

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Ecole National Supérieur 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

Sujet :

Processus mis en jeu dans l'évolution morpho-dynamique de la Baie
de Zemmouri
(Modélisation et observations hydrodynamiques et sédimentaires).

Présenté par :

DEMOUCHE Rabiaa

Soutenu le 07/10/2017 à 13h devant le jury suivant :

M. OTMANI H.	Maitre-Assistant A	(ENSSMAL)	Président
M. MEZUOAR K.	Maître de Conférences A	(ENSSMAL)	Promoteur
Mme MAHDID S.	Maître Assistant A	(ENSSMAL)	Examinatrice
M. GUERFI M.	Professeur	(USTHB)	Examinateur

Promotion : 2016-2017

Remerciements

C'est avec plaisir et reconnaissance que je profite de ces quelques paragraphes pour témoigner toute ma gratitude et exprimer mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont apporté leur concours à l'aboutissement de ce travail de fin d'étude.

Je remercie particulièrement mon promoteur, M Khoudir MEZUOAR pour sa très grande disponibilité, son soutien constant, ses critiques fort constructives et ses conseils avisés furent très précieux pour moi tout au long de ce mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour son soutien moral sans faille, ses encouragements et son appui scientifique inestimable depuis le début jusqu'au dernier jour de la rédaction de ce mémoire. Ces quelques mois de collaboration m'ont permis aussi d'apprécier ses grandes qualités humaines.

J'adresse également mes vifs remerciements aux membres du jury :

- Mme LAOUAR, MCA (ENSSMAL) qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury
- Mme MAHDID MCA (ENSSMAL) ; M OTMANI, MCA d'avoir accepter d'examiner ce manuscrit et de participer a ce jury et dont les critiques me serviront sûrement.

Je n'oublie pas de remercier mes enseignants, qui tout au long du cycle d'étude m'ont transmis leur savoir que je considère «l'or de la vie».

Enfin mes vifs remerciements à M AOUDJ et à toutes les personnes qui m'ont aidé du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

Je dédie ce mémoire à ma famille et mes amis. Je les remercie pour leurs soutiens et leurs confiances, sans eux ce travail n'aurait pas pu voir le jour.

Table des matières

Introduction2

Chapitre I : Le milieu littoral

1. Morpho-dynamique côtière : principe et concepts : **Error! Bookmark not defined.**
2. Morphologie des plages : **Error! Bookmark not defined.**
3. Hydrodynamique littorale: **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.1. Les ondes de gravité ou vagues ($4 < T < 20$ s) **Error! Bookmark not defined.**
 - 3.2. Les ondes infragravitaires ou ondes longues ($30 < T < 300$ s) et les ondes de marée ($12 < T < 24$ h)..... **Error! Bookmark not defined.**
4. Les variations de niveau de la mer : **Error! Bookmark not defined.**
5. Phénomène de l'érosion littorale : **Error! Bookmark not defined.**

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique : **Error! Bookmark not defined.**
2. Cadre topographique régional : **Error! Bookmark not defined.**
 - 2.1. Géomorphologie: **Error! Bookmark not defined.**
 - 2.1.1. La géomorphologie littorale: **Error! Bookmark not defined.**
 - 2.1.3. Morphologie sous-marine : **Error! Bookmark not defined.**
 - 2.1.3.1. La Sédimentologie du plateau continental en baie de Zemmouri : ... **Error! Bookmark not defined.**
 - 2.2. La géologie : **Error! Bookmark not defined.**
3. Cadre climatique et hydrodynamique de la zone Zemmouri : **Error! Bookmark not defined.**
4. Contexte hydrologique : **Error! Bookmark not defined.**
 - 4.1. Réseaux hydrographique **Error! Bookmark not defined.**
5. Structure et classification morpho-dynamique des plages de la baie de Zemmouri : **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.1. Le secteur Ouest : **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.2. Le secteur Centre : **Error! Bookmark not defined.**
 - 5.3. Le secteur Est : **Error! Bookmark not defined.**
6. Actions anthropiques et leurs impacts sur le littoral de la Baie de Zemmouri: **Error! Bookmark not defined.**

Table des matières

6.1.	Situation et tendances de la littoralisation :....	Error! Bookmark not defined.
6.1.1.	Evolution de la population et de la densité côtière :	Error! Bookmark not defined.
6.1.2.	Le tourisme :	Error! Bookmark not defined.
6.1.3.	Évolution des bâtis sur le littoral :	Error! Bookmark not defined.
6.1.4.	Les eaux usées :.....	Error! Bookmark not defined.

Chapitre III : Analyse granulométrique

1.	Principe du tamisage :	Error! Bookmark not defined.
2.	Le matériel pour le tamisage	Error! Bookmark not defined.
5.	Mode opératoire :	Error! Bookmark not defined.
5.1.	Prélèvement et conservation	Error! Bookmark not defined.
5.1.1.	Prélèvements sur le terrain	Error! Bookmark not defined.
5.2.	1 ^{er} Séchage :	Error! Bookmark not defined.
5.3.	Laver :	Error! Bookmark not defined.
5.4.	2 ^{em} Séchage:	Error! Bookmark not defined.
5.5.	Tamiser	Error! Bookmark not defined.
5.6.	Peser	Error!

Bookmark not defined.

6.	Les paramètres et indices granulométriques :	Error! Bookmark not defined.
6.1.	Les paramètres de position :	Error! Bookmark not defined.
6.1.1.	Le grain moyen :	Error! Bookmark not defined.
6.1.2.	Le mode granulométrique :	Error! Bookmark not defined.
6.2.	Les indices granulométriques :	Error! Bookmark not defined.
6.2.1.	Les indices de dispersion ou de classement:	Error! Bookmark not defined.
6.2.2.	Les coefficients d'asymétrie :	Error! Bookmark not defined.
7.	Résultats et discussion :	Error! Bookmark not defined.
7.1.	Partie aérienne :	Error! Bookmark not defined.
7.1.1.	Carte de la Médiane (D50) :	Error! Bookmark not defined.
7.1.2.	Carte Modale :	Error! Bookmark not defined.
7.2.	Partie marine :	Error! Bookmark not defined.
7.2.1.	Analyse granulométrique	Error! Bookmark not defined.
7.2.1.1.	Zone Occidentale	Error! Bookmark not defined.

Table des matières

7.2.1.2.	Zone orientale	Error! Bookmark not defined.
7.2.1.3.	Caractères sédimentologiques de la fraction fine :	Error! Bookmark not defined.

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

1.	Approche méthodologique :	Error! Bookmark not defined.
2.	Simulation de la propagation de la houle du large vers la côte au moyen du Module SW	Error! Bookmark not defined.
2.1.	Configuration du module SW	Error! Bookmark not defined.
3.	Modélisation des champs de courants générés par la houle et les vents	Error! Bookmark not defined.
3.1.	Modèle HD	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Modèle couplé MIKE21/3 FM	Error! Bookmark not defined.
4.	Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant...	Error! Bookmark not defined.
4.1.	Dynamique hydrosédimentaire	Error! Bookmark not defined.
4.2.	Description et configuration du modèle Mike 21 ST ...	Error! Bookmark not defined.
5.	Résultats et Discussion	Error! Bookmark not defined.
5.1.	Bathymétrie :	Error! Bookmark not defined.
5.2.	Résultats de la modélisation de l'hydrodynamique:	Error! Bookmark not defined.
5.2.1.	Domaine	Error! Bookmark not defined.
5.2.2.	Modele SW :	Error! Bookmark not defined.
5.2.3.	Modélisation des champs de courants générés par la houle	Error! Bookmark not defined.
5.3.	Résultats du modèle ST	Error! Bookmark not defined.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

1.	Aperçu sur le logiciel ArcGIS Desktop 10.2.2 et l'extension DSAS :	Error! Bookmark not defined.
1.1.	ArcGIS Desktop10.2.2:	Error! Bookmark not defined.
1.1.1.	ArcCatalog :	Error! Bookmark not defined.

Table des matières

1.1.2.	ArcMap :	Error! Bookmark not defined.
1.1.3.	ArcToolbox :	Error! Bookmark not defined.
1.2.	DSAS (Digital Shoreline Analysis System) : .	Error! Bookmark not defined.
1.2.1.	Barre d'outils (Toolbar) de DSAS :	Error! Bookmark not defined.
2.	Méthodologie :	Error! Bookmark not defined.
3.	Résultats :	Error! Bookmark not defined.
3.1.	Variations historiques de la ligne de rivage le long de la côte de la baie de Zemmouri :	Error! Bookmark not defined.
3.1.1.	Période 1972 – 1980	Error! Bookmark not defined.
3.1.2.	Période 1980- 1993	Error! Bookmark not defined.
3.1.3.	Période 1993_1999	Error! Bookmark not defined.
3.1.4.	Période 1999_2003	Error! Bookmark not defined.
3.1.5.	Période 2003-2010	Error! Bookmark not defined.
3.1.6.	Période 2010-2017	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Bilan surfacique des plages de la côte de la baie de Zemmouri et budget sédimentaire total de la côte.	Error! Bookmark not defined.
4.	Scenario tendentiel pour l'année 2050 :	Error! Bookmark not defined.

Chapitre VI : L'aléa de la submersion marine dans la Baie de Zemmouri

1.	La submersion marine	Error! Bookmark not defined.
2.	Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine	Error! Bookmark not defined.
3.	Le phénomène responsable de ces submersions marines d'origine météorologique	Error! Bookmark not defined.
3.1.	La surcote :	Error! Bookmark not defined.
3.2.	Estimation des surcotes :	Error! Bookmark not defined.
3.3.	Le Wave Setup :	Error! Bookmark not defined.
3.4.	Le Runup :	Error! Bookmark not defined.
3.5.	Niveau marin maximal statique et instantané.	Error! Bookmark not defined.
3.6.	Evaluation des différents niveaux d'inondation	Error! Bookmark not defined.
4.	Topographie et utilisation des sols.....	Error! Bookmark not defined.

Table des matières

5.	Méthodologie :	Error! Bookmark not defined.
6.	Résultats :	Error! Bookmark not defined.
	Conclusion	125
	Références bibliographiques	129

Liste des figures :

Fig. n°I-1: Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers (d'après les travaux de COWELL et THOM, in PIAN in AOUDJ C., 2014).....	6
Fig. n°I-2: Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morpho-logique des côtes (d'après Thornton et al. 2000 in Florent GRASSO, 2009).....	6
Fig. n°I-3: Zonation du domaine côtier (Short (1999) et Wright et al(1982) modifiée).....	7
Fig. n°I-4: Les différents types de déferlement d'après Paul Robin 1999 modifié (Didier, RIHOUEY, 2004).....	8
Fig. n°I-5: Processus hydrodynamiques côtiers (Didier RIHOUEY, 2004).....	9
Fig. n°I-6: Présentation schématique des interactions entre les facteurs humains de l'évolution du climat, les effets sur le changement climatique et les réponses apportées (D'après IPCC FourthAssessment Report, 2007).....	10
Fig. n°II-1: Situation géographique de la Baie de Zemmouri.....	13
Fig. n°II-2: Les grands ensembles morphologiques de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).....	14
Fig. n°II-3: Bathymétrie et topographie de la région Algéroise (Domzig Anne, 2007).....	16
Fig. n°II-4: Position des différentes unités géologiques des Maghrébides (Domzig Anne, 2007).....	17
Fig. n°II-5: Coupe géologique montrant les relations entre les différentes unités des Maghrébides (Bracène, 2001 in GHIDOU & TOUZI, 2016).....	18
Fig. n°II-6: Diagramme ombro-thermique de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).....	19
Fig. n°II-7 : Diagramme de la température de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).....	19
Fig. n°II-8 : Diagramme de la pluviométrie de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).....	20
Fig. n°II-9.A : Roses annuelle et saisonnières des vents au large de la Baie de Zemmouri (MEDATLAS, 1999-2004 in GUIDOU & TOUZI, 2016).....	22
Fig. n°9.B: Rose annuelle et saisonnières des vents à proximité de la côte (ONM, 1994-2013).....	23
Fig. n°10.A: Rose annuelle et saisonnières des vents à proximité de la côte (ONM, 1994-2013).....	24
Fig. n°10.B: Roses saisonnières des houles au large de la baie de Zemmouri (MEDATLAS, 1994-2004).....	25

Fig. n°II-11: Courant moyen en zone côtière Algérienne (Milot & Médiprod V, 1986 in BOUHMA DOUCHE.M,2012).....	26
Fig. n°II-12: Réseaux hydrographique de la grande baie de Zemmouri (GUIDOU&TOUZI, 2016).....	26
Fig. n°III-1 : Le matériel utilisé dans le tamisage.	32
Fig. n°III-2: Carte de positionnement des prélèvements côtiers superficiels Compagne Midiprod.V).....	34
Fig. n°III-3 : Interface graphique sous Matlab pour extraire les paramètres et les courbes granulométriques à partir d'une matrice.....	37
Fig. n°III-4 : Carte de répartition de D50 dans la Partie Ouest du port de Zemmouri.....	38
Fig. n°III-5: Carte de répartition de Mo dans la Partie Ouest du port de Zemmouri.....	38
Fig.n°III-6: Représentation des sables et graviers normes du B.R.G.M 2007.....	39
Fig. n°III-7: Légendes des cartes sédimentologiques (BRGM, 2007).....	40
Fig. n°III-8 : Carte de répartition des faciès sedimentologiques > 40µm dans la Baie de Zemmouri (GUIDOU&TOUZI, 2016).....	40
Fig. n°III-9: Analyse modale: histogramme de fréquence des sédiments superficiels Zone occidentale.....	42
Fig. n°III-10: Carte de répartition (en fréquence) de la classe modale I.....	42
Fig. n°III-11: carte de répartition (en fréquence) de la classe modale II.....	43
Fig. n°III-12: Carte de répartition (en fréquence) de la classe modale III.....	44
Fig. n°III-13: Analyse modale : histogramme de fréquence des sédiments superficiels de la Zone orientale du plateau continental de Zemmouri.....	45
Fig. n°III-14: Carte de répartition de la classe modale A (<250µm) zone orientale.....	46
Fig. n°III-15: Carte de répartition de la classe modale B (250-630µm) zone orientale.....	47
Fig. n°III-16: Carte de répartition de la classe modale C (630-1250µm).....	47
Fig. n°III-17: Carte de répartition de la classe modale (D> 1250 µm).....	48
Fig. n°III-18: Carte de distribution des lutites dans la grande baie de Zémouri.....	49
Fig. n°IV-1 : Approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée de l'hydronamique.....	53
Fig. n°IV-2: Carte bathymétrique de la Baie de Zemmouri.2017.....	61

Fig. n°IV-3: Domaine de calcul et la bathymétrie à l'échelle régionale.....	62
Fig. n°IV-4: Domaine de calcul avec les codes de chaque limite.....	62
Fig. n°IV-5: Champs de houles (MWD=45°) sur la Baie de Zemmouri.....	63
Fig. n°IV-6: Champs de houles (MWD=45°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes cas d'exemple).....	63
Fig. n°IV-7: Champs de houles (MWD=360°) sur la Baie de Zemmouri.....	65
Fig. n°IV-8: Champs de houles (MWD=360°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes, cas d'exemple)	65
Fig. n°IV-9: Champs de houles (MWD=315°) sur la Baie de Zemmouri.....	66
Fig. n°IV-10: Champs de houles (MWD=315°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes, cas d'exemple).....	67
Fig. n°IV-11: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°	69
Fig. n°IV-12: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour :MWD=45°(Boumerdes)	69
Fig. n°IV-13 : Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD=360°	70
Fig. n°IV-14: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour:MWD= 360°(Boumerdes)	70
Fig. n°IV-15: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 315°	71
Fig. n°IV-16: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour: MWD=360°(Boumerdes)	71
Fig. n°17 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°	78
Fig. n°IV-18: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie.....	74
Fig. n°IV-19: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri: MWD= 45°	74
Fig. n°IV-20: Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°	75
Fig. n°IV-21: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie deZemmouri: MWD= 360°	75
Fig. n°IV-22: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri: MWD= 360°	76
Fig. n°IV-23 Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri: MWD= 315°	76
Fig. n°IV-24: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri: MWD= 315°	77

Fig. n°IV-25: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri: MWD= 315°.....	77
Fig. n°V-1 : Boite de dialogue d’outil DSAS.....	82
Fig. n°V-2: Découpage de la Baie de Zemmouri en 06 zones représentatives de l’évolution spatio-temporelle de la ligne de rivage.....	83
Fig. n°V-3: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone entre 1972 et 2017.....	84
Fig. n°V-4: L’évolution du trait de côte et les reculs ou les avancées moyennes annuelles du trait de côte da la Baie de Zemmouri de 1973 à 2017.....	86
Fig. n°V-5: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone 01 entre 1972 et 2017.....	87
Fig. n°V-6: le mouvement net du trais de cote (NSM) entre 1973 et 02017 de la Zone 01	88
Fig. n°V-7: L’End Point Rate (EPR) entre 1973 et 02017 de la Zone 01	88
Fig. n°V-8: Linear Rate Regresion (LRR) entre 1973 et 02017 de la Zone 01	89
Fig. n°V-9: Le diagramme LRR, EPR (en haut)et Courbe de regression (en bas) de la Zone 01	90
Fig. n°V-10: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone 03 entre 1973 et 2017.....	90
Fig. n°V-11: le mouvement net du trais de cote (NSM) entre 1973 et 02017 de la Zone 03	91
Fig. n°V-12: L’End Point Rate (EPR) entre 1973 et 2017 de la Zone 03	91
Fig. n°V-13: Linear Rate Regresion (LRR) entre 1973 et 02017 de la Zone 03	92
Fig. n°V-14: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone 06 entre 1973 et 2017.....	92
Fig. n°V-15: le mouvement net du trais de cote (NSM) entre 1973 et 02017 de la Zone 06	93
Fig. n°V-16: L’End Point Rate (EPR) entre 1973 et 02017 de la Zone 06	93
Fig. n°V-17: Linear Rate Regresion (LRR) entre 1973 et 02017 de la Zone 06	94
Fig. n°V-18: Changements moyens de la position de la ligne de rivage dans la Baie de Zemmouri durant la période 1972-1980.....	95
Fig. n°V-19: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de laBaie de Zemmouri durant la période 1980-1993.....	96
Fig. n°V-20: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de laBaie de Zemmouri durant la période 1993-1999.....	96

Fig. n°V-21: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 1993-1999.....	97
Fig. n°V-22: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 2003-2010.....	98
Fig. n°V-23: Changements moyens de la position de la ligne de rivage en baie de Zemmouri durant la période 2010-2017.....	99
Fig. n°V-24: Bilan surfacique de la cote de la baie de Zemmouri durant la période 1972-2017.....	104
Fig. n°V-25: Evolution du trait de cote de la baie de Zemmouri entre le passé, le présent et le future.....	106
Fig. n°26: Evolution du trait de cote de la plage de Zemmouri Est entre le passé, le présent et le futur.....	107
Fig. n°V-27 : Changements moyens de la position de la ligne de rivage en baie de Zemmouri en 2050.....	108
Fig. n°VI-1: Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec surcotes associées (CARIOLET, 2011 in BREILH, 2015).....	112
Fig. n°VI-2: Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine.....	113
Fig. n°VI-3: Principe de formation du waveset-up.....	115
Fig. n°VI-4: Carte de la délimitation et potentialité du domaine littoral de la Wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).....	118
Fig. n°VI-5: Modèle numérique du terrain de la Baie de Zemmouri extraite site de l'USGS.....	120
Fig. n°VI-6: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 1m de niveau de la mer.....	121
Fig. n°VI-7: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 2m de niveau de la mer.....	122
Fig. n°VI-8: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 3m de niveau de la mer.....	122
Fig. n°VI-9: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 5m de niveau de la mer.....	123
Fig. n°VI-10: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 7m de niveau de la mer.....	123

Liste des tableaux :

Tableau n°II-1: Estimation des apports solides des Oueds (ANRH 1986-1992).....	27
Tableau n°II-2: Evolution de la population côtière 1987, 1998,2008 (cas d'Exemple Zemmouri).....	29
Tableau n°III-1 : Les valeurs adoptées de S0 pour le classement	36
Tableau n° .III-2: les valeurs adoptées de Sk pour l'asymétrie.....	36
Tableau n°V-1: synthèse de la dynamique côtière de la Baie de Zemmouri le long de 45 ans.....	100

Listes des acronymes :

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydriques

CRAAG: Centre de Recherche en Astronomie et Géophysique.

