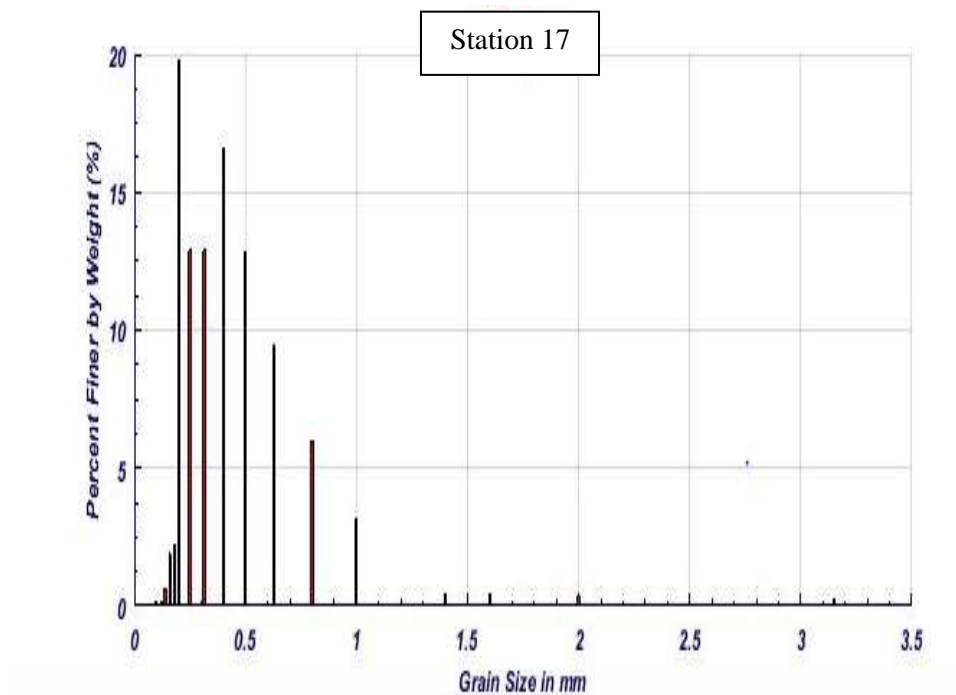


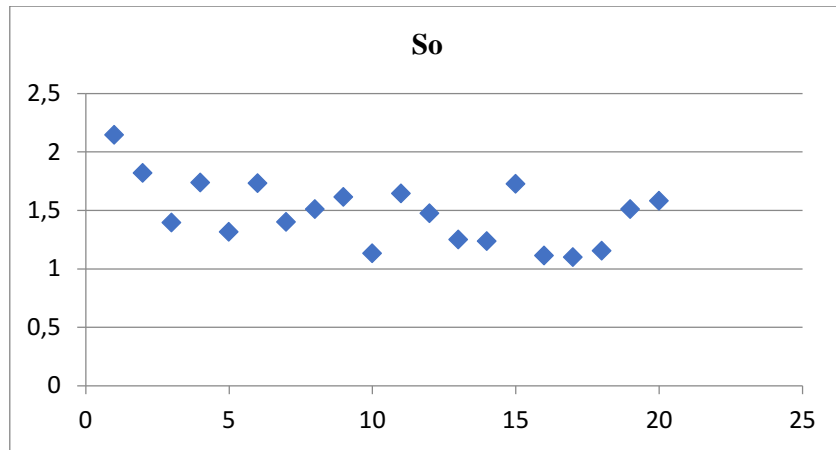
Figure III.10 : Histogramme plurimodale (Matlab).

**III.5.1.3. Résultats des indices granulométriques de la partie aérienne****Tableau III.4 :** Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats :

N°	Mz	S <sub>0</sub>	Ski	Grain Moyen	Classement	Asymétrie
1	1.7963	2.1447	0.3371	Sable fin	Bien classé	Vers le sable fin
2	0.905	1.8187	0.8654	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
3	0.3183	1.3959	1.0164	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable grossier
4	1.609	1.7357	0.7879	Sable fin	Bien classé	Vers le sable fin
5	0.6976	1.3165	0.8460	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
6	0.5013	1.7320	1.3053	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable grossier
7	2.2161	1.4000	0.6553	Sable très fin	Bien classé	Vers le sable fin
8	1.1433	1.5109	1.1507	Sable fin	Bien classé	Vers le sable grossier
9	0.56	1.6143	0.9967	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
10	1.19	1.1327	1.0876	Sable fin	Bien classé	Vers le sable grossier
11	0.7716	1.6436	0.9842	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
12	0.645	1.4740	0.7485	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
13	0.2693	1.2493	0.9779	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
14	0.2373	1.2361	1.2647	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable grossier
15	1.3913	1.7258	0.4652	Sable fin	Bien classé	Vers le sable fin
16	0.205	1.1124	1.1231	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable grossier
17	0.1826	1.0979	0.9062	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
18	0.203	1.1528	0.9488	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
19	0.3483	1.5099	0.9490	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable fin
20	0.425	1.5811	1.0204	Sable moyen	Bien classé	Vers le sable grossier

- **Le tri (S<sub>0</sub>)**

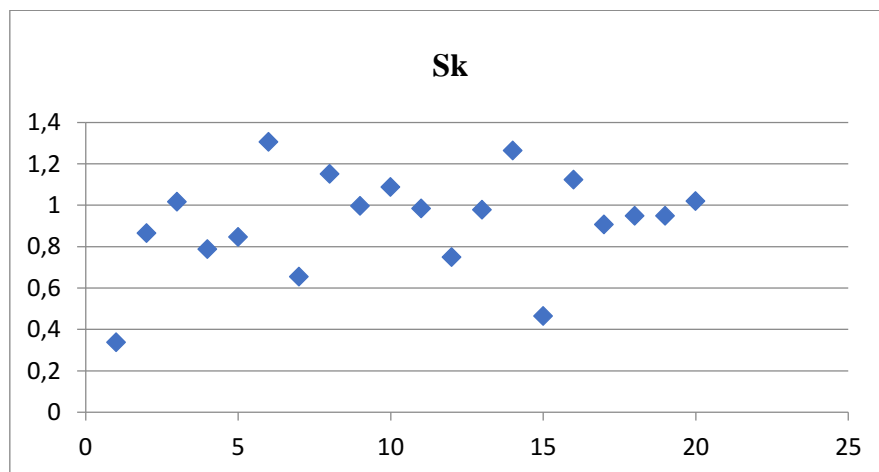
Les valeurs de S<sub>0</sub> obtenues pour les échantillons dans notre zone (Figure III.11) sont comprise entre **1** et **2.5**, ce qui signifie la présence d'un sédiment bien classé, ceci est peut être expliqué par la présence d'une seule source de sédiment soumis aux mêmes conditions hydrodynamiques qui les déposent d'une manière homogène.



**Figure III .11** : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Partie aérienne).

- **L'indice d'asymétrie Sk**

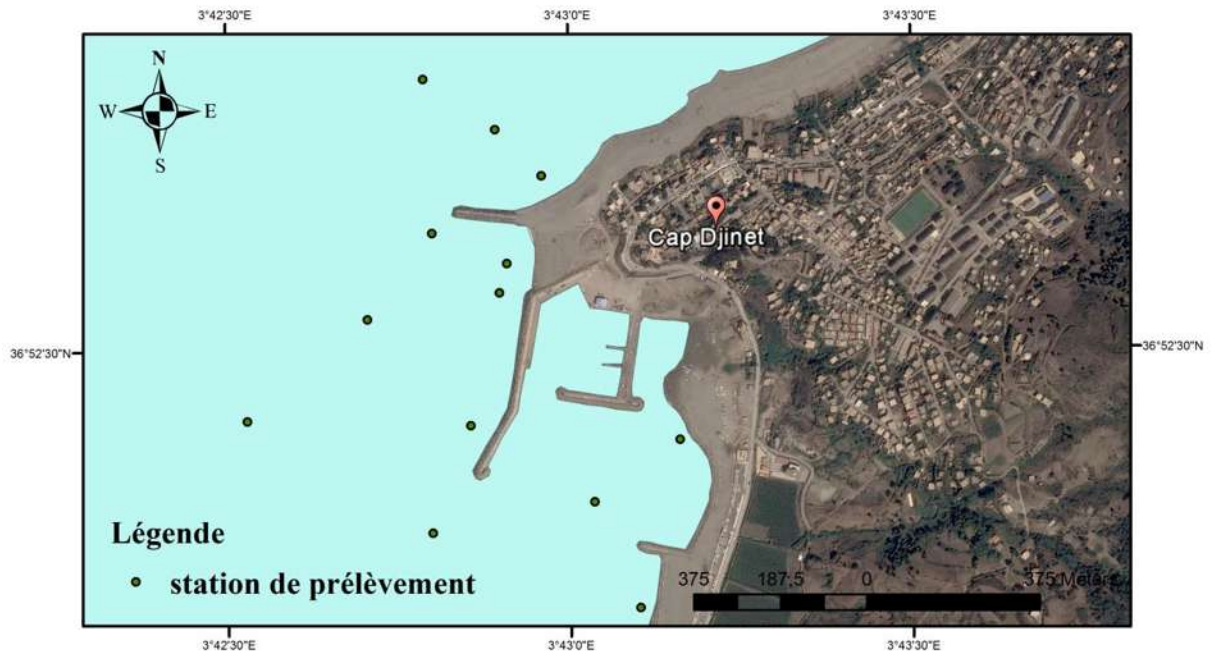
Les valeurs positives obtenues (Figure III.12) sont révélatrices d'une asymétrie vers le sable fin, traduisant un fort dynamisme générant notre zone.



**Figure III.12** : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen (Partie aérienne).

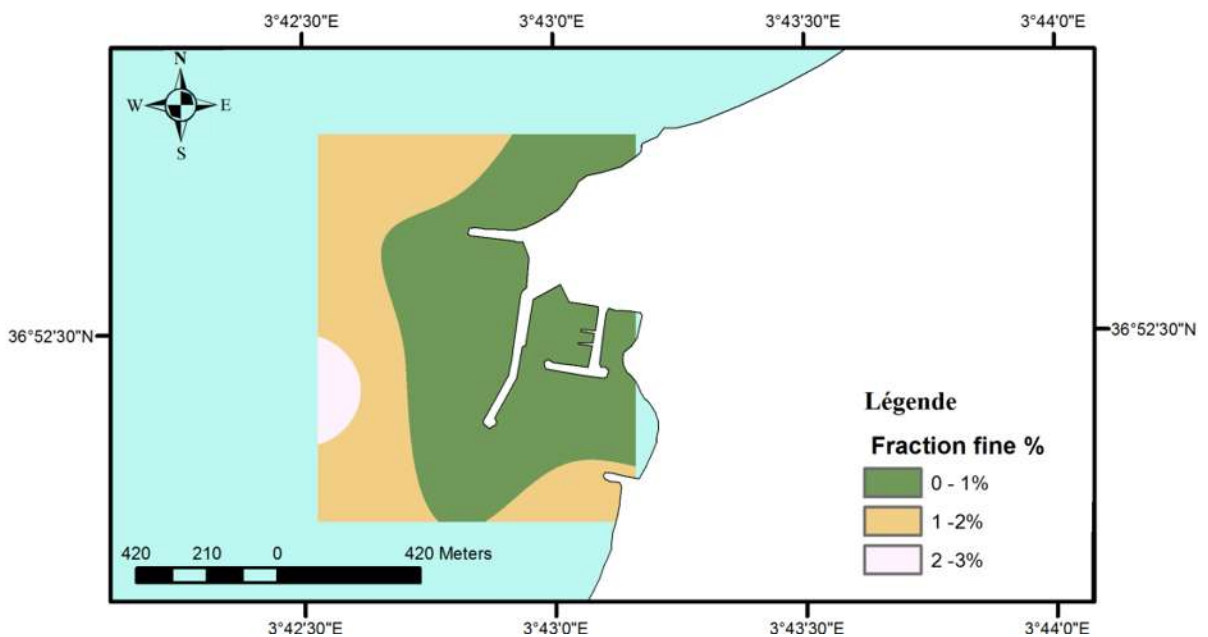
### III.5.2. Partie marine

Pour la partie marine ;13 échantillons de sédiment marinont été prélevés à l'aide d'une benne Van Veen preneuse,dans différentes stations de la zone(Figure III.13) ; ensuite chaque prélèvement va être transporté directement au laboratoirepour le prétraitement et le tamisage.



**Figure III.13 :** Localisation des stations de prélèvements de la partie marine (SAID HADDAD).

### III.5.2.1. Analyse de la fraction fine



**Figure III.14 :** Répartition de la fraction fine dans la partie marine (SAID HADDAD).

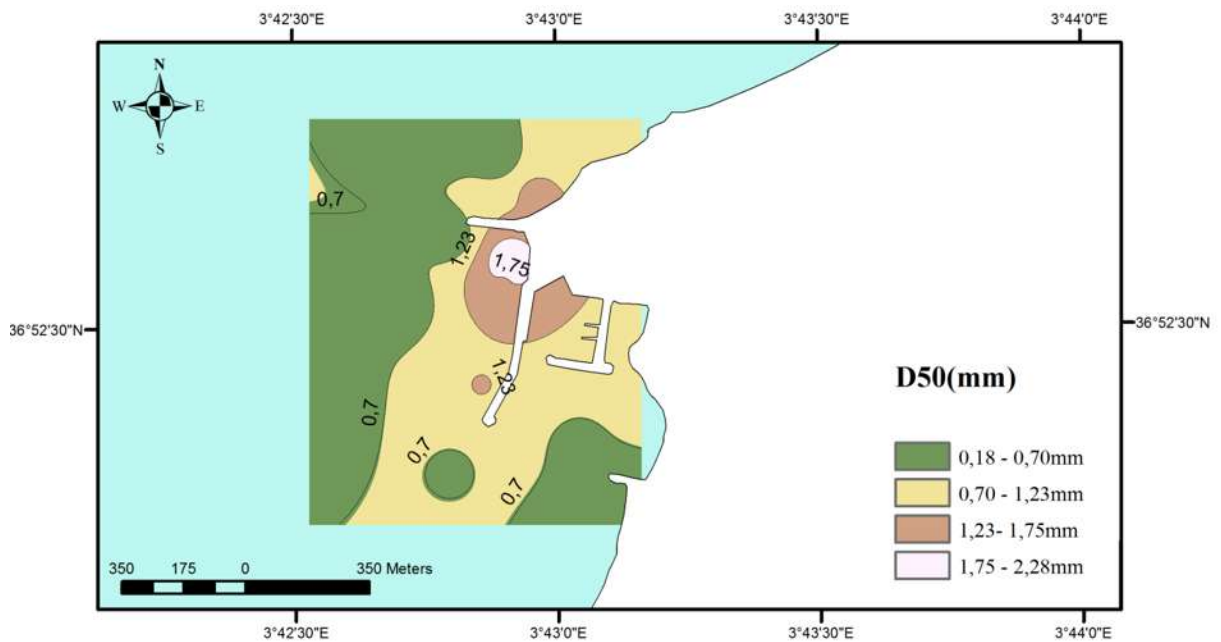
Les résultats obtenus (figure III.14) montrent que la teneur en fraction fine augmente graduellement en avançant vers le large, les teneurs les plus faibles sont enregistrées généralement dans les faibles fonds, cela s'explique par l'augmentation de l'énergie de la

houle qui favorise la remise en suspension des sédiments et l'élimination d'une partie importante de la fraction fine vers les zones calmes permettant leurs décantation.

### III.5.2.2. Analyse de la fraction grossière

- **La médiane D50**

La carte de la répartition de la médiane (Figure III.15) montre que les sédiments les plus grossiers se localisent au niveau de l'épi Nord et la jetée principale du port tandis que les plus fins sont répartis au niveau des grandes profondeurs.

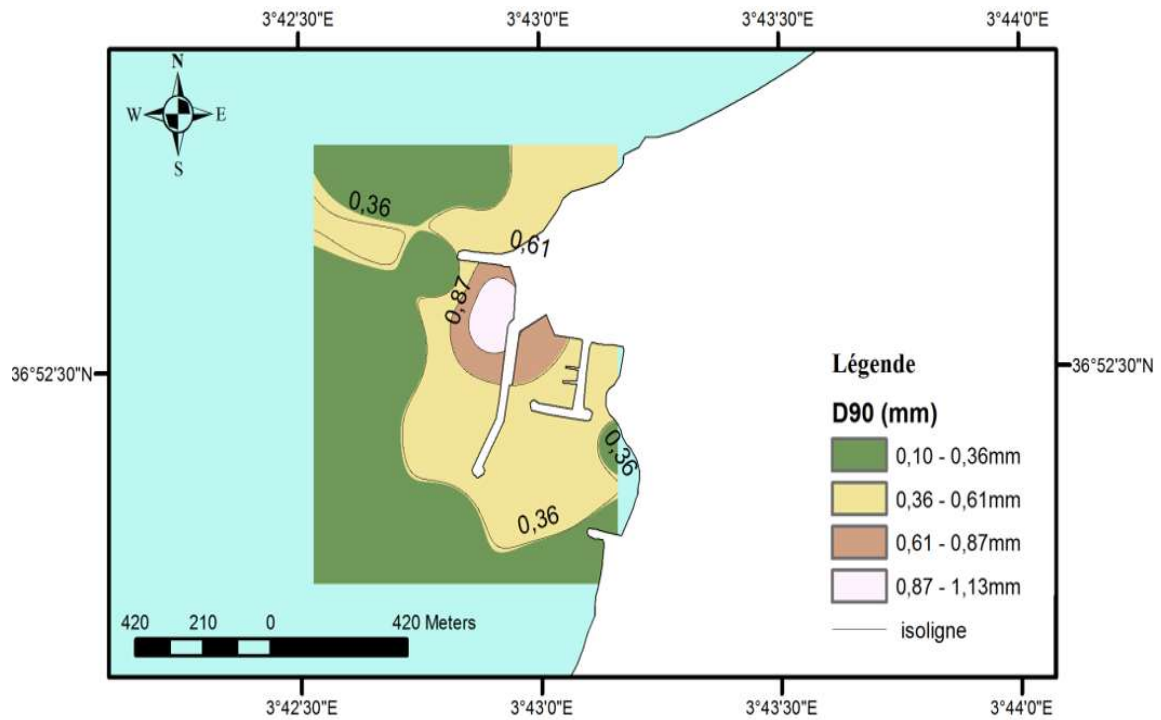


**Figure III.15 :** Carte de la répartition de la médiane D50 dans la partie marine (SAID HADDAD).

- **Le décile supérieur D90**

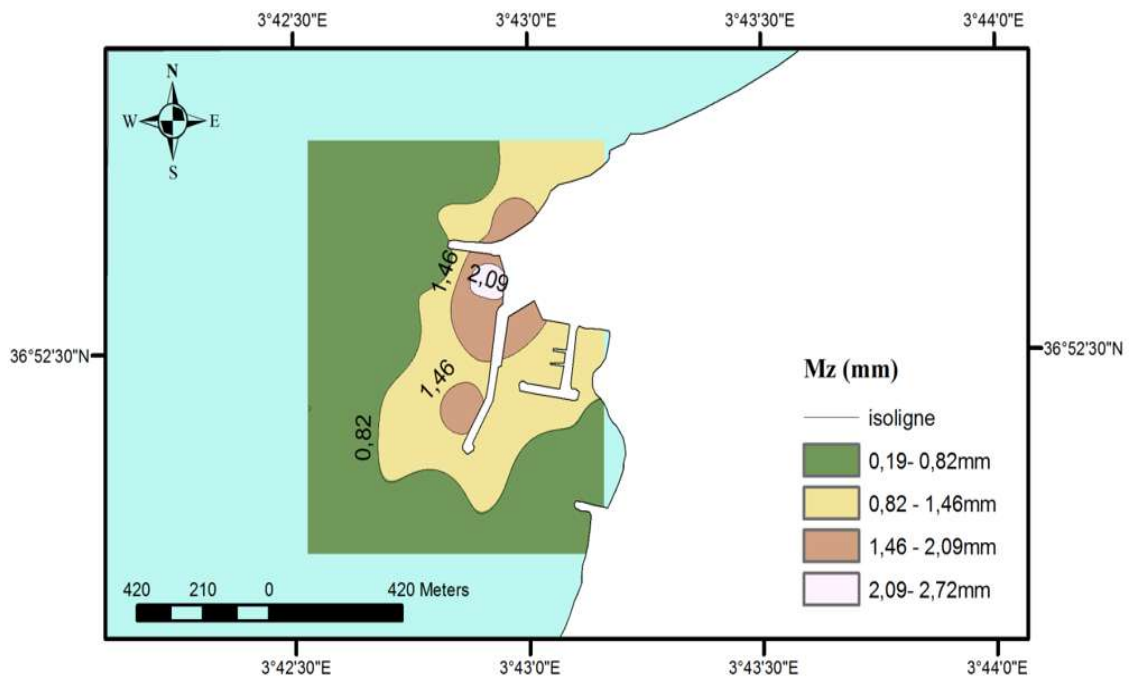
Pour les déciles supérieurs (figure III.16), la distribution montre quatre faciès avec une dominance graduellement décroissante de la côte vers le large et qui évolue de façon à contourner le port.

## L'étude granulo-sédimentaire



**Figure III.16 :** Carte de la répartition du décile supérieur D90 dans la partie marine (SAID HADDAD).

- **Le grain moyen Mz :**



**Figure III.17** Carte de la répartition du grain moyen Mz (mm) dans la partie marine (SAID HADDAD).

## L'étude granulo-sédimentaire

La carte de la répartition du grain moyen (Figure III.17) montre que les particules grossières se localisent au niveau de la zone comprise entre l'épi Nord et la jetée principale du port traduisant une activité hydrodynamique intense qui mobilise les particules fines et laisse celle qui est plus grossières sur place ,les particules ensuite ont été transporté et déposés vers les zones les plus profondes par le courant de retour.

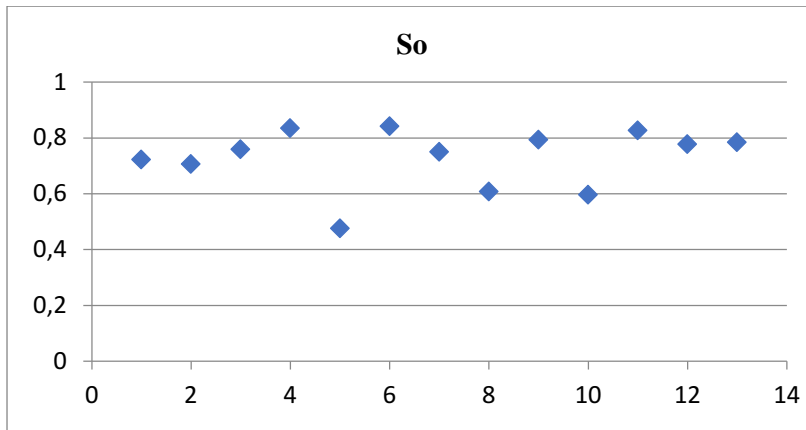
### III.5.2.3. Résultats des indices granulométriques de la partie marine

**Tableau III.5 :** Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats (Partie marine):

N°	So	Sk	Mz	Grain Moyen	Classement	Asymétrie
1	0,7222	1,0168	0,2815	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin
2	0,7059	0,9747	0,6915	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable grossier
3	0,7582	1,0222	0,189	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin
4	0,8341	0,9418	0,6215	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable grossier
5	0,4749	1,0523	1,6545	Sable fin	Très bien classé	Vers le sable fin
6	0,8416	1,0253	0,779	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin
7	0,7500	0,9955	0,3305	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable grossier
8	0,6073	1,1249	2,724	Sable très fin	Très bien classé	Vers le sable fin
9	0,7928	1,0291	0,3355	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin
10	0,5960	1,2002	1,669	Sable fin	Très bien classé	Vers le sable fin
11	0,8267	0,9691	1,724	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable grossier
12	0,7768	1,0252	0,4995	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin
13	0,7834	1,0762	0,234	Sable moyen	Très bien classé	Vers le sable fin

#### • Le tri So

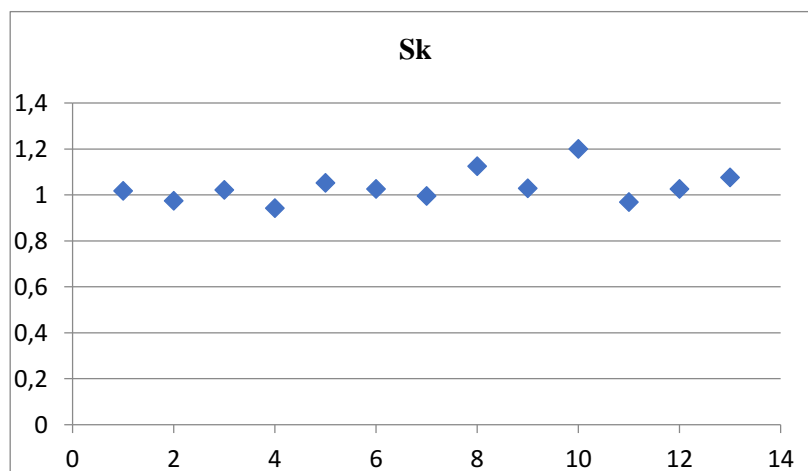
Les valeurs obtenues (Figure III.18) montrent que tous les échantillons sont très bien classés, ceci est peut être expliqué par la présence d'une seule source de sédiment soumis aux mêmes conditions hydrodynamiques qui les déposent d'une manière homogène.



**Figure III.18** : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Partie marine).

- **L'indice d'asymétrie  $S_k$  :**

La plupart des valeurs obtenues (Figure III.19) sont révélatrice d'une asymétrie vers le sable fin ceci peut être expliqué par un fort hydrodynamisme qui génère notre zone.



**Figure III.19** : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen (Partie marine).

**Conclusion :**

L'étude sédimentaire indique l'existence d'un stock très dynamique, le mécanisme du transport responsable de la mise en place et la distribution de ce stock est principalement la houle et les courants de dérive.

L'intérêt de la détermination de ces paramètres granulométrique est :

- caractériser de manière comparative les sédiments de la plage de Cap Djinet en différents points de la zone étudiée ;

## L'étude granulo-sédimentaire

- choisir les caractéristiques sédimentologiques du sédiment type qui sera retenu pour la modélisation numérique des transports sédimentaires ( $D_{50}, D_{84}, D_{16}$ )

L'analyse des histogrammes et des indices granulométriques (Annexe 1) permet les constatations suivantes :

-Sur la partie aérienne (Figure III.7), le grain moyen des sédiments augmente de l'Est vers l'Ouest. Ces matériaux sont des sables fins, parfois contaminés par des éléments un peu grossiers. Cette contamination, qui est parfaitement visible sur les distributions des échantillons prélevés dans la zone actuellement en accrétion, pourrait être le résultat de dépôts liés aux houles lors des déferlements de tempêtes ;

-Les distributions sont presque toutes plurimodales indiquant que les sédiments dans cette partie de la plage appartiennent à un stock sédimentaire varié ;

-Sur la partie marine (Figure III.14) ; les teneurs de la fraction fine ( $<50\mu\text{m}$ ) sont très faibles, et ne dépassent pas les 3% et reflètent ainsi l'importance de l'hydrodynamisme dans la zone de Cap Djinet.

**Chapitre IV :**  
**Modélisation hydrodynamique**

#### **IV.1.Introduction :**

Ce chapitre reprend l'essentiel des actions des éléments naturels pouvant agir séparément ou ensemble sur les phénomènes de l'hydrodynamique marine et d'érosion côtière.

Pour atteindre cet objectif nous avons divisé notre travail en trois parties :

- La première partie consiste à étudier la réfraction de la houle qui règne dans la zone de déferlement à travers la simulation de la propagation de la houle du large vers les faibles profondeurs pour les années 2009 et 2017.
- La deuxième partie consiste à modéliser la courantologie et déterminer les courants générés par les vents et les houles dans les alentours du Port de Cap Djinet pour les années 2009 et 2017.
- La troisième partie consiste à modéliser le transport sédimentaire pour estimer les taux du transport solide sous l'effet de la dérive littorale générée par les houles des années 2009 et 2017.

Ceci pour faire une étude comparative : avant et après l'implantation des ouvrages de protections afin de dégager l'impact de ces ouvrages sur l'évolution de notre littoral.

#### **IV.2. Description des modèles de MIKE21 :**

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

Mike 21 est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de shoaling liés aux variations de bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier.

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre ; celle-ci est effectuée avec les modules HD, SW

## Modélisation hydrodynamique

et ST, respectivement, de la suite du logiciel MIKE 21. Une courte description de ces modules est donnée ci-après.

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer à l'aide du modèle SW le climat de houles dans la région d'intérêt (sur une grande échelle). Les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD. Finalement, les courants générés par le module HD et les données de houles générées par le module SW seront pris en entrée par le modèle de transport de sédiment ST qui calcul alors le transport de sédiments à chaque pas temporel des simulations hydrodynamiques ainsi que le transport net de sédiments durant la période de simulation.