D.S.A.S: Digital Shoreline Analysis System.

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

E.P.R: End Point Rate.

I.N.C.T: Institut National de Cartographie et de Télédétection.

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

N.S.M: Net Shoreline Movement.

O.N.M : Office National de Météorologie

P.A.C: Plan d'Aménagement Côtier

S.I.G : Système d'Information Géographique

US.GS: Unated State Geological Survey



*Introduction
Générale*

Introduction

Un système côtier comprend une série de sous-systèmes interdépendants caractérisés par des paramètres et des processus variés à l'interface entre une unité morphologique et un agent dynamique. L'état particulier d'un système peut être défini par des paramètres clefs et la morphologie en est un des plus remarquables. Un des exemples les plus clairs d'une telle approche morphodynamique appliquée aux études littorales a été la reconnaissance d'états de plage distincts qui peuvent être définis en fonction de la forme des barres littorales, de la pente de plage ou d'autres paramètres (**Wright et Short, 1984**).

La problématique de l'érosion côtière occupe une place de plus en plus importante dans la gestion des territoires côtiers à l'échelle de la planète. La compilation de résultats sur l'évolution côtière à l'échelle nationale, continentale et même mondiale démontre un constat similaire : les changements climatiques ont un impact direct sur les milieux côtiers (**MEZOUAR, 2014**).

Au niveau du littoral centre de l'Algérie, en plus d'une augmentation mesurée de l'intensité de l'érosion côtière dans plusieurs secteurs ; le cadre bâti s'est rapidement étendu sans égard à la sensibilité du littoral. Le littoral s'est ainsi fortement artificialisé au rythme de la mise en place de structures de protection pour lutter contre l'érosion.

Une association entre la forme (ex. plage sableuse, falaise...) et les processus (ex. houles, courants, variation du niveau marin) est visible sur des surfaces aussi vastes que notre zone d'étude qui s'étend de Cap Matifou à Cap Djinet sur plus de 56 km.

Pour examiner la signification de ces changements géomorphologiques, il est utile de reconnaître une hiérarchie des échelles temporelles et spatiales (**Cowell et Thom, 1994**). L'échelle temporelle la plus courte est celle dans laquelle se déroule le déferlement d'une vague et la réponse instantanée des sédiments sous l'action de celle-ci. Une échelle plus importante, celle de « l'événement » peut être celle dans laquelle une tempête se produit et où une plage réagit et revient, éventuellement, vers son état initial. Le niveau suivant d'étude peut concerner les échelles régionales sur des décennies avec les variations d'érosion ou d'accrétion le long de la Baie.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur le comportement du littoral de Zemmouri et le recueil d'informations sur les interactions morphodynamiques dans ce type de milieu. La connaissance du fonctionnement naturel de cet environnement ainsi que la surveillance de la dynamique côtière sont, par conséquent, des conditions prérequis pour optimiser la gestion intégrée de ces espaces en fort développement démographique et économique.

La démarche adoptée dans ce travail se base sur une approche modélisatrice calquée sur des observations et des mesures afin d'obtenir des données sur les processus en action. Le mémoire est articulé autour de 6 chapitres.

En préambule le premier chapitre est consacré à une présentation générale des caractéristiques des milieux littoraux et aux processus dynamiques liés à leurs évolutions. Une description de la répartition et des spécificités locales de ces milieux est également

Introduction

présentée dans ce chapitre. Le chapitre II est consacré à la description de la zone d'étude. Le chapitre III décrit l'approche sédimentologique complète des parties occidentale et orientale de la baie pour identifier les processus sédimentaires, les milieux de sédimentation sur le plateau continental et déduire toute la dynamique régissant cette zone.

Les trois chapitres suivants regroupent l'approche modélisatrice ; Le chapitre IV présente Une étude modélisée des phénomènes hydrodynamiques à l'aide d'un logiciel industriel MIKE 21 qui permettra une meilleure appréciation de la dynamique littorale et du transport sédimentaire au niveau de la Baie. Le chapitre V se consacre à Une étude modélisée de l'évolution diachronique du trait de côte sous ArcGIS 10.4 à l'aide de l'extension DSAS 3.4 pour une période de 45 ans (de 1972 jusqu'à 2017). Le chapitre VI se focalise sur Une étude de phénomène de la submersion marine en utilisant le logiciel ArcGIS 10.4 qui permettra de créer des cartes d'aléa pour des élévations de niveau marin différentes.



Chapitre I:
Le milieu littoral

1. Morpho-dynamique côtière : principe et concepts :

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 morpho-dynamique des littoraux consiste à relier leur développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps et d'espace (**Wright & Thom, 1977 in Christophe Brière, 2005**) :

- **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 (**Fig. n°I-1**).

La notion d'évolution morpho-dynamique des systèmes côtiers, définie comme un ajustement mutuel de la morphologie et de l'hydrodynamique par le biais du transport sédimentaire.

Les conditions hydrodynamiques (vagues, courants, marée) induisent un transport sédimentaire, lui même responsable de l'évolution morphologique de la plage (**Fig. n° I-2**).

Cependant, les conditions hydrodynamiques locales dépendent des forçages au large aussi sont fortement influencées par la topographie locale. Ces interactions non linéaires ou rétroactions constituent la propriété principale des évolutions morpho-dynamiques des systèmes côtiers (**Didier RIHOUEY, 2014**).

Lorsque ces rétroactions sont positives (autocontrôle), la tendance d'évolution du système est renforcée par une augmentation du déséquilibre. Inversement, lorsque ces rétroactions sont négatives (autorégulation), la tendance d'évolution du système est inversée et tend vers un état d'équilibre. L'évolution d'un système côtier est donc dépendante de l'état antérieur de ce système et des forçages hydro-météorologiques.

Chapitre I : Le milieu littoral

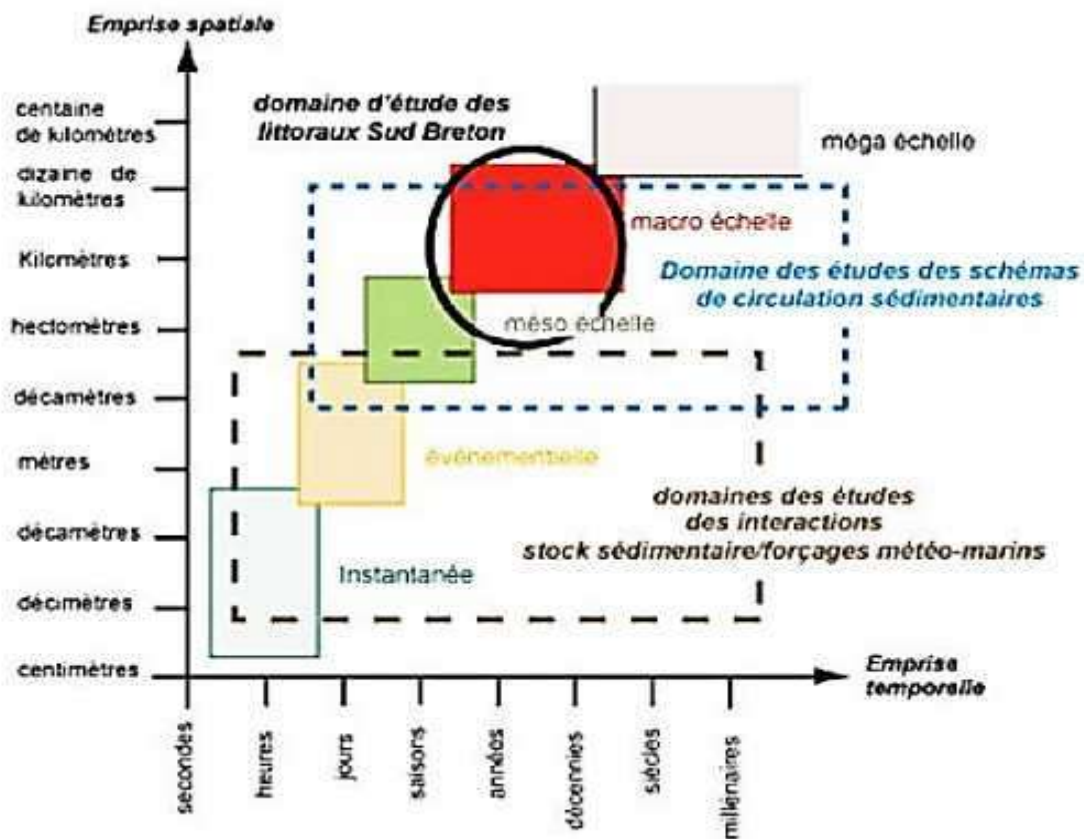


Fig. n°I-1: Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamiques côtiers (d'après les travaux de COWELL et THOM, in PIAN in AOUDJ C., 2014)

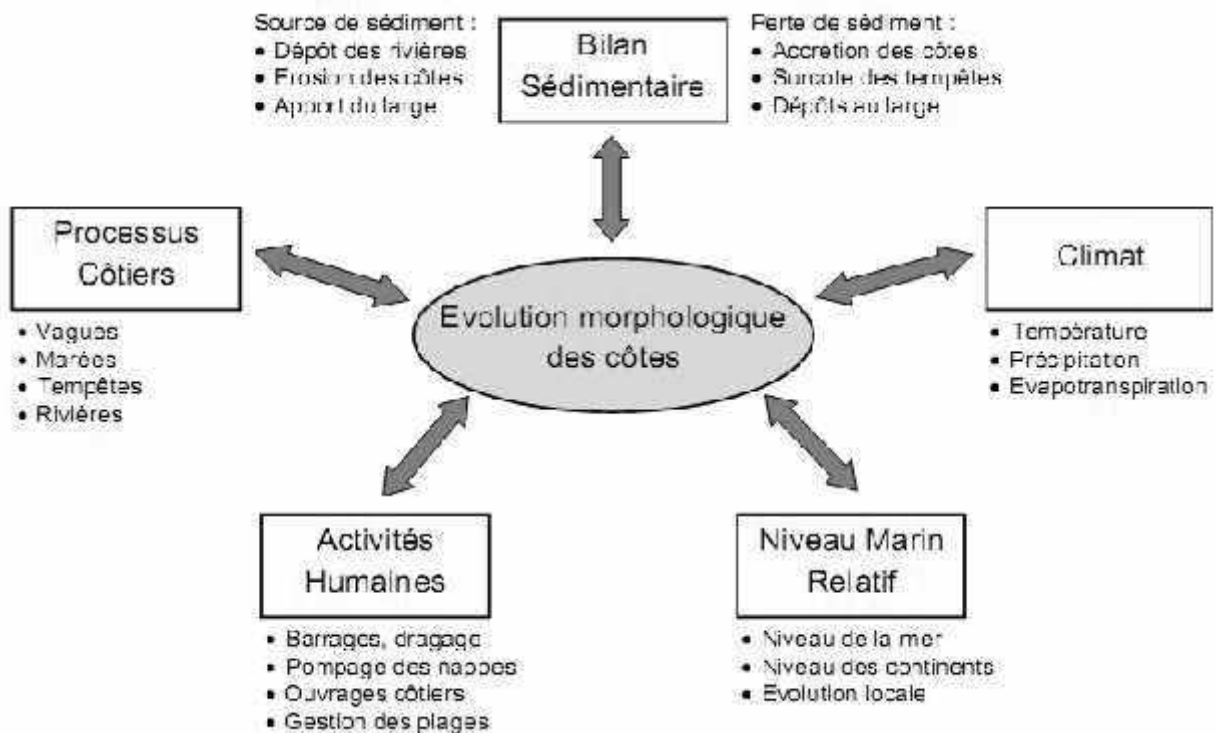


Fig. n°I-2: Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morpho-logique des côtes (d'après Thornton et al. 2000 in Florent GRASSO, 2009).

Chapitre I : Le milieu littoral

2. Morphologie des plages :

Les plages bordent les zones littorales sous toutes les latitudes et sont soumises à différentes conditions climatiques. La configuration de ces plages dépend de la géométrie du littoral, de la nature et du volume des sédiments disponibles, du régime d'agitation lui-même dépendant du climat et du marnage (**Didier RIHOUEY, 2004**). En fonction des limites d'action des vagues et de la marée, la zone littorale (**Fig. n°I-3**) peut être subdivisée en : Domaine subtidal, Domaine intertidal et Domaine supratidal.

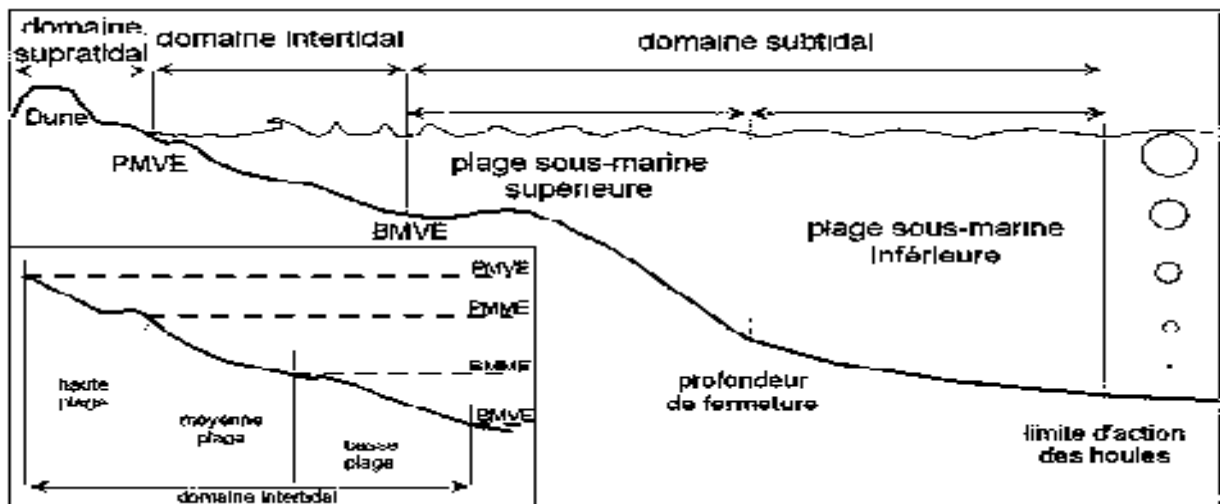


Fig. n°I-3: Zonation du domaine côtier (**Short (1999) et Wright et al(1982) modifiée**).

3. Hydrodynamique littorale:

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 (**Didier RIHOUEY, 2004**) :

3.1. Les ondes de gravité ou vagues ($4 < T < 20$ s) :

Ce sont des ondulations de la surface libre les plus visibles et les plus énergétiques. C'est le moteur principal des transports sableux et des évolutions morpho-dynamiques des fonds.

Une zonation du domaine côtier et de la plage s'effectue en fonction des processus hydrodynamiques liés aux transformations des vagues lors de leur propagation :

- **La zone du large (*offshore zone*) :**

Les vagues ne subissent aucune déformation liée à la topographie des fonds.

- **La zone de levée (*shoaling wave zone*) :**

Siège d'interactions non-linéaires entre les vagues incidentes et le fond, est caractérisé par une augmentation de la hauteur des vagues H et une diminution de leur longueur d'onde L .

Chapitre I : Le milieu littoral

- **La zone des brisants (*wavebreaking zone*) :**

Où le déferlement des vagues se produit lorsque la profondeur d'eau devient faible devant la hauteur des vagues.

On distingue généralement trois types de déferlement (**Fig. n°I-4**):

a)- le déferlement **plongeant** (plungingbreaker).

b)- le déferlement **glissant** (spillingbreaker).

c)-le déferlement **frontal** (surgingbreaker)

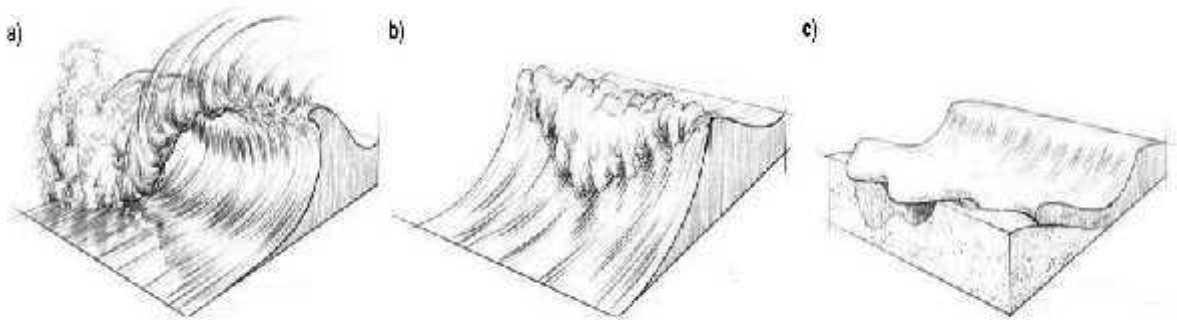


Fig. n°I-4: Les différents types de déferlement d'après Paul Robin 1999 modifié (**Didier RIHOUEY, 2004**).

- **La zone de déferlement (surf zone) :**

Marque la transition entre le déferlement des vagues et leur amortissement total à la côte.

- **La zone de swash (swash zone) :**

Est caractérisée par l'oscillation de la surface libre sur la haute plage.

3.2. Les ondes infragravitaires ou ondes longues ($30 < T < 300$ s) et les ondes de marée ($12 < T < 24$ h) :

Le vent, à l'origine de la génération des ondes de gravité, est également responsable de circulations hydrodynamiques. On distingue :

- **les ondes liées** (bound long waves), qui sont liées aux groupes d'ondes de gravité.
- **les ondes libres** (leakywaves), sont dues à la réflexion sur la côte d'ondes infragravitaires d'incidences frontales.
- **les ondes de coin** (edgewaves), sont dues à la réflexion sur la côte d'ondes infragravitaires d'incidences obliques.

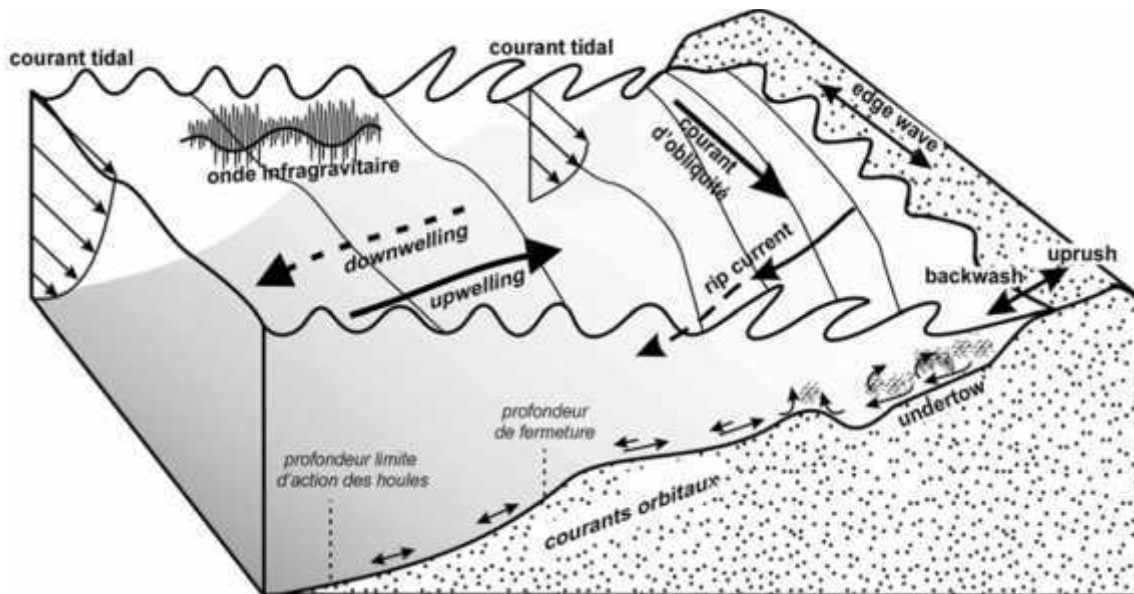


Fig. n°I-5: Processus hydrodynamiques côtiers (Didier RIHOUEY, 2004)

- **La marée :** La marée est une oscillation périodique de l'hydrosphère due à l'effet combiné de la rotation de la terre et de l'attraction de la lune et du soleil. Selon la latitude, la dimension du bassin et sa bathymétrie, l'amplitude (marnage) et la période de l'onde de marée varient. On distingue deux grandes catégories de marée : les marées diurnes (période de 24 h 50 min) et les marées semi diurnes (période de 12 h 25 min). (Didier RIHOUEY, 2004).
- **Le vent :** Les vents sont également responsables de la génération de courant. Sous l'effet cumulé de la force de Coriolis et des frottements sur l'interface air-eau, les vents induisent des courants de surface dirigés à 45° de la direction du vent. Selon leurs forces et leurs directions, les vents induisent des variations du niveau de la surface libre qui sont ensuite compensées par des courants de fond.

Lorsque le vent souffle de la mer vers la terre, il induit une augmentation du niveau de la surface libre à la côte (surcôte / wind set up) qui est compensée par la descente des eaux de surfaces (downwelling), qui sont ensuite entraînées vers le large sur le fond.

Lorsque le vent souffle de la terre vers la mer, il induit une diminution du niveau de la surface libre à la côte (décôte / wind set down) qui est compensée par la remontée des eaux de fond (downwelling), qui sont ensuite entraînées vers le large en surface. (Didier RIHOUEY, 2004).

4. Les variations de niveau de la mer :

Alors que les observations géologiques et archéologiques indiquent qu'au cours des derniers millénaires, le niveau de la mer a peu varié (pas plus de 0.1 mm par an globalement), les enregistrements marégraphiques disponibles depuis près d'un siècle témoignent d'une hausse significative au cours des dernières décennies en concordance avec le réchauffement

Chapitre I : Le milieu littoral

climatique. Sur l'ensemble de la planète, le niveau moyen de la mer s'est élevé de 1,8 mm/an entre 1961 et 2003, et d'environ 3,1 mm/an depuis 1992. **D'après IPCC FourthAssessment Report, 2007.**

Cette vitesse d'élévation n'est pas uniforme et varie selon les régions de l'océan. Elle peut être causée par des facteurs multiples et complexes qui résultent conjointement des effets des apports en eau (des glaciers et calottes polaires), de l'expansion thermique de l'eau sous l'effet de sa température, et de la répartition des masses d'eau sous l'effet des grands courants et des vents (**Church et al, 2001 in Edouard Van Heeswyck, 2012**).

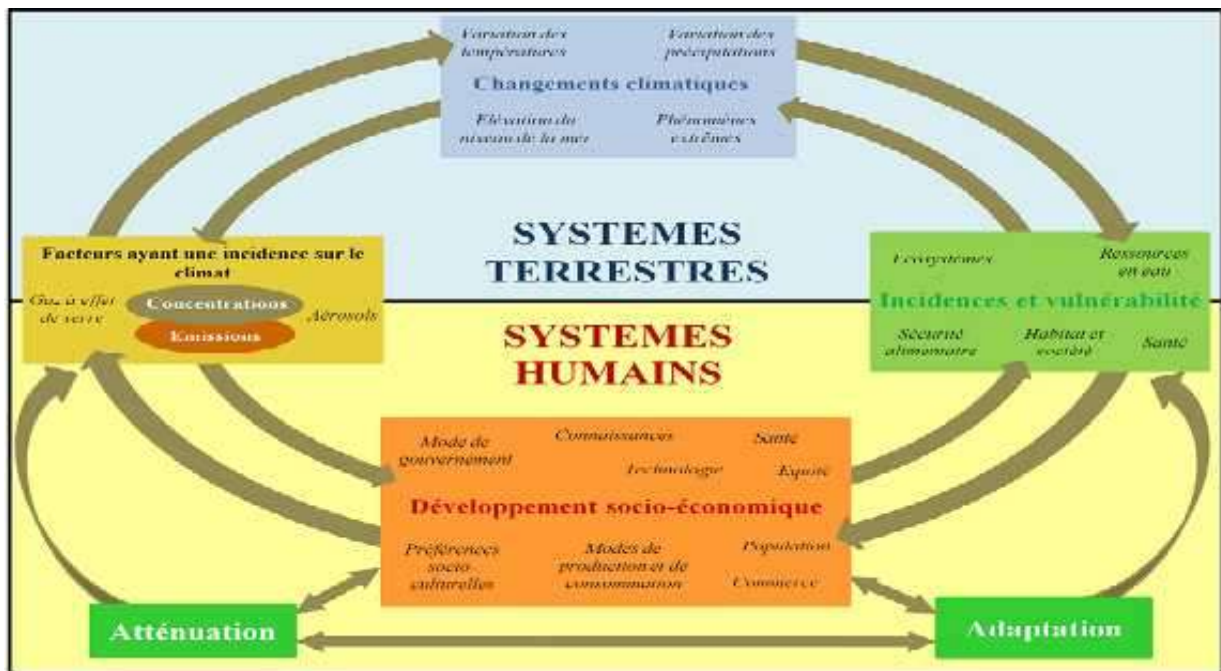


Fig. n°I-6 : Présentation schématique des interactions entre les facteurs humains de l'évolution du climat, les effets sur le changement climatique et les réponses apportées (**D'après IPCC FourthAssessment Report, 2007**).

5. Phénomène de l'érosion littorale :

L'érosion : est le déplacement vers l'intérieur des terres de la limite entre le domaine marin et le domaine continental. C'est la conséquence d'une perte de matériaux sous l'effet de l'érosion marine, combinée parfois à des actions continentales. L'érosion du littoral englobe à la fois :

- **l'érosion naturelle** induite par les forces marines
- mais également l'érosion générée ou accélérée **par l'homme**, particulièrement sur les côtes sableuses.

Parmi les causes **non anthropiques (naturelles)**, on peut citer :

- **L'évolution du niveau de la mer** : ce phénomène peut provoquer un démaigrissement et un recul des plages plus au moins importants.

Chapitre I : Le milieu littoral

- **Les tempêtes** : les fortes vagues associées aux tempêtes attaquent les hauts de plages et peuvent emporter les cordons littoraux meubles.
- **Les transports sédimentaires** par les courants, les houles et les vents : les courants marins ont une influence sur les processus sédimentaires.

De plus, le littoral est depuis toujours le lieu privilégié d'installation de ports, de villes et d'activités industrielles. Ces pressions humaines causent de profondes perturbations du rivage et des écosystèmes littoraux. Ces perturbations agissent conjointement et placent les plages dans une situation précaire. A titre d'exemple, on peut citer :

- **Les aménagements et l'artificialisation du littoral** : Favorise l'accélération de l'érosion en bordures des ouvrages, tout en augmentant le déficit sédimentaire.
- **La fréquentation humaine** : Elle concerne sur-fréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, aussi l'extraction des matériaux modifie les échanges sédimentaires.
- **L'exploitation des dunes sableuses** : Les dunes constituent, dans les zones où elles existent, une bonne protection naturelle par
 - ✓ Le barrage qu'elles offrent aux houles et marées de tempête, empêchant les eaux d'inonder des zones basses intérieures ;
 - ✓ La réserve de sable qu'elles constituent pour l'alimentation de la plage.

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

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

- **Les constructions très proches du trait de côte** : Les édifices construits trop proches 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.
- **La pollution** : Principale contrainte pour le développement récréatif, purement de nature anthropique, causé par tous rejets domestiques ou industriels (solides qu'ils soient ou liquides), provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu.

Chapitre II :
Présentation de la
zone d'étude

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique :

La Baie de Zemmourise située au sud du bassin occidental Méditerranéen, prolongeant du centre des côtes Algériennes jusqu'à l'Est de la baie d'Alger, en occupant un linéaire côtier de 50 km environ sous une forme de creux, elle est délimitée par le Cap de Djenet ($36^{\circ}52'$ Nord et $3^{\circ}45'$ Est) à l'Est et par le Cap Matiffou à l'Ouest ($36^{\circ}49'$ Nord et $3^{\circ}15'$ Est), (Fig. n°II-1).

La présence d'un promontoire rocheux d'environ 100 m est marquée; on parle du Rocher noir.

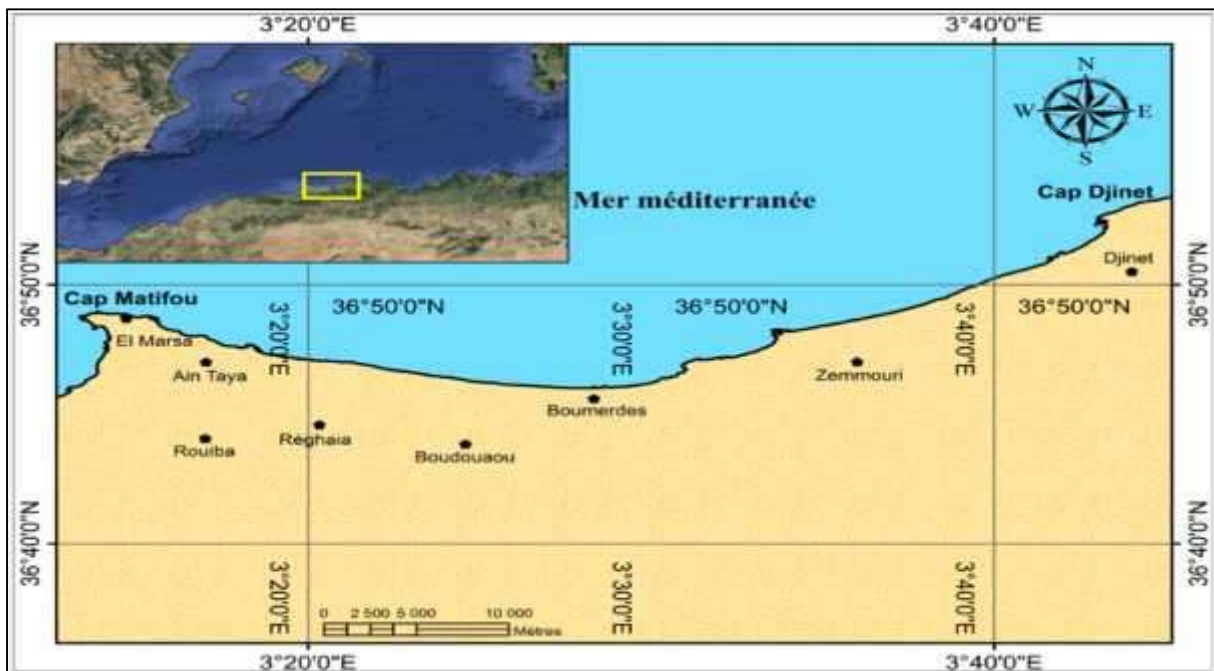


Fig. n°II-1: Situation géographique de la Baie de Zemmouri5BAIE

2. Cadre topographique régional :

2.1. Géomorphologie:

La willaya de Boumerdès située dans le Tell septentrional, se caractérise par une géomorphologie présentant des paysages variés, correspondant à trois grands ensembles (figure...)(FERRANI A., 1986).

- La plaine littorale au Nord ;
- Les derniers contre forts de l'Atlas Mitidjien au Centre et au Sud ;
- Les avants monts de la basse Kabylie à l'Est.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La géomorphologie du littoral s'intéresse à l'étude de l'évolution des formes littorales face au processus hydrodynamiques (vagues, houles et courants) et d'autres divers processus.

La zone de Zémouri présente une diversité de formes littorales. Il se développe plusieurs systèmes morphologiques qui sont le produit d'interaction entre les processus morphodynamiques et la nature géologique du site.

2.1.1. La géomorphologie littorale:

La baie de Zemmouri fait partie de la plaine littorale de la basse Kabylie qui est une zone que partage en deux parties égales les petits massifs de Ménerville. C'est une baie largement ouverte donc, touchée par des houles des directions différentes. Caractérisée par des plages composant tout le littoral et des falaises formant seulement 5% de la côte (P.A.C. ,1997 in FERRANI assia, 1998). On trouve les différentes formes suivantes

A. Les falaises

Le long de la baie de Zémouri, les traits géologiques et géomorphologiques laissent apparaître deux types de falaises qui se succèdent (P.A.C. ,1997):

- Les falaises entaillées en formation meuble.
- Les falaises édifiées en roches dures

B. Les plages sableuses

Une plage est une accumulation sur le bord de mer de sédiments libres dont la taille va des sables fins aux blocs, elles résultent du transfert et de l'accumulation de sédiments.

La zone de Zemmouri est une baie largement ouverte est donc elle subit de fortes houles des différentes directions, elle est caractérisée par des plages composant la plus grande partie du littoral et des falaises formant seulement 5% de la côte (GUIDOU&TOUZI, 2016)

- **Les systèmes sablonneux** : la zone d'étude est caractérisée par la présence d'un important système sablonneux ininterrompu, de couleur dorée, il commence au niveau de la plage de Surcouf (Ain Taya) et se continue jusqu'au Boudouaou El Bahri, puis il reprend à nouveau vers le port de Zemmouri jusqu'au Cap Djinet. Sur ce système, on peut distinguer des plages importantes ayant des aspects topographiques, morphologiques et morpho dynamiques différents (Deca Plage, Régaia plage, Boudouaou Elbahri, Corso, Boumerdes, Zemmouri, Elkabkab, Carriers 02...etc).

2.1.3. Morphologie sous-marine :

La morphologie du plateau continental est liée à la tectonique et à la structure continentale ; C'est le prolongement du relief terrestre sous la mer. Notre baie de Zemmouri se caractérise par l'étranglement de son plateau continental qui devient court au droit des îles Sanjas : 1.5Km et se rétrécit au niveau du mont de Thénia où la tectonique est active, avec

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

une largeur qui ne dépasse pas 3Km .Par ailleurs la largeur du plateau peut atteindre 15Km en face de la zone Est d'Isser (P.A.C., 1997).

En effet, la forme du plateau sous-marin présente plusieurs aspects, dus essentiellement aux conditions morphologiques, aux grands changements climatiques et à la dynamique sédimentaire spécifique (P.A.C., 1997).À cet effet, il existe dans la baie de Zemmouri :

- Une succession de dunes sous-marines atteignant la zone de cap Blanc et le Rocher Noir ; sous l'effet de la houle, ces sédiments forment de grands amas dunaires sous-marins qu'on retrouve seulement au niveau de Cap Djenet et à Cap Blanc ;
- Un platier rocheux contournant le promontoire de Cap Matifou pour apparaître sous forme de lambeaux formant ainsi le platier de l'île Aguéli et les îles Sanjas ;
- Le reste du fond est constitué de sédiments meubles avec parfois une végétation clairsemée ;
- Le talus est intensément buriné par un réseau de canyons qui perturbe la régularité du plateau ainsi que l'évolution du trait de côte.

2.1.3.1. La Sédimentologie du plateau continental en baie de Zemmouri :

À partir du travail de Leclair (1972), l'étude sédimentaire des fonds de la baie de Zemmouri, a identifiée :

- un faciès vaseux : il recouvre la majeure partie des fonds ;
- un faciès de transition extrêmement réduit dans les parties Est et Ouest de la baie ;
- un faciès sableux se présentant sous forme d'une bande côtière étroite ; ce faciès est en général cantonné aux fonds compris entre 0 et 20 m de profondeur.
- un faciès rocheux essentiellement localisé dans la partie Ouest de la baie.