- **MIKE 21 SW**

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents et des houles au large et dans les zones côtières. Il inclue deux types de formulations :

MIKE 21 SW prend en compte la génération de la houle par action du vent, les interactions non linéaires vague-vague ; la Dissipation due au frottement sur le fond ; la Dissipation due au déferlement ; la Réfraction et le Shoaling due à la variation de la profondeur ; les Interactions vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur

- **MIKE 21 HD**

MIKE 21 HD constitue le noyau de la suite logicielle MIKE 21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large. Le modèle hydrodynamique de MIKE 21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. MIKE 21 HD prend également en compte les phénomènes d'immersion et émergence des côtes.

- **MIKE 21 ST**

MIKE 21 ST calcule le transport sédimentaire sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Dans la zone de déferlement, les courants de retour

sont inclus. Le modèle est déterministe et demande un minimum de calibration. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés sur base de l'équation de conservation de la masse sédimentaire.

- **MIKE21/3 FM**

Le modèle couplé MIKE21/3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc. .... Nous pouvons les choisir dans la simulation. Le modèle comprend également un couplage dynamique entre les modules HD et SW.

### **IV. 3. Création de la bathymétrie sous le maillage**

Le module « Mesh Generator » nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. « Mesh Generator » génère un format souple de maillage.

Le programme nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques.

Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons l'importer directement dans le MIKE Zero. (Than , 2015).

Les différentes phases suivies pour la création d'une bathymétrie :

- le traitement des données bathymétriques XYZ.
- la génération du maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage.
- le choix du système de projection.

#### **IV. 3.1. Interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage**

Le générateur de maillage donne des possibilités à l'égard de deux interpolations pour les éléments triangulaires.

Ces méthodes d'interpolation sont indépendantes du type de maillage utilisé.

#### **IV. 3. 2. Génération de la géométrie du maillage**

A l'aide du module « Mesh Generator » dans le Mike 21, nous pouvons :

- importer le trait de côte à partir des données transformées précédemment (xyz)

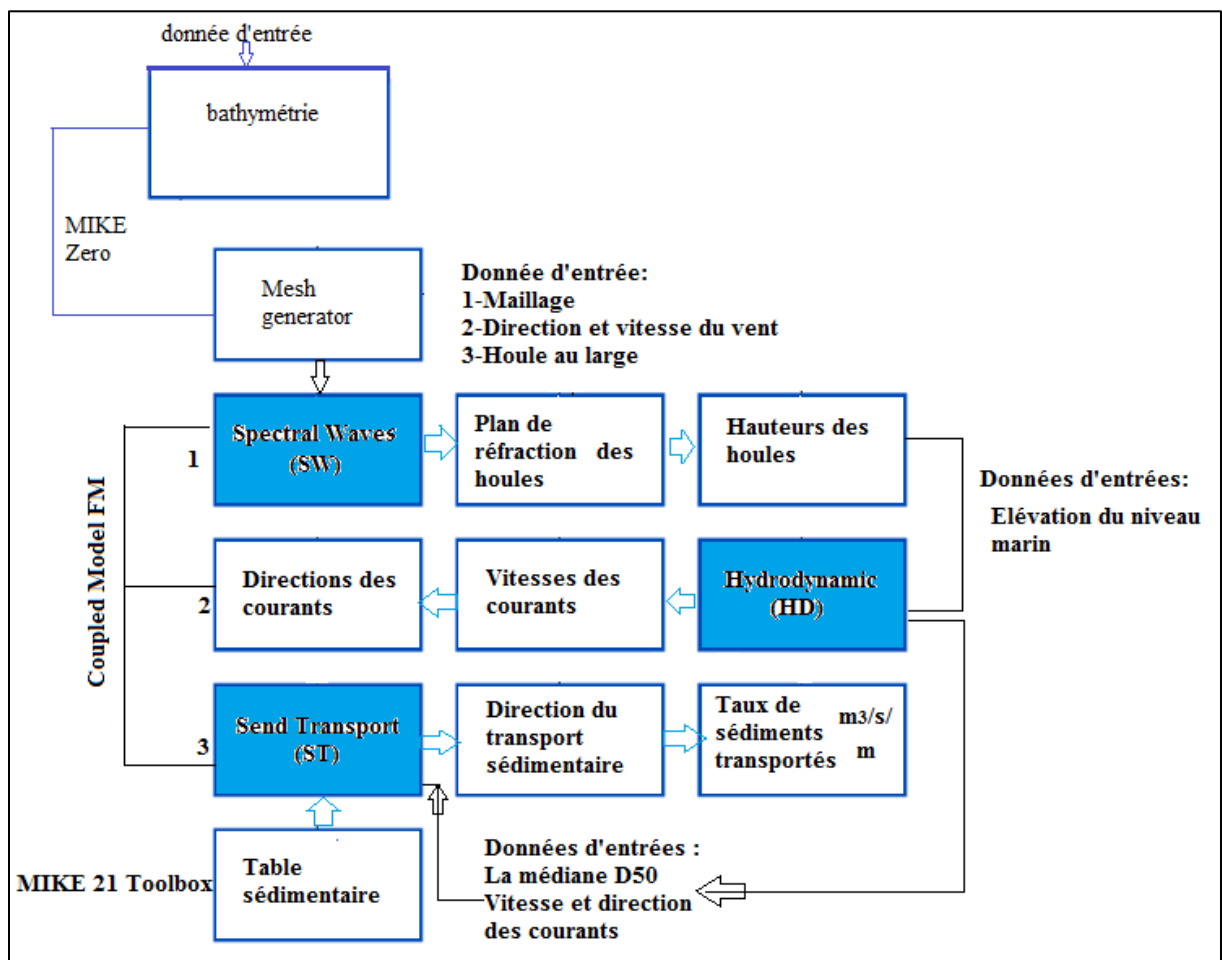
- Importer les données bathymétriques (fichier XYZ) dans le fichier de maillage.

Après le démarrage du générateur Mesh nous devons spécifier le système de projection UTM et la zone 31 pour la zone de travail.

#### IV. 3.3. Système de projection

Il faut choisir le système de projection pour la conception du maillage. Ce choix influence le format de l’affichage sur la carte. Les systèmes de projection des données de trait de côte et de bathymétrie peuvent être différents. Il nous faut uniformiser ces données par rapport au système choisi lors de l’importation des données dans le MIKE21 (Than, 2015).

#### IV.4. Méthodologie suivie



**Figure IV.1 :** Étapes de modélisation des trois modules HD, SW et ST sous Mike 21(SAID HADDAD).

- **Configuration du module HD :**

La simulation se fait à partir du MIKE21/3 Integred Mode 1→ Coupled Model FM :

## Modélisation hydrodynamique

- La période de la simulation est étalée sur 100 étapes, le pas de temps pour toute la simulation fixé à 900s avec les paramètres suivants :
- La viscosité prend une valeur constante de 0.28, la résistance est considérées comme valeur par défaut  $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .
- la vitesse de vent est de 3.75m/s avec une direction de  $315^\circ$  dans notre zone.
- l'élévation du niveau de la mer est considérée comme une valeur constante de 0.34m.

- **Configuration du module SW :**

- pour la configuration de champs des courants ; on a pris une formule de « Basic Equations » directionnelle « Directionally decoupled parametric formulation avec un temps quasi-stationnaire.
- la variation du niveau de la mer est prise de la simulation du module HD.
- le modèle a concerné trois directions  $45 \text{ N}^\circ$ ,  $360\text{N}^\circ$  et  $315\text{N}$  (Tableau IV.1)
- Les données sortantes sélectionnées ont été extraites à partir d'une grille de calcul en série de surface.

- **Configuration du module ST :**

La simulation est effectuée à l'aide d'un générateur de table sédimentaire offert par « MIKE21Toolbox » de MIKE 21 avec le module ST.

Les paramètres granulométriques considérées sont le  $D_{50}$ ,  $Q_{84}$ ,  $Q_{16}$  avec des valeurs successives de : 0,82 mm, 0.32 mm, 1.76 mm.

- **Condition aux limites :**

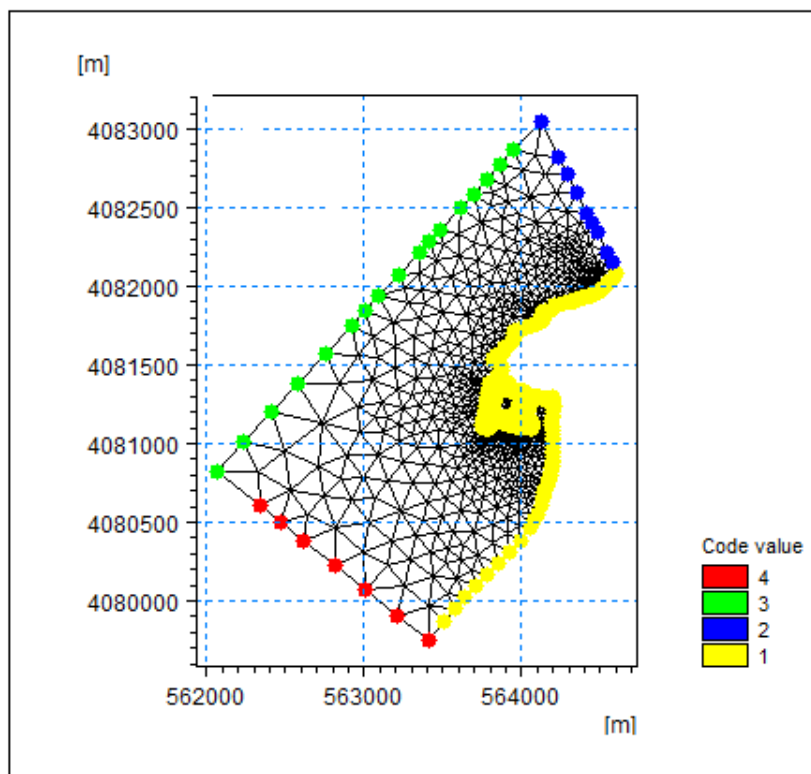
**Tableau IV.1:** Hauteurs des houles annuelles retenues par secteur de provenance au large (SSMO).

Hauteur équivalente annuelle			
période (s)	N360°	N45°	N315°
6	1	1,09	1,1
8	2,67	2,56	2,64
10	4,92	5,05	4,53

## IV.5. Résultats et discussion

### IV.5.1. Génération du maillage

D'après la figure IV.2 ; un maillage très espacé au large de la côte, et ce dernier devient de plus en plus serré au voisinage de la côte et au niveau des ouvrages pour mieux décrire les différents phénomènes avec une précision.



**Figure IV.2 :**Maillage du Mesh Generator sous MIKE Zero (Année 2009).

### IV.5.2 Etude bathymétrique

La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief sous la surface de l'eau pour déterminer la topographie d'un fond marin.

Pour l'évaluation de l'impact des ouvrages portuaires sur l'évolution de notre côte ; nous avons comparé la bathymétrie qui correspond à un état sans ouvrages de protection (2009) avec celle d'un état en présence de ces ouvrages (2017).

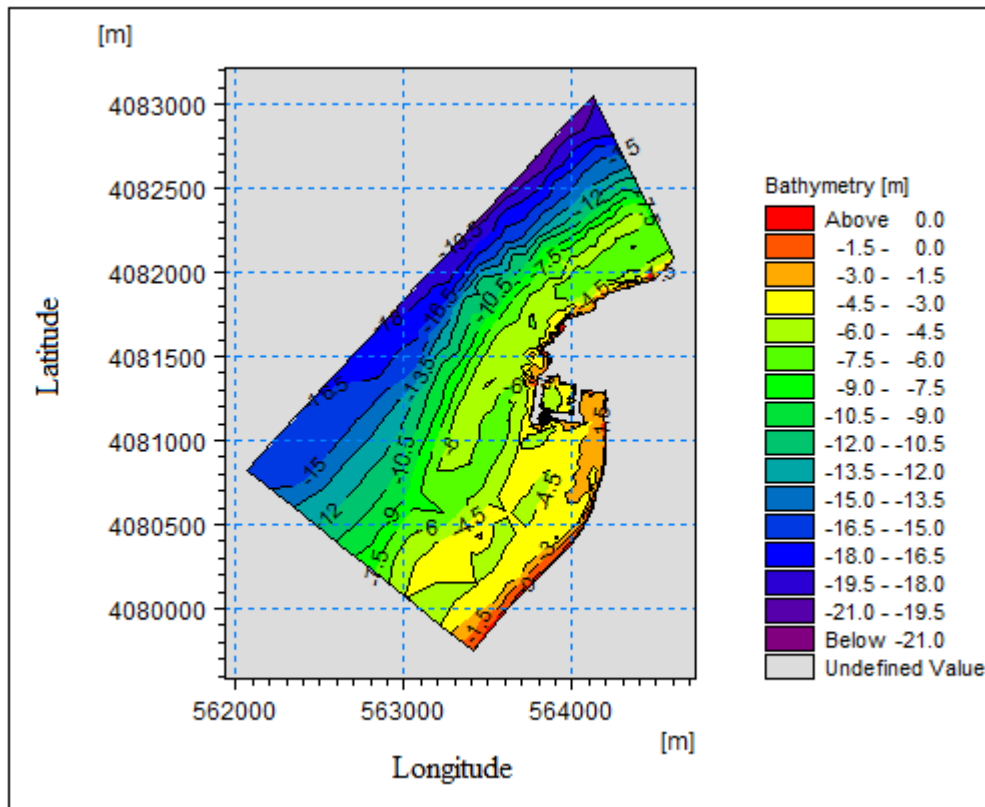
#### ➤ Résultats de l'étude bathymétrique de l'année 2009 :

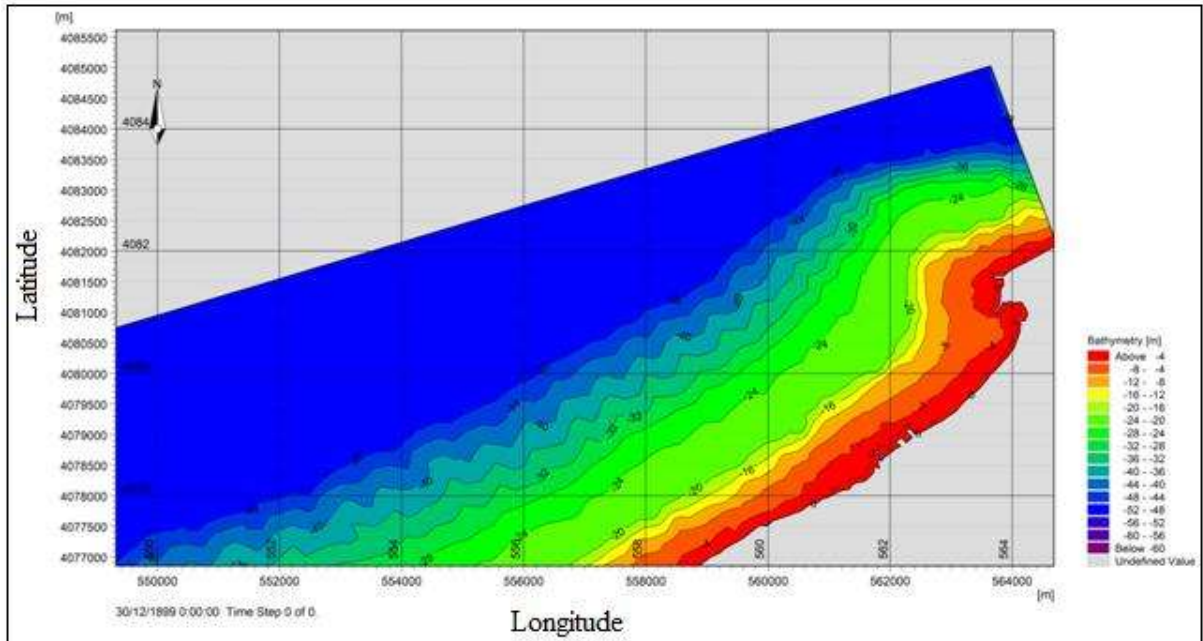
D'après la carte (Figure IV .3) nous avons distingué deux zones morphologiques :

- **La zone côtière :** qui s'étale de -1 à -7m, elle montre des isobathes généralement irrégulières et une morphologie particulière caractérisée par la présence d'une ride d'avant côte discontinue, bien développée à l'approche de la côte. Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles.

Par conséquent, cette zone est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

- **La zone au large** : Entre -7et -20m, présente des isobathes parallèles au rivage, elles sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière, cependant à l'Est du Cap les isobathes sont serrées ce qui présente probablement un petit chenal avec une pente moyenne.





**Figure IV.4 :** Carte bathymétrique de la zone d'étude (Année, 2017).

En comparant cette bathymétrie avec celle de l'année 2009, nous remarquons nettement un changement sur la morphologie sous-marine avec une augmentation du fond qui nettement plus profond après l'installation des ouvrages, et un changement au niveau des isobathes qui deviennent plus régulières.

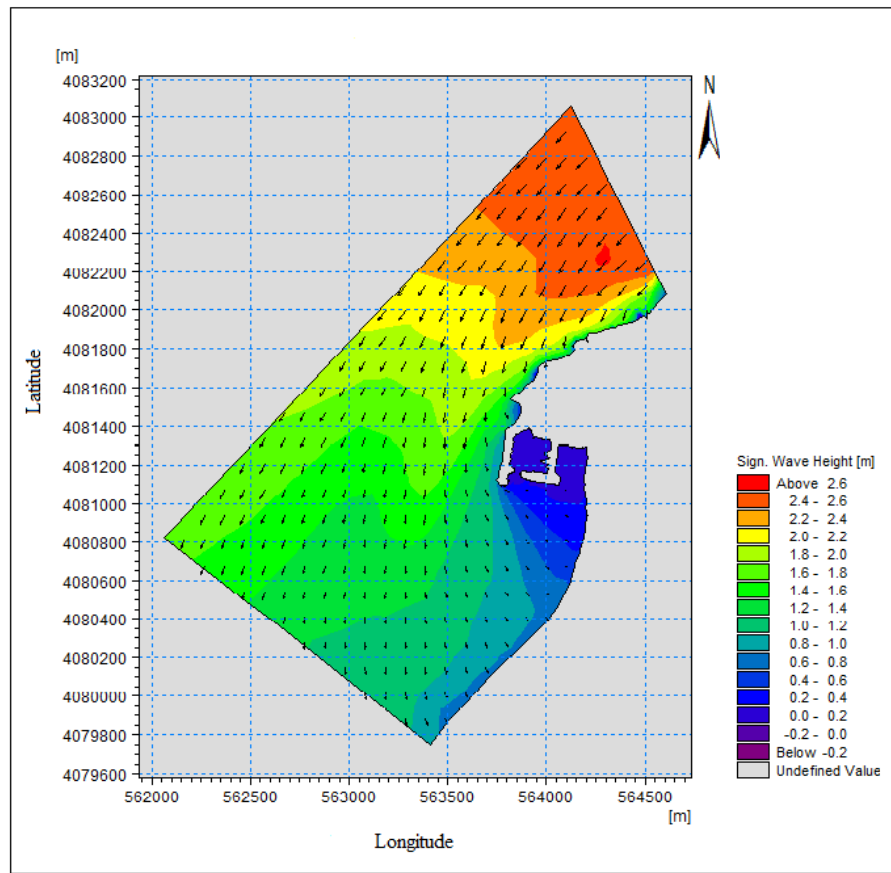
#### IV.5.3 Modélisation de la réfraction de la houle avec le module SW

Il est nécessaire de connaître les conditions de la houle pour la simulation de sa propagation. Plusieurs données ont été insérées en entrée du modèle de MIKE 21 Spectral Waves :

- Bathymétrie ;
- Période des houles ( $T_p$ ) ;
- Hauteur significatives des houles ( $H_s$ ) ;
- Directions des houles dominantes.

Vue que notre zone est exposée aux houles de secteurs Nord, Nord-Est, Nord-Ouest, nous avons choisit ces trois directions pour la simulation du SW, HD et ST avec la hauteur significative moyenne qui est de **8s** (Tableau IV.1).

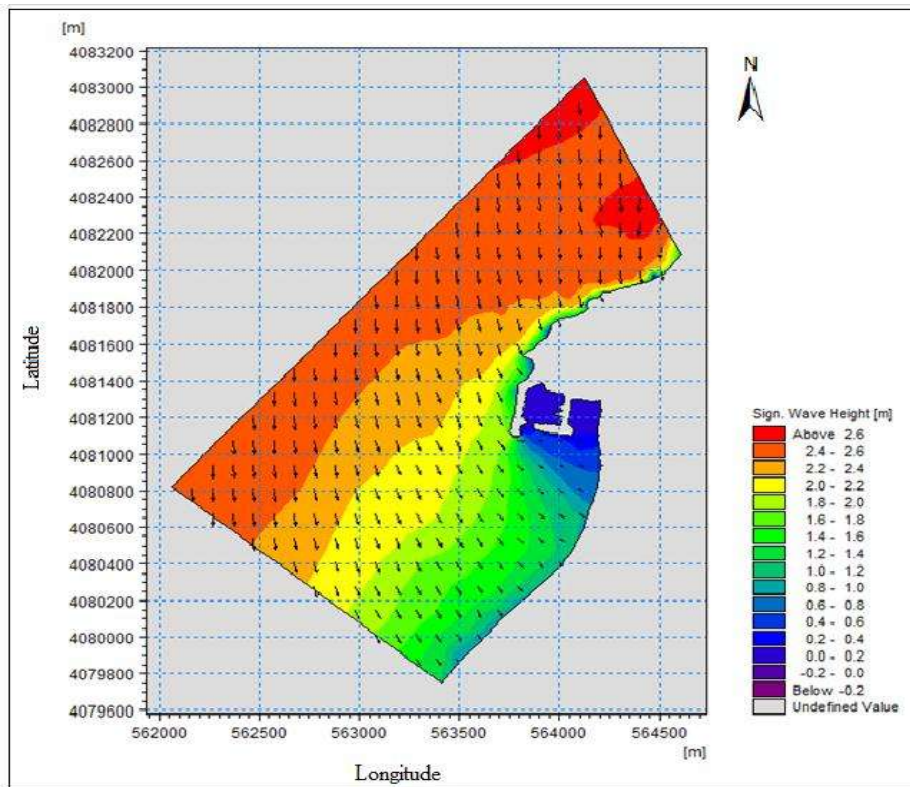
➤ **Résultat de la réfraction de la houle pour l'année 2009 :**



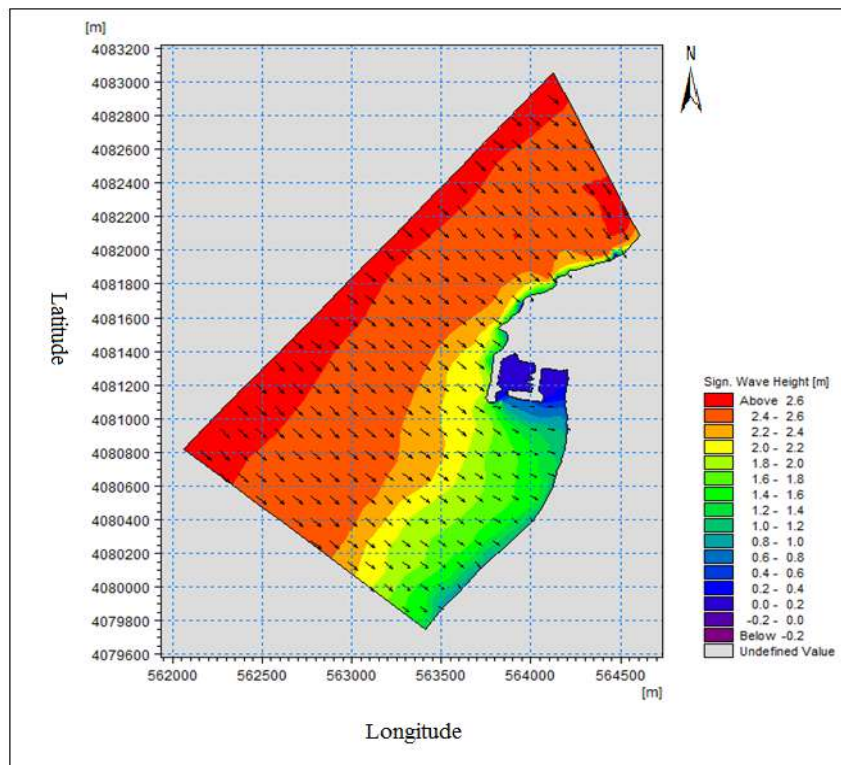
**Figure IV.5 :** Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°45 et une période de 8s (Année 2009)

La carte (Figure IV.5) représente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de direction Nord- Est, la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, la houle semble ne pas conserver son énergie du large ; au fur et à mesure lorsqu'elle commence à ressentir le fond sa hauteur diminue considérablement jusqu'à atteindre **0.2 m**, la zone apparait naturellement abritée par le Cap, les orthogonales pivotent légèrement à l'approche du rivage.

La carte (figure IV.6) illustre les résultats de la réfraction de la houle d'un secteur Nord et avec une période de **8s**, La propagation se fait latéralement à la ligne du rivage, la houle au large ne subit aucune modification avec une hauteur de **2.4m** mais au fur et à mesure, lorsqu'elle commence à ressentir le fond, sa hauteur diminue considérablement jusqu'à **0.2m**.



**Figure IV.6 :** Carte de la réfraction de la houle pour la direction  $N^{\circ}360$  et une période de 8s (Année 2009).



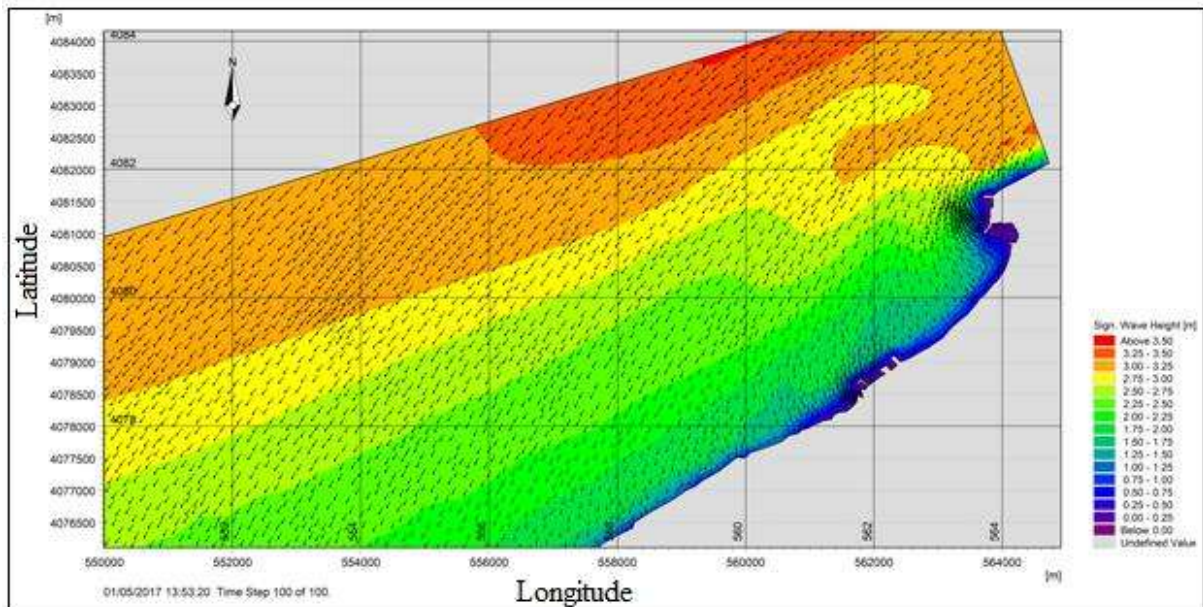
**Figure IV.7 :** Carte de la réfraction de la houle pour la direction  $N^{\circ}315$  et une période de 8s (Année 2009).

La carte (Figure IV.7) représente les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord-Ouest et de période de **8s**, la hauteur significative au large est d'une valeur de **2.6m**, nous remarquons aussi que la propagation semble se faire de façon quasi-frontale. La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage.