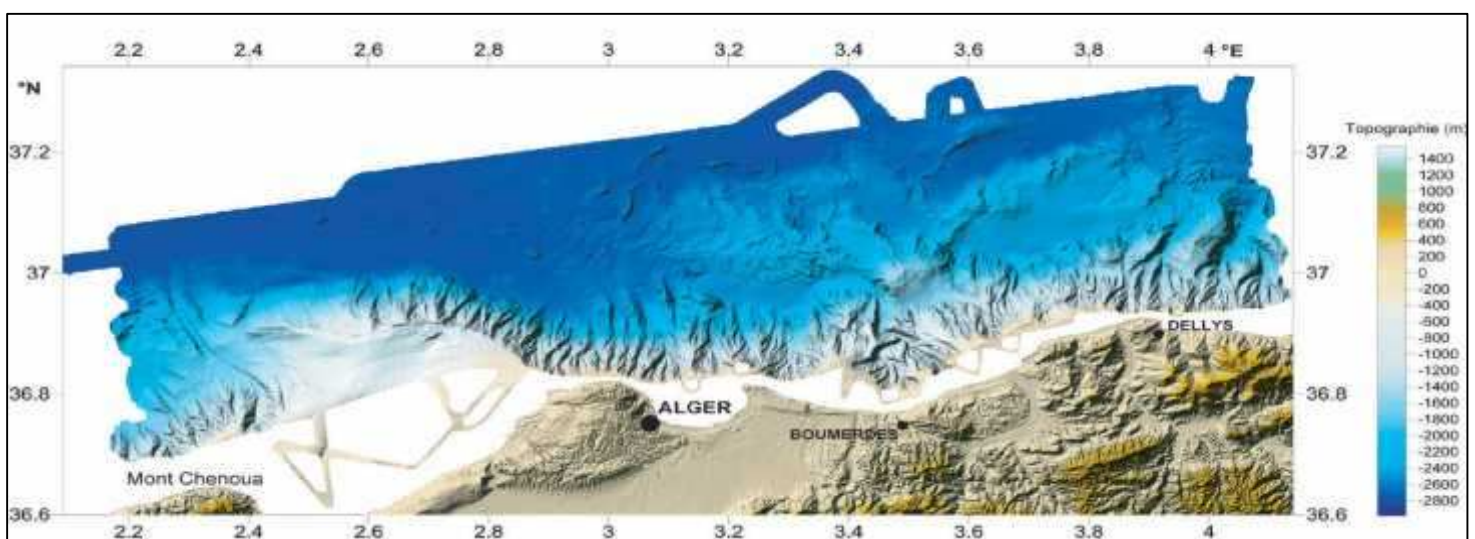


Fig. n°II-3: Bathymétrie et topographie du large de la région Algéroise (DOMZIG Anne, 2007).

2.2. La géologie :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

De point de vue géologique, la région de la baie de Zemmouri appartient aux zones internes des Maghrébides (**Fig. n°II-4**), segment orogénique de la branche dinarique de l'orogène alpin périméditerranéen. La structure des Maghrébides résulte de l'affrontement des plaques Africaine et Européenne. Cette collision est précédée d'une subduction de l'Afrique sous l'Europe (**Durand, et al. 1980; Wildi, 1983 in GUIDOU & TOUZI, 2016**).

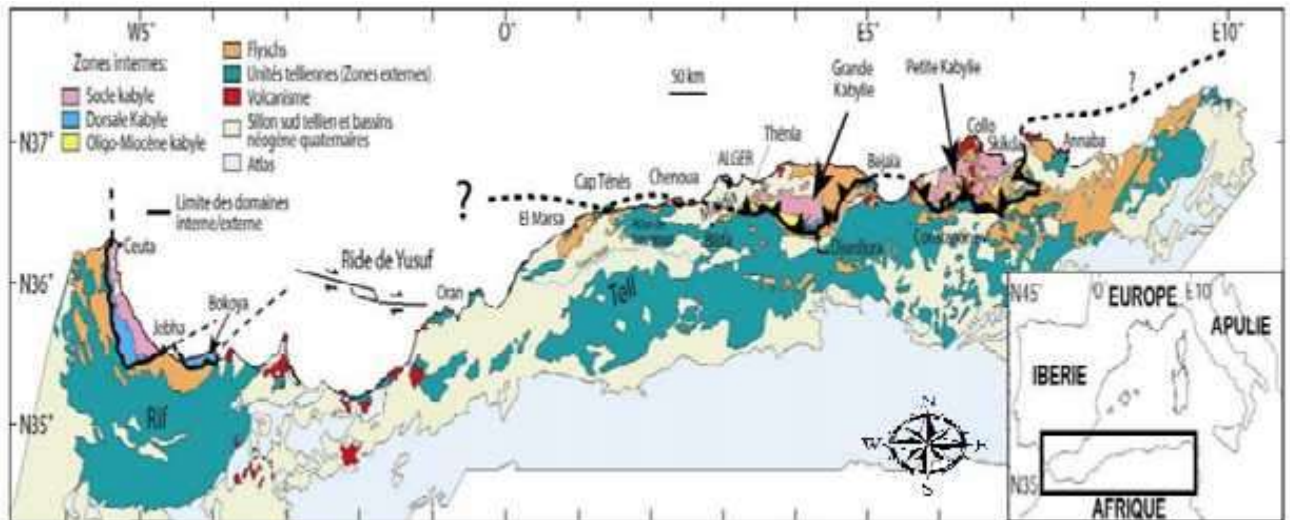


Fig. n°II-4: Position des différentes unités géologiques des Maghrébides (**Domzig Anne, 2007**).

En Algérie du Nord, la chaîne alpine comprend des unités internes constituées par des nappes allochtones. Certaines de ces unités comportent un socle et sa couverture méso-cénozoïque, d'autres ne comportent que des flyschs. Ces ensembles sont charriés sur d'autres unités, dites externes, qui se rattachent paléo-géographiquement au craton Africain.

A. Domaine interne

A.1. le massif de la grande Kabylie

A.2. la couverture Nord kabylie

A.3. la dorsale kabyle

B. Domaine externe

Ou domaine tellien, les unités du domaine externe sont structurellement les unités les plus basses qui sont développées au Sud de la bande discontinue que forment les unités internes.

Les deux domaines externe et interne se sont affrontés suite au rapprochement des plaques africaine et européenne. Ceci a conduit à la fermeture du bassin des flyschs, et celle

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

du sillon tellien, l'écaillage de la dorsale kabyle et le déplacement des flyschs et des unités telliennes en nappes pelliculaires loin vers le sud.

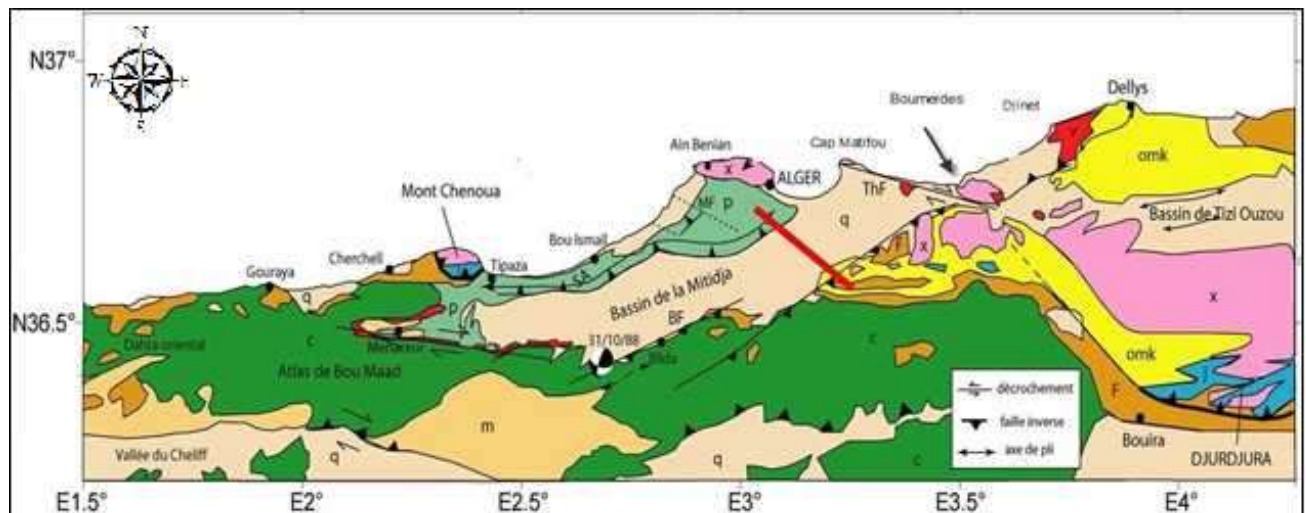


Fig. n°II-5:Coupe géologique montrant les relations entre les différentes unités des Maghrébides (Bracène, 2001 in GHIDOU & TOUZI, 2016).

Légende : SA : anticlinal du Sahel, BF: faille de Blida, ThF: faille de Thénia, MF: faille de Mahelma, X: socle métamorphique kabyle, zones internes, F: Flyschs, omk: Oligo-Miocène Kabyle, c: Crétacé, m: Miocène, q: Quaternaire, p:Pliocène, v: volcanisme

- **Quelques effets de séisme de Zemmouri (du 21 Mai 2003 (Mw = 6.8)) :**

La région Algéroise (Boumerdès-Dellys) a été secouée le mercredi 21 mai 2003 à 19h 44' (GMT) par un séisme de magnitude $M_l = 6.2$ selon le CRAAG et $M_w = 6.8$ selon les organismes internationaux [USGS].

Le choc principal a été ressenti jusqu'à 400 km de la zone épiscopentrale, atteignant les villes de Biskra, Annaba et Oran, et a provoqué un tsunami dans les îles Baléares (Meghraoui et al., 2003). L'épicentre se trouve en mer à environ 40 km de la côte entre les villes de Zemmouri et Cap Djanet. Ce séisme a induit de nombreux phénomènes géologiques entre Dellys et Bordj El Bahri, comme des glissements de terrain, des chutes de blocs, de la liquéfaction, des effondrements de sol et le retrait de la mer.

3. Cadre climatique et hydrodynamique de la zone Zemmouri :

On parle de la wilaya en générale :

Le climat de La Wilaya de Boumerdès, est entièrement placé sous l'influence du bassin Méditerranéen qui jouit d'un climat humide et tempéré avec une pluviométrie comprise entre 800 et 900 ml /an. Les températures varient entre 8°C et 38°C en moyenne les 25°C dans l'année.

La wilaya de Boumerdès jouit d'un climat Méditerranéen, caractérisé par une saison pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai, et par un été sec et ensoleillé, entretenue par la proximité de la mer, l'humidité relative est élevée et constante durant toute l'année (voir la Fig. n°II-6) (PATW, 2016).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

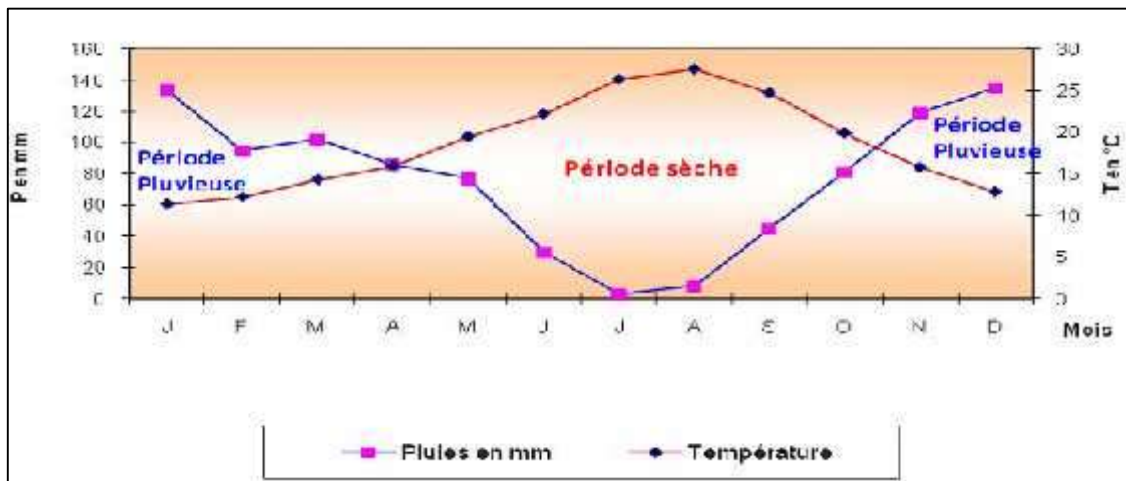


Fig. n°II-6: Diagramme ombro-thermique de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016)

3.1. Température :

La température dans la zone côtière de la wilaya de Boumerdès, connaît un adoucissement, cela serait dû à la proximité de la mer et à la présence de nombreux cours d'eau, avec une moyenne annuelle de 18°C près de la côte et de 25°C à l'intérieur des terres. (PATW, 2016).

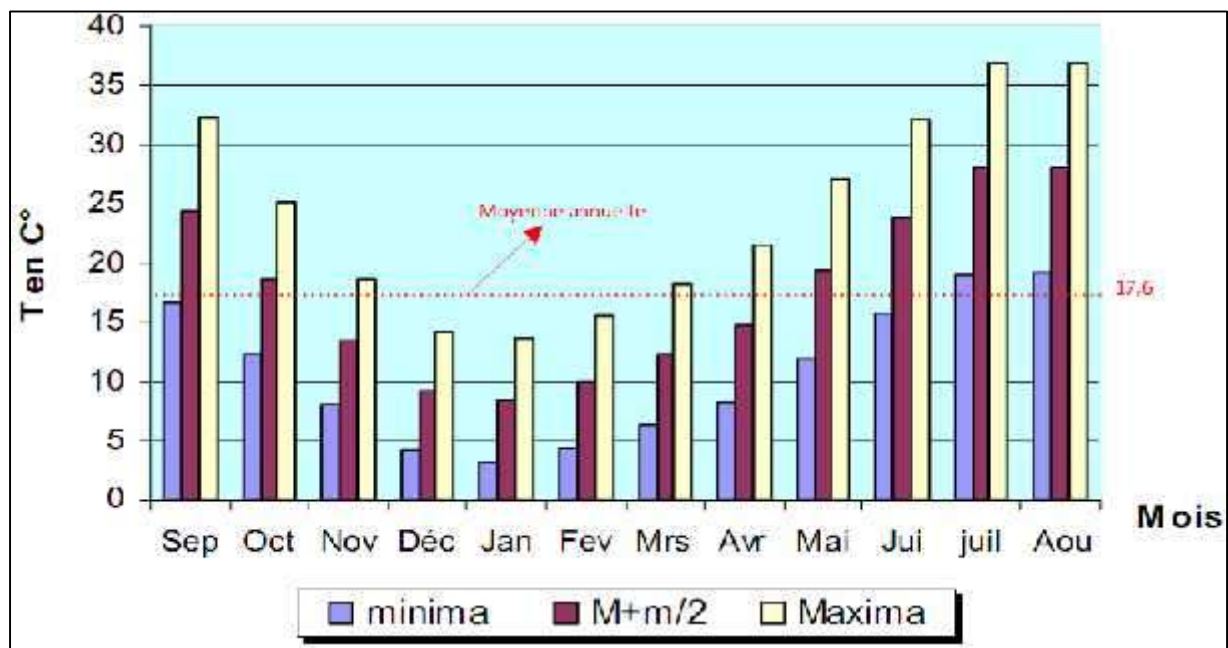


Fig. n°II-7: Diagramme de la température de la wilaya de

L'écart entre la température mensuelle des minima et la température mensuelle des maxima varie entre 7,6 °C en décembre et 33,8°C en août. Par ailleurs, les hautes valeurs estivales (températures) sont enregistrées en Juillet et en Août, par contre les valeurs d'hiver sont représentées par les mois de : Janvier et Décembre (PATW, 2016).

3.2. Les précipitations :

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

La pluviométrie est irrégulière et varie entre 600 et 1000 mm par an du mois d'octobre jusqu'au mois de mars. Il y a lieu de signaler que les régions du Nord-est de la wilaya de Boumerdès sont plus arrosées que le reste de la wilaya avec une pluviométrie moyenne supérieure à 900 mm/an.

La Période pluvieuses de la wilaya de Boumerdès est caractérisée par un déséquilibre entre 6 mois pluvieux (d'Octobre à Mars) avec un maximum en mois de Décembre (122.5mm), par contre la période estivale (d'Avril à Septembre) est la plus sèche avec de rares pluies.

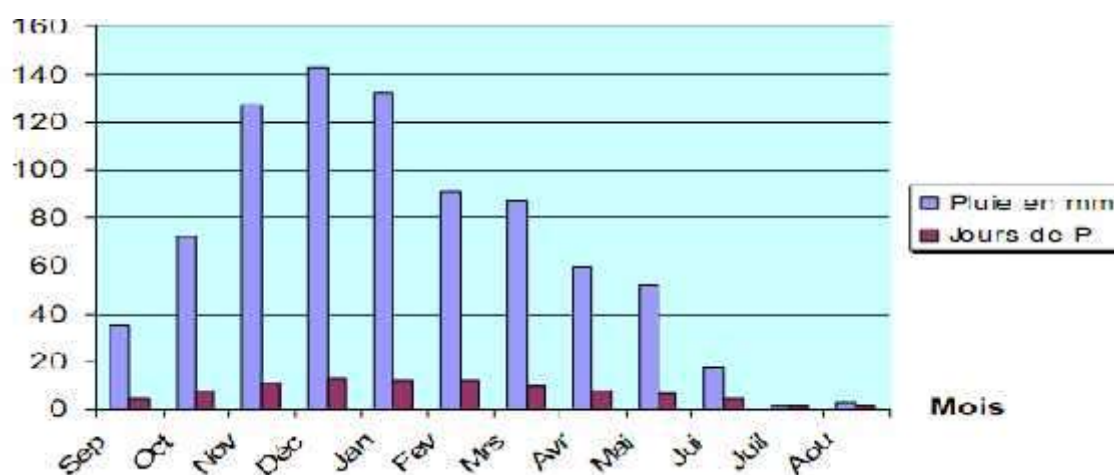


Fig. n°II-8: Diagramme de la pluviométrie de la wilaya de Boumerdès (PATW, 2016).

L'examen de l'histogramme ci-dessus fait apparaître une répartition irrégulière des précipitations durant les différentes périodes de l'année et caractérisé par deux saisons contrastées, s'avoir :

Une période pluvieuse et humide qui va à partir du mois d'Octobre jusqu'au mois de Mai, avec une moyenne de (756 mm / an), soit 92 % du total des précipitations annuelles.

Une période chaude et sèche, qui va à partir du mois de Juin jusqu'à Septembre, avec quelques précipitations (67 mm/ an), soit 08,20% du total des précipitations annuelles (PATW.2016).

3.3. Les vents :

Les vents dominants sont ceux de l'Ouest et du Nord-Ouest avec une prédominance de novembre en avril, par contre les vents d'Est et nord est prédominent en été avec des brises de mer et de terre.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- Le sirocco, vent du sud chaud et sec qui souffle sud-est et sud-ouest ne se produit qu'à faible intensité avec une moyenne annuelle de 20 jour /an.
- Le régime des vents se caractérise par la direction et la vitesse.
- Les plus dominants pour la Wilaya de Boumerdès sont les vents d'Ouest et les vents d'Est.
- La répartition annuelle montre que le vent d'Ouest prédomine de décembre à Avril.