### ➤ Résultats de la réfraction de la houle pour l'année 2017

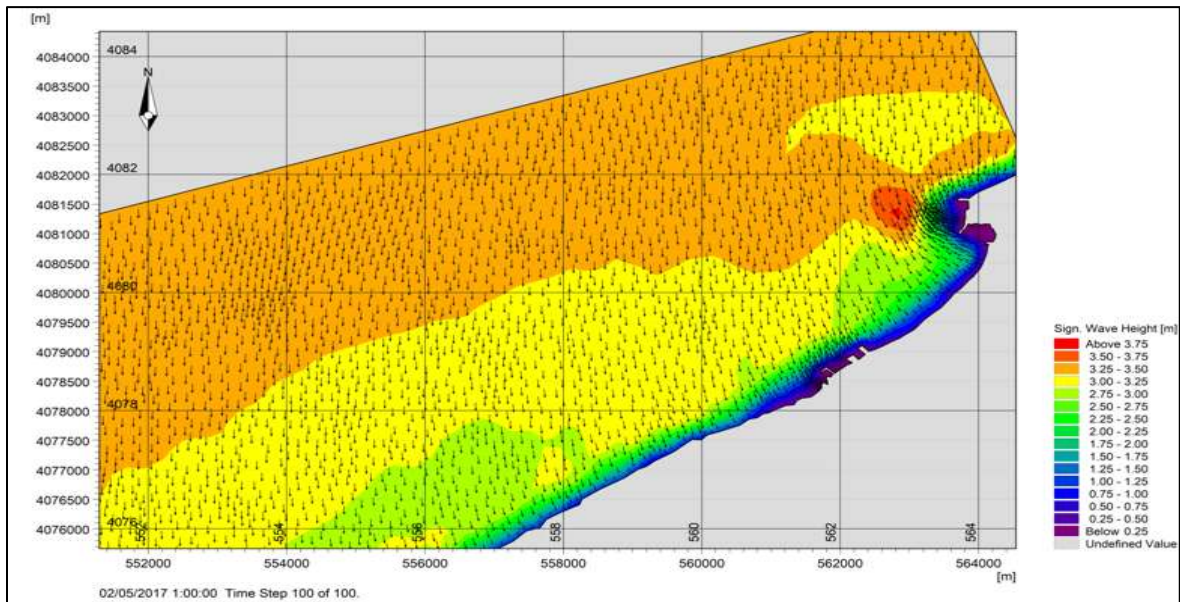
La simulation de la réfraction de la houle pour une direction de Nord-est, Nord, Nord-ouest successivement ; nous a donné les résultats suivants :

La carte de la réfraction de la houle pour un secteur Nord-est (Figure IV.8), montre que les hauteurs significatives diminuent progressivement en se rapprochant du rivage jusqu'à atteindre une hauteur de 0.5m au voisinage de la jetée secondaire, et ça favorise l'accumulation des sable et formation de la plage.

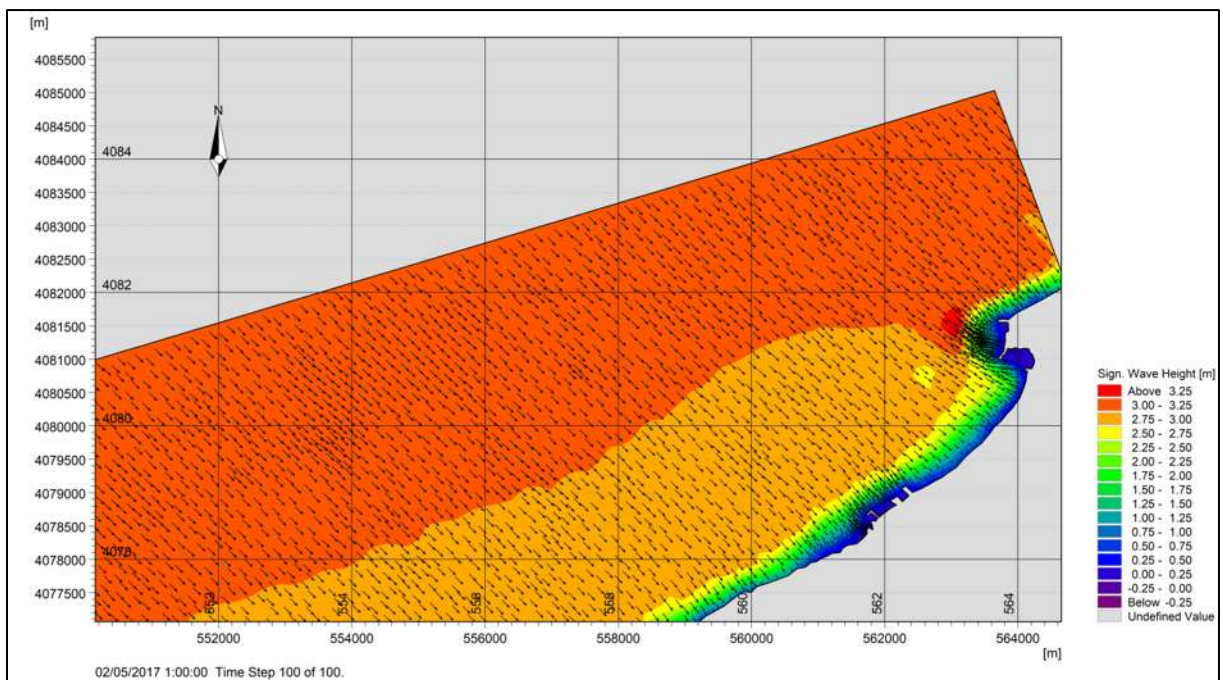


**Figure IV.8** : Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°45 et une période de 8s (Année 2017).

L'analyse de la carte de la réfraction de la houle pour un secteur Nord (Figure IV.9) montre que la houle perd une très grande intensité de son énergie dès qu'elle commence à ressentir le fond ; sa hauteur maximale est de **3.5m** et elle diminue jusqu'à atteindre **0.5m** en arrivant à la côte.



**Figure IV.9 :** Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°360 et une période de 8s (Année 2017).

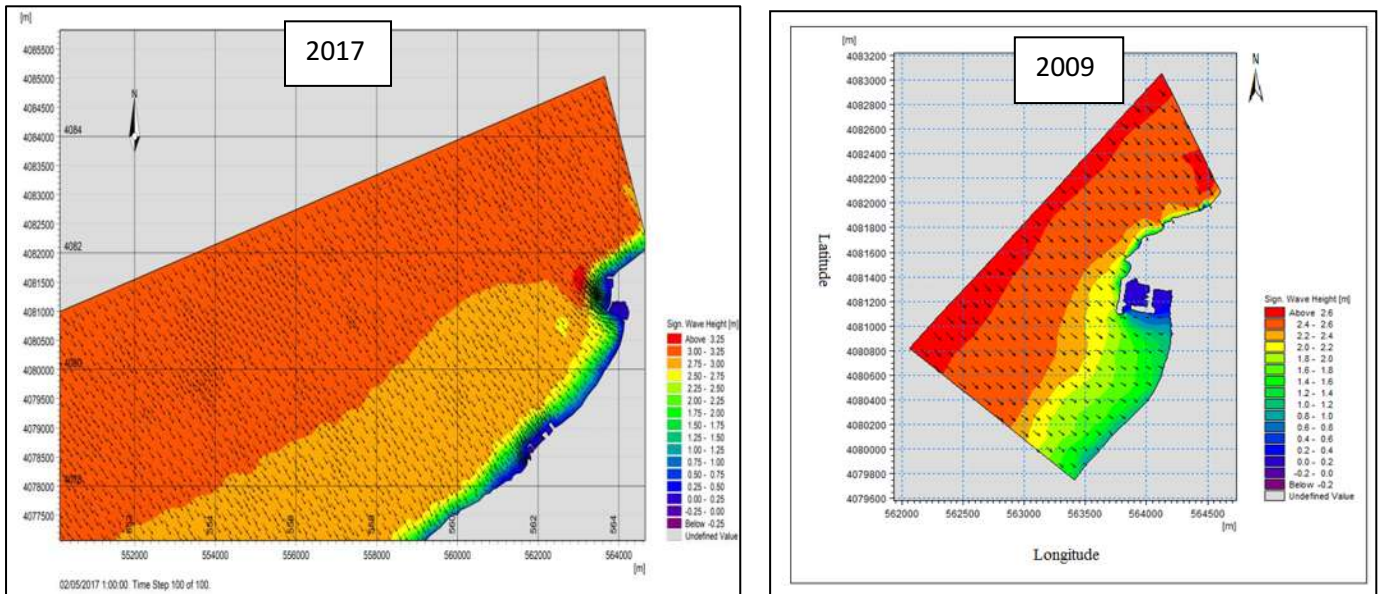


**Figure IV.10 :** Carte de la réfraction de la houle pour la direction N°315 et une période de 8s (Année 2017).

L'analyse de la carte de la réfraction de la houle pour un secteur Nord-ouest (Figure IV.10) semble identique à celle du Nord ; sa hauteur maximale est de **3.25m** au large et elle diminue progressivement jusqu'à atteindre **0.5m** en arrivant à la côte, ceci peut être expliqué par la présence des épis Nord et Sud.

➤ **Comparaison de la réfraction de la houle entre 2009 et 2017**

Les houles du secteur Nord-ouest sont les houles les plus énergétiques qui influencent notre zone, elles sont responsables du transit littoral. C'est pour cela nous avons choisit de comparer la réfraction de la houle dans cette direction pour l'année 2009 (avant l'implantation des ouvrages) et celle de 2017 (après leurs implantation) :



**Figure IV.11** : Réfraction de la houle pour la direction Nord-ouest et une période de 8s (Année 2009 ,2017).

D'après la (Figure IV.11) ; nous remarquons que de la houle atteint la côte sans être déformée et conserve partiellement son énergie jusqu'à son arrivé au voisinage de la jetée principale du port (Année 2009). Par contre ; en présence d'ouvrages de protection, les épis ont diminué énormément l'énergie de la houle incidente, l'agitation des vagues est presque nulle derrière ces ouvrages (carte 2017) . Cette diminution des Hs vers la côte pourrait s'expliquer par les fonds marins qui deviennent de plus en plus hauts au niveau de la plage induisant un frottement sur le fond.

**IV.5.4. Etude courantologique**

La simulation des champs des courants « module HD » nous a donné les résultats suivants :

➤ **Pour l'année 2009**

D'après la carte (Figure IV.12) nous remarquons que le champ de courant génère notre zone avec une vitesse maximale de **0.75 m/s** dans la partie Est au niveau de l'épi Nord qui se diminue au niveau du port pour atteindre une vitesse de **0.3m/s**, ce qui confirme le

phénomène d'ensablement du port, tandis que le reste des points considérés n'ont pas enregistré de valeurs de courant considérables.

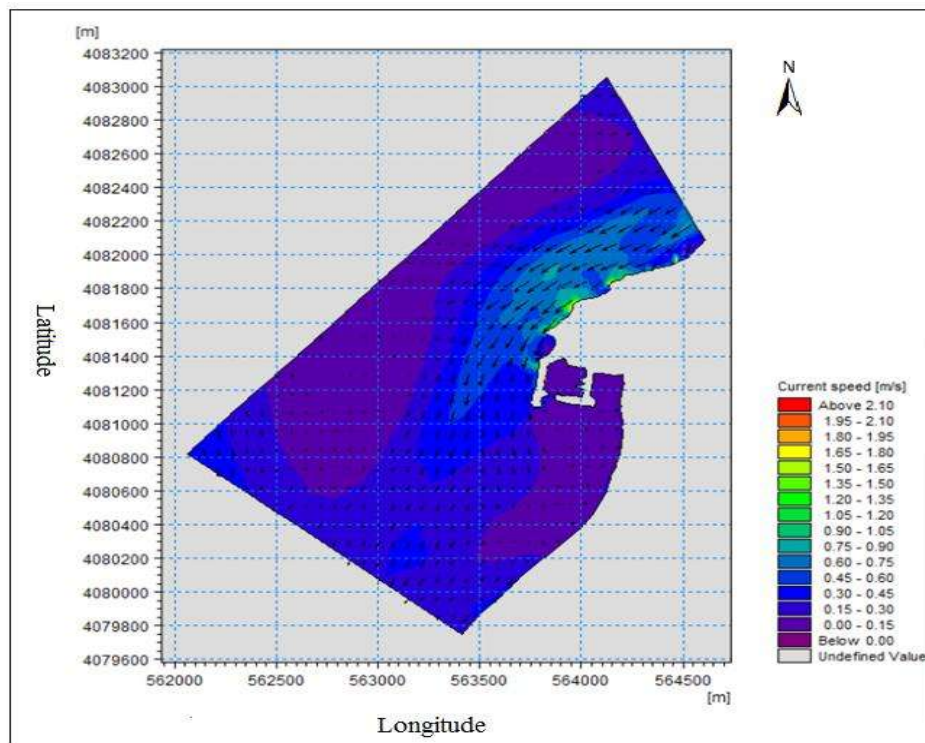


Figure IV.12 : Carte qui représente le champ des courants de la direction N°45 pour une période de 8s (Année 2009).

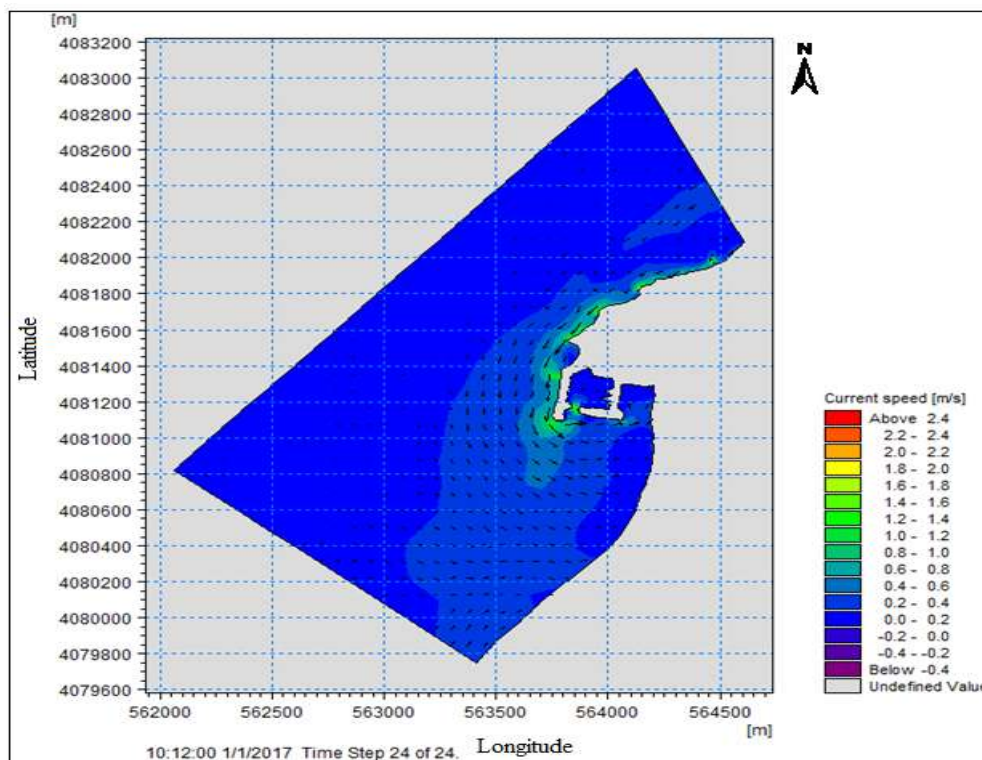
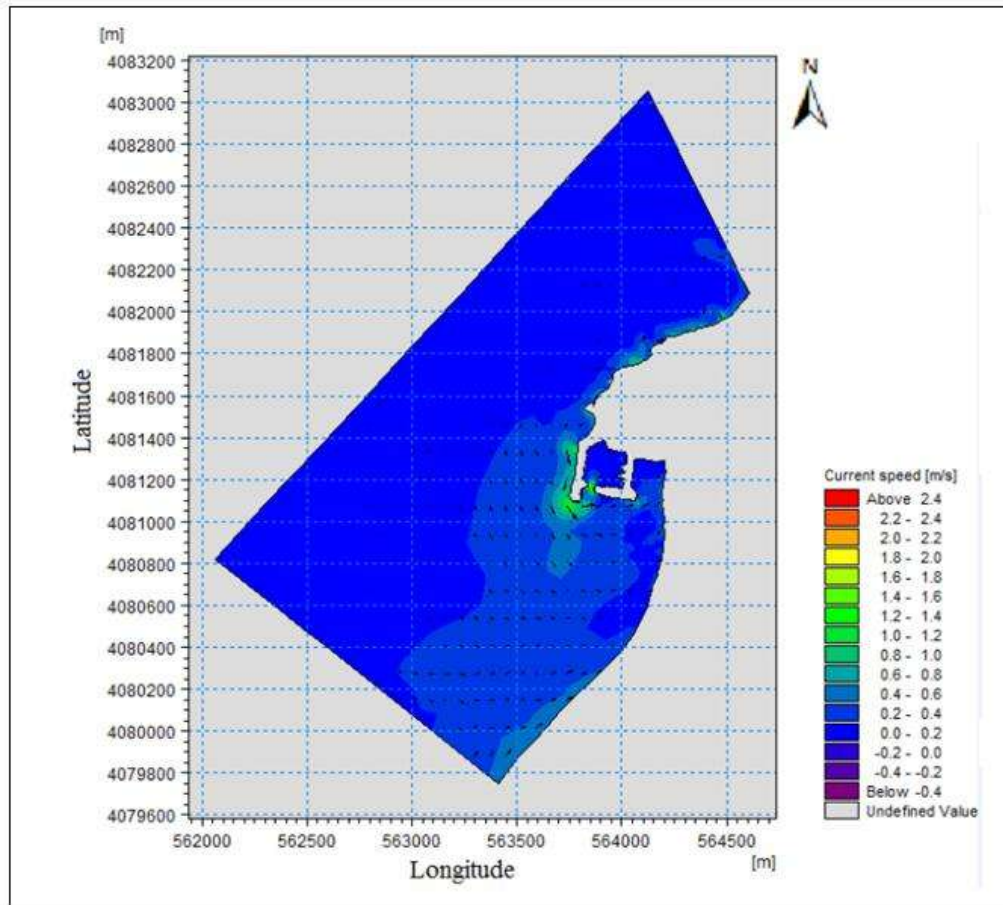


Figure IV.13 Carte qui représente le champ des courants de la direction N°360 pour une période de 8s (Année 2009).

D'après la carte (figure IV.13) ; nous remarquons que les courants génèrent presque sur toute la zone, le champ de courant atteint sa valeur maximale de **0.8m/s** au niveau de l'épi Nord et la jetée principale du port de l'Est vers le sud, nous observons des grands mouvements tourbillonnaires au niveau de cette dernière.



**Figure IV.14** : Carte qui représente le champ des courants de la direction N°315 pour une période de 8s (Année 2009).

Pour cette direction (Figure IV.14) nous remarquons que le champ de courants génère qu'au niveau de la jetée principale du port où il atteint sa valeur maximale de **1m/s** ce qui explique aussi l'accrétion du sable au niveau de celui-ci, tandis que le reste des points considérés n'ont pas enregistré de valeurs de courant considérables.

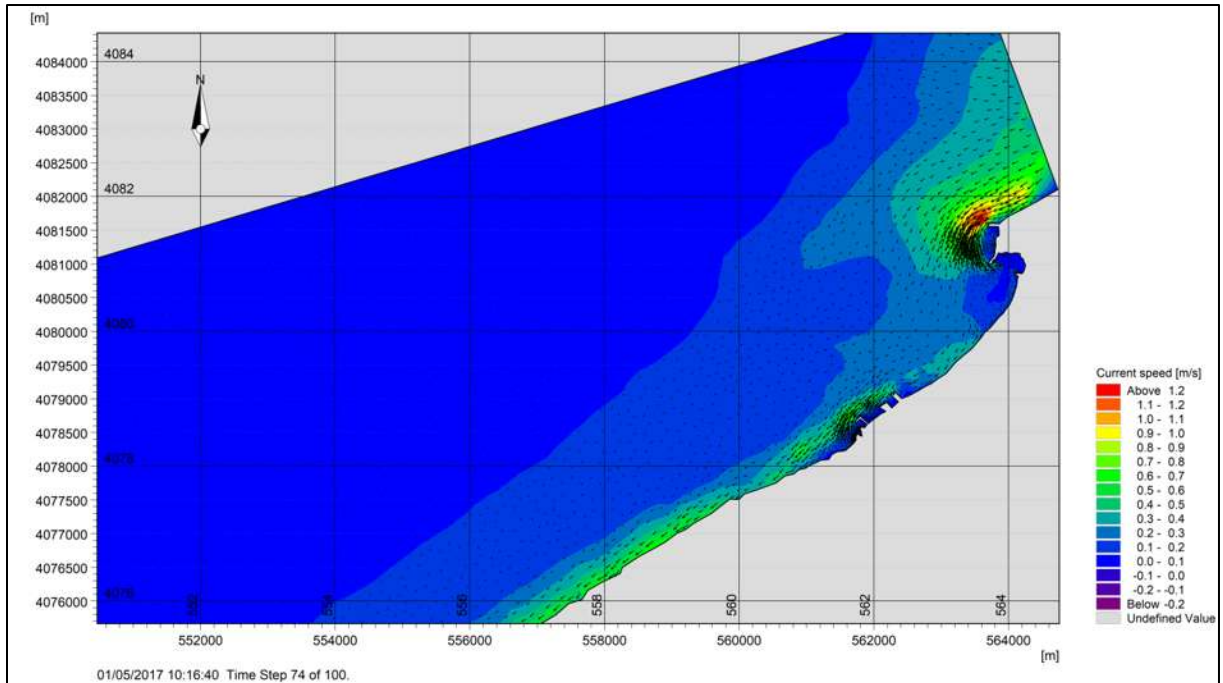
#### **Résultats de la simulation des champs de courants pour l'année 2017**

La simulation du module HD pour une direction de Nord-Est, Nord, Nord-Ouest successivement ; nous a donné les résultats suivants :

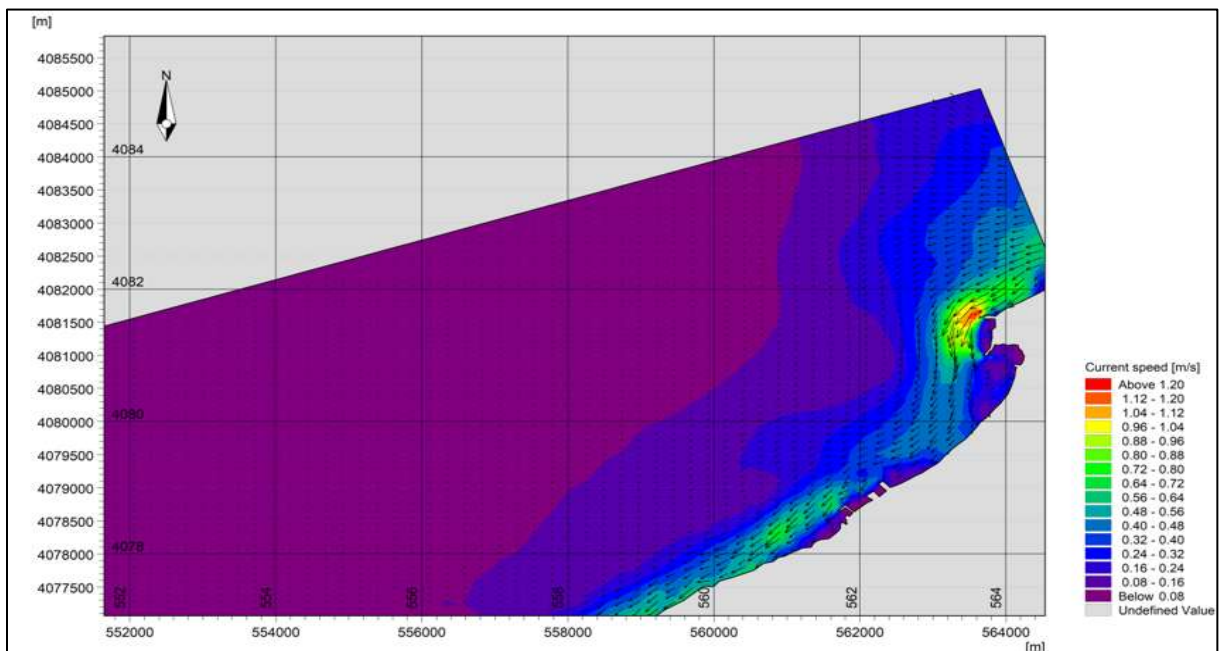
Les champs des courants (Figure IV.15) montrent des activités hydrodynamiques presque dans toute la zone surtout dans la partie Est où nous remarquons un courant de dérive littoral parallèle à la côte, le courant atteint sa vitesse maximale au niveau de la zone

## Modélisation hydrodynamique

comprise entre l'épi Nord et la jetée principale du port avec une valeur de **0.3 à 0.8 m/s**. La vitesse diminue considérablement en arrivant à la côte, elle est presque nulle au niveau de l'épi Sud avec une valeur de **0.1m/s** ce que favorise ledépôt des sédiments, ceci peut être expliqué par la faible énergie des houles qui atteignent le rivage dans le secteur sud.



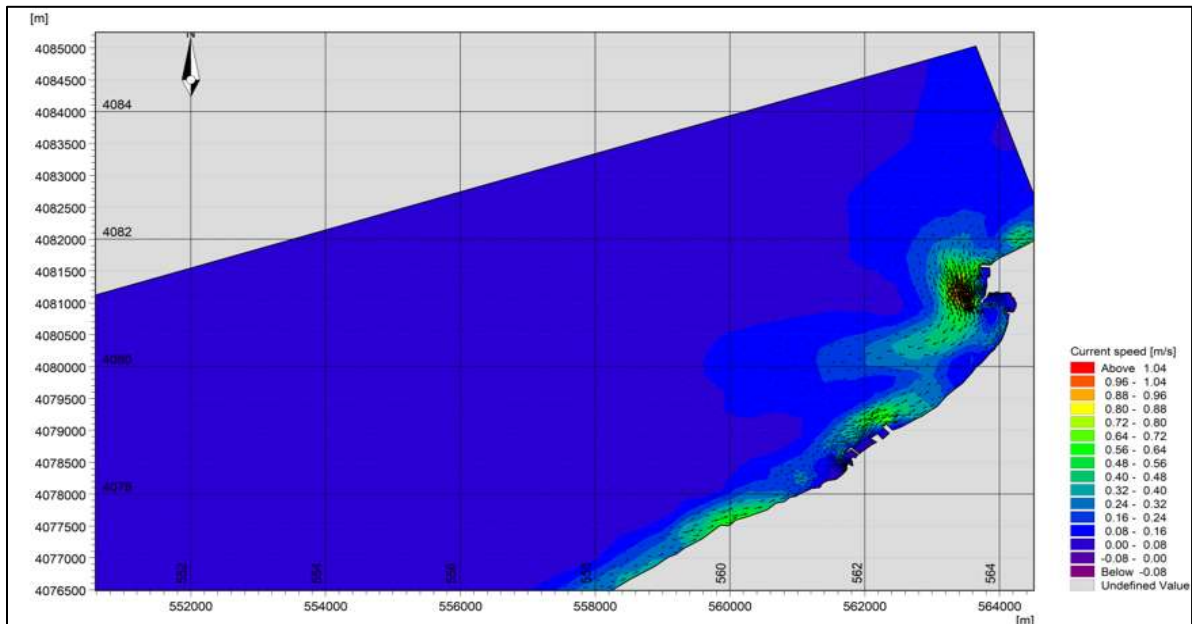
**Figure IV.15 :** Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°45 et une période de 8s (Année 2017).



**Figure IV.16 :** Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°360 et une période de 8s (Année 2017).

## Modélisation hydrodynamique

Le champ des courants pour une houle de secteur Nord (Figure IV.16) semble identique à celui de la direction Nord-Est, nous remarquons qu'au niveau de l'épi Nord et le port un courant très fort qui est de **0.8 m/s**.



**Figure IV.17 :** Carte qui représente le champ des courants pour une houle de direction N°315 et une période de 8s (Année 2017).

Le champ des courants pour une houle de secteur Nord-ouest (Figure IV.17) semble identique à celui de la direction Nord mais avec une vitesse moins intense entre **0.5m/s** et **0.72 m/s** au niveau de la plage Est et du port.

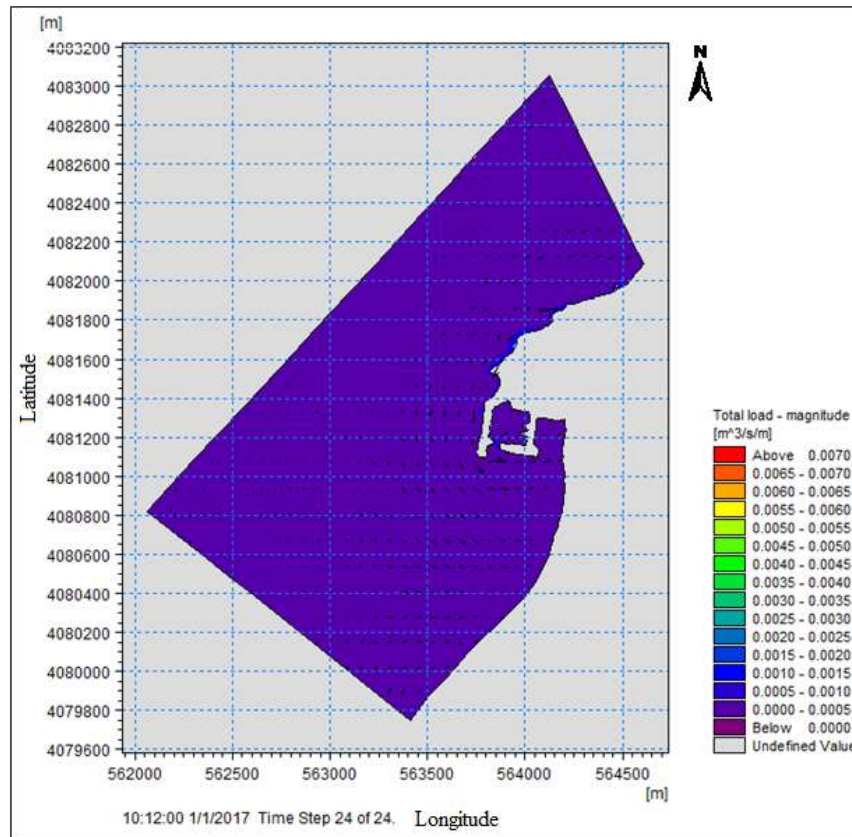
### IV .5.5. Modélisation du transport sédimentaire

Le modèle MIKE21 ST simule le transport de sédiments non cohésifs soit sous l'action d'un courant seul, soit sous l'action combinée de la houle et du courant.

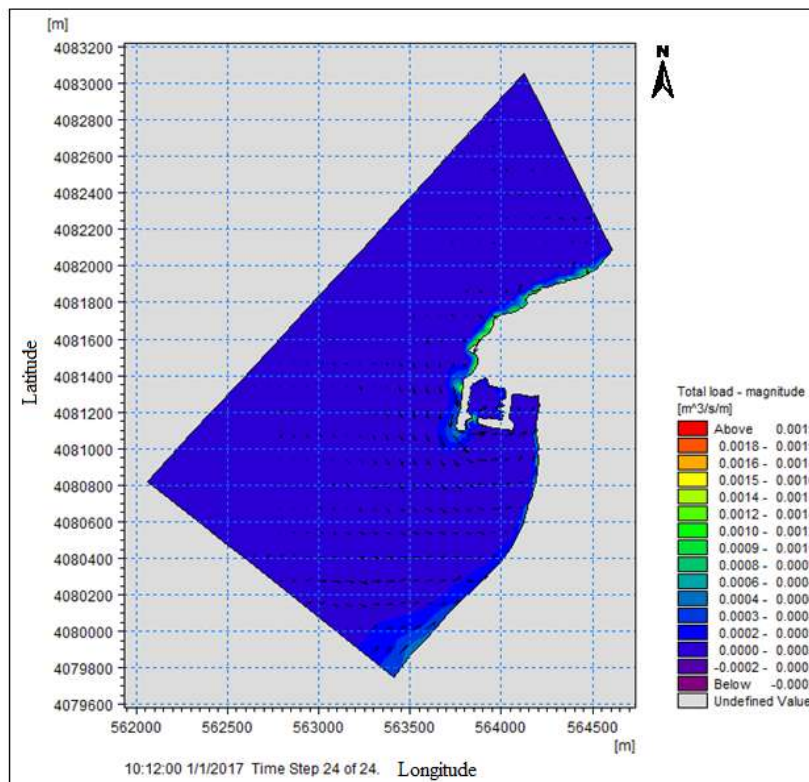
La simulation du transport sédimentaire nous a permis d'obtenir les résultats suivants :

#### ➤ Pour l'année 2009

D'après la carte de la modélisation du transport sédimentaire (Figure IV.18) nous remarquons que 90% de notre zone représente une couleur qui traduit une capacité de transport solide égale à **7884m<sup>3</sup>/an/m**, elle augmente au niveau de l'épi Nord.



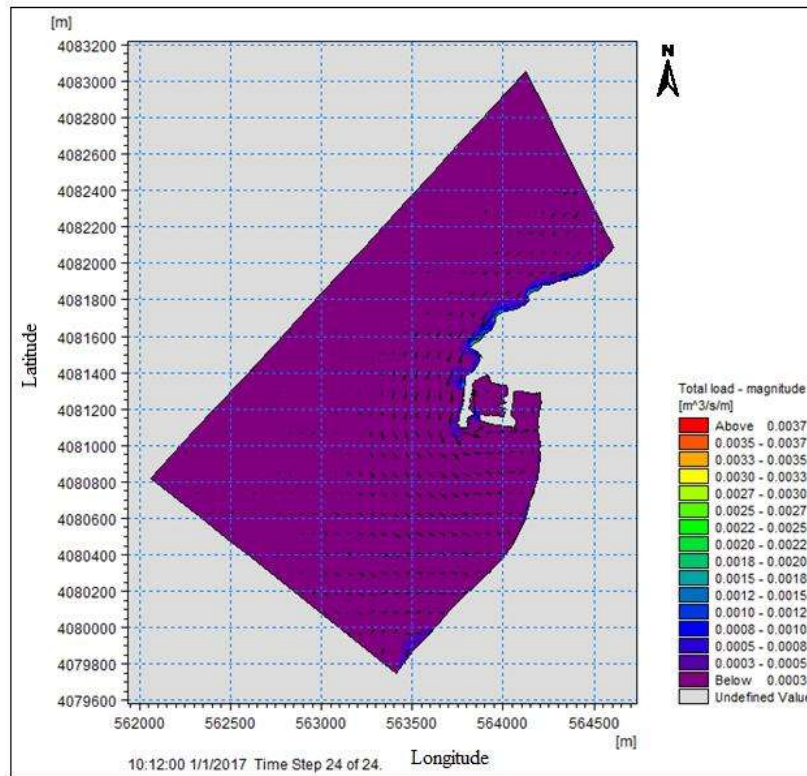
**Figure IV.18 :** Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 45N° et période de 8s (Année2009).



**Figure IV.19 :** Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 315 N° et une période de 8s (Année 2009).

## Modélisation hydrodynamique

La modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 315N° et une période de 8s (Figure IV.19) montre que la quasi-totalité du transport solide traduit capacité de **6307.2m<sup>3</sup>/an/m**, avec une augmentation de cette capacité au niveau de la jetée principale du port d'une valeur de **9460.8m<sup>3</sup>/an/m**.

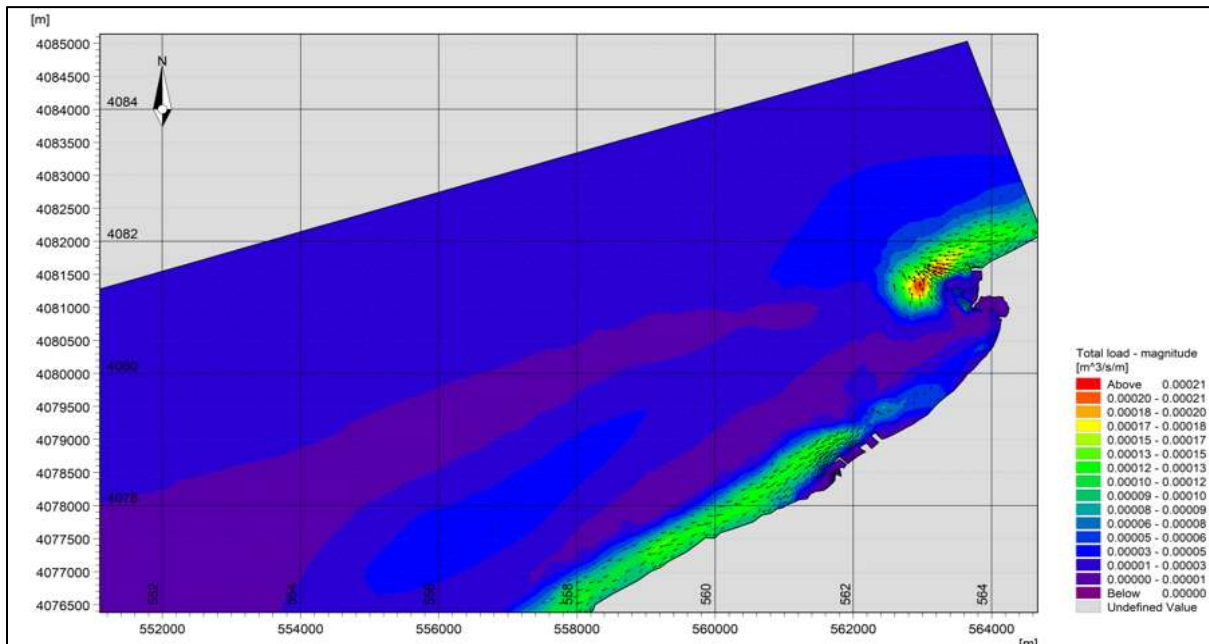


**Figure IV.20** : Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360 N° et une période de 8s (Année 2009).

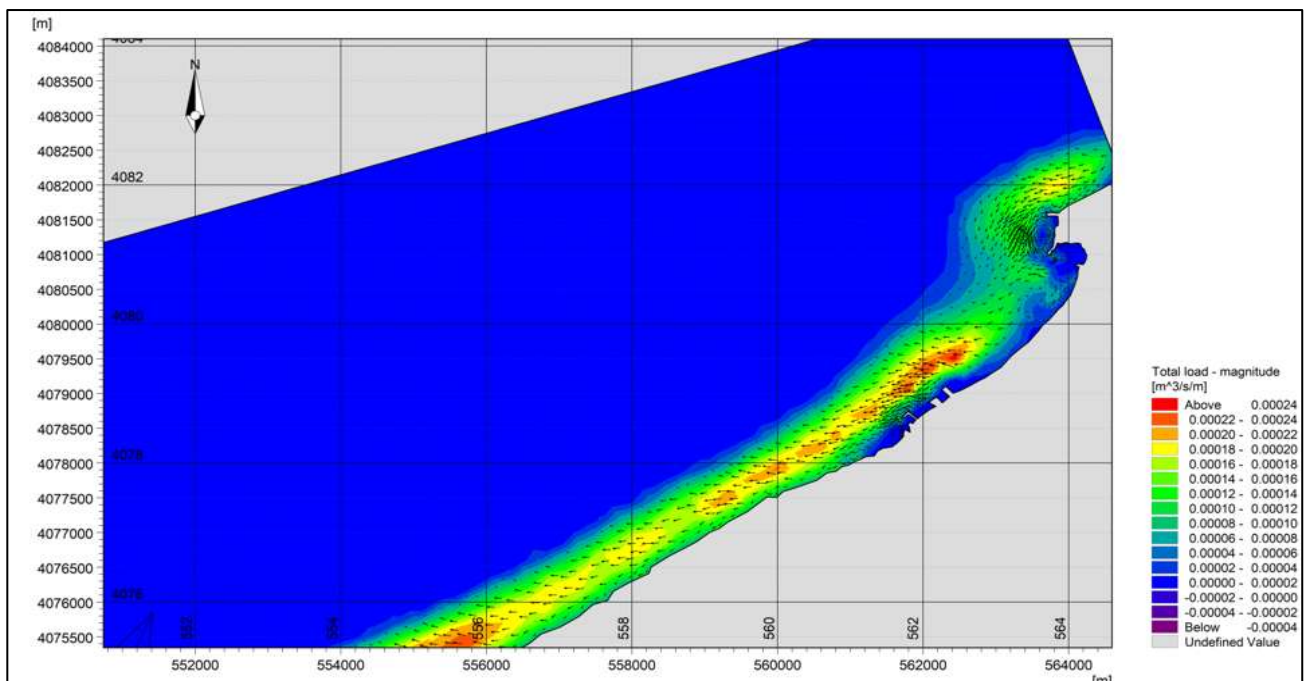
La modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360 N° et une période de 8s (Figure IV.20) montre aussi que dans notre zone la quasi-totalité du transport traduit une capacité de transport solide égale **9460,8 m<sup>3</sup>/an/m**, la capacité la plus élevée se concentre au niveau de l'épi Nord et la jetée principale du port et qui égale à **1576.8 m<sup>3</sup>/an/m**.

### ➤ Pour l'année 2017 (Après l'installation des épis)

La modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 45N° et une période de 8s (Figure IV.21) montre que les valeurs les plus élevées du transport solide se concentre au niveau de la plage Est (épi Nord) qui traduisent une capacité de **4415.04 à 6307.2m<sup>3</sup>/an/m** ceci est peut être due à l'implantation de l'épi Nord qui freine considérablement le transit littoral.



**Figure IV.21 :** Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 45° et une période de 8s (Année 2017).

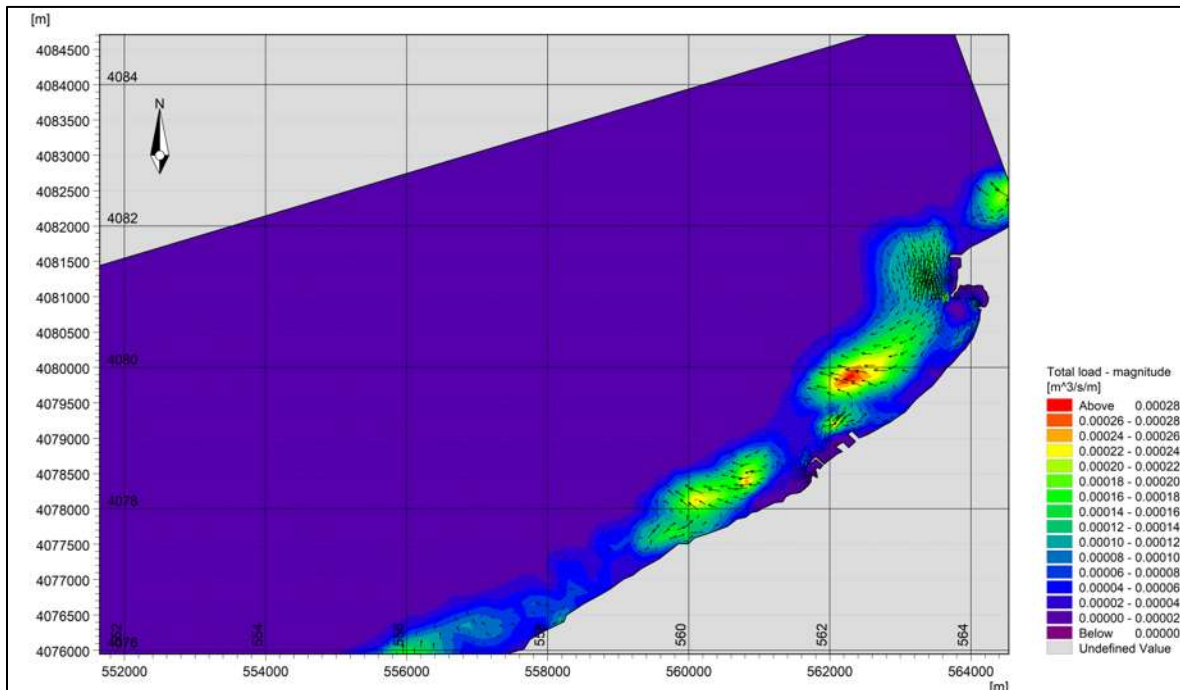


**Figure IV.22 :** Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360° et une période de 8s (Année 2017).

La modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 360N° et une période de 8s (Figure IV.22) montre que le transport solide dans la plage Est au niveau de l'épi Nord et la jetée principale du port est d'une capacité de **4730.4 m³/an/m** (atteint sa

## Modélisation hydrodynamique

valeur maximale), nous remarquons aussi qu'il est transporté de l'Est vers l'Ouest avec un très grand taux de sédiment accumulé dans le port d'une valeur de **7568.64 m<sup>3</sup>/an/m**.



**Figure VI.23** Modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 315° et une période de 8s (Année 2017).

La modélisation du transport sédimentaire pour une houle de direction 315N° et une période de 8s (Figure IV.23) montre que le transport solide dans la plage Est au niveau de l'épi Nord et la jetée principale du port est d'une capacité de **4730.4 m<sup>3</sup>/an/m** nous enregistrons aussi un taux maximale transporté de l'Est vers l'Ouest dans les grandes profondeurs avec une valeur de **7568.64 m<sup>3</sup>/an/m**.

### Conclusion :

Notre étude montre qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large. Les houles provenant de la direction Nord-ouest sont les plus fréquentes et responsables du transit littoral, les courants proviennent du secteur Nord-Est sont responsables du transport sédimentaire ; leurs intensité a diminué après l'implantation des épis mais le taux de sédiment a augmenté (au niveau des infrastructures portuaires).

**Chapitre V :**  
**Évolution du trait de côte**

### **Introduction :**

Une ligne de rivage correspond à l'intersection de la lithosphère avec l'hydrosphère marine.

Sa position connaît des modifications en liaison avec le va-et-vient de la marée et le déferlement des vagues, mais on peut définir un niveau moyen de la mer, de marée nulle et sans vague, qui semble fixe et auquel on se réfère pour mesurer l'altitude d'un point de la surface d'un continent. En réalité, ce niveau marin, outre des oscillations de courte durée, est affecté par des variations à long terme dont la connaissance est indispensable pour comprendre la morphologie et l'évolution des littoraux (ROLAND PASKOFF, 1998).

Ces dernières décennies de nombreuses approches ont été développées pour tenter de prédire l'évolution morphologique des plages, parmi elles nous abordons une approche incluant les SIG et l'imagerie satellitaire. Nous avons appliqué cette démarche sur le linéaire de la plage.

### **Historique d'évolution du trait de côte de la plage Cap Djinet :**

Durant la construction du port de pêche et de plaisance de Cap Djinet, un important phénomène d'ensablement était observé, gênant la poursuite des travaux. Parallèlement, la plage adjacente à ce port connaît une érosion très accrue du fait de la perturbation de l'équilibre sédimentaire. Le taux d'accumulation du sable au niveau du port et le recul de trait de côte de la plage adjacente est lié directement ou indirectement à l'artificialisation du littoral à savoir l'urbanisme et d'autres phénomènes naturels.

Dans ce chapitre nous avons étudié l'évolution du trait de côte de Cap Djinet sur une période de 15 ans de 2002 à 2017, et pour mener à bien cette étude nous avons divisé le chapitre en quatre points essentiels correspondant à quatre périodes:

- La période avant la construction du port ; de 2002 à 2009.
- La période après l'implantation de ce port et avant l'implantation des ouvrages de protection (l'épi Nord); de 2009-2011.
- La période après l'implantation de ces ouvrages (après l'implantation de l'épi Sud); de 2014 à 2017.
- Toute la période allant de 2002 jusqu'à 2016.

Le choix de ces périodes se fait en fonction de la mise en place des différentes infrastructures.

## **V.1. Méthodes et techniques utilisées**

### **V.1.1. Les logiciels utilisés**

#### **1. Google Earth Pro**

C'est un logiciel qui contient des images de grande résolution. Ces images sont issues d'entreprises de commercialisation d'images et sont archivées sur le serveur de Google Earth Pro qui est accessible par connexion à l'internet. Elles sont mises à jour au fur et à mesure.

#### **2. ArcGIS 10.2**

ArcGis est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

#### **3. Le Système d'analyse de la rive numérique (DSAS)**

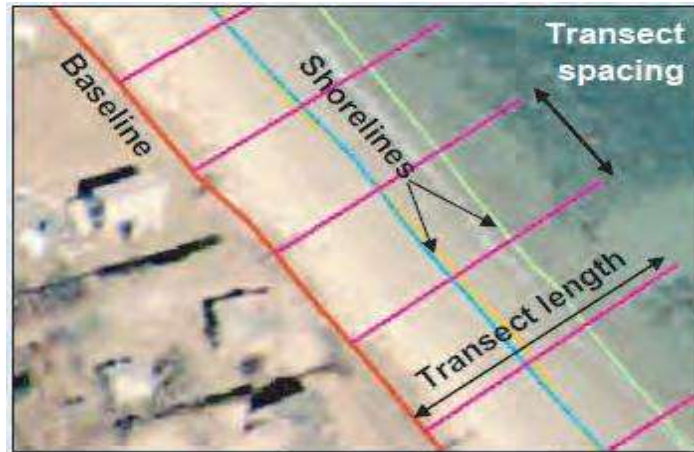
ArcGIS 10.2 a été utilisé pour numériser et créer une position de rivage unique au cours de l'année spécifique et la ligne de base. La mesure du changement historique dans la position du littoral a été formalisée dans Digital Shoreline Analysis System Application 4.1 (DSAS), une extension de ArcMap Développée par le United States Geological Survey utilisée pour interpréter le littoral historique (Thieler et al., 2009). Avant d'utiliser le DSAS pour calculer les statistiques de modification, l'initiale étape de préparation de données est prise pour référencer tous les vecteurs riverains aux mêmes caractéristiques et chaque vecteur riverain représente une période de temps spécifique et doit être attribué à une date dans le tableau des attributs de classe au bord de rivage (Thieler et al, 2009).

Le DSAS permet de calculer les taux de changement de littoral à partir de plusieurs positions historiques du littoral. Une interface conviviale de simples boutons et menus guide l'utilisateur à travers les étapes principales de l'analyse des changements de rivage. Les composants de l'extension incluent des instructions sur la manière appropriée de définir une ligne de référence pour les mesures, la génération automatisée et manuelle des transects de mesure, des métadonnées en fonction des paramètres spécifiés par l'utilisateur et la production des taux calculés de l'évolution du littoral et d'autres informations statistiques (Himmelstoss, 2009).

Le DSAS génère automatiquement des transects qui sont moulés perpendiculairement à la ligne de base à un espacement spécifié par l'utilisateur le long du littoral. La distance entre la ligne de base et chaque point d'intersection du rivage sur le transect DSAS peut être utilisée pour calculer plusieurs paramètres statistiques et mesures de distance.








## L'évolution du trait de côte

Les résultats de tous les calculs sont affichés dans une table qui peut être liée au fichier transect par un champ d'attribut commun. DSAS est destiné à faciliter le processus de calcul du changement de rivage et à fournir des informations sur le taux de changement et les données statistiques nécessaires pour établir la fiabilité des résultats calculés.



**Figure V.1 :** Le concept du DSAS, d'après User Guide & Tutorial for the Extension for ArcGISv.9.0 Digital Shoreline Analysis System (Thieler *et al*, 2005).

### 3.1. Barre d'outils de DSAS :

	Définir ou modifier les paramètres; spécifier les noms des fichiers
	générer une nouvelle classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur
	le menu déroulant ; enregistrer tous les fichiers de transects ajoutés aux projet ArcMap actif
	calculer les statistiques; lancer une boîte de dialogue avec une liste spécifique des statistiques du taux à calculer
	lancer une boîte de dialogue offrant aux utilisateurs la possibilité de générer une copie du fichier de profils spécifié qui est accroché à l'enveloppe de changement de rivage
	fonction d'aide du DSAS
	information sur le DSAS et le numéro de la version

**Figure V.2 :** Barre d'outils de DSAS (Thieler *et al*, 2005).

### 3.2. Les indicateurs du DSAS

Trois méthodes statistiques ont été utilisées pour calculer la variation des taux de rivage et de la distance y compris le taux de pointe (EPR), le mouvement net de la côte (NSM) et linéaire Régression (LRR).

L'évolution du trait de côte

### **3.2.1. Mouvement net des rivages (NSM)**

Le mouvement du littoral net signale une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il rend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil (Ibrahima Faye, 2012).

NSM = la distance totale entre les rives les plus anciennes et les plus jeunes.

### **3.2.2. Le taux de point final (EPR)**

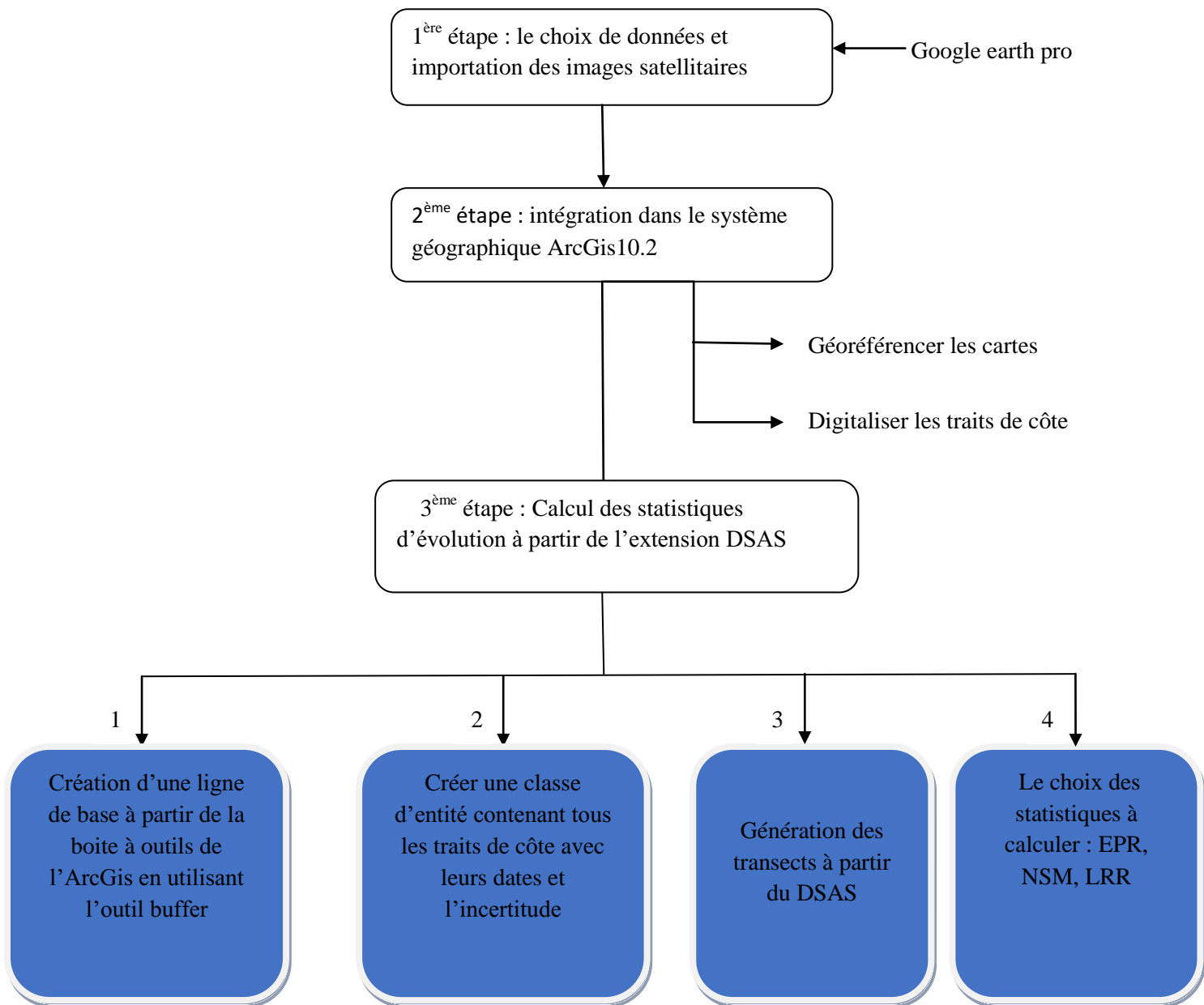
Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la plus ancienne et la rive la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement deux dates du littoral (Ibrahima Faye, 2012).

$EPR (m / an) = \text{distance} / (\text{temps entre les rives les plus anciennes et les plus jeunes})$ .

### **3.2.3. Le Linear Regression Rate-of-change (LRR)**

Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés. Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates, car la méthode de calcul tient compte de la tendance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (Ibrahima Faye, 2012).

### V.1.2. Méthodologie suivie



**Figure V.3 :** Organigramme qui résume les différentes étapes suivies (réalisé par SAID HADDAD).

### V.1.3. Méthode de digitalisation

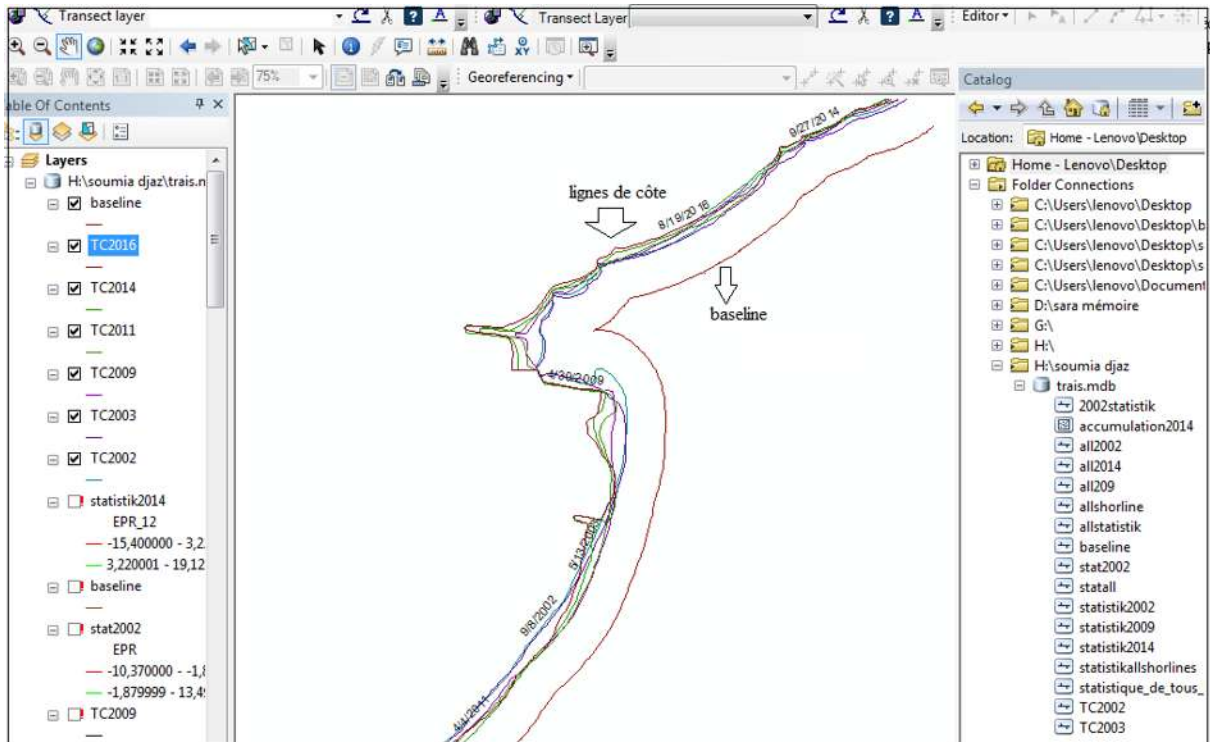
- **Volet cartographique**

A partir de Google earth pro nous avons extrait des différentes images correspondant aux différentes dates 2002-2017.