Les vents dominants sont de direction Sud -Ouest (26,6 %), ceux du Nord (20%) et du Nord-est (18 %). En hiver, la part des vents représente 64,96% du total de l'année et le reste des autres variations se réparti à travers les autres saisons (**PATW, 2016**).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

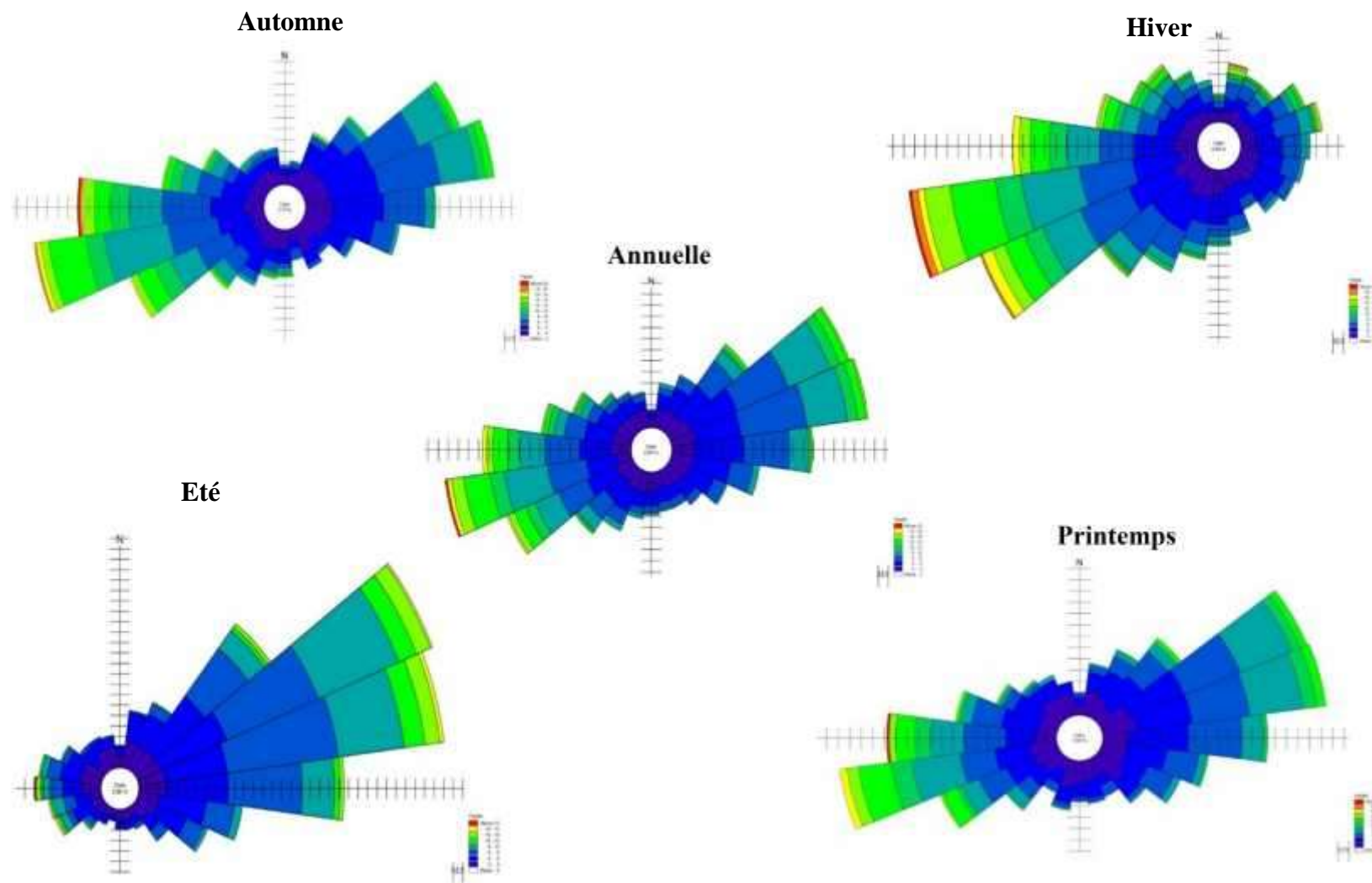


Fig. n°II-9.A : Roses annuelle et saisonnières des vents au large de la Baie de Zemmouri(MEDATLAS, 1999-2004 in GUIDOU&TOUZI, 2016).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

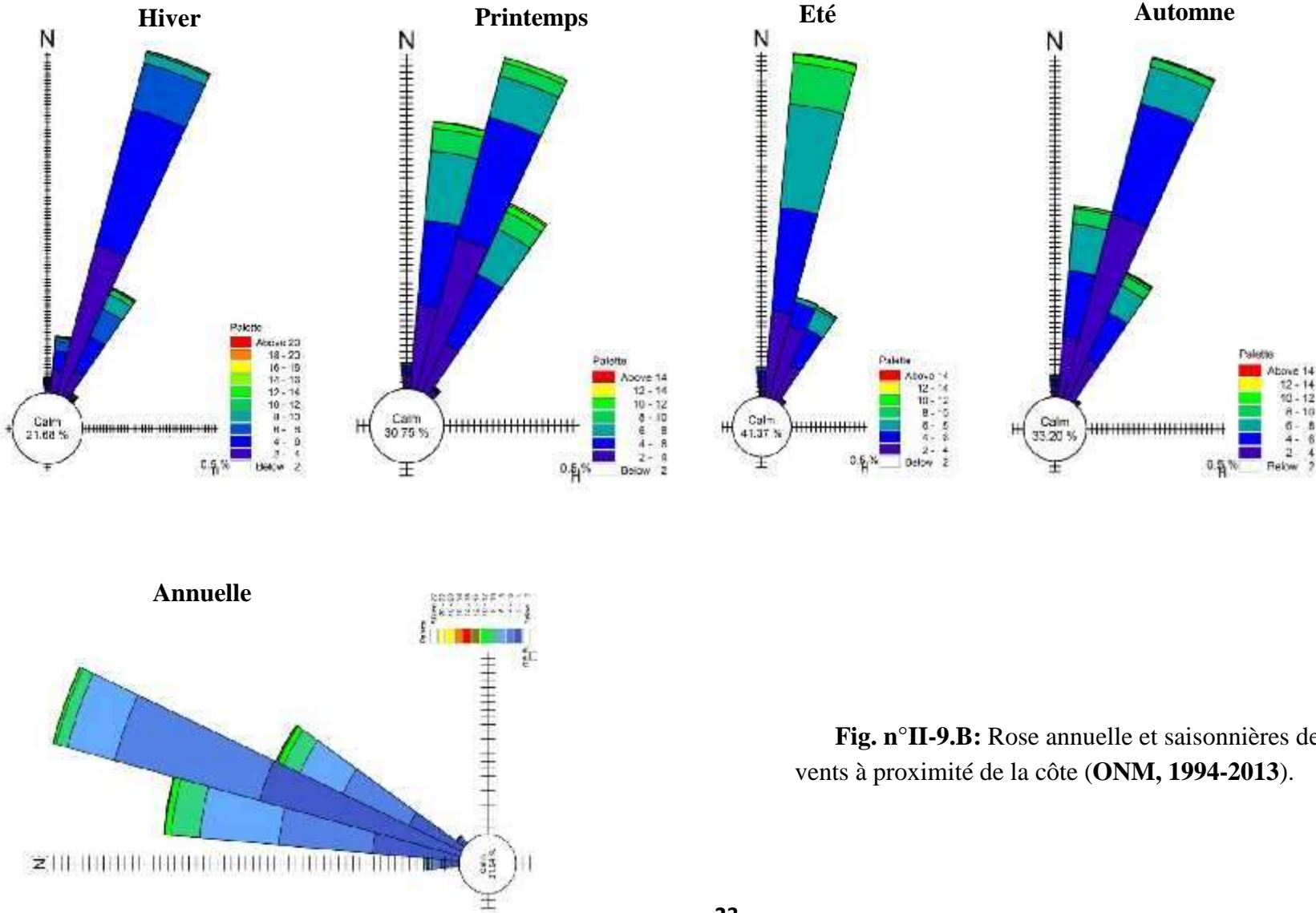


Fig. n°II-9.B: Rose annuelle et saisonnières des vents à proximité de la côte (ONM, 1994-2013).

3.4. La houle :

Les données directes de la région d'étude étant inexistantes, c'est au large des côtes algéroises que nous avons pu recueillir quelques données de houle regroupées dans «MEDATLAS» (BOUHMADOUCHE M, 2012).

Ces données couvrent une période de 10ans allant de 1994 à 2004 :

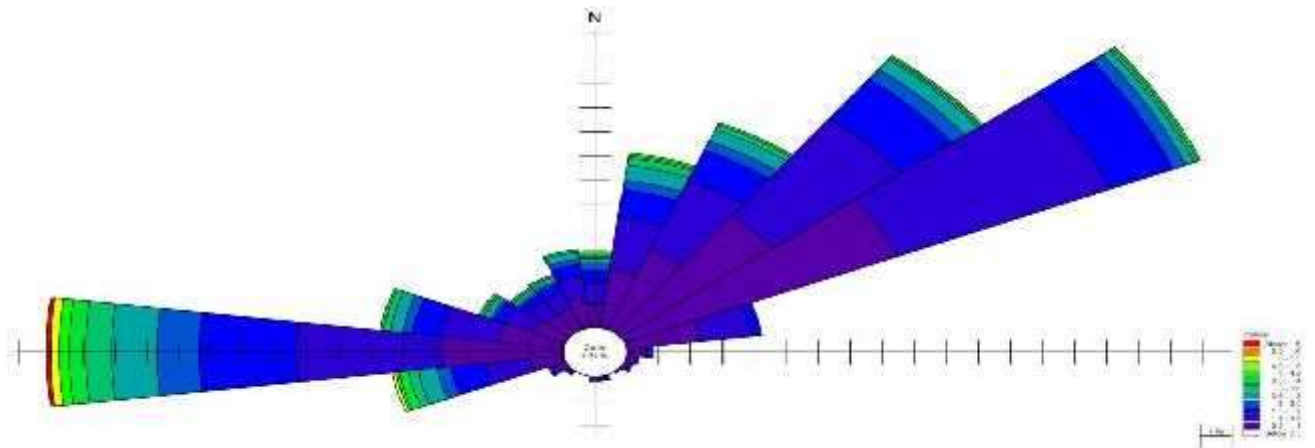


Fig. n°II-10.A: Rose annuelle des houles (MEDATLAS, 1994-2004).

Au large des côtes de notre zone d'étude, la rose annuelle des houles (**Fig.n°13**), montre que les agitations qui touchent la côte proviennent des secteurs Ouest, Nord-ouest, Nord et Nord-est. Les houles les plus fréquentes sont issues des secteurs Ouest (N270°) et Nord-est (N60°) avec des fréquences respectives de 12% et 19.8% et des amplitudes maximales <1.5m. Les fortes agitations avec des amplitudes supérieures à 3m sont moins fréquentes et proviennent essentiellement **des secteurs Ouest et Nord-ouest.**

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

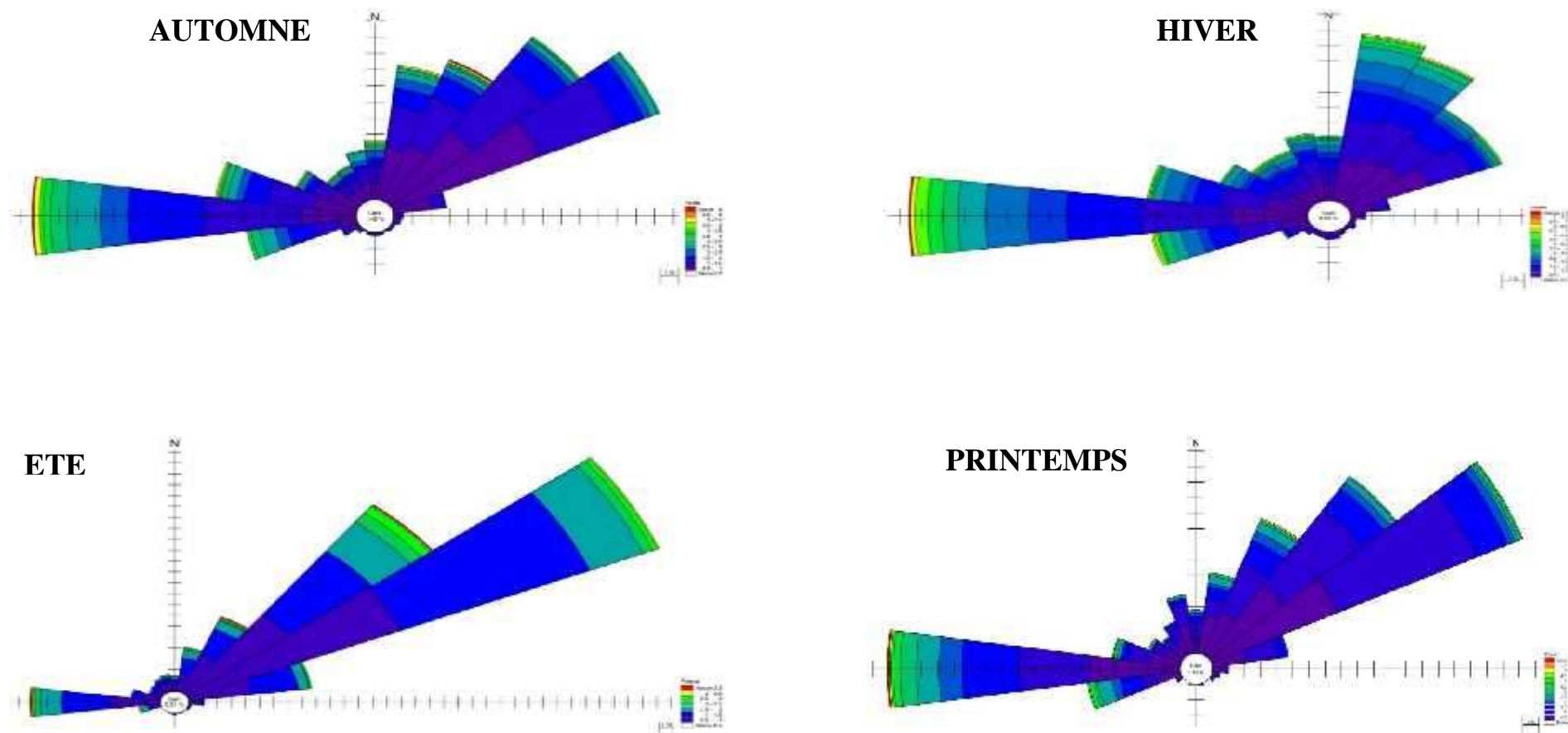


Fig. n°II-10.B: Roses saisonnières des houles au large de la baie de Zemmouri (MEDATLAS,1994-2004).

4.5. Les Courants:

Les courantomètres (appareils pour la mesure des courants) ont été mouillés en général à 25 Km au large des côtes algériennes lors d'une campagne Mediproduct V effectuée pendant 9 mois En 1986. (Fig. n°II-11).

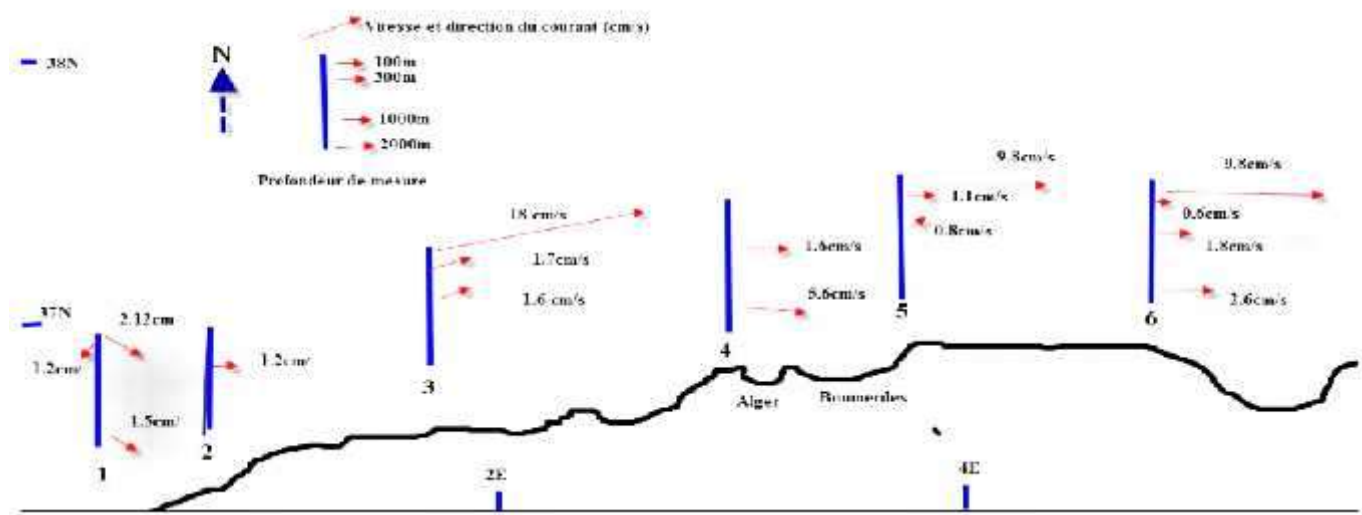


Fig. n°II-11: Courant moyen en zone côtière Algérienne (Millot & Médiproduct V, 1986 in BOUHMADOUCHE, M, 2012).

À l'immersion 100m les vitesses sont relativement importantes, de l'ordre de 10 à 20 Cm/s. Aux autres immersions, les valeurs s'atténuent et deviennent sensiblement plus faibles: de 1 à 3 Cm/s sauf au point 4 à 2 000m où l'on note une valeur de 6cm/s.

On remarque, en général, qu'à toutes les immersions les courants moyens suivent une même direction portante vers l'Est.

4. Contexte hydrologique :

4.1. Réseaux hydrographique

Le réseau hydrographique de la grande baie de Zemmouri est caractérisé par son importance de point de vue densité hydrographique. Ce réseau d'oueds prend source dans l'Atlas blidéen (piémont) et se déverse en mer. Contribuent ainsi efficacement à l'évolution de la morphologie littorale en général.

La grande baie de Zemmouri est caractérisée par un réseau hydrographique constitué d'Est en Ouest par les oueds Ammara, Isser, Merdja, Safsaf, Boumerdès, Corso, Boudouaou et Réghaia (Fig. n°II-12).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau n°II-1: Estimation des apports solides des Oueds (ANRH 1986-1992).

les Oueds	Taux d'abrasion moy (m ³ /km ²)	volume du transport solide (Mm ³ /ans)
Oued Réghaia	210	0,02
Oued Boudouaou	1380	0,21
Oued Corso	1150	0,11
Oued Boumerdes	550	0,02
Oued Isser	1200	4,96

Dans le secteur d'étude, les deux oueds considérés comme importants sont les oueds Isser et Boudouaou. Actuellement, ces derniers sont "fermés" respectivement en amont par les barrages de Keddara et Beni Amrane, réduisant ainsi considérablement les 2 apports sédimentaires majeurs vers le milieu marin.

DONC : Les conditions climatiques et pédologiques des bassins versants des oueds facilitent l'érosion et le ruissellement. En été, les lits des oueds sont réduits à de minces filets d'eau, alors qu'en hiver leurs crues peuvent être violentes.

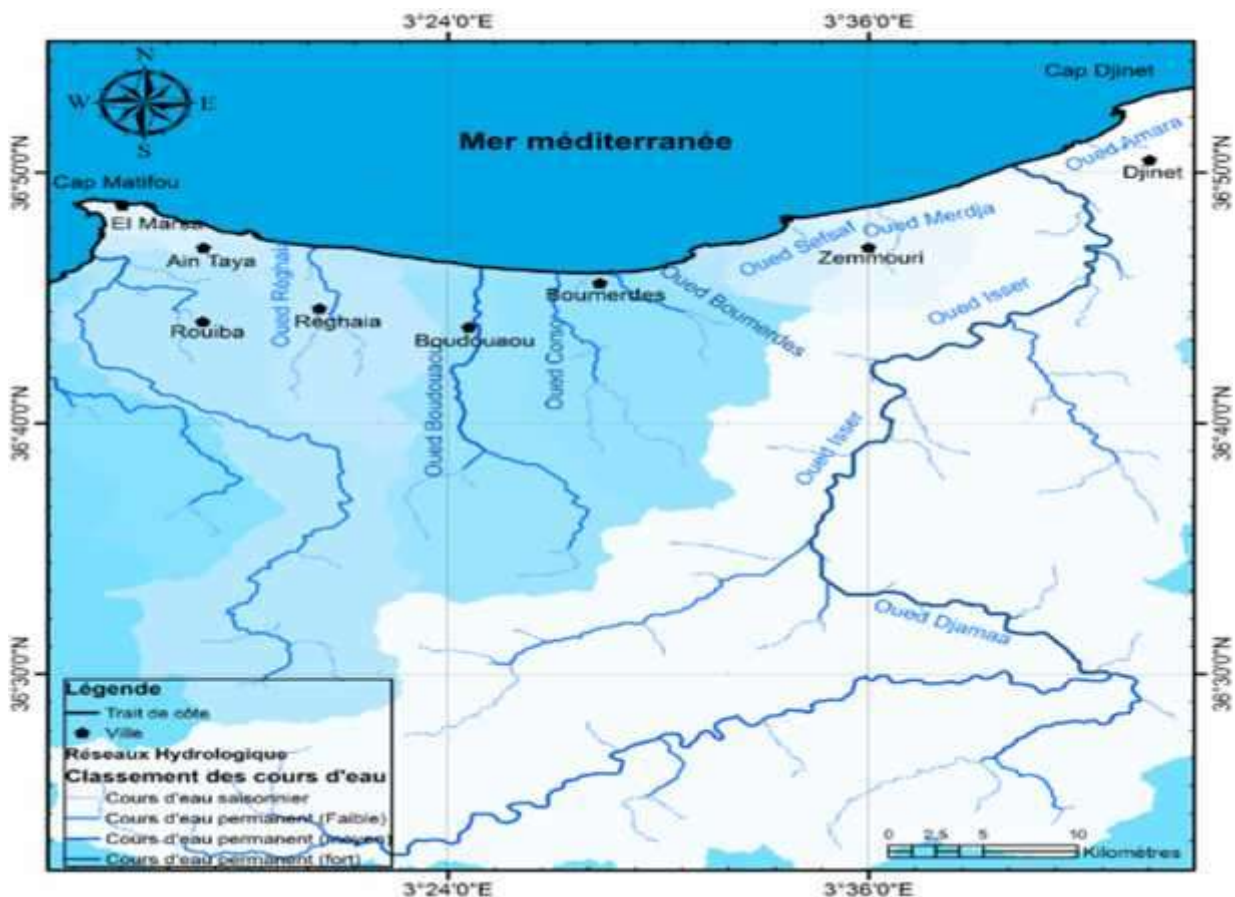


Fig. n°II-12: Réseaux hydrographique de la grande baie de Zemmouri(GUIDOU&TOUZI,2016).

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

5. Structure et classification morpho-dynamique des plages de la baie de Zemmouri :

Le littoral de la baie de Zemmouri s'étend de Cap Matifou jusqu'à la limite Est de Cap Djinet. Caractérisé par une mer à faible marnage, et un paysage marqué par l'alternance des plages, ces plages sont des accumulations de matériaux, comprenant du sable fin, galet, et des graviers issues de l'érosion des roches mères par la mer ou alors par le drainage des matériaux érodés en amont par les Oueds.

On distingue trois sous-ensembles (E.N.E.T., 1985 in FERRANI Assia, 1998) :

5.1. Le secteur Ouest :

Délimité par un pic rocheux connue sous le nom de Cap Matifou (46 m) au relief remarquable avec des falaises de 12 à 15 mètres jusqu'à l'oued Boudouaou. On observe une zone de dépôt de sédiments meubles formant des belles plages de sable fins à citer : plage d'ElMarsa, plage d'Ain Beida, plage d'Ain Taya, plage du sable d'or et la plage de Boudouaou El Bahri. Au large des îles : île de Sandjas et l'île Aguéli.

5.2. Le secteur Centre :

S'étend de l'Oued Boudouaou à l'embouchure de l'oued Isser. Il se caractérise par une côte au profil presque concave découpé de calanques rocheuses et plage de sable fin : "plage de corso, plage de Boumerdès, plage d'El Karma (Figuiers), plage de Zemmouri El Bahri Est et Ouest".

La plupart de ces plages sont situées aux embouchures des Oueds, où ils ont subi une accumulation sableuse très forte qui a engendré la formation dunaire qui s'explique par le triage des sédiments sélectif par les vents venant du large de la haute plage en raison de l'absence de la végétation.

Ces dunes occupent une bande comprise entre Cap blanc et Cap Djinet; Elles sont de faible hauteur et n'apparaissent pas consolidées, mais simplement fixées par la végétation.

5.3. Le secteur Est :

S'étend de l'embouchure de l'Oued Isser jusqu'à Cap Djinet, cette bande se caractérise par un profil convexe marqué par une plage de sable plus au moins fin 'plage de Cap Djinet'.

Cependant, ces plages sont parfois délimitées par des becs rocheux qui plongeant à pic dans la mer offrant des points panoramiques 'Cap Matifou, Rocher Noir, Figuiers, Cap blanc, Cap Djinet'.

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

- **Cap Matifou :**

Ce bloc rocheux, situé à l'Ouest de cette région côtière, ferme à l'Est la courbe majestueuse de la baie d'Alger qui offre des points de vue panoramiques.

- **Cap blanc :**

L'ensemble de ce site est situé à l'Est d'El Karma est d'un grand intérêt touristique qui demeure attrayant, pour l'ensemble de la région grâce à son isolement de l'urbanisation anarchique, et ses nombreuses curiosités naturelles « petites grottes, petites plages au fond des rochers et criques rocheuses constituant des îlots dans la mer ».

- **Cap Djinet :**

Bloc rocheux situé à l'Est de l'embouchure d'Oued Isser, offrant des vues lointaines sur le littoral de la Wilaya d'Alger, avec des vues panoramiques plus complètes sur le paysage verdoyant du forêt de Bouberek.

6. Actions anthropiques et leurs impacts sur le littoral de la Baie de Zemmouri:

6.1. Situation et tendances de la littoralisation :

6.1.1. Evolution de la population et de la densité côtière :

Le phénomène d'urbanisation est différencié spatialement. Cette polarisation est l'un des facteurs principal de la littoralisation avec tous les impacts environnementaux et fonciers qu'elles génèrent. Les principales causes des pressions exercées sur le milieu sont liées à une urbanisation non conforme aux orientations législatives (normes et lois réglementaires), aux extractions sauvage des sablières, aux rejets directs des eaux usées domestiques et industrielles, à l'occupation du domaine public maritime, à la disparition du couvert végétal et la concentration des déchets domestiques, industriels et ceux du tourisme avec ses différentes formes.

Tableau n°II-2:Evolution de la population côtière 1987, 1998,2008 (cas d'Exemple Zemmouri).

Commune	Pop 1997	Pop 1998	Pop 2008	Taux 87/98	Taux 98/05
Zemmouri	15606	21012	46408	2.67	2.40

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

6.1.2. Le tourisme :

Le potentiel touristique de Boumerdès est riche et diversifié :

- Une zone balnéaire de près de 80.33 km de long avec plus de 41 Plages ;
- Un patrimoine culturel varié et riche;
- Un patrimoine naturel intéressant même s'il est en voie de dégradation (zones humides, forêts, baies);
- Des infrastructures de liaisons assez développées et des ports de plaisance en projet ;
- Un potentiel foncier conséquent dans les ZET ou le long de la côte ;
- Une contribution négligeable à l'activité touristique de la wilaya.

La littoralisation et l'occupation des sites touristiques du fait de l'expansion du tissu urbain pourraient à terme faire perdre au potentiel touristique son attractivité notamment vis-à-vis de l'étranger.

Une affluence touristique bas de gamme, du fait des densités d'utilisation des plages, augmenterait la pression de ces dernières sans procurer les ressources nécessaires à leur maintien et préservation. (PATW, 2016).

6.1.3. Évolution des bâtis sur le littoral :

Le développement du bâti urbain dans la zone côtière est caractérisé par une occupation longitudinale préférentielle. L'occupation 'pieds dans l'eau', trop proche du rivage, s'est intensifiée et étendue à proximité des pôles urbains de Boumerdès à l'Est. Cette occupation consiste en grande partie en habitat individuel, peu dense, qui se traduit par des aménagements spontanés. L'indisponibilité foncière et la croissance de certaines agglomérations côtières rendant difficile le respect et l'application des dispositions de la 'loi littoral', qui consacre pourtant la préservation de la naturalité du domaine littoral. La zone de servitude des 300 mètres s'étend sur un espace de 2000 hectares. Environ 875 hectares sont occupés par des aménagements et autre types de construction. Ceci indique une situation globalement encore 'récupérable' puisque près de 44 % de la bande des servitudes des 300 mètres est resté à l'écart de l'emprise du Bâti urbain ou d'autres types d'occupation. La bande de servitude des 100 mètres s'étend sur une surface totale de 731,27hectares. (PATW, 2016)

6.1.4. Les eaux usées :

La qualité des eaux côtières, notamment des eaux de baignade, étant déterminante pour l'activité touristique, le problème, qui se pose, est lié à la qualité du milieu qui est associé à la pollution générée par le rejet des eaux usées urbaines et industrielles. Les eaux usées ménagères côtières totaliseraient un débit estimée de près de 31452,07 m³/j pour l'année 2011. Cette pollution hydrique urbaine (effluents non épurés rejetés dans les milieux naturels) touche les différents espaces du littoral de la wilaya et constituent des menaces pour l'hygiène et la santé publique et des graves incidences sur les ressources biologiques et le milieu physique des oueds.

CHAPITRE III :
Analyse
Granulométrique

Chapitre III : Analyse granulométrique

INTRODUCTION

L'analyse granulométrique d'un sol consiste à déterminer la proportion des diverses classes de grosseur des particules. Il n'existe pas de méthode parfaite pour déterminer la granulométrie; l'exactitude de la méthode dépend de la nature du sol et, plus précisément, de la forme géométrique des particules et du pourcentage des matières organiques qu'elles renferment.

Dans ce chapitre on va présenter en détail l'analyse granulométrique ; de Son principe passant par le mode opératoire et les différents indices utilisés pour y arriver à la fin à présenter les résultats sous forme des cartes dans le but de leur discussion.

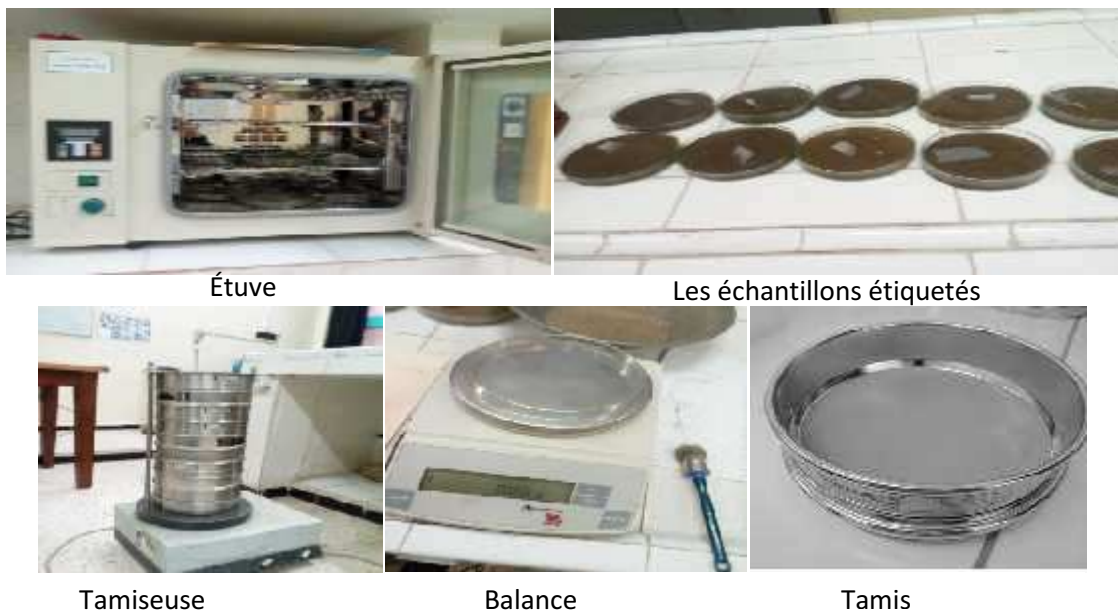
1. Principe du tamisage :

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille de particules élémentaires ou de grains. Le tamisage consiste à mesurer le poids de sédiment retenu par les toiles mailles de tamis calibrés. Chaque tamis est superposé par taille de maille décroissante selon une progression mathématique. Le poids de sédiment retenu (refus de tamis) peut alors être connu. On utilise une tamiseuse qui va faire vibrer l'ensemble de la colonne pendant un temps précis.

2. Le matériel pour le tamisage

Un laboratoire de sédimentologie contient plusieurs instruments destinés à l'analyse granulométrique.

Le laboratoire doit disposer de postes de travail dédiés à la pesée, à l'observation des échantillons 1, éventuellement d'un poste informatique permettant la saisie des données. Le reste du laboratoire est dédié au séchage et au tamisage.



Étuve

Les échantillons étiquetés

Tamiseuse

Balance

Tamis

Fig. n°III-1 : Le matériel utilisé dans le tamisage.

5. Mode opératoire :

5.1. Prélèvement et conservation

Prélever un échantillon représentatif dans un contenant de plastique ou de verre.

Le délai de conservation entre le prélèvement et l'analyse ne doit pas excéder 6 mois. (**Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, 2015**)

5.1.1. Prélèvements sur le terrain

L'extraction de sédiment sur le terrain nécessite l'utilisation de techniques très variées selon la nature du terrain, le problème posé et le type d'analyse, le type de sédiment (des vases aux méga-blocs) et la quantité de sédiment à analyser.

- **Partie aérienne :**

Le prélèvement sur le terrain s'effectue directement, Dans notre cas il est possible de prélever manuellement le sédiment en creusant bien la surface où on prélève, et aussi de prendre les coordonnées métriques (longitude et l'altitude) de cette station à l'aide d'un GPS, puis les mettre dans des sacs en plastique étiquetés. On a prélevé 21 échantillons répartie sur 7 transect lors de notre sortie sur terrain en mai 2017.

- **Partie marine :**

- **Données disponibles :**

Le positionnement des prélèvements au large de la grande baie de Zemmouri a été réalisé par le radar de bord du navire océanographique "M.S Benyahia"1986. Les prélèvements côtiers ont été positionnés à l'aide de théodolites à partir de stations fixes à terre.

La couverture sédimentologique de la zone d'étude a été échantillonnée en deux étapes .Les prélèvements à la côte (0-2500 m côte-large) ont été effectués à l'aide d'une embarcation pneumatique. Pour ces derniers l'échantillonnage a été réparti sur 82 radiales (35 pour la zone occidentale et 47 pour la zone orientale).

De la côte vers le large, chaque radiale renferme 8 échantillons en moyenne, répartis selon une maille de 100 m pour les 5 premiers échantillons puis une maille de 500 m pour les 3 derniers. Au total 650 prélèvements côtiers ont été opérés, cet échantillonnage a été concrétisé au cours de la mission "Mediproduct V" à bord du navire océanographique "M.S.Benyahia". Ainsi 37 prélèvements ont été réalisés jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 200 m.

Tous les prélèvements superficiels ont été exécutés à l'aide de deux modèles de bennes preneuses de type Van veen, avec une pénétration de l'ordre de 30 centimètres pour les sédiments à la côte et de 60 cm pour ceux du large. 5 carottes ont été prélevées pendant la

Chapitre III : Analyse granulométrique

mission "Médiprod V", à l'aide d'un carottier gravitaire « Kullenberg » d'une longueur de lance de 150 cm et de 11 cm de diamètre. Le taux de récupération a été de l'ordre de 1mètre. Les observations terrain et les résultats sédimentologiques sont intégrés dans un SIG (Système d'Information Géographique) utilisé pour l'élaboration des cartes.