Après avoir géoréférencer ces cartes et digitaliser les différents traits de côte sous ArcGis en choisissant le système de projection WGS UTM Nord 31 ; nous avons créé une ligne

## L'évolution du trait de côte

de base qui est entièrement parallèle au changement moyenne des différents rivages (Figure V.4).



**Figure V.4 :** Digitalisation des traits et création d'une ligne de base.

- **Volet graphique et statistique**

Après la digitalisation des différents traits de côte et génération des transects perpendiculaire à la ligne de base avec une longueur de 200 m et un espace de 10 m à l'aide de l'extension DSAS, un support statistique de cette extension va nous permettre d'avoir une analyse détaillée sur la variation de la ligne de rivage et contient les indicateurs de taux d'évolution que nous avons défini déjà : NSM, EPR, LPR qui les affichent après une exécution sur le DSAS(Figure V.5).

## L'évolution du trait de côte

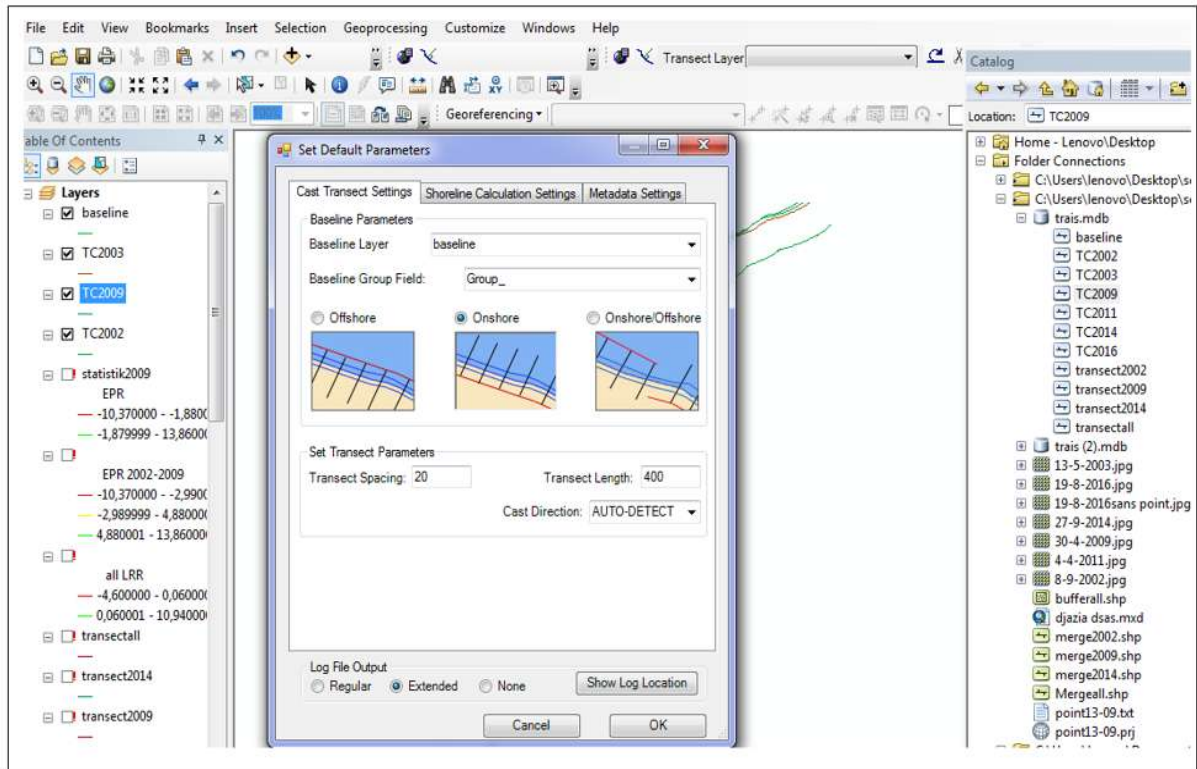


Figure V.5 : Génération des transects à l'aide de DSAS

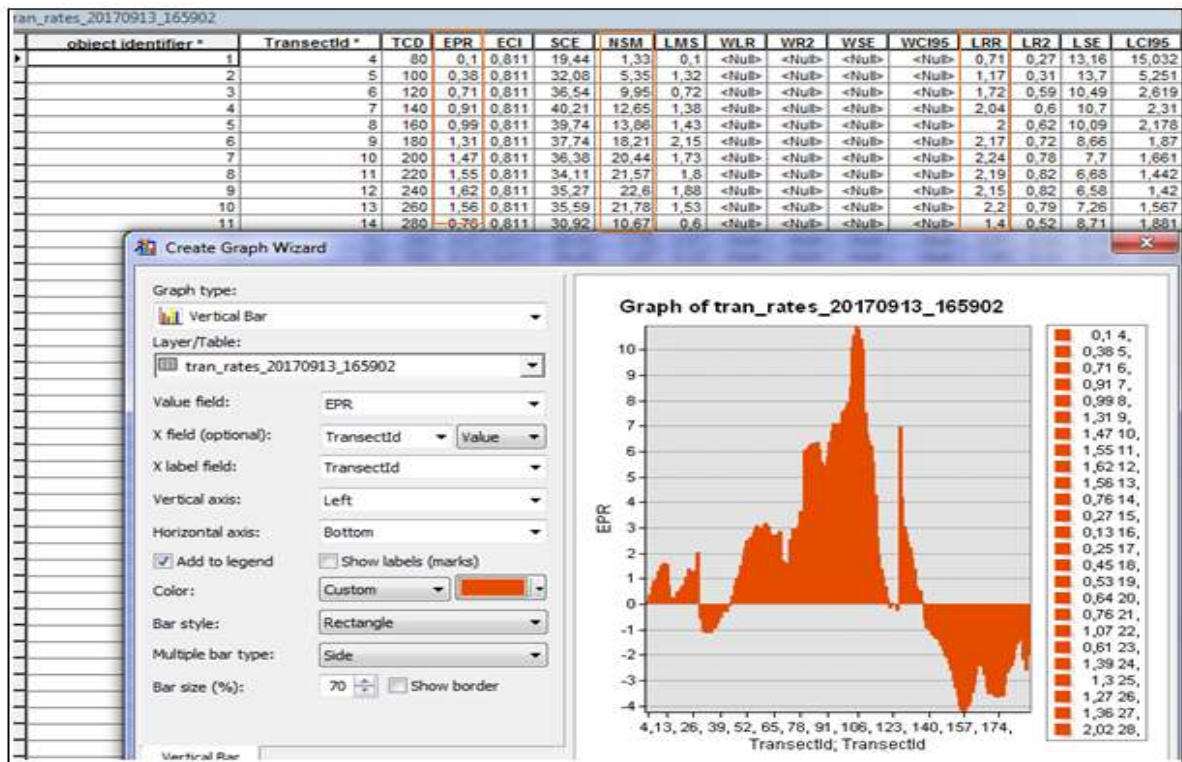
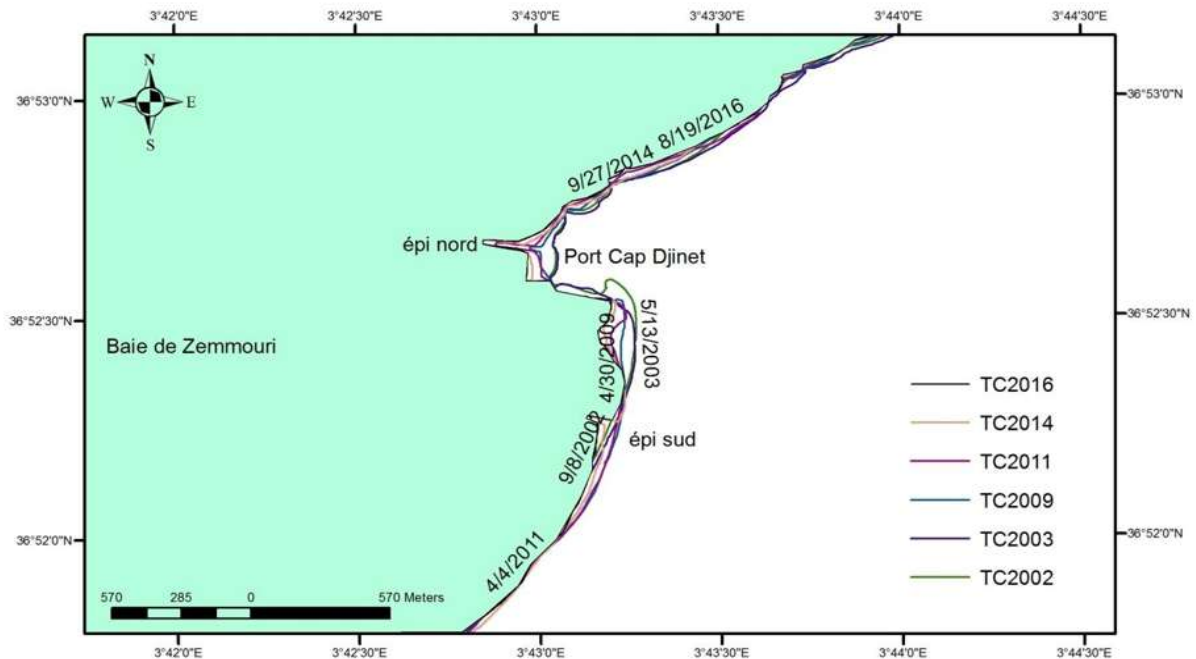


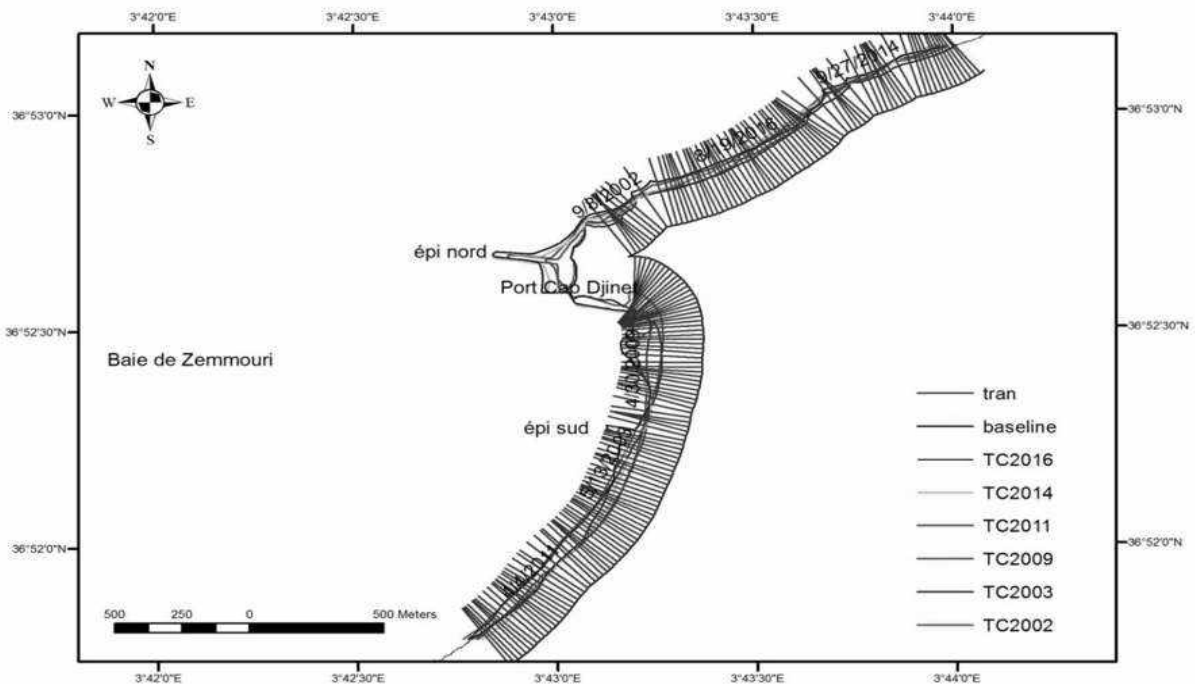
Figure V.6 : La table attributaire issue lors du traitement sous ArcMap.

## V. 2. Résultats et discussion

L'évaluation des variations spatio-temporelles de la position du trait de côte de 2002 à 2016, met en évidence un découpage spatial de la plage, en surface d'érosion et d'accrétion, et permet de visualiser l'évolution morphologique dans le temps.



**Figure V.7 :** Évolution de la ligne de côte de Cap Djinet entre 2002 et 2016(SAID HADDAD).



**Figure V.8 :** Position des transects générés à partir de DSAS(SAID HADDAD).

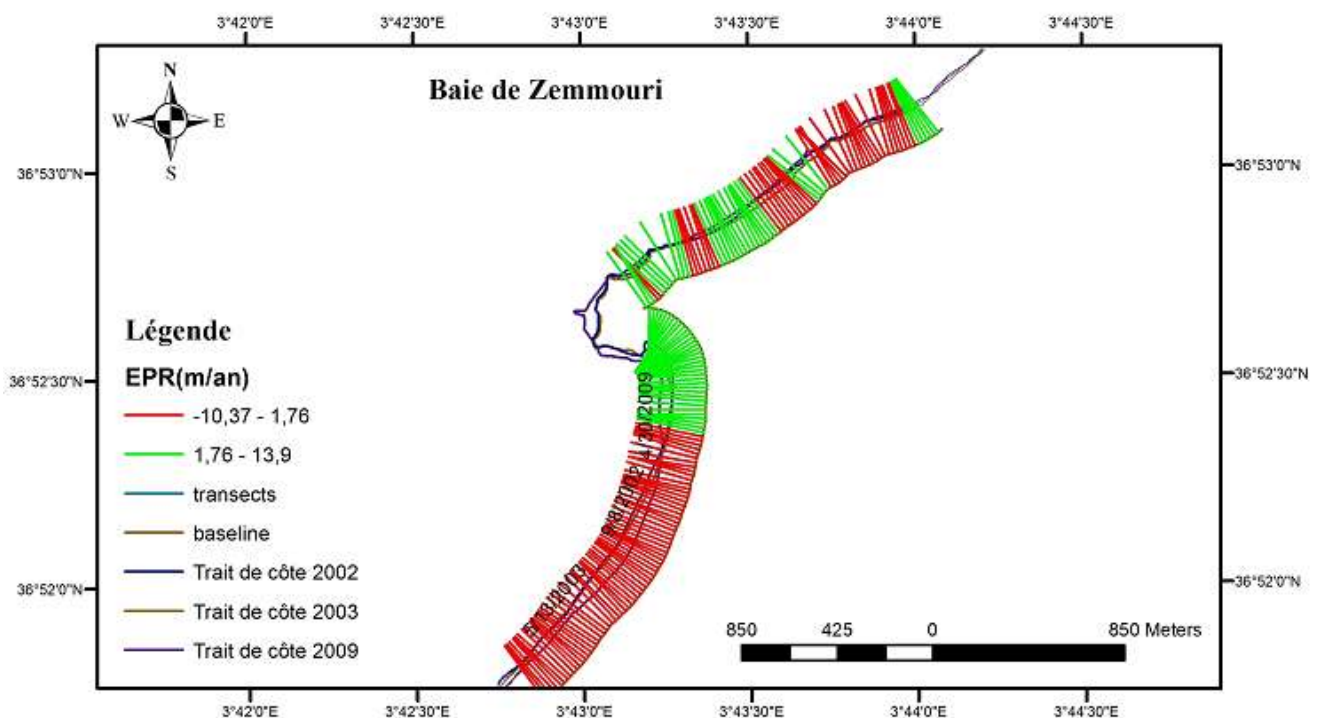
## L'évolution du trait de côte

Pour élaborer des cartes représentatives de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2016 nous avons bien évalué les indicateurs statistiques EPR, NSM pour chaque période et cartographier les vitesses d'évolution pour les différentes périodes

### V.2.1. Période 2002-2009

#### V.2.1.1. End Point Rate (EPR)

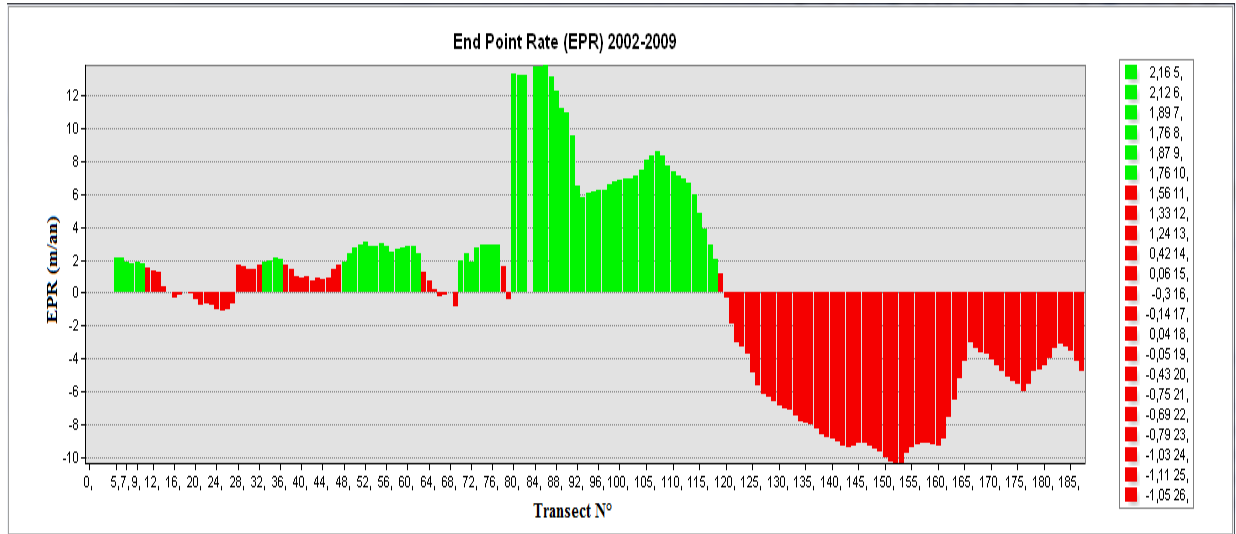
La carte ci-dessous (Figure V.9) permet de nous renseigner sur les variations qu'a subit notre zone d'étude avant et lors de la construction du port de Cap Djinet entre 2002 et 2009.



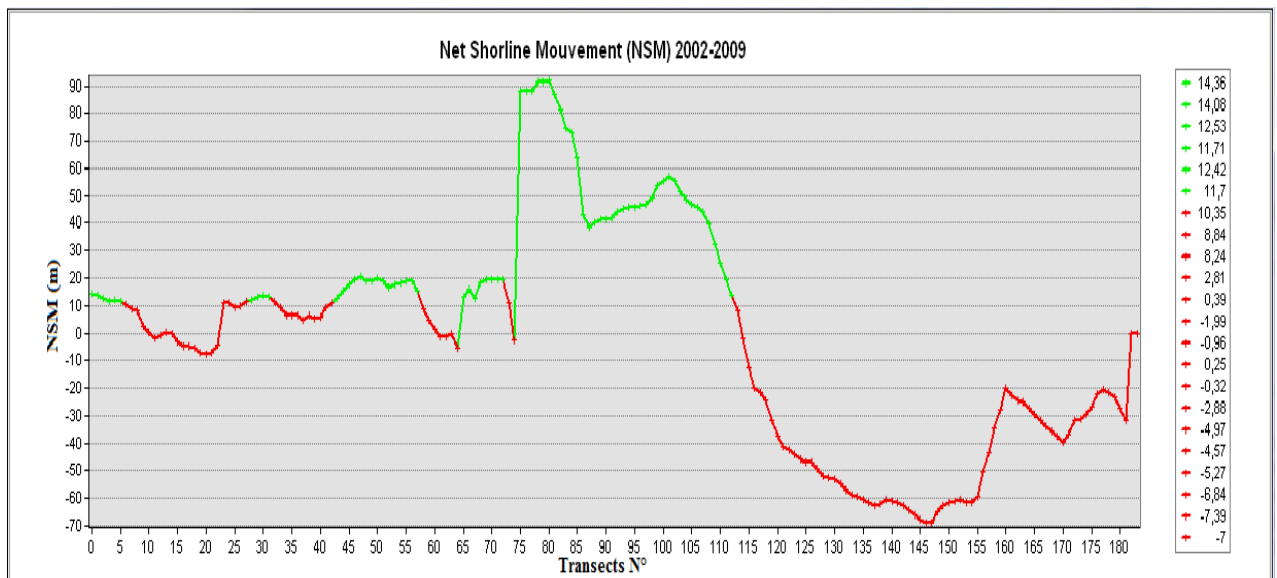
**Figure V.9 :** Illustration des transects d'évolution du trait de côte entre 2002 et 2009.

L'érosion la plus marquante est celle enregistrée sur le côté Ouest du port, le même recul est observé dans le côté Est mais à un rythme moins dont la vitesse d'évolution est de -2.98 m/an jusqu'à 4.8 m/an ; c'est-à-dire un dynamique variable entre régression et transgression, cependant l'accrétion se concentre sur la partie centrale du port avec une valeur très élevée de 4.8 m/an jusqu'à 13.86 m/an (Figure V.10).

## L'évolution du trait de côte



**Figure V.10 :** Évolution du trait de côte en (m/an) entre 2002 et 2009.



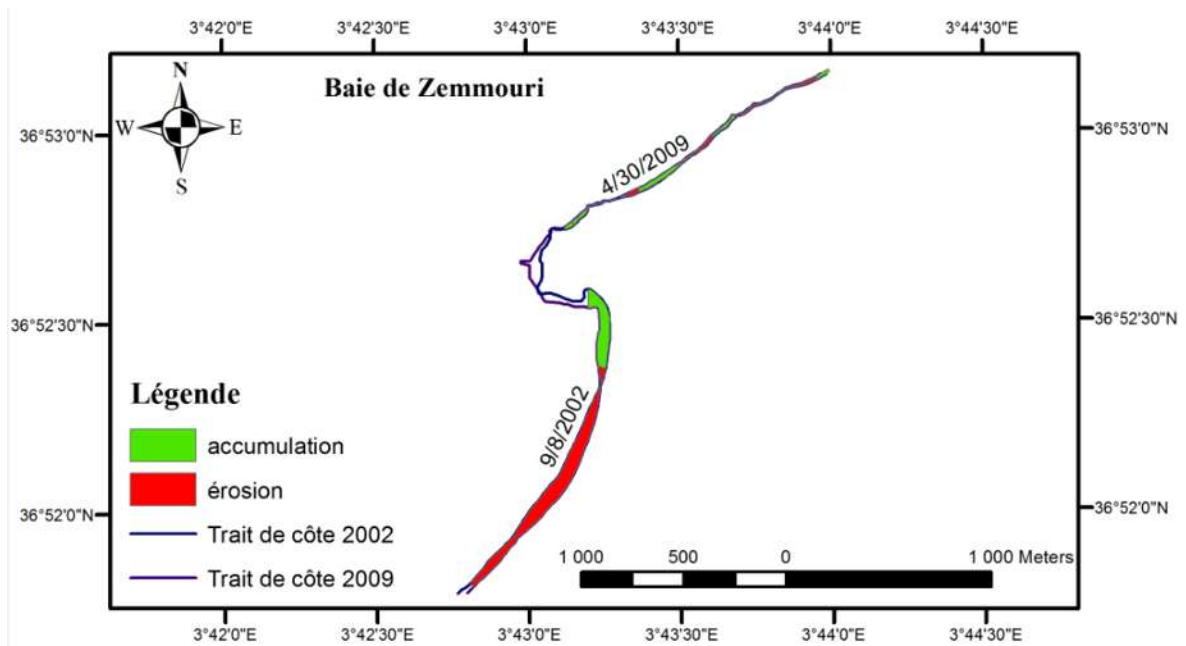
**Figure V.11 :** Evolution du trait de côte en (m) entre 2002 et 2009.

D'après le graphe (Figure V.11) Notre zone est caractérisée par une forte accumulation remarquable au niveau des transects 76 à 113 avec un pic de 90 m dont la valeur moyenne est de l'ordre 4.48 m/an ; cependant nous relevons une érosion remarquable au niveau des transects 115 à 185 dont la vitesse de recul est de -5.49 m/an avec un pic de -70m.

### V.2.1.2. Analyse du bilan sédimentaire de la période 2002 à 2009

L'évolution surfacique du rivage entre 2002 et 2009 (Figure V.12) ; montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude ; l'érosion 58655.16 m<sup>2</sup> a pris l'avantage sur l'accumulation 28792.61m<sup>2</sup>.

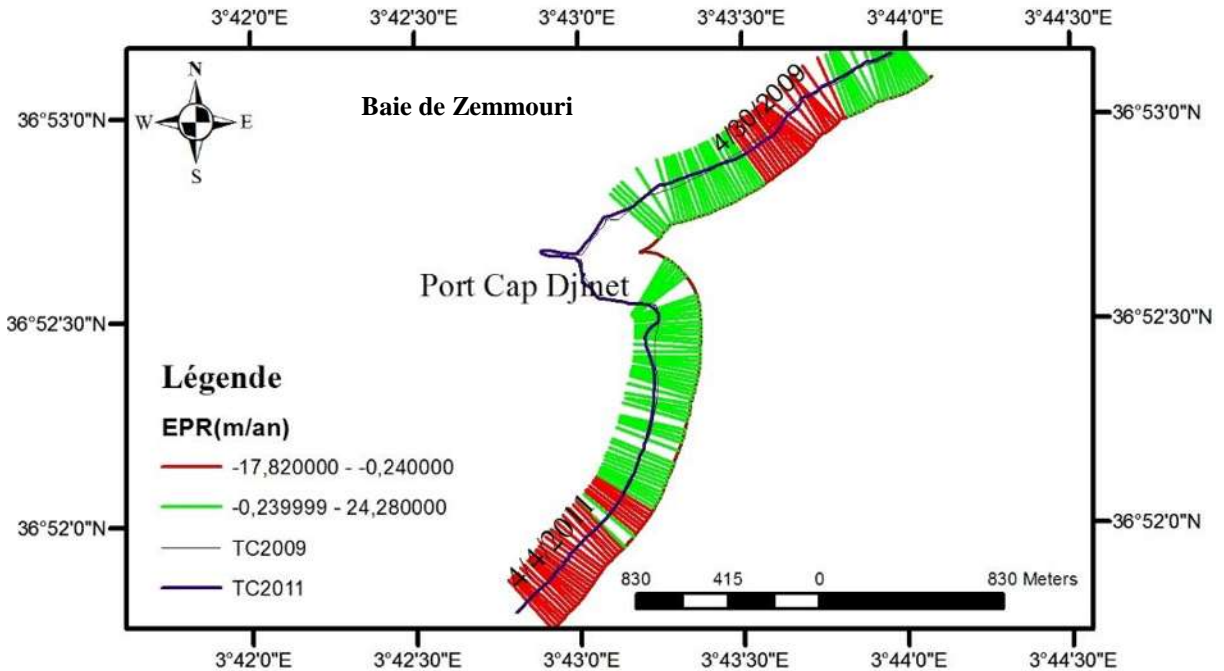
## L'évolution du trait de côte



**Figure V.12 :** Évolution surfacique de la zone d'étude de 2002 à 2009.

### V.2.2. Période 2009-2011

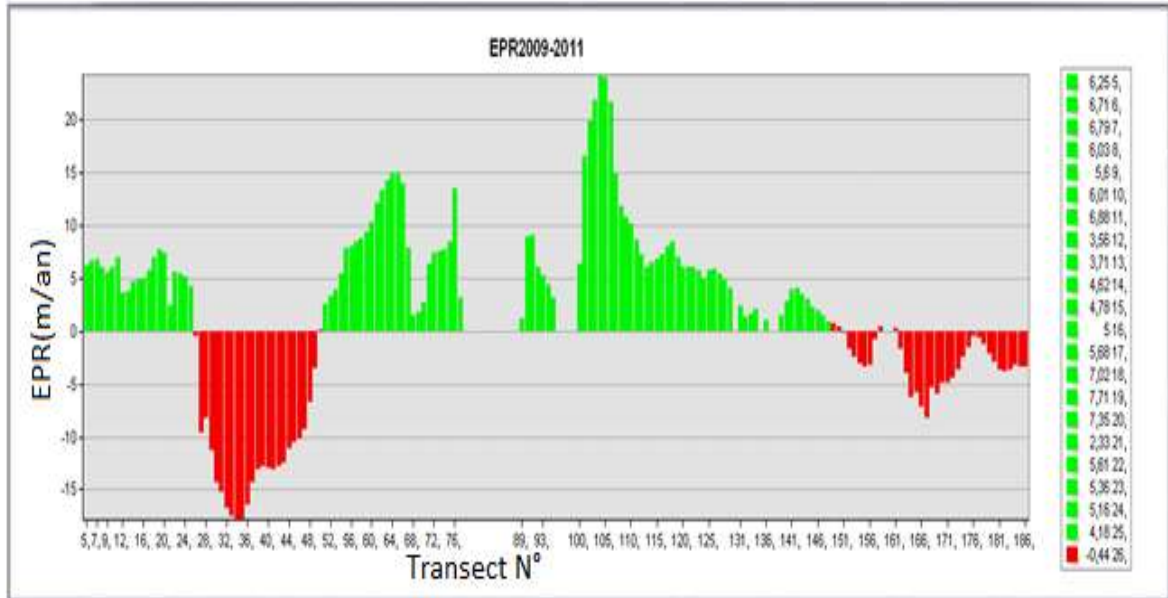
**V.2.2.1. End Point Rate (EPR):** Cette carte nous a permis d'illustrer les différents changements issus après la construction du port de Cap Djinet.



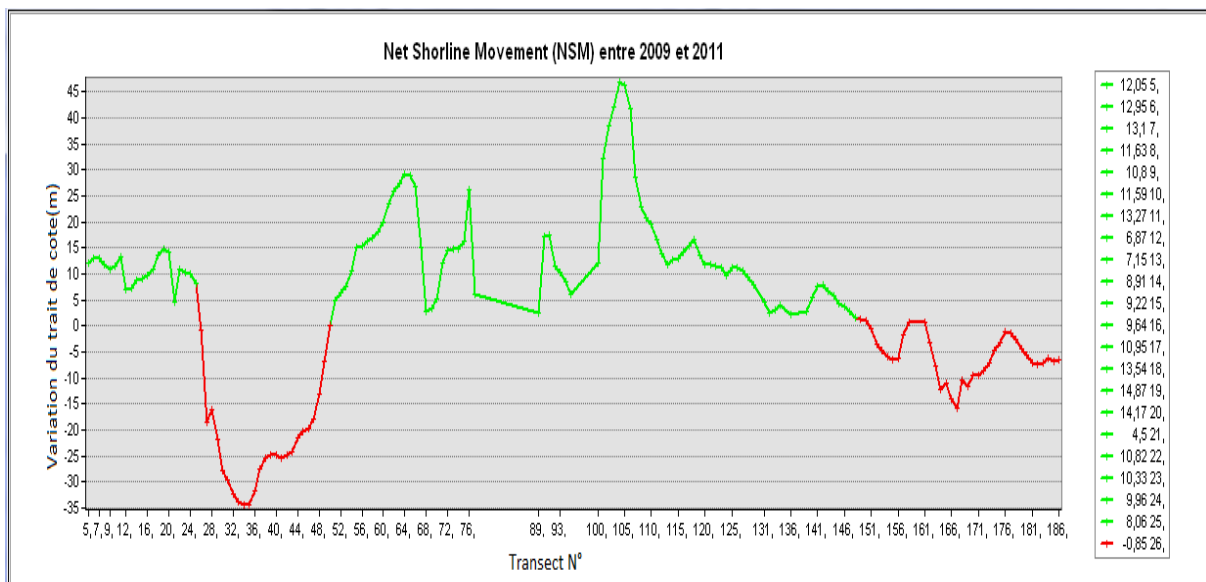
**Figure V.13 :** Illustration des transect d'évolution du trait de côte entre 2009 et 2011(SAID HADDAD).

## L'évolution du trait de côte

D'après la carte( Figure V.13); nous remarquons que la quasi-totalité de la zone d'étude est colorée en vert ce qui représente un taux élevé d'accrétion avec un recul du trait de côte au niveau de la partie ouest adjacente due à la construction du port qui a subit un changement rapide sur l'évolution du trait de côte.



**Figure V.14 :** L'évolution du trait de côte entre la période 2009-2011.



**Figure V.15 :** Évolution du trait de côte en (m) entre 2009 et 2011.

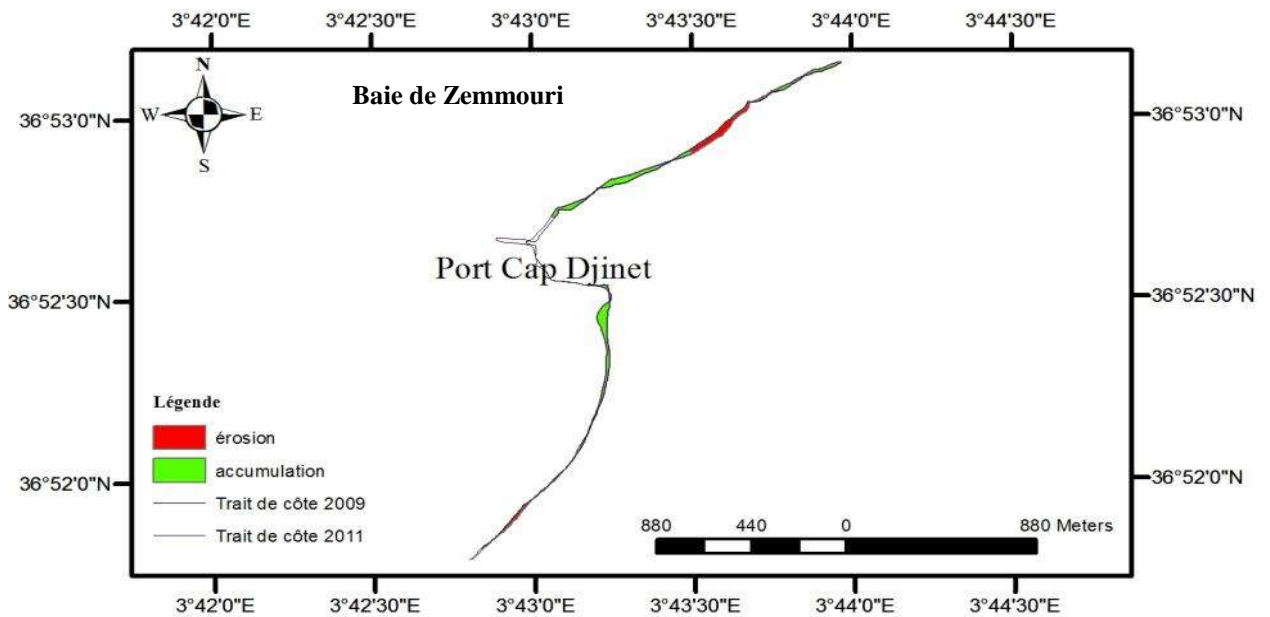
Les résultats obtenus (Figure V.14, 15) montrent une forte accumulation au niveau des transects 109 à 151 qui est due à la construction du port d'une vitesse moyenne de 6.78 m/an avec un pic de 49m.

L'évolution du trait de côte

Cependant nous enregistrons un recul du trait de côte au niveau des transects 28 à 48 et 151 à 166 avec une vitesse moyenne de  $-3.81\text{m/an}$  et un pic de  $-35\text{ m}$ .

#### V.2.2.2. Analyse du bilan sédimentaire de la période 2009 à 2011

Cette analyse nous a permis de quantifier les surfaces gagnées et perdues durant cette période.



**Figure V.16 :** Taux d'évolution du trait de côte entre 2009 et 2011(SAID HADDAD).

L'analyse du bilan sédimentaire (Figure V.16) ; montre d'une façon synthétique que notre zone durant cette période a subi une accumulation avec un taux de  $26800.18\text{ m}^2$  cependant le taux d'érosion est de l'ordre de  $13650.95\text{m}^2$ . donc notre zone présente un bilan positif avec un gain de  $13149.23\text{ m}^2$ .

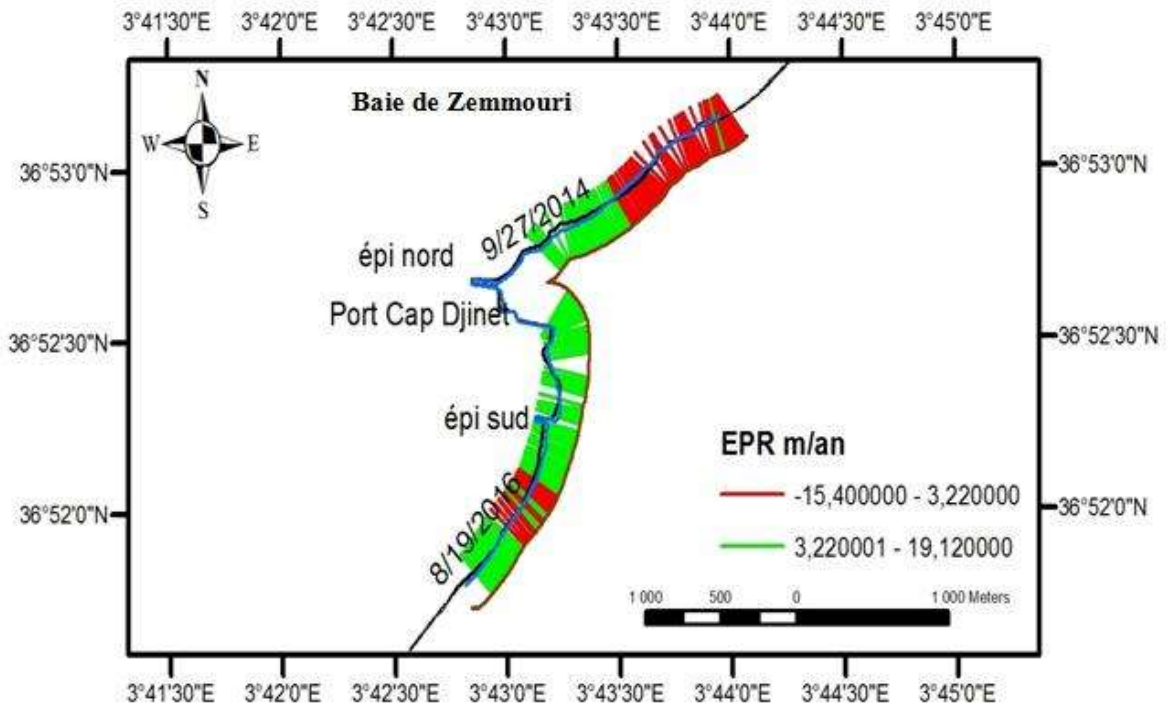
#### V.2.3. La période entre 2014 et 2016

Durant cette période notre zone a connu plusieurs aménagements et construction d'ouvrage de protection ce qui a provoqué un déséquilibre de la stabilité de trait de côte.

##### V.2.3.1. End Point Rate (EPR)

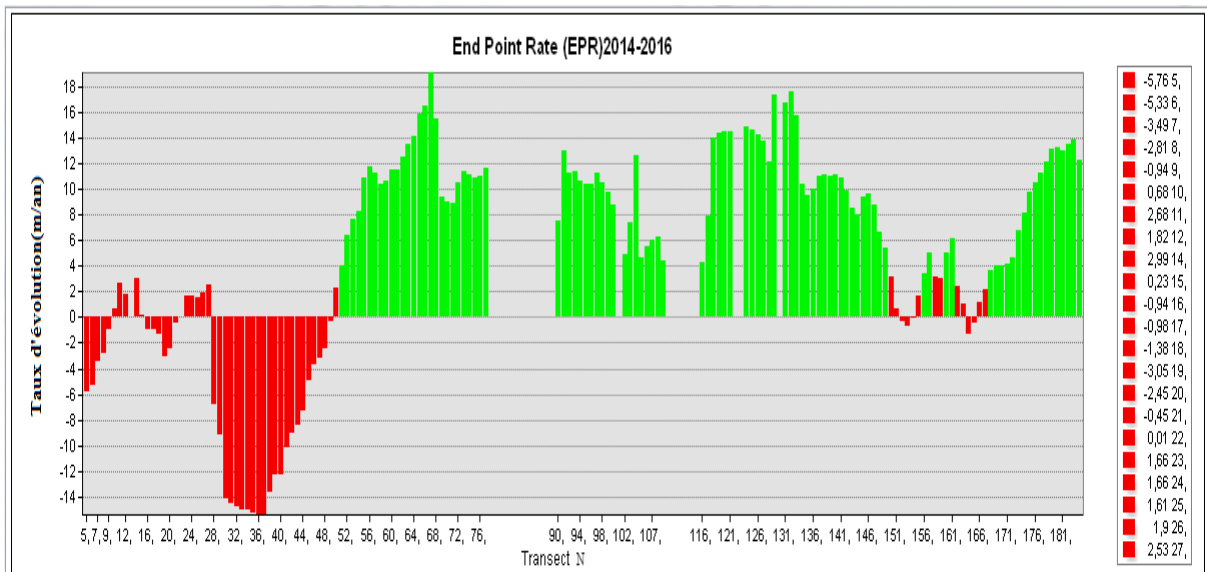
La carte (Figure V.17) permet de nous renseigner sur les variations qu'a subi notre zone d'étude au cours de la période 2014 à 2016.

L'évolution du trait de côte



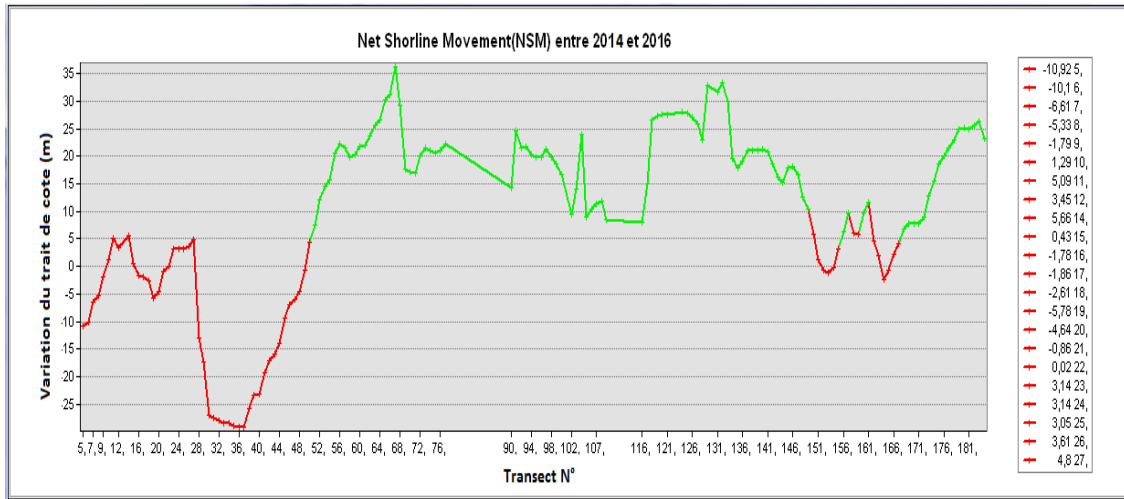
**Figure V.17 :** Illustration des transects d'évolution du trait de côte de la zone d'étude entre 2014 et 2016(SAID HADDAD).

D'après la carte (Figure V.17) ; nous remarquons une avancée significative du trait de côte dans la partie centrale de la zone d'étude avec un recul important du trait au niveau de la partie Ouest de l'épi implanté récemment.



**Figure V.18 :** Évolution du trait de côte en (m/an) entre 2014 et 2016.

## L'évolution du trait de côte

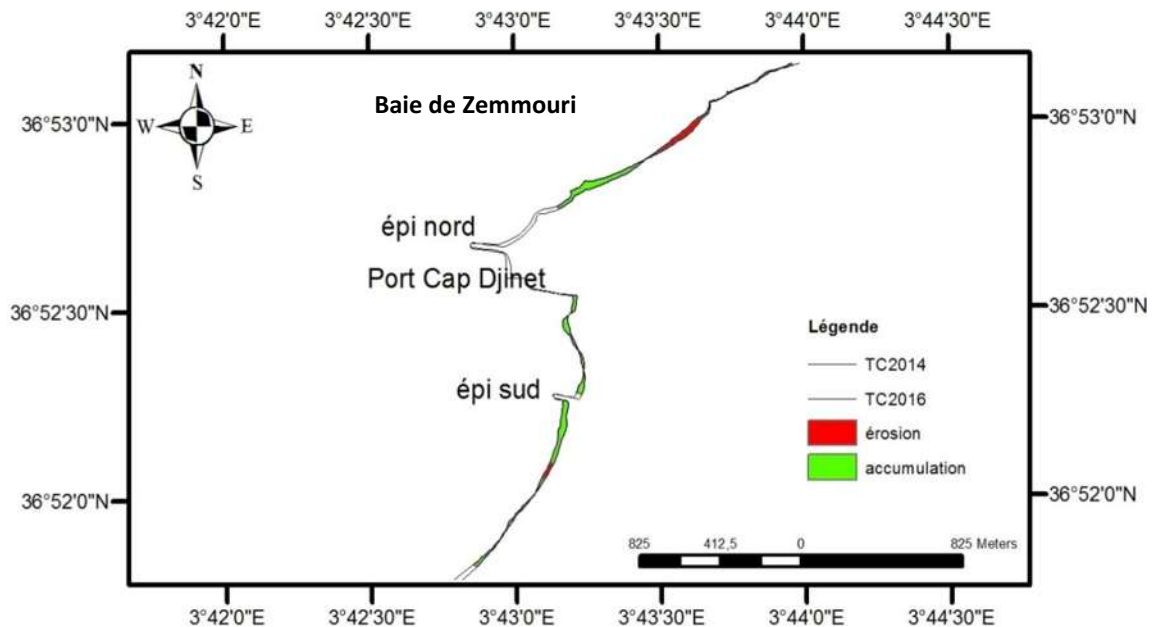


**Figure V.19 :** Évolution du trait de côte en (m) entre 2014 et 2016.

Pour cette période (Figure V.18, 19) ; la tendance de l'engrèvement se continue avec une moyenne de 6.13 m/an au niveau des transects 52 jusqu'à 151 avec un pic de 37.5m, inversement nous avons enregistré un recul important du trait de côte dans les plages adjacentes d'une valeur moyenne de -6.04 m/an avec un pic de -30m, ceci pourrait être justifié par l'implantation des ouvrages de protection durant cette période (l'épi Sud).

### V.2.3.2. Analyse du bilan sédimentaire de la période 2014 à 2016

Cette analyse nous a permis de quantifier les surfaces gagnées et les surfaces perdues.



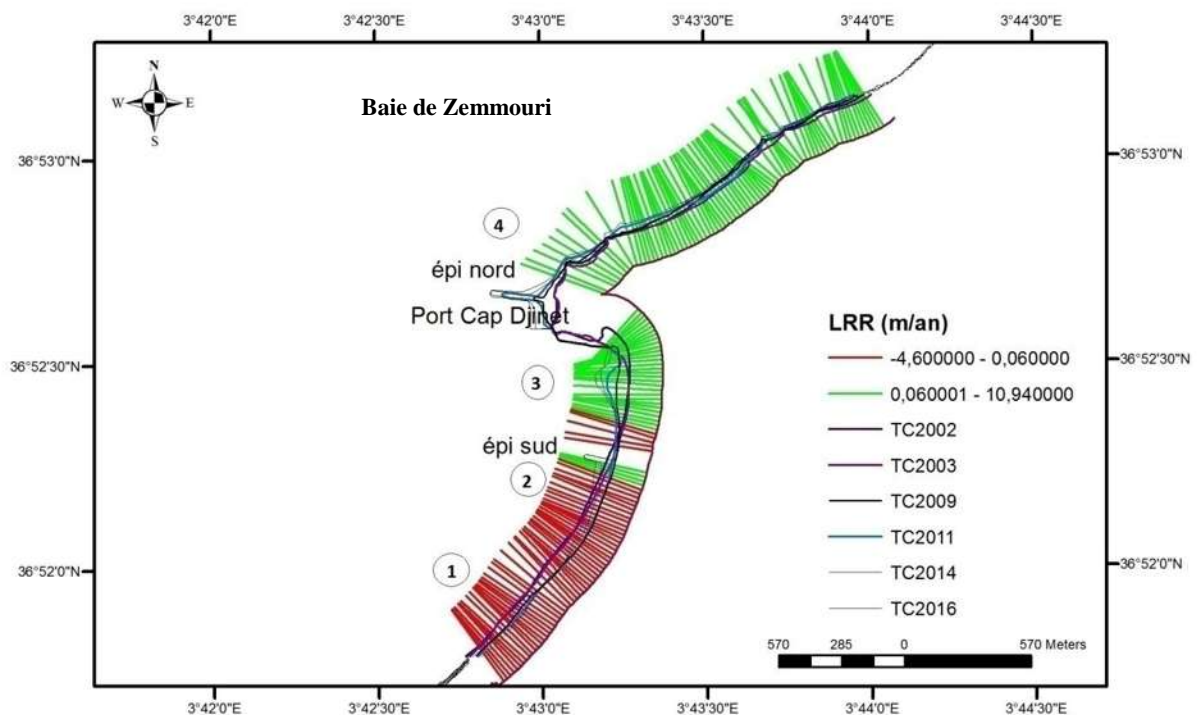
**Figure V.20 :** Analyse du taux d'évolution en surface de la zone d'étude entre 2014 et 2016(SAID HADDAD).

L'évolution du trait de côte

L'analyse des surfaces d'évolution (Figure V.20) ; montre d'une façon synthétique que notre zone a subi un engraissement d'une moyenne de  $29384.52 \text{ m}^2$  dans la partie centale ; cet engraissement a pris l'avantage sur l'érosion des deux coté Est et Ouest avec un taux d'environ de  $11875.10 \text{ m}^2$  .La zone présente un bilan positif d'une valeur de  $17509.42 \text{ m}^2$  .

#### V.2.4. Analyse globale de toute la période entre 2002 et 2016

Pour l'analyse générale de l'état évolutif de notre zone nous avons calculé le LRR (Linear Regression Rate-of-change).



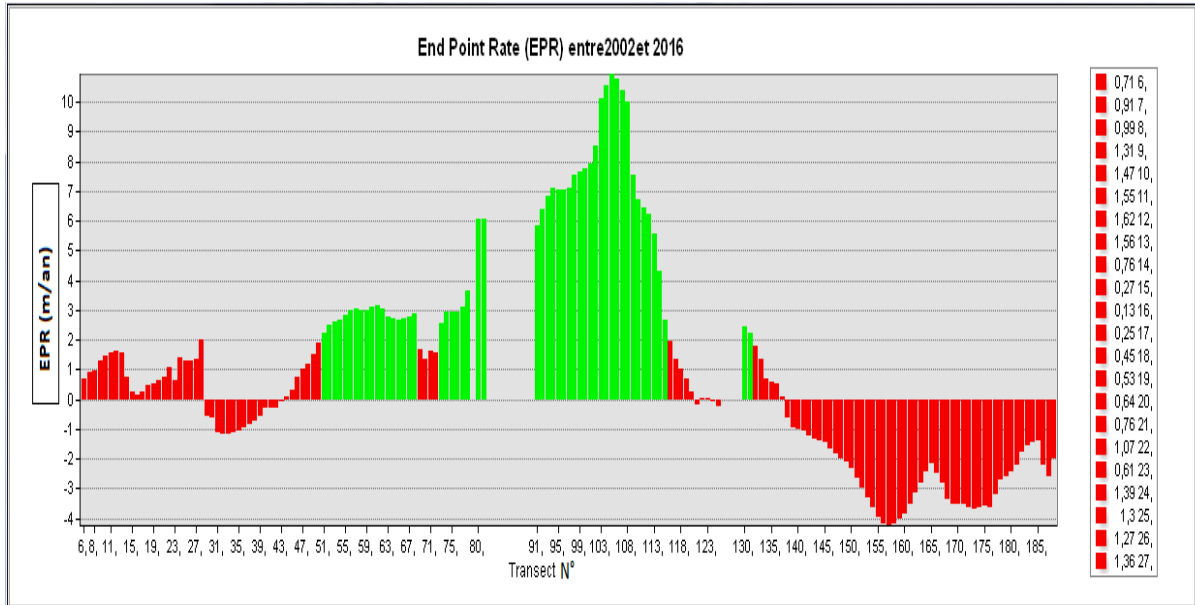
**Figure V.21 :** Représentation du LRR selon chaque profil entre 2002 jusqu'à 2016 de la zone d'étude (SAID HADDAD).

D'après la carte (Figure V.21), nous remarquons une accrétion linéaire du trait de côte d'une valeur de  $3.43 \text{ m/an}$  qui est colorée en vert, avec une érosion remarquable du coté Ouest du notre zone qui est colorée en rouge d'une valeur de l'ordre de  $-2.10 \text{ m/an}$ . Cette représentation nous a montré quatre (4) secteurs avec une dynamique variable à savoir :

- **Le secteur 1 :** montre une érosion continue dans le temps et dans l'espace.
- **Le secteur 2 :** montre une dynamique variable entre régression et transgression de la ligne du rivage, assez rapide, due à l'implantation de l'épi sud.

## L'évolution du trait de côte

- **Le secteur 3, 4** : montrent une évolution due à la formation d'un tombolo dans le secteur 3 et à l'engraissement de la plage en poche dans le secteur 4 dû à l'implantation de l'épi Nord.

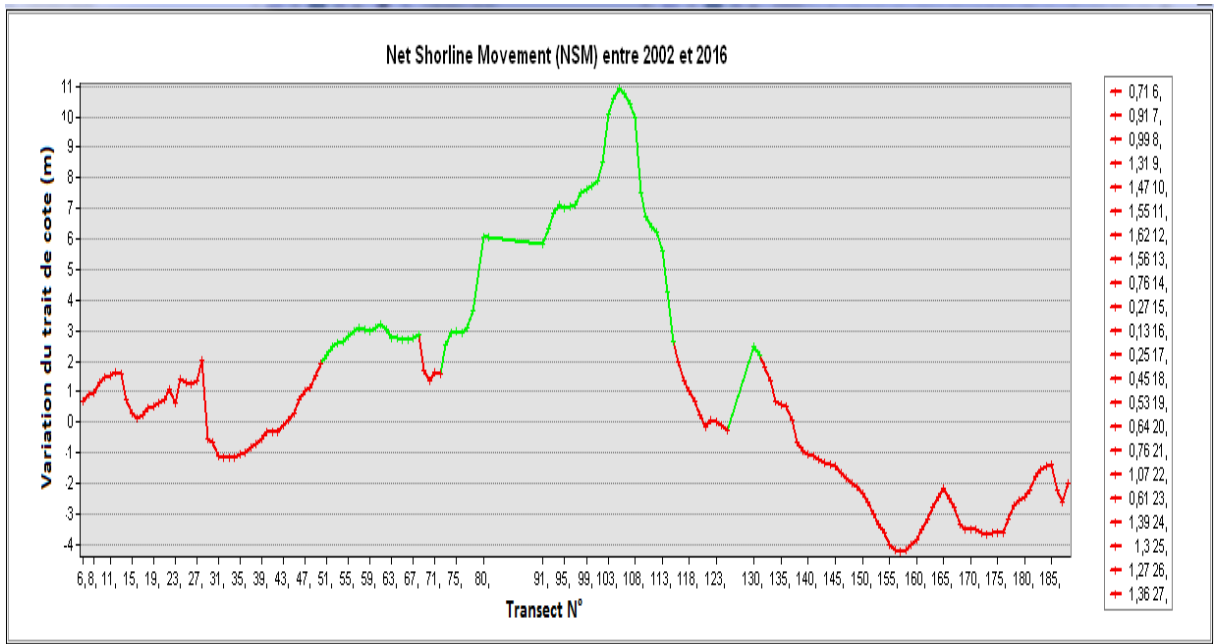


**Figure V.22** : L'évolution du trait de côte en (m/an) durant toute la période allant de 2002 jusqu'à 2016.

Durant les 15 ans (Figure V.22, 23), la tendance évolutive du trait de côte de notre zone d'étude a connu un engraissement de l'ordre de 3,43 m/an avec un pic de 11m, cependant le recul enregistré est d'une valeur de -2,10m/an avec un pic de -4m.

La cause principale revient à des activités humaines importantes au niveau du littoral et l'action de la dérive littorale qui a engendré une accumulation en amont et une érosion en aval de la plage.