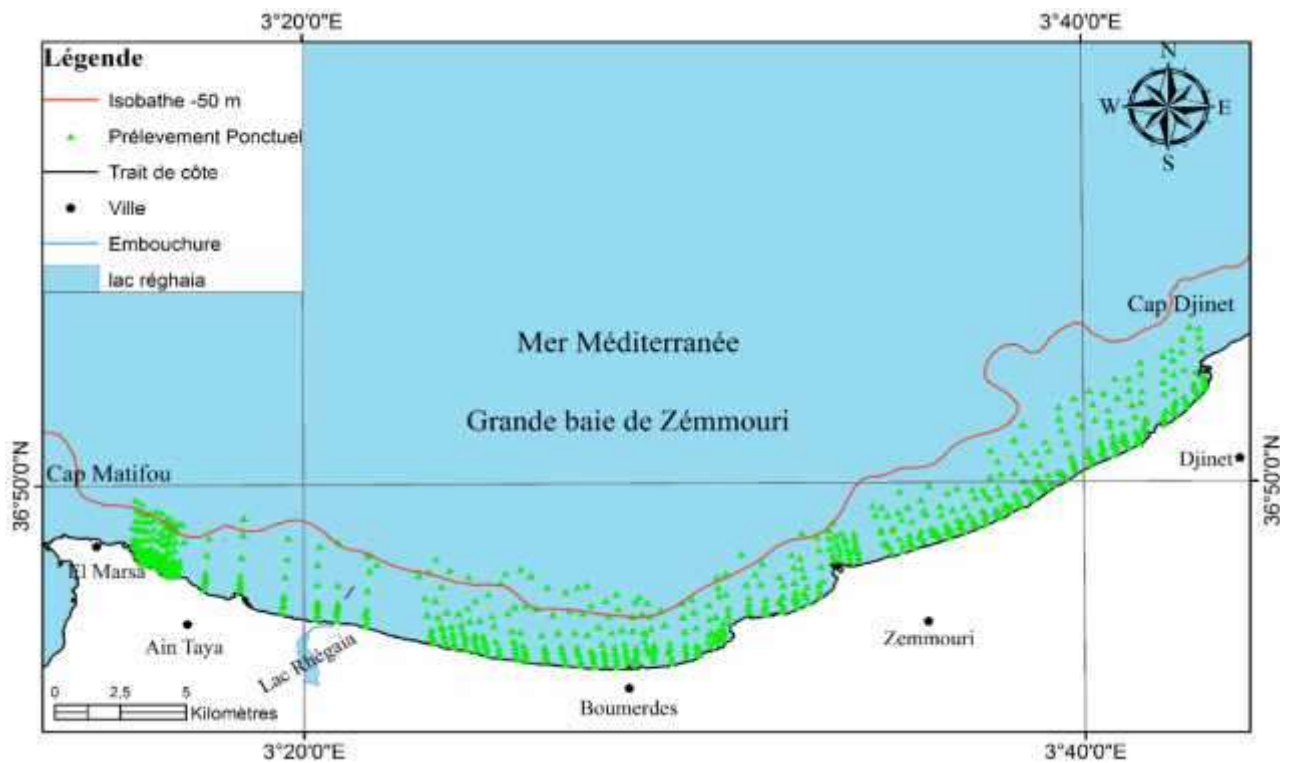


Fig. n°III-2: Carte de positionnement des prélèvements côtiers superficiels. (Compagne Midiprod.V 1986)

Une fois recueillis, les échantillons sont placés dans des Sachets en plastiques prévus pour contenir le sédiments prélevés, étiquetés à l'aide d'un feutre indélébile sur des petites feuilles en papier transparent, dans chaque sachet.

Pour satisfaire l'intérêt de ce sujet, ces échantillons ont successivement subi les analyses suivantes:

5.2. 1^{er} Séchage :

Les échantillons sont placés dans une étuve pour y être séché. Selon la nature du sédiment et le type d'analyse, les échantillons vont sécher de 24 à 48 h à une température de 105°C. En suite à l'aide d'une balance de précision ; on prend une quantité de 200g de chaque échantillon.

Chapitre III : Analyse granulométrique

5.3. Laver :

Puisque la vibration ne suffit pas à faire descendre les fines tout en bas, il faut trouver un autre moyen d'y parvenir. Pour cela on lave l'échantillon dans le plus petit tamis (40 μ m). En effet l'eau a pour effet d'entraîner les fines avec elle. L'utilisation du plus petit tamis garanti que seule l'eau chargée des fines traversera ce tamis (il faut par le calcul prendre en compte leur proportion en % dans le granulat).

Les fines sont entièrement tamisées lorsque l'eau de lavage devient claire.

5.4. 2em Séchage:

On fait le séchage encore une fois comme il a été déjà mentionnée puis à partir d'une balance de précision, on peut évaluer la fraction des pélites (<40 μ m) qui représente la différence entre les deux pesée et on la traduit par pourcentage.

5.5. Tamiser

Les tamis sont placés les uns sur les autres dans le sens décroissant. Le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne (**Figure n°III-1**) On utilise un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer le refus. La colonne est placée sur une tamiseuse (**Figure n°III-1**) qui va la faire vibrer à une fréquence connue (60Hz) pendant un temps connu (généralement 10 minutes). Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose. Chaque refus est alors versé délicatement dans une boîte de Pétrie pour être pesé. On utilise généralement un pinceau ou une brosse pour enlever les derniers grains qui restent dans le tamis.

5.6. Peser

Chaque refus de tamis est pesé à l'aide d'une balance de précision, préalablement stabilisée sur un plan parfaitement horizontal, tarée et à l'abri des mouvements d'air.

Les données sont notées sur une feuille avant d'être intégrées dans un tableur à fin **d'analyses statistiques**.

6. Les paramètres et indices granulométriques :

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

6.1. Les paramètres de position :

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond.

Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques.

Chapitre III : Analyse granulométrique

6.1.1. Le grain moyen :

- Q50 (D50) : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.

6.1.2. Le mode granulométrique :

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

6.2. Les indices granulométriques :

6.2.1. Les indices de dispersion ou de classement:

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

$$\circ \text{ Folk et Ward : } = [(84 - 16) / 4] + [(95 - 5) / 6,6]$$

Tableau n°III-1 : Les valeurs adoptées de S_0 pour le classement

Les valeurs de S_0	Le classement
$S_0 < 1$	Très bien classé
$1 < S_0 < 2.5$	Bien classé
$2.5 < S_0 < 3$	Normalement classé
$3 < S_0 < 4$	Mal classé

6.2.2. Les coefficients d'asymétrie :

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

$$\text{- Folk et Ward : } S_k = ((16 + 84 - 2 \cdot 50) / 2 (84 + 16)) + ((5 + 95 - 2 \cdot 50) / 2 (95 + 5))$$

Tableau n°III-2: les valeurs adoptées de S_k pour l'asymétrie.

La valeur de S_k	L'asymétrie
$S_k < 1$	Classement maximum vers les fines
$S_k = 1$	La symétrie est parfaite
$S_k > 1$	Classement maximum vers les grossiers

Chapitre III : Analyse granulométrique

7.1.1. Carte de la Médiane (D50) :

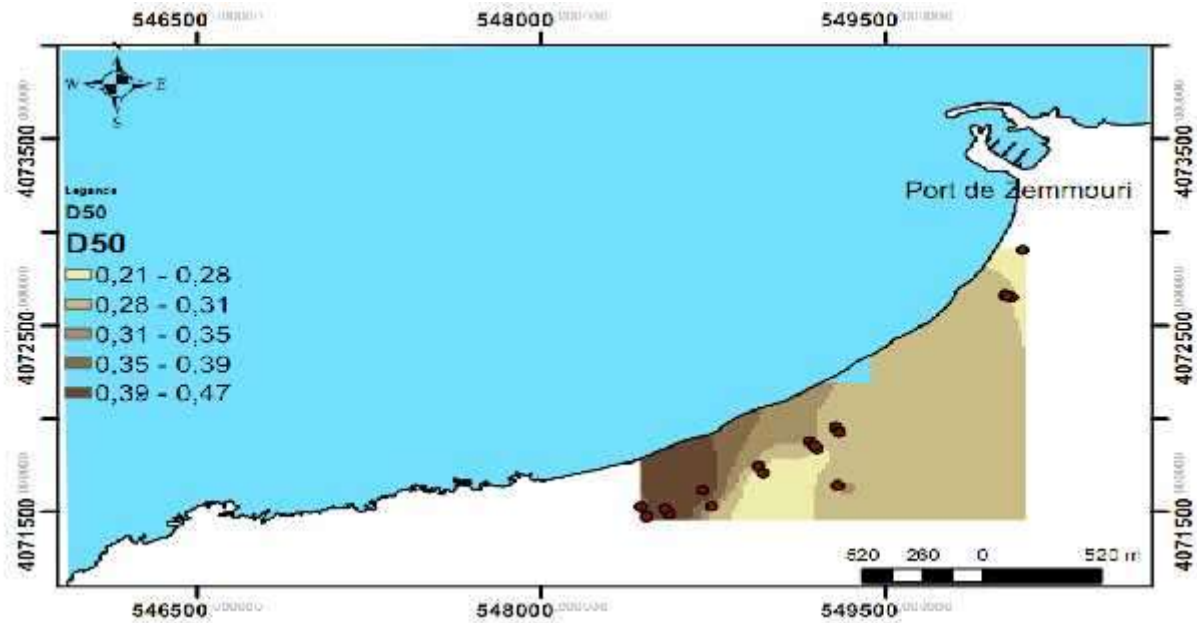


Fig. n°III-4: Carte de répartition de D50 dans la Partie Ouest du port de Zemmouri

A partir de cette carte, il nous paraît que les diamètres moyens décroissent en allant de l'Ouest vers l'Est, débutant d'un maximum de 470 μm vers un minimum de l'ordre de 210 μm , avec une prédominance spatiale de diamètres 330 μm . Cette répartition de sable fin est due probablement à l'effet que la zone qui vient juste après le port considérée comme une zone abritée ce qui favorise le dépôt des grains fins et en s'éloignant vers l'Ouest ce diamètre moyenne a une tendance à croître sous l'effet de jet de rive et la nappe de retrait sur la ligne de rivage, puis transporté par le vent dans différentes directions.

7.1.2. Carte Modale :

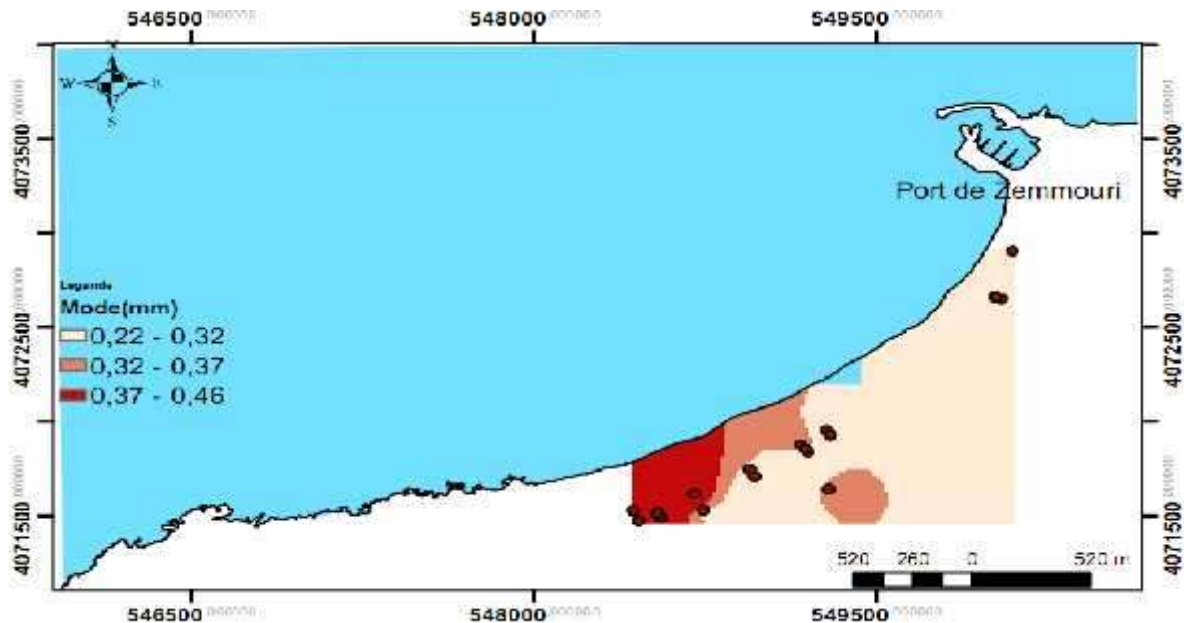


Fig. n°III-5 : Carte de répartition de Mo dans la Partie Ouest du port de Zemmouri

Chapitre III : Analyse granulométrique

Les résultats obtenus montrent que en avançant de l'ouest de la zone d'étude (ouest du port) vers l'est, le faciès sédimentaire de la haute plage prospecté est dominé essentiellement par des sables fins à moyens ($220\mu\text{m} < M_0 < 320\mu\text{m}$). La teneur la plus élevée qui se traduit par un sable grossier ($370\mu\text{m} < M_0 < 460\mu\text{m}$) est enregistrée dans l'extrême Est, cela est dû à la force éolienne marquée en s'écartant de la zone abritée du port.

7.2. Partie marine :

C'est de l'inventaire et de la distribution des paramètres sédimentologiques sur le plateau continental qu'il est possible de reconstituer toute la dynamique du matériel détritique depuis les zones d'apport jusqu'aux milieux de dépôt.

Pour la répartition des faciès des sédiments meubles de la zone d'étude la méthode de classification des sédiments meubles du B.R.G.M. (France) a été adoptée ; elle exprime les rapports entre les diverses classes granulométriques en adoptant des coupures des tailles allant de 20mm à $40\mu\text{m}$ (**Fig. n°III-6**). Les subdivisions principales sont les suivantes

- ✓ **S1** : Gravier de 20 mm à 2000 μm correspondant à plus de 60% de graviers.
- ✓ **S2** : Entre 40 et 60 % de graviers.
- ✓ **S3** : Entre 20 et 40% de graviers.
- ✓ **S4** : Sables grossiers et moyens de 2000 μm à 500 μm à moins de 20% de graviers.
- ✓ **S5.6.7** : Sables fins de 500 à 40 μm ; partagée à son tour à plusieurs fractions :
S5 : de 500 à 250 μm . **S6** : de 250 à 125 μm . **S7** : de 125 à 40 μm .

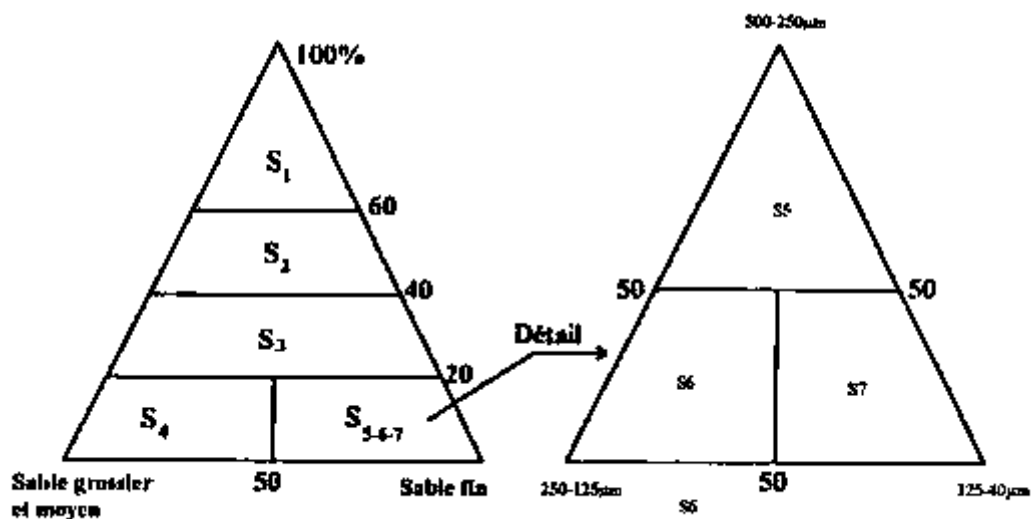


Fig. n°III-6: Représentation des sables et graviers normes du B.R.G.M.

Chapitre III : Analyse granulométrique

Cartographie morpho-sédimentaire	
BRGM (2007)	
1	Vase
2	Sable très fins à fins
3	sable fins à moyens
4	sable moyens à grossiers (ride cm)
5	sable moyens à grossiers (ride dm)
6	Gravier très fin
7	Fond rocheux envasés
8	Fond rocheux colonisés
9	Fond rocheux peu colonisés
10	Débris à galets non-consolidés
11	Fonds hétérogène

Fig. n°III-7: Légendes des cartes sédimentologiques (BRGM, 2007).

La méthode « B.R.G.M. » (2007) permet de définir et d'analyser des faciès, différentes coupures ont été déjà définies, les données granulométriques montrent que la majorité des points sont regroupés au pôle **S5.6.7**. Signifiant une présence d'un sable essentiellement moyen dont la taille est comprise entre 500 et 40 μm .

La carte de répartition de la fraction grossière supérieure à 40 μm (Fig. n°III-8) fait apparaître de la côte vers le large trois domaines essentiels à caractéristiques granulométriques distinctes :

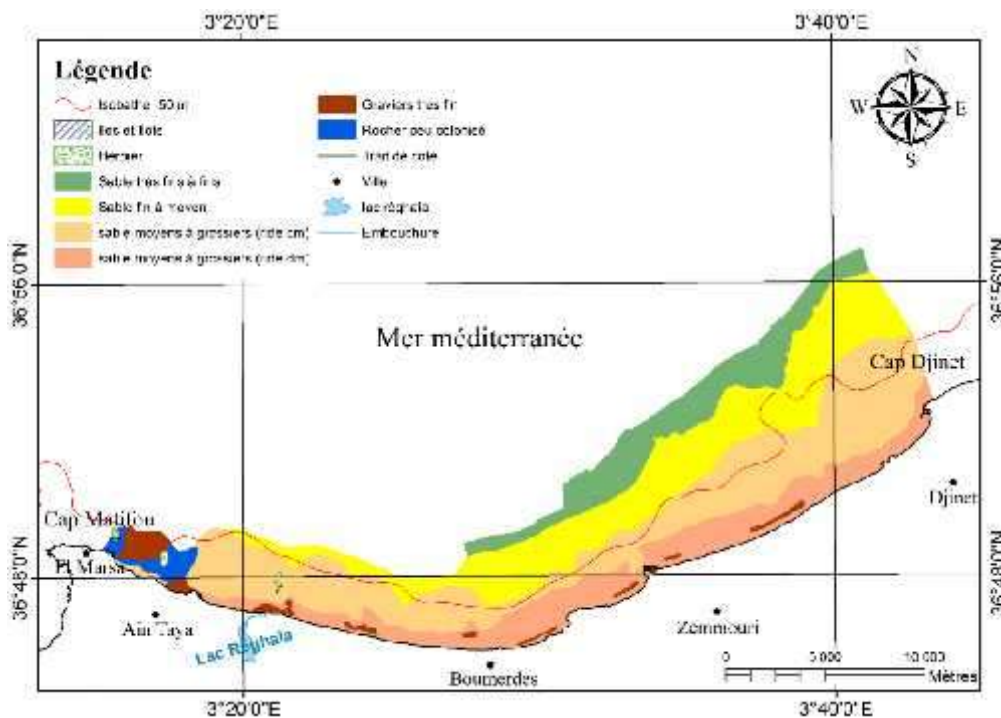


Fig. n°III-8 : Carte de répartition des faciès sédimentologiques > 40 μm dans la Baie de Zemmouri (GUIDOU&TOUZI, 2016).