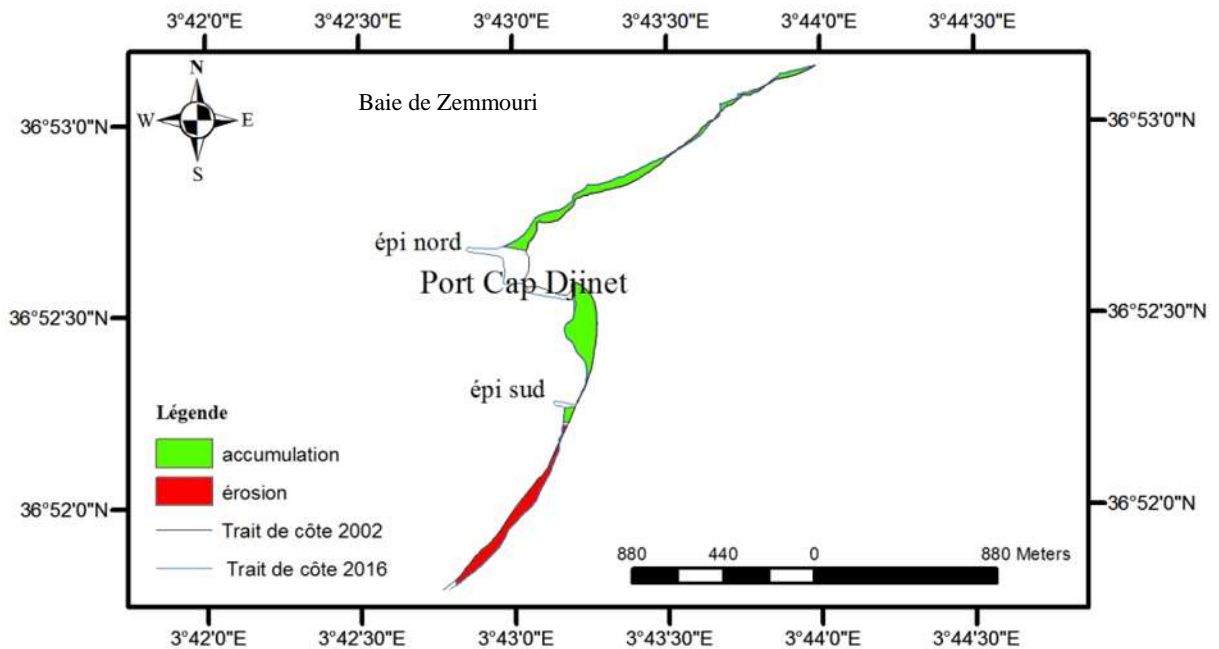
## L'évolution du trait de côte



**Figure V.23 :** l'évolution du trait de côte en (m) durant toute la période allant de 2002 jusqu'à 2016.

### V.2.5. Bilan surfacique de la période 2002 jusqu'à 2016

Le bilan surfacique nous permet de connaître le taux des surfaces gagnées et les surfaces perdues dans notre zone durant toute la période allant de 2002 jusqu'à 2016 (Figure V.24) .



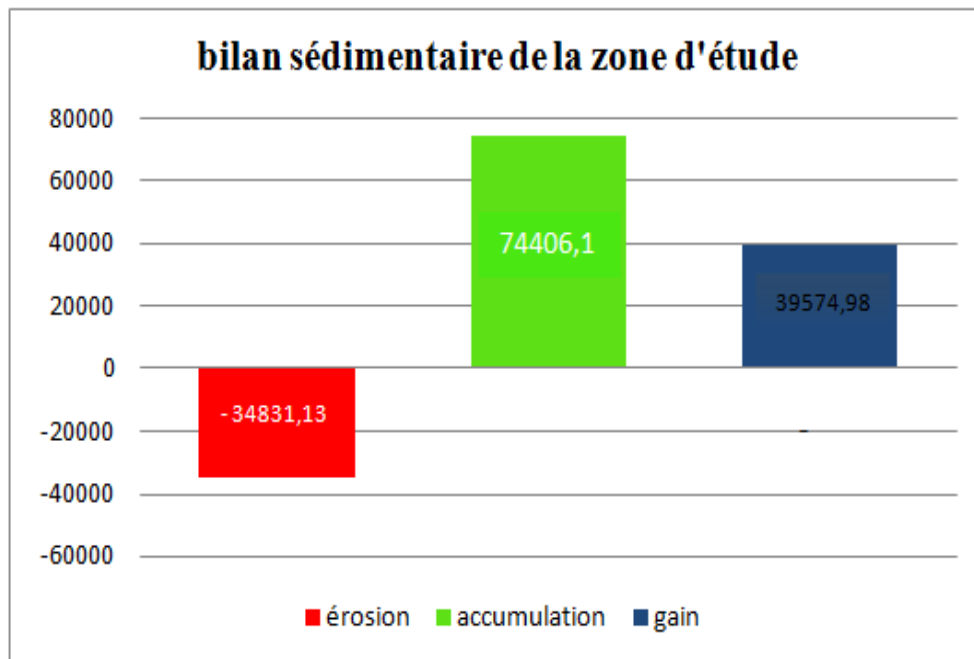
**Figure V. 24 :** Analyse du taux d'évolution en surface de notre zone entre 2002 et 2016 (SAID HADDAD).

## L'évolution du trait de côte

La cartographie de l'évolution surfacique a permis de calculer les surfaces d'érosion et d'accrétion de la zone.

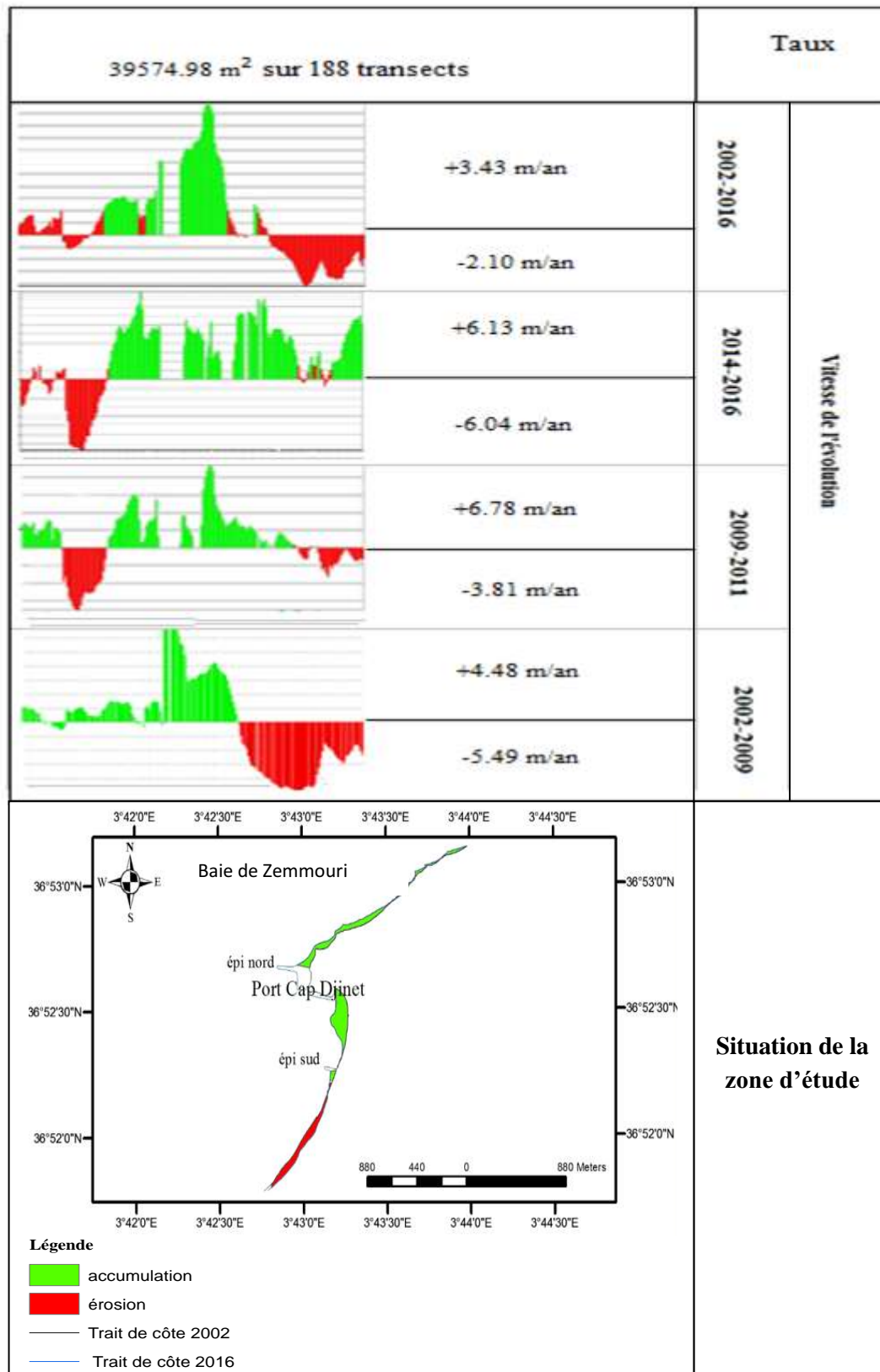
L'analyse de l'histogramme (Figure V.25) ; montre d'une façon synthétique que dans notre zone d'étude l'engraissement  $74406.1 \text{ m}^2$  a pris l'avantage sur l'érosion  $-34831.13 \text{ m}^2$ .

Si nous parlons en terme de bilan ; la zone présente un bilan positive avec une valeur de  $39574.98 \text{ m}^2$ .



**Figure V.25** : Histogramme du bilan sédimentaire la zone d'étude entre 2002 et 2016.

L'évolution du trait de côte



**Figure V.26 :** Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'End Point Rate (EPR) (SAID HADDAD).

**Conclusion :**

L'analyse des variations de la position de la ligne du rivage sur les deux périodes avant et après la construction du port de 2002 jusqu'à 2011 et pour les deux périodes avant et après l'implantation des épis 2011 à 2016 dans notre zone ; montre une évolution nette et réelle constatée sur le site. Les aménagements entrepris dans la zone semblent donner un résultat positif à court terme et dans des secteurs bien définis, néanmoins, la zone étant dépendante de plusieurs facteurs, notamment l'activité hydro-sédimentaire ; une nécessité de surveillance continue au niveau du trait de côte, des profils aériens et sous-marins se révèle indispensable pour la compréhension des différents phénomènes.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Au travers de l'exemple du port de Cap Djinet, l'influence d'un ouvrage portuaire, implanté par grande profondeur, sur un littoral soumis à une forte dynamique sédimentaire est étudiée où nous avons effectué une étude comparative entre un état sans ouvrages de protection et un état en présence de ces derniers, cette comparaison a été réalisée avec l'exploitation des résultats de la réfraction des houles, d'hydrodynamique et transport sédimentaire résultants de la modélisation numérique par le logiciel MIKE21, l'étude granulométrique effectuée dans la partie aérienne et marine de notre zone et l'analyse diachronique des traits de côtes par l'outil DSAS.

-Une étude des caractéristiques naturelles du milieu a permis de préciser le fonctionnement hydrodynamique du système côtier de Cap Djinet. L'analyse des données de l'ONM démontrent que les vents dominants proviennent du secteur Nord Est et Ouest au large et du secteur Nord Est (entre 14 et 34°N) à la côte. La houle sur la côte de Cap Djinet agit en permanence. Les houles de secteur Nord-est et Ouest sont prédominantes et induisent un courant littoral dirigé vers le Sud.

- Etude granulo-sédimentaire du littoral de Cap Djinet dont La répartition spatiale des sédiments montre que la distribution du grain moyen augmente de l'Est vers l'Ouest, elle est plus élevée au niveau des infrastructures portuaires et l'épi Sud dans la partie aérienne. Concernant la granulométrie marine elle varie sur le site entre 0.19 à 2.72mm du large vers le trait de côte. Cette étude montre aussi la présence d'un stock sédimentaire très varié.

-L'évolution historique du site a été reconstituée en utilisant des images satellitaires anciennes. Cette reconstitution a permis d'apprécier la dynamique particulièrement rapide du trait de côte depuis la construction du port de Cap Djinet. La méthode utilisée pour évaluer l'état de notre zone, est l'analyse diachronique des traits de côtes par l'outil DSAS, ce qui a permis de faire ressortir des statistiques d'évolution, notamment le NSM qui indique la distance parcourue du trait de côte dans une période de temps, ou le LRR et l'EPR qui font ressortir la vitesse d'évolution par an. Entre 2002 et 2016, l'avancée du trait de côte, au Nord du port est estimée à 11 m. Au Sud, l'érosion constatée atteint -4m en 14 ans. Il est à rappeler que l'ensablement et/ou l'érosion sont souvent des phénomènes naturels liés aux effets météorologiques, hydrodynamiques et hydro-sédimentaires. Ces phénomènes sont toutefois accélérés par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage.

## Conclusion générale

-Des simulations numériques ont été réalisées. Le logiciel MIKE 21 DHI a été utilisé pour modéliser la réfraction de la houle venant de trois directions différentes avec estimation de la hauteur significative à la côte ; à l'aide du modèle SW, les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD (champs des courants).

Ces simulations ont permis de constater que le modèle est particulièrement sensible au choix de la limite d'action des houles et à la taille des sédiments.

Une granulométrie caractérisée par un D50, D16 et D84 respectivement égales à : 0,82 mm, 0.32 mm, 1.76 mm et a été prise en compte dans les simulations numériques du transport sédimentaire ST.

L'ensemble de ces données permettent d'alimenter une base de données de terrain consultable par tous les opérateurs du littoral et pouvant servir dans le futur pour la mise en place d'un système d'alerte précoce.

L'élaboration d'un programme de gestion des phénomènes contribuant à l'évolution du trait de côte devrait être menée avec le plus grand soin, compte tenu de la fragilité du littoral de Cap Djinet. Dans le cas de cette côte soumise aux actions naturelles et aux perturbations d'origine anthropique, seule une connaissance parfaite et intégrée de tous les paramètres régissant son évolution permettra de comprendre l'impact des aménagements actuels et de proposer des solutions qui s'adaptent à son environnement pour l'avenir.

-Afin de rétablir le transit littoral le long de la côte et maintenir ainsi l'équilibre de la plage adjacente menacée par l'érosion, un dispositif de "by-passing" pourrait être utilisé. Le principe consiste à prélever les matériaux déposés à l'amont de la jetée et le déposer à l'aval de l'ouvrage (BRGM, 2012). Dans la majorité des cas, le prélèvement se fait à l'aide d'une drague qui refoule à terre les sédiments, à l'aide d'une conduite et de stations de pompes intermédiaires. Le sable pourrait être piégé avant son accumulation le long de l'ouvrage portuaire soit dans une fosse préalablement creusée, soit à l'abri d'un brise-lames. Le dépôt serait alors pompé à poste fixe et refoulé par conduite (Migniot, 1990 in Ahmed OULD ELMOUSTAPHA, 2000). Dans le cas de Cap Djinet, le dispositif de "by-passing" pourrait aussi être réalisé en utilisant des chargeurs pour extraire les sédiments accumulés au niveau du port et des camions pour les transporter à la plage adjacente.

## **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

- AMROUNI, Oula. ( 2008),***Morphodynamique d'une plage sableuse microtidale à barres: côte nord de Mahdia (Tunisie orientale)*[En ligne]. Thèse de doctorat. Sciences Géologiques.Tunis : l'Université Tunis-el Manar. Disponible sur le web
- ASTIER, Jessica, (2014).***Morphodynamique de la zone de " swash": étude en canal à houle par une méthode de stéréoscopie optique.* Thèse de doctorat.
- BELANTEUR, O. (2001).** Le magmatisme miocène de l'Algérois: chronologie de mise en place, pétrologie et implications géodynamiques. Univ. Alger,
- BELLAHBIB, N., et al. (2015) .**"étude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de saïdia et de l'estuaire de la moulouya (nord-est du maroc)." LARHYSS Journal ISSN 1112-3680 24: 19-40
- Borloo, J. (2010) .**La gestion du trait de côte. Paris. p.189.
- BOUALILI, N. (2015).** Analyse statistique de l'évolution morphodynamique du littoral de Boumerdès.Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 131 p.
- BOUNAB, B., CHAMBI, M. (2016).** *Processus morpho-sédimentaire et évolution multi-échelle de la plage Front de mer de la ville de Boumerdès.* Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 128 p.
- BRGM. (2012).**Étude générale pour la protection du littoral de la plaine orientale de Corse- préconisations de gestion : Rapport d'activité. Document non publié. France : Bureau de Recherches Géologiques et Minières.
- Briere, C. (2003).** Etude de la dynamique de la zone côtière anthropisée. l'embouchure de
- CAMINADE, Daniel (1996).***Ouvrages de protection des côtes.* Ed. Techniques Ingénieur.
- CARLINI, M. (2006).** *Morphologie et hydrodynamique des plans d'eau : Le cas des étangs-lacs en Limousin.* Thèse de doctorat. Géographie. France : Université de Limoges, 360 p.
- CARTER, R.W.G. (1988).** Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press : Oxford (London). Elsevier : Science and Technology. Livre, pp. 1 - 617.
- Cartier, A. (2011).***Évaluation des flux sédimentaires sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : Vers une meilleure compréhension de la morphodynamique des plages macrotidales.* Thèse de doctorat. Morphodynamique Littorale .France : Ecole Doctorale SMRE, 408 p
- CEM. (1998).** Coastal Engineering manual. Departement of the Army, US Army corps of engineers, Washington, DC.Part (II-1) and Part (III-2). pp. 1-121 & 1-119.

## Références bibliographiques

**CHAUCHAT, Julien (2007).***Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens.* Thèse de doctorat. Université de Caen.

**COWELL, P. J. et THOM, B. G (1994).***Morphodynamics of coastal evolution.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

**De vriend, H. (1991).** Mathematical modelling and large-scale coastal behavior. Part I.

**DEHOUCK, Aurélie. (2006).***Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère).* Thèse de doctorat. Université de Bretagne occidentale-Brest.

**DHI. (2015).** Plan de Prévention des Risques Littoraux et d'Inondation de la baie de Saint-Brieuc : Rapport d'activité. Document non publié. France : DHI.

**Direction de l'environnement. (2006).** Étude de définition des enjeux de protection du littoral sableux : Rapport d'activité. Document non publié. France : Direction de l'Environnement.

**EL ABDELLAOUI, J.D., OZER, A. (2007).** Étude diachronique et historique de l'évolution du trait de côte de la baie de Tanger (Maroc). *Revue Télédétection*. Volume 7, n° 1-2-3-4, pp 157-171.

**GHOMARI, F., BENDI-OUIS, A. (2008).** Science des matériaux de construction: Rapport d'activité. Document non publié. Tlemcen : Université Aboubekr Belkaid.

**GOURLAY, Michael R. et MEULEN, T(1968).** Beach and dune erosion tests (I). M0935.

**GUILCHER, André (1954).** Morphologie littorale et sous-marine: par André Guilcher, Presses universitaires de France.

**HURDLE, D. P. et STIVE, R. J. H,(1989).**Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid inconsistencies in engineering applications. *Coastal Engineering*,vol. 12, no 4, p. 339-351.

**IBRAHIMA, F. et al. (2011).** Cartographie normalisée de l'évolution du trait de [côte](#). [M@ppemonde](#) [en ligne], désignation du fascicule, [consulté le 05 mai 2017], localisation à l'intérieur du document hôte. Disponible sur le web : <<http://mappemonde-archive.mgm.fr/num32/articles/art11404.html>>

**KHALFANI, D. (2014).***Étude hydro-sédimentaire à l'avant côte de cap Djinet Wilaya de Boumerdes.*Mémoire de magistère. Géo-Risque et Aménagement du Littoral. Alger : ENSSMAL, 196 p.

## Références bibliographiques

- LÉVEQUE, A. (1973).** Méthode de présentation des résultats de l'analyse granulométrique des sables en vue de leur interprétation pour les sols développés sur le socle granito-gneissique au Togo. *Pédologue de l'ORSTOM*. Volume 11, n° 314, pp 201-213.
- MASSELINK, Gerhard et PULEO, Jack A (2006)** . Swash-zone morphodynamics. *Continental Shelf Research*, vol. 26, no 5, p. 661-680
- MEZOUAR, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain. *Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie :*
- MIGNIOT, C. et BOULOC, J. (1981).** Erosion et sédimentation en mer et en rivière. *Filliat, G.: La pratique des Sols et Fondations. Paris, Editions du MONITEUR.* p.p. 629-731.
- OTMANI, H. (2014).** *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet.* Mémoire de magistère. Gestion et surveillance de l'environnement marin et littoral. Alger : ENSSMAL, 178 p.
- OULD ELMOUSTAPHA, A. (2000).** *Influence d'un ouvrage portuaire sur l'équilibre d'un littoral soumis à un fort transit sédimentaire l'exemple du port de Nouakchott (Mauritanie).* Thèse de doctorat. Sciences de l'environnement marin. France : Université de Caen Normandie, 163 p.  
*Paris : Armand Colin.* 264 p.
- PASKOFF, R. (1998).** Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution. 3<sup>éd</sup>. *Physical processes. Journal of Hydraulic Research* .p .727-740.
- RAMOGE. (2002).** La défense des plages contre l'érosion: Rapport d'activité. Document non publié. Monaco : RAMOGE.
- SAMAT, O. (2007).** *Efficacité et impact des ouvrages en enrochement sur les plages microtidales (le cas du Languedoc et du delta du Rhône).* Thèse de doctorat. Géographie physique et humaine, aménagement, urbanisme. Marseille : Aix Marseille, 371 p.
- .
- STÉPANIAN, Alexis, (2002)** *.Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres: Omaha beach (Normandie).* Thèse de doctorat. Université de Caen.
- THAN, V.V. (2015).** *Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens.* Thèse de doctorat. Ingénierie côtière. Marseille : Aix Marseille, 427 p.
- THIELER, E. et al. (2009).** *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an*

## Références bibliographiques

*ArcGIS extension for calculating shoreline change.* US Geological Survey .

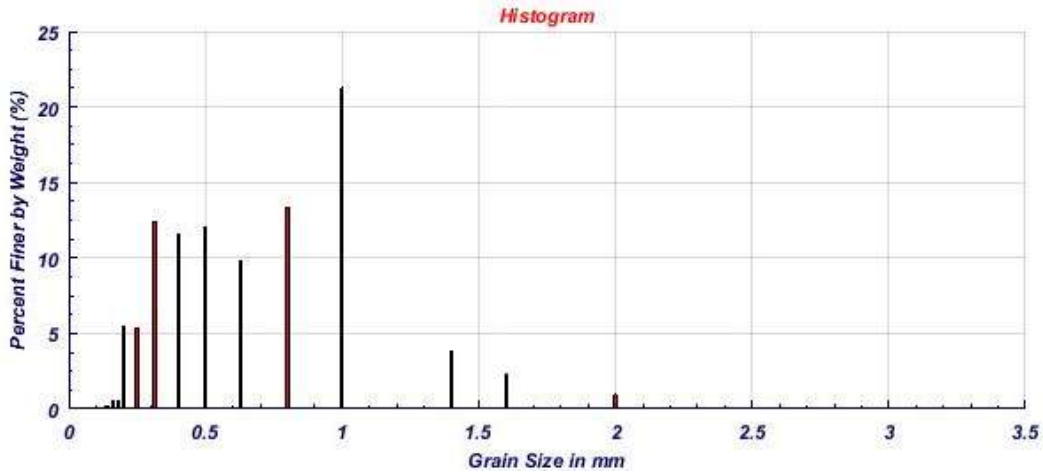
**TIRECHE, Sihem (2006)** .*Contribution à l'évaluation de la pollution au profit des collectivités locales. Application d'un système d'évaluation de la qualité.*Thèse de doctorat.

*Université Technique de Construction de Bucarest*, 404 p.

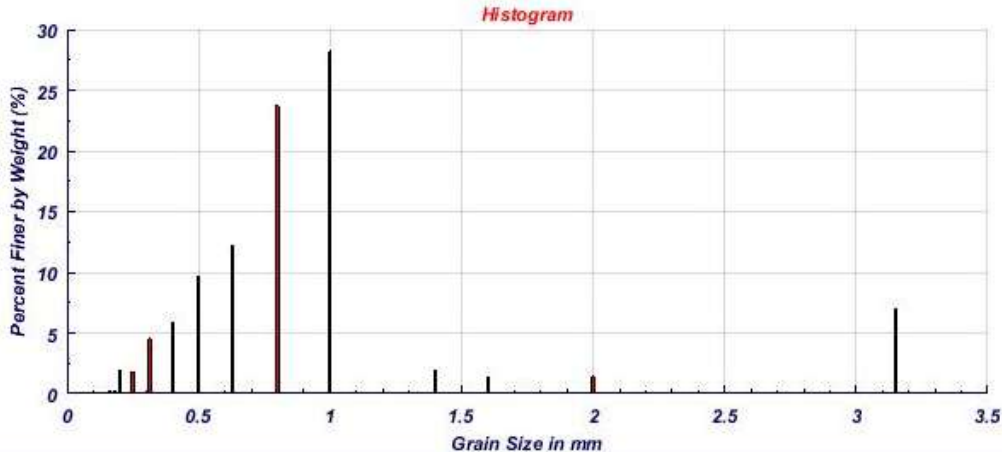
**WRIGHT, L. D. et SHORT, Andrew D (1984)**. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, vol. 56, no 1-4, p. 93-118.

# **ANNEXES**

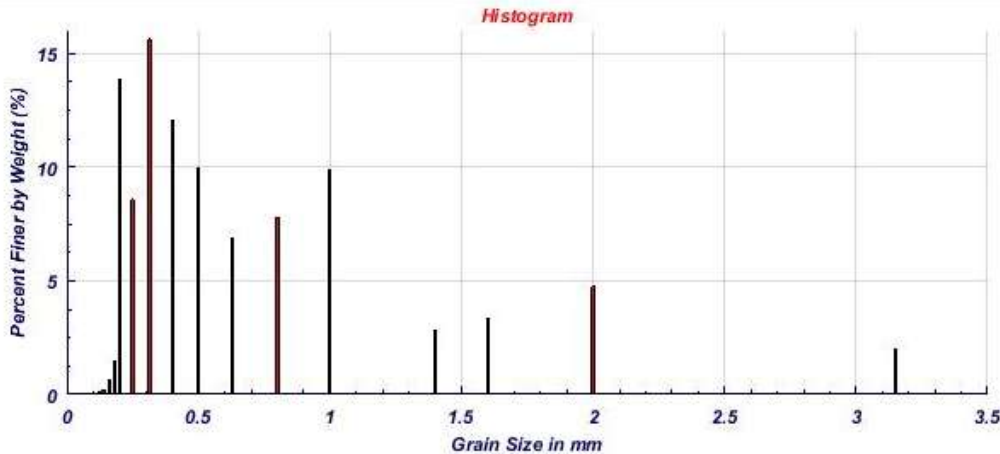
ANNEXE 1 :



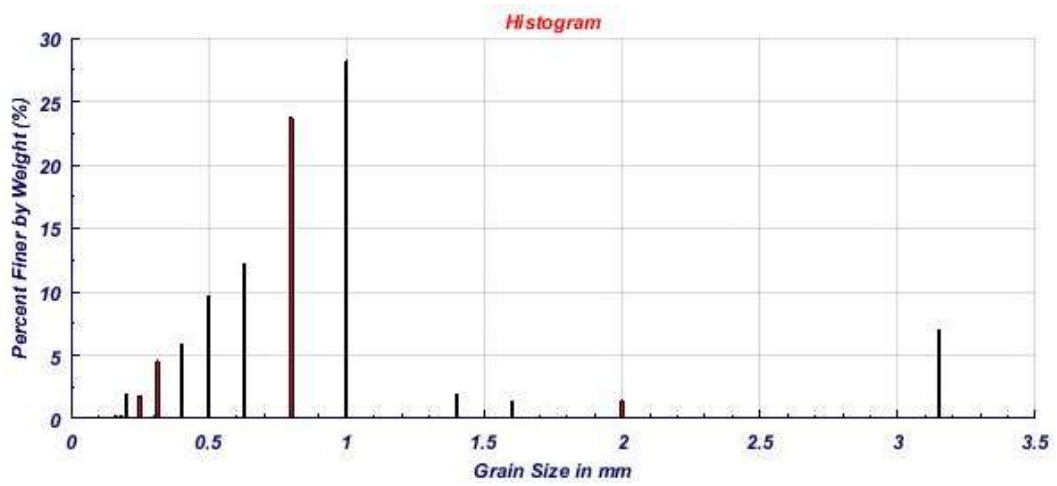
Fréquence d'apparition : station 12



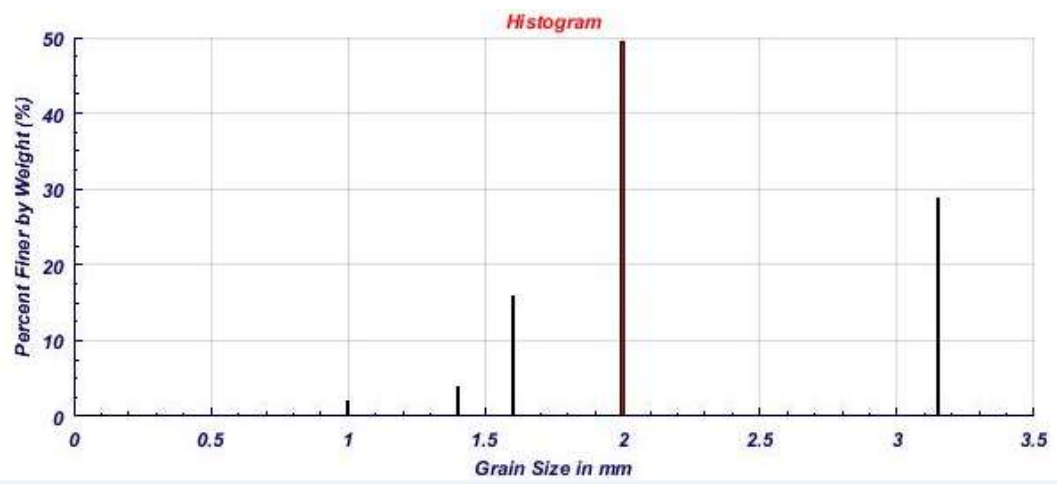
Fréquence d'apparition : station 15



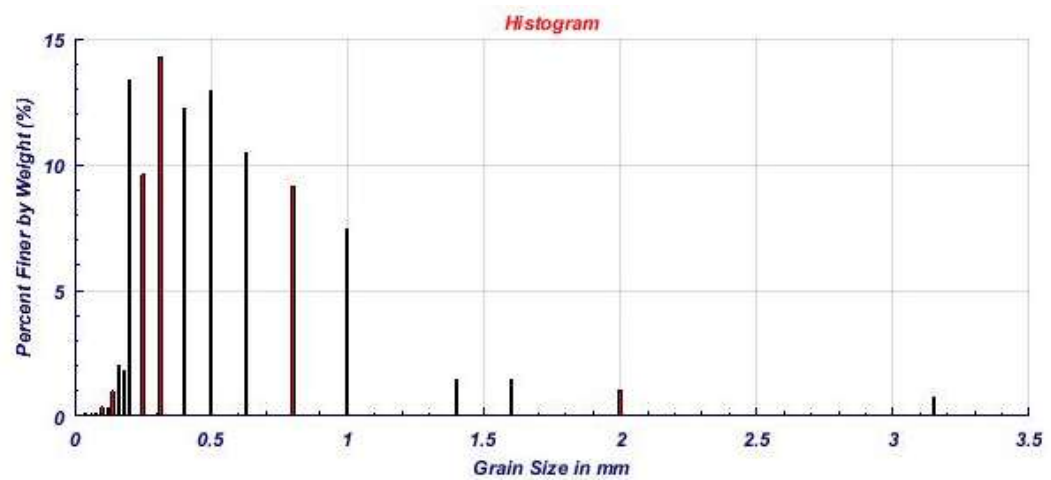
Fréquence d'apparition : station 6



Fréquence d'apparition : station 5



Fréquence d'apparition : station 11



Fréquence d'apparition : station 21

Annexes

St	D10	D16	Q25	Q50	Q75	Q84	Q90	Q95
1	360	440	575	2124	2645	2825	2940	3040
2	260	320	445	870	1472	1525	1585	1720
3	185	190	195	270	380	495	818	1865
4	505	647	785	1535	2365	2645	2835	3995
5	335	418	510	730	884	945	1050	2320
6	190	210	250	379	750	915	1395	1700
7	325	661,5	880	1522	1725	1820	1991	2100
8	295	485	749	1055	1710	1890	2175	2635
9	230	270	318,5	515	830	895	950	1080
10	1480	1545	1625	1765	2085	2390	2675	2925
11	245	275	335	555	905	1485	1865	2450
12	245	300	405	690	880	945	1065	1485
13	182	189	205	259	320	360	395	455
14	163	182	186,5	205	285	325	415	740
15	185	234	658	1665	1960	2275	2595	2880
16	145	160	181	190	224	265	288	320
17	140	150	163	188	196,5	210	243,8	280
18	136,5	147	158	187	210	275	380	675
19	185	190	200	310	456	545	642	788
20	187,5	195	230	360	575	720	843	980

Résultats des indices granulométriques (partie aérienne)

station	D10	Q25	Q50	Q75	D90
P01	520	370	265	193	149
P02	1600	923	660	460	321
P03	322	240	180	138	100
P04	825	733	630	510	412
P05	4125	2700	1250	609	375
P06	1078	912	758	646	340
P07	543	423	318	238	182
P08	4200	3980	2279	1468	1022
P09	515	412	322	259	212
P10	3980	2463	1340	875	453
P11	2550	2048	1720	1400	1130
P12	819	623	478	376	293
P13	390	290	219	178	141

Résultats des indices granulométriques (partie marine)

## Programme de MATLAB :

```

analysegranulometrique.m - Bloc-notes
Fichier Edition Format Affichage ?
function analysegranulometrique(Granulometrie)
    clc;
    screen = get(0, 'screensize');
    if screen(1,3) == 1152 && screen(1,4) == 864
        screen(1,3) = screen(1,3) - 128; screen(1,4) = screen(1,4) - 96;
    elseif screen(1,3) == 1280 && screen(1,4) == 768
        screen(1,3) = screen(1,3) - 256;
    elseif screen(1,3) == 1280 && screen(1,4) == 800
        screen(1,3) = screen(1,3) - 256; screen(1,4) = screen(1,4) - 32;
    elseif screen(1,3) == 1280 && screen(1,4) == 960
        screen(1,3) = screen(1,3) - 256; screen(1,4) = screen(1,4) - 192;
    elseif screen(1,3) == 1280 && screen(1,4) == 1024
        screen(1,3) = screen(1,3) - 256; screen(1,4) = screen(1,4) - 256;
    elseif screen(1,3) == 1400 && screen(1,4) == 1050
        screen(1,3) = screen(1,3) - 376; screen(1,4) = screen(1,4) - 282;
    elseif screen(1,3) == 1600 && screen(1,4) == 900
        screen(1,3) = screen(1,3) - 576; screen(1,4) = screen(1,4) - 132;
    elseif screen(1,3) == 1600 && screen(1,4) == 1200
        screen(1,3) = screen(1,3) - 576; screen(1,4) = screen(1,4) - 432;
    end
    vpan = screen(1,4)-35; hpan = screen(1,3);
    colores = [1 1 0.85 ]; colortexto = [0.50 0.25 0.25];
    WB = Granulometrie(:,2);
    milimeters = Granulometrie(:,1);
    r = length(milimeters);

    for i = 1 : r
        worksheet_sieve_data{1,1}(i) = WB(i);
    end
    Sum_col_1 = sum( worksheet_sieve_data{1,1} );
    for i = 1: r
        worksheet_sieve_data{1,2}(i) = ( worksheet_sieve_data{1,1}(i) / Sum_col_1 ) * 100;
        if i == 1
            worksheet_sieve_data{1,3}(i) = worksheet_sieve_data{1,2}(i);
            worksheet_sieve_data{1,4}(i) = 100;
        else
            worksheet_sieve_data{1,3}(i) = worksheet_sieve_data{1,2}(i) + worksheet_sieve_data{1,3}(i-1);
            worksheet_sieve_data{1,4}(i) = worksheet_sieve_data{1,4}(i-1) - worksheet_sieve_data{1,3}(i);
        end
    end

    diamx = worksheet_sieve_data{1,4} ;
    diamx = diamx';
    diamy = milimeters;
    D_5 = interp1(diamx, diamy, 5, 'pchip');
    D_10 = interp1(diamx, diamy, 10, 'pchip');
    D_16 = interp1(diamx, diamy, 16, 'pchip');
    D_25 = interp1(diamx, diamy, 25, 'pchip');

```

```

D_30 = interp1(diamx, diamy, 30, 'pchip');
D_50 = interp1(diamx, diamy, 50, 'pchip');
D_60 = interp1(diamx, diamy, 60, 'pchip');
D_75 = interp1(diamx, diamy, 75, 'pchip');
D_84 = interp1(diamx, diamy, 84, 'pchip');
D_95 = interp1(diamx, diamy, 95, 'pchip');

resulchar.d_5 = num2str(D_5);
resulchar.d_10 = num2str(D_10);
resulchar.d_16 = num2str(D_16);
resulchar.d_25 = num2str(D_25);
resulchar.d_30 = num2str(D_30);
resulchar.d_50 = num2str(D_50);
resulchar.d_60 = num2str(D_60);
resulchar.d_75 = num2str(D_75);
resulchar.d_84 = num2str(D_84);
resulchar.d_95 = num2str(D_95);

D_5phi = -log(D_5) / log(2); %Matlab has the function log2, but I prefer to use this form.
D_10phi = -log(D_10) / log(2);
D_16phi = -log(D_16) / log(2);
D_25phi = -log(D_25) / log(2);
D_30phi = -log(D_30) / log(2);
D_50phi = -log(D_50) / log(2);
D_60phi = -log(D_60) / log(2);
D_75phi = -log(D_75) / log(2);
D_84phi = -log(D_84) / log(2);
D_95phi = -log(D_95) / log(2);

Mean_grain_size = ( D_16phi + D_50phi + D_84phi ) / 3;
Mean_grain_size_mm = 2 ^ -(Mean_grain_size);
resulchar.MeanG5 = num2str(Mean_grain_size_mm);

if Mean_grain_size_mm <= 0.075
    resulchar.ASTM = 'Fine soil';
elseif Mean_grain_size_mm >= 0.076 && Mean_grain_size_mm <= 0.425
    resulchar.ASTM = 'Fine sand';
elseif Mean_grain_size_mm >= 0.426 && Mean_grain_size_mm <= 2
    resulchar.ASTM = 'Medium sand';
elseif Mean_grain_size_mm >= 2.1 && Mean_grain_size_mm <= 4.75
    resulchar.ASTM = 'Coarse sand';
elseif Mean_grain_size_mm >= 4.76 && Mean_grain_size_mm <= 19
    resulchar.ASTM = 'Fine gravel';
elseif Mean_grain_size_mm >= 19.1 && Mean_grain_size_mm <= 75
    resulchar.ASTM = 'Coarse gravel';
end

if Mean_grain_size_mm >= 0.0625 && Mean_grain_size_mm <= 0.125
    resulchar.wentworth = 'Very fine sand';
elseif Mean_grain_size_mm >= 0.126 && Mean_grain_size_mm <= 0.250
    resulchar.wentworth = 'Fine sand';

```

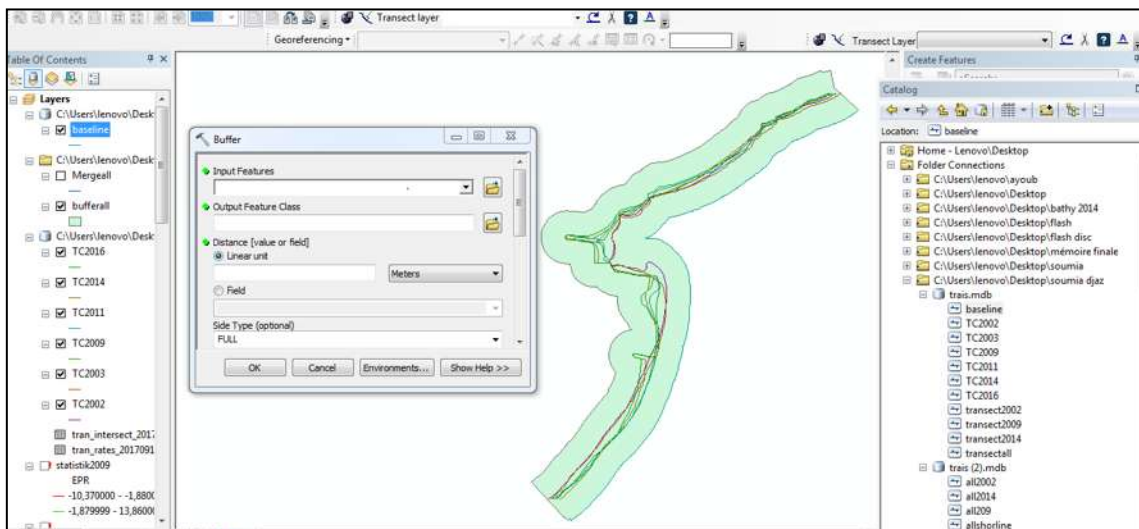
## ANNEXE 2 :

### L'étude d'évolution du trait de côte :

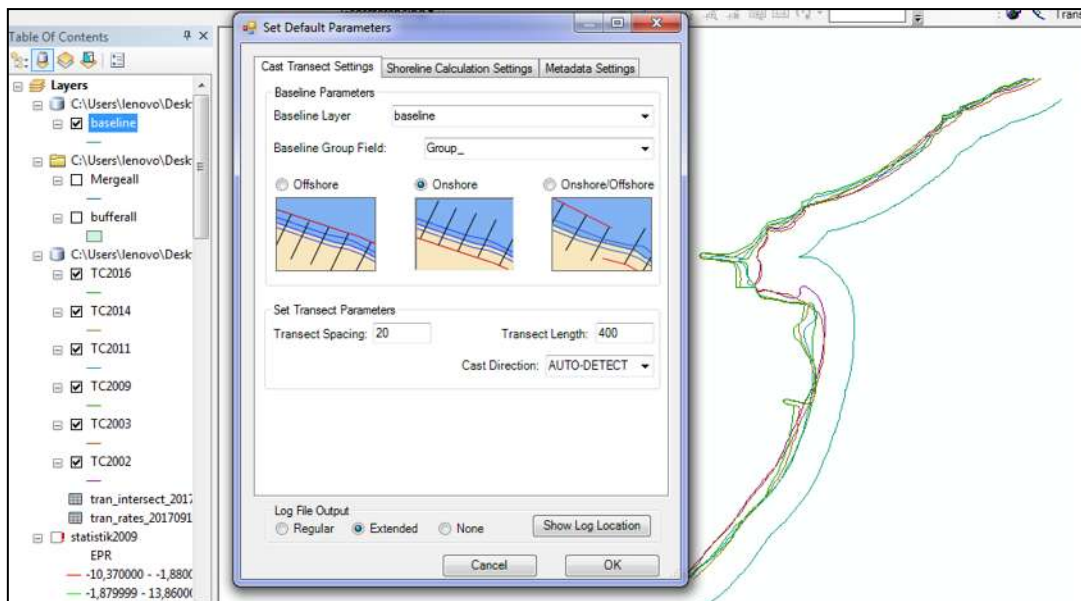
L'étude se fait en utilisant l'extension DSAS dans le logiciel ArcGIS pour calculer les statistiques des variations des traits de côtes des différentes années.

Préparer la zone tampon pour le traçage de la ligne de base avec une allure qui ressemble à celle des traits de côtes.

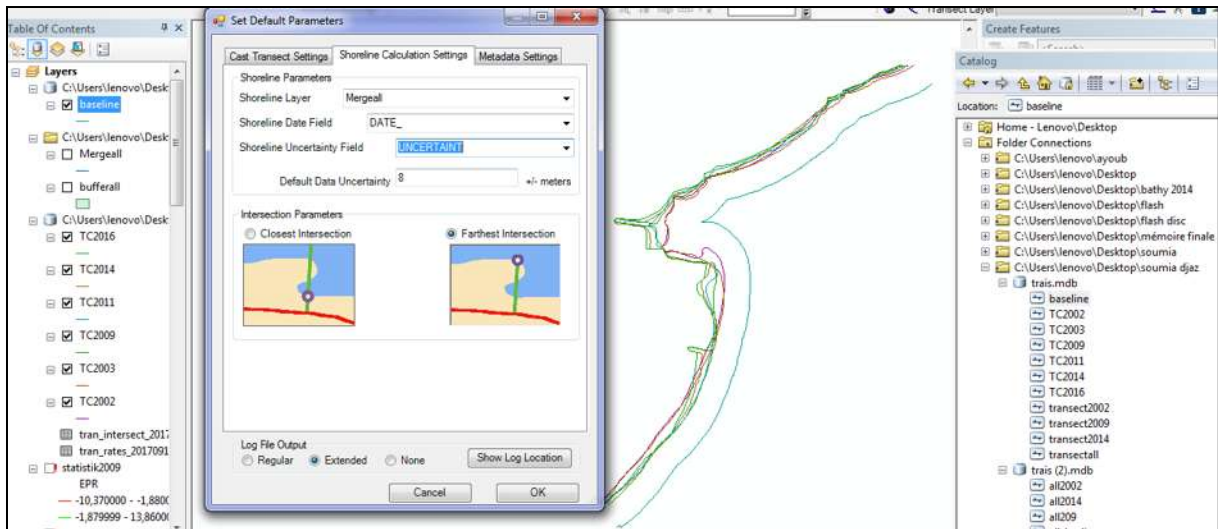
Dans la barre d'ArcGIS en cliquant sur la fonction « Géoprocessing » → Buffer , pour la création d'une ligne de base :



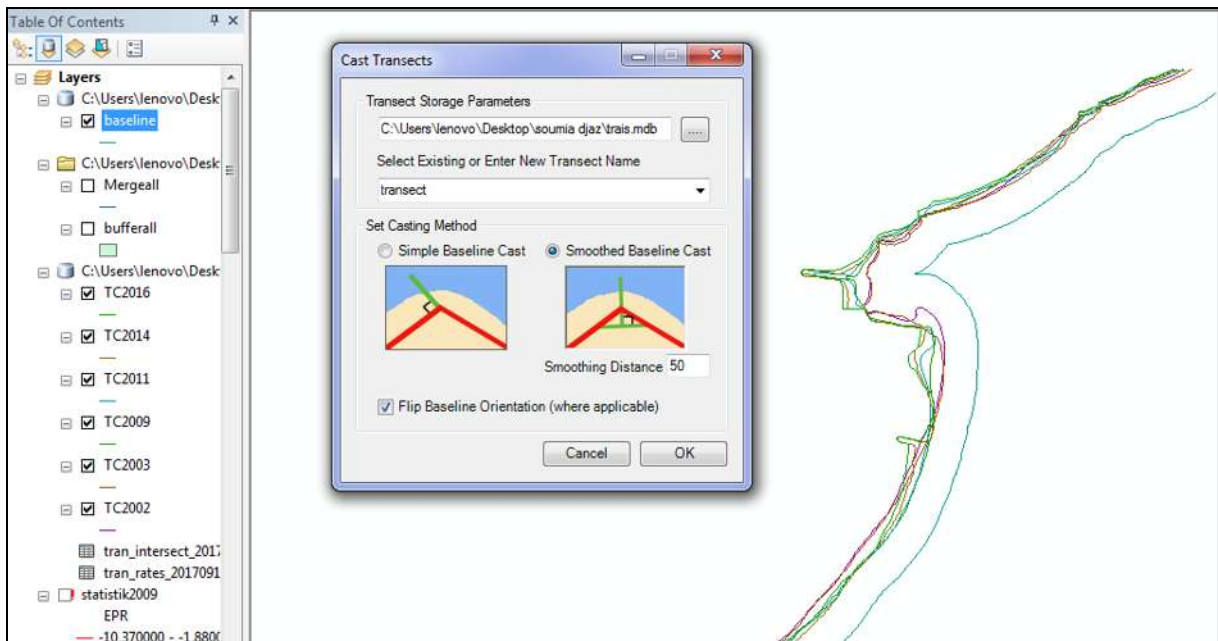
Création de la zone tampon



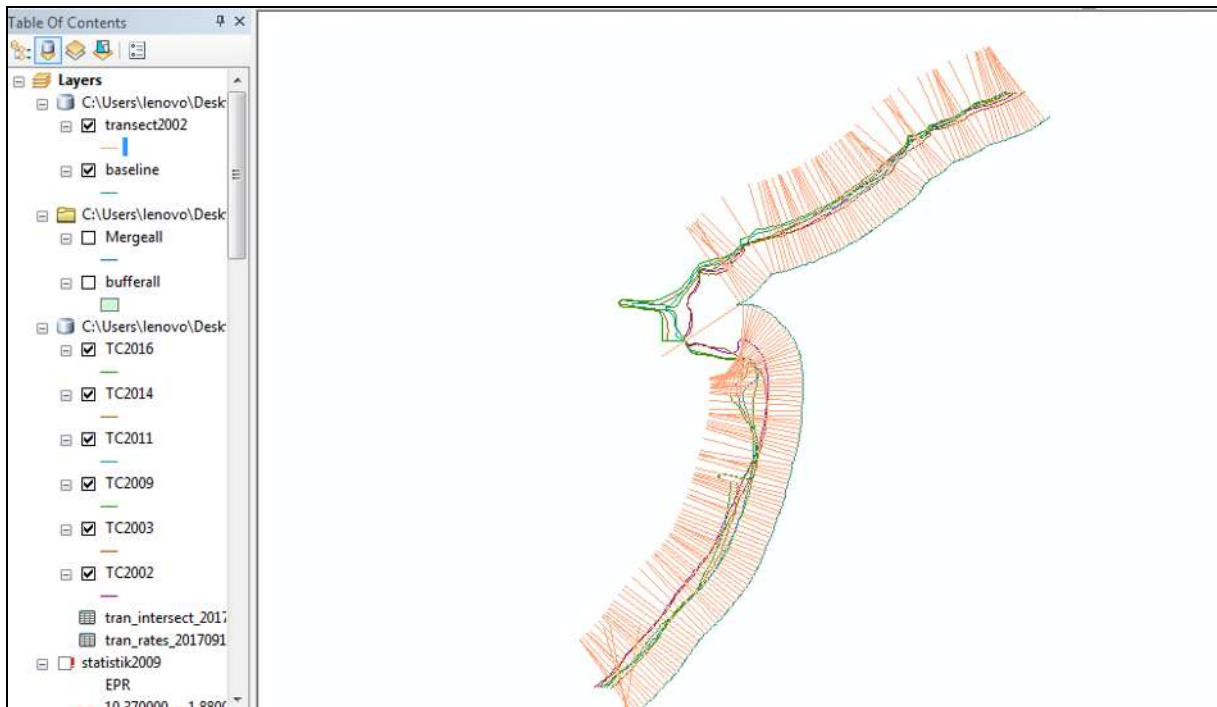
Sélection de la ligne de base



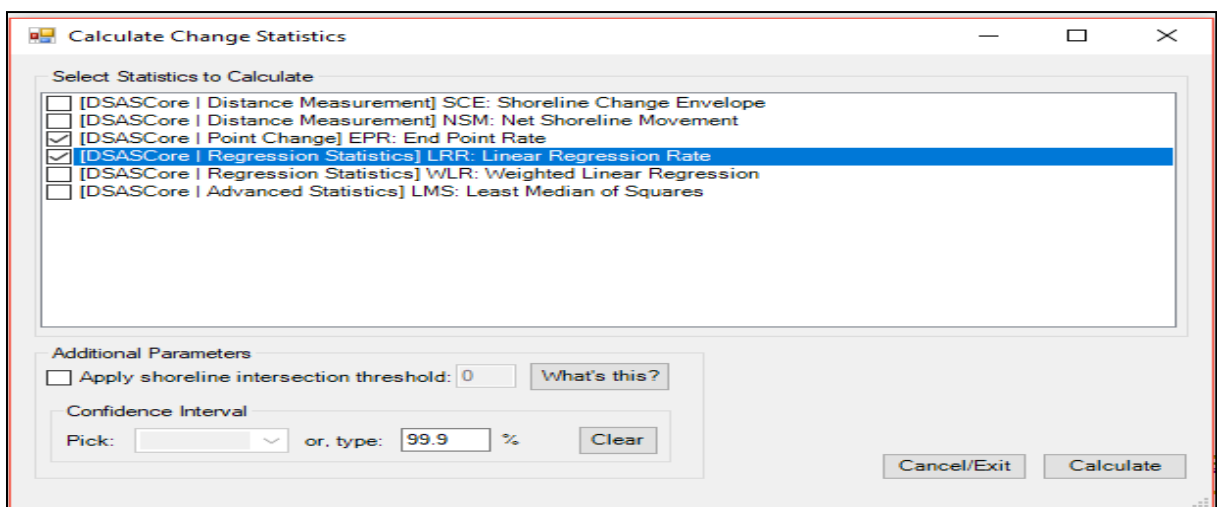
Sélection des traits de côte combinés



Création des transects



La génération automatique des transects



Calcul des différents paramètres.

**ANNEXE 3 :**

La table sédimentaire issue de la simulation du transport sédimentaire :

```
=====
Target: SEDIMENT_TRANSPORT_TABLE_GENERATOR

Section: General_Parameters -----
Tolerance_in_Concentration : 0.0001
Maximum_no_Wave_Periods : 1000
No_of_Steps_per_Period : 140
Relative_Sediment_Density : 2.65
Critical_Shields_Parameter : 0.05
Include_Effect_of_Ripples : 1
Include_Bed_Slope_Effects : 0
Include_Helical_Effects : 0
Include_Streaming_Terms : 1
Include_Density_Currents : 0
Include_Undertow : 1 (default)
Use_Empirical_Cb : 0
ST_FM_Sand_Transport_Model : 2 (default)

Section: Hydrodynamic_Data -----
Hrms0_deltaHrms_NoHrms : 2.5 0.1 3
V0_deltaV_NoV : 0.2 0.8 5
Tp0_deltaTp_NoTp : 6 1 5
HoD0_deltaHoD_NoHoD : 0.01 0.1 8
Gamma0_deltaGamma_NoGamma : 0 30 12
Radi0_deltaRadi_NoRadi : 10 0.001 1

Section: Sediment_Data -----
Water_Temperature : 10
d50_deltaD50_NoD50 : 0.75 2 2
sg0_deltaSg0_NoSg0 : 2.2 0.1 3

Section: Wave_Parameters -----
Gamma1 : 1
Gamma2 : 0.8
Wave_Theory : 1
Order_of_Solution : 5
Use_Irregular_Waves : 1
Energy_Dissipation_Factor : 0
Dissipation_Factor_Beta : 0.15

Section: Output_Specification -----
Table_Name : C:\Users\Samsung\Desktop\sara mike\Czpdjenat
STBASE: Execution started

Number of sediment rates to calculate: 43200
=====
```

## **Résumé :**

La zone de Cap Djinet, fait récemment l'objet d'occupations humaines qui se sont traduites par la construction du port et de plaisance qui est à l'heure actuelle hors service ; en raison de l'ensablement total de sa passe d'entrée, ainsi que les ouvrages de protection qui constituent de véritables zones de piégeage des sédiments marins qui se traduit par des changements de la topographie de la côte et des fonds marins.

Notre étude a été faite pour mieux comprendre l'impact de ces ouvrages portuaires sur l'évolution de cette zone en s'appuyant sur la modélisation numérique pour la simulation de la réfraction de la houle, le champ des courants, le transport sédimentaire pour les deux cas ; avant et après l'implantation d'ouvrages. Plusieurs paramètres peuvent être à l'origine de ces phénomènes d'ensablement et d'érosion, la morphologie sous marine particulière de la région explique la forte activité hydrodynamique due à la houle du secteur Nord –Ouest qui rend ainsi facile la mobilisation des stocks sédimentaires et contribuent par la suite à l'ensablement du port et à l'érosion de la plage Ouest adjacente.

**Mots clés :** Cap Djinet, ouvrages de protections, ensablement, transport sédimentaire, champ des courants, trait de côte, modélisation, érosion, houle, plage.

## **الملخص**

منطقة رأس جنات تعد حاليا منطقة استغلال بشري الذي أدى إلى تشييد الميناء والمرسى و الذي لا يعمل حاليا؛ بسبب كمية الرمال المترسبة على مستوى هذا الأخير خاصة في ممر الدخول إضافة الى تأثير الجانبي لهياكل الدفاع المتسببة في ارتفاع نسبة تراكم الترسبات على هذه المنطقة.

من خلال الدراسة الحالية نحن بصدد توضيح تأثير هياكل الموانئ على تطور هذه المنطقة قبل وبعد تشييدها معتمدين في ذلك على النمذجة الرقمية دراسة التيارات ودراسة الرواسب. عدة عوامل يمكن أن تتسبب في هذه الظواهر والتي يمكن أن تفسر قوة التيار و الذي يؤدي الى ارتفاع المخزون الرسوبي

## **كلمات الدالة**

رأس جنات, الترسبات الرملية, انتقال الترسبات, التيارات, الخط الساحلي, نمذجة, حث, انكسار الموجات, تضخم الموجات, هياكل الدفاع

## **Abstract**

The area of Cap Djinet, has recently been the subject of human occupation that resulted in the construction of the port and marina which is currently out of service; because of the total silting of its entrance pass, as well as the protective works that constitute true trapping areas of marine sediments that results in changes in the topography of the coast and the seabed.

The present study was made to better understand the impact of these port structures on the evolution of this area by relying on numerical modeling for the simulation of wave refraction, the current field, and sedimentary transport. for both cases, before and after the implantation of these. Several parameters can be at the origin of these phenomena of silting and erosion, the particular submarine morphology of the region explains the strong hydrodynamic activity due to the swell of the North-West sector which thus makes the mobilization of the sedimentary stocks easy and subsequently contribute to the silting of the harbor and the erosion of the adjacent West beach.

**Keywords:** Cape Djinet, siltation, sedimentary transport, , coastline, modeling, erosion, refraction,swell, sediment, port structures.