Chapitre III : Analyse granulométrique

A) Domaine côtier :

Est caractérisé par le faciès S5 (250 à 500 μ m) qui se retrouve plaqué contre la côte dans la partie orientale et centrale par contre dans la zone occidentale ces dépôts se retrouvent en aval du substratum rocheux ne dépassant guère les 10 m de profondeur.

Ces sables sont issus des apports fluviaux d'Oued Corso et Oued Boumerdès ainsi que de l'érosion des falaises entre Ain-Chorb, Réghaia et Boumerdès.

On note devant Boumerdès et Boudouaou-el-Bahri une importante invagination vers le large qui soulignerait la persistance d'un courant de retour localisé à cet endroit. Le faciès S4 (>500 μ m) représenté sous forme de noyau de part et d'autre de oued Corso marque la présence d'une ride d'avant côte. Cette même ride n'est pas cartographiable à l'échelle de la carte des faciès.

B) Domaine médian

Le faciès S6 (125 à 250 μ m) est très important en superficie, il occupe l'ensemble de la zone d'étude. Ce domaine est le siège d'une dynamique sédimentaire relativement active. Il ne dépasse guère les 40 m de profondeur.

C) Domaine distal

Il est caractérisé par le faciès S7 (40 à 125 μ m) ce domaine calme est le siège d'une sédimentation fine.

7.2.1. Analyse granulométrique

7.2.1.1. Zone Occidentale

Dans l'analyse granulométrique des sédiments grossiers (>40 μ m) de la zone Cap Matifou-Boumerdes, le relevé systématique des modes et leurs statistiques montrent une individualisation des stocks consécutifs. De ce fait, 3 classes modales ont été déterminées (Fig. n°III-9)

- ✓ Mode 1 [40-160 μ m] avec une fréquence maximale de 80-100 μ m.
- ✓ Mode 2 [160-400 μ m] avec des fréquences maximales de 200-250 μ m.
- ✓ Mode 3 [400-6300 μ m] avec des fréquences maximales à 500-630 μ m, 800-1000 μ m, 1250-1600 μ m et 2000-2500 μ m.

L'analyse des différents modes granulométriques, a permis d'établir les cartes de répartition et de dispersion, de chacun des modes, ainsi que leur nature.

Chapitre III : Analyse granulométrique

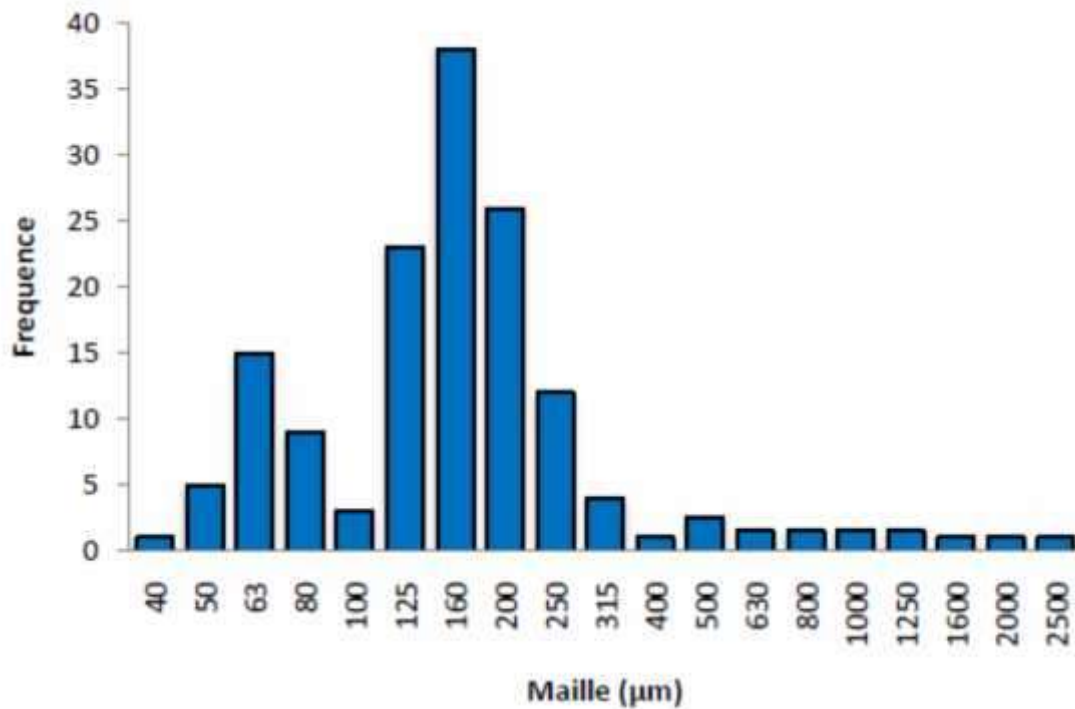


Fig. n°III-9: Analyse modale : histogramme de fréquence des sédiments superficiels Zone occidentale.

A) Classe modale I (40-160 µm) :

La prédominance de la fraction 5-15% reste très visible dans la carte représentant la taille 40-160µm (Fig. n°III-10). Elle s'étend jusqu'à 30 m de profondeur à l'est où elle se retrouve enveloppée par la plage des 15-40%.

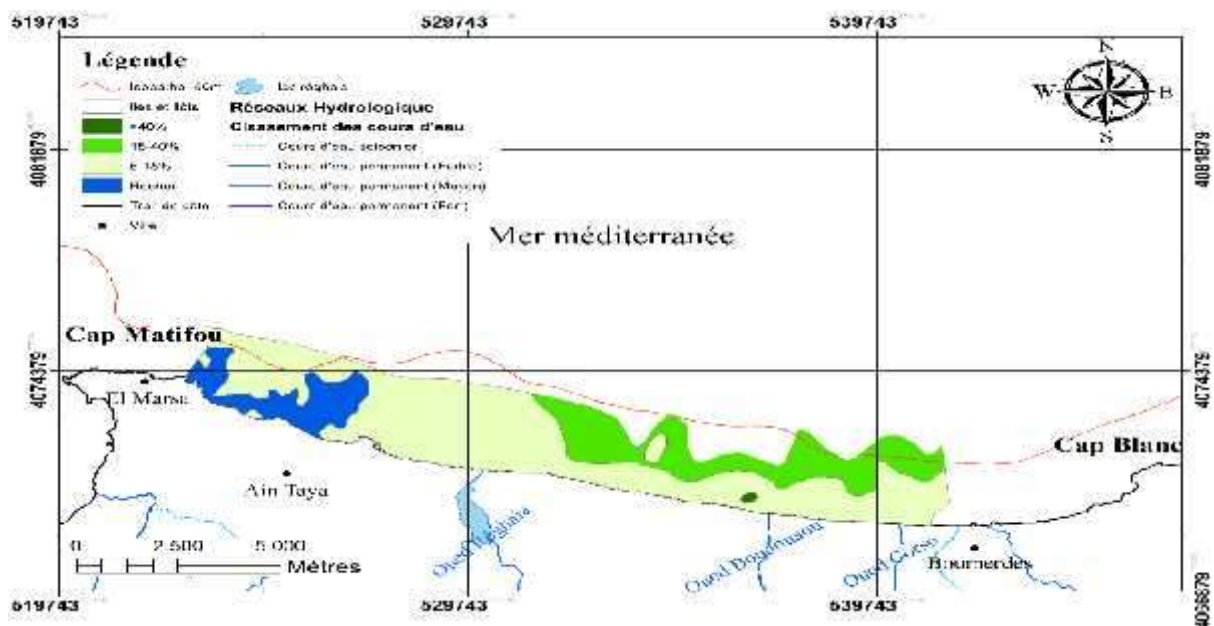


Fig. n°III-10: Carte de répartition (en fréquence) de la classe modale I.

Chapitre III : Analyse granulométrique

La fraction **5-15%** se répartit parallèlement à la côte à partir de l'isobathe -25 m dans lequel baigne un noyau de la fraction **15-40%** au large dans la partie. On note toutefois un noyau a fort taux (>40%) face à oued Boudouaou.

B) Classe modale II (160-400 μm) :

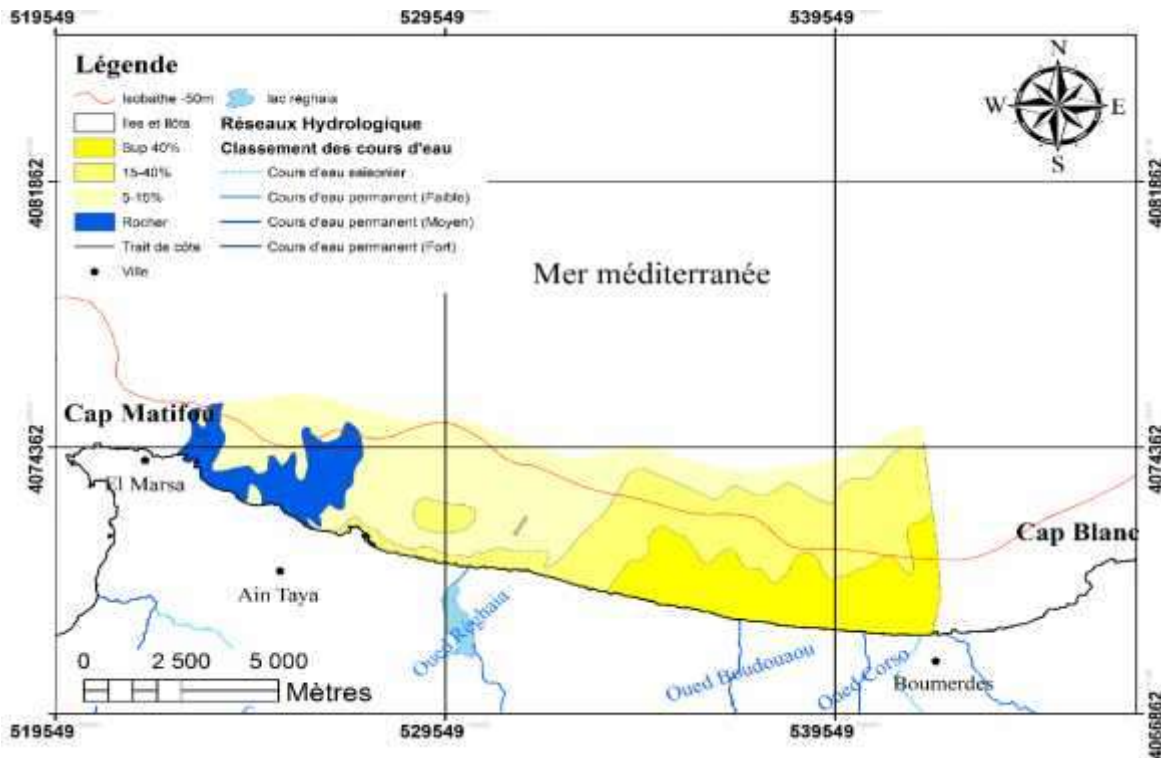


Fig. n°III-11 : Carte de répartition (en fréquence) de la classe modale II.

Aux embouchures d'Oued Boudouaou jusqu'à Oued Boumerdes la fraction 160-400 μm présente une forte concentration de la partie > 40 %. Celle-ci s'étend de la côte jusqu'à plus de 15 m de profondeur (Fig. n°III-11).

Le pourcentage 15- 40% s'étale de AIN-Chorb à la côte jusqu'à 40 m de profondeur et s'étend jusqu'à l'extrémité orientale de notre zone d'étude, cette fraction est enveloppée par la partie 5-15% qui va de 50 m de profondeur à l'Est jusqu'à 10 m de profondeur à l'Ouest .

Chapitre III : Analyse granulométrique

C) Classe modale III (400-6300) μm :

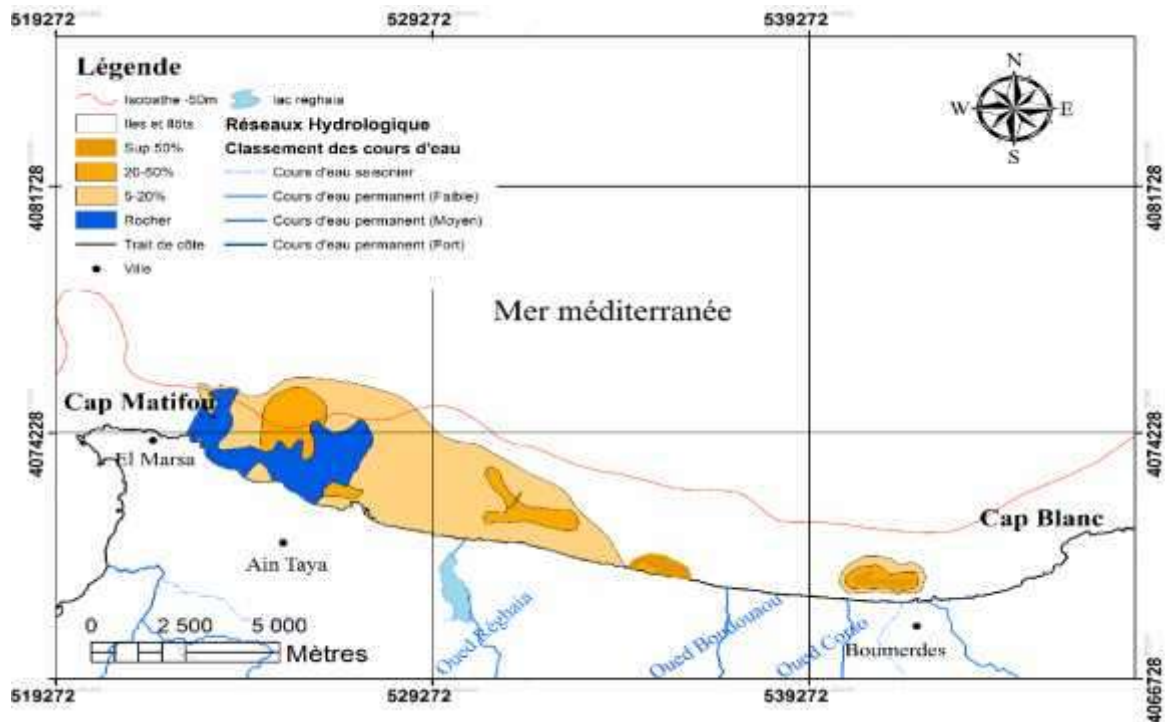


Fig. n°III-12: Carte de répartition (en fréquence) de la classe modale III.

Cette carte présentant la taille 400-6300 μm , montre la prédominance des sables de la fraction **5-20 %** dans la zone occidentale de notre terrain d'étude, d'Ain Beida jusqu'au voisinage d'Oued Réghaia. Elle s'étale de la côte jusqu'à 45m de profondeur au large. Dans cette fraction on retrouve quelques noyaux de la fraction **20-50 %** entre Ain-Taya et Ain-Chorb (collé au substratum rocheux) ainsi que face à Oued Réghaia.

A l'ouest immédiat de Boudouaou-el-Bahri, à la côte et ne dépassant guère 10 m profondeur on retrouve la fraction **>50 %** enveloppant la fraction **20-50 %** qui résulte du démantèlement de ses falaises.

Vers l'est cette classe se répartit de manière générale au niveau des laisses des eaux et sur la ride d'avant-côte ; d'ailleurs ceci est bien illustré par le noyau concentré à Boumerdes.

Il n'existe pas de mode principal dans cette classe mais plutôt plusieurs modes.

Chapitre III : Analyse granulométrique

7.2.1.2. Zone orientale

L'analyse granulométrique a porté sur l'ensemble des échantillons répartis sur la totalité de la zone étudiée (Boumerdes-Cap Djinet). Les sables côtiers présentent des courbes granulométriques plurimodales alors que les courbes unimodales caractérisent les dépôts au-delà de 20 m de profondeur. La répartition des différents stocks granulométriques relatifs à cette fraction rend compte de leur dynamique et de leur mobilisation. L'analyse des différents constituants du matériel grossier a permis de différencier les sources d'apports.

La statistique des modes fait apparaître quatre ensembles dimensionnels correspondant à quatre classes modales (**Fig. n°III-13**) :

La classe modale

- ✓ A <250 μm .
- ✓ B 250-630 μm .
- ✓ C 630-1250 μm .
- ✓ D >1250 μm .

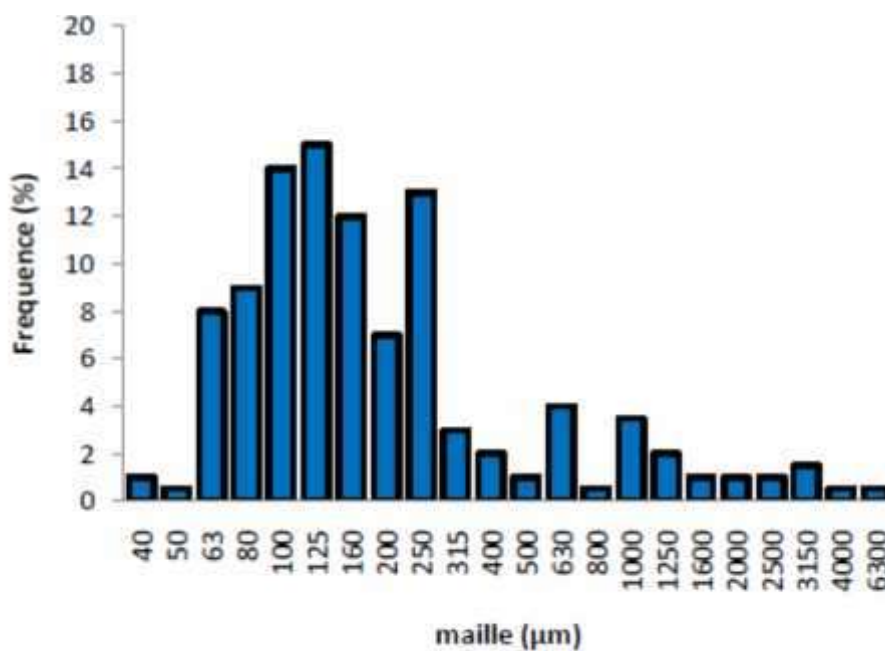


Fig. n°III-13: Analyse modale : histogramme de fréquence des sédiments superficiels de la Zone orientale du plateau continental de Zemmouri.

A) Classe modale A (< 250 μm) :

Les échantillons caractérisés par cette classe, sont associés à de fortes teneurs en fraction lutitique, inférieure à 40 μm . La classe modale A est présente dans la totalité de la baie sauf sur les rides d'avant côte où l'hydrodynamisme est trop fort (**Fig. n°III-14**).

Chapitre III : Analyse granulométrique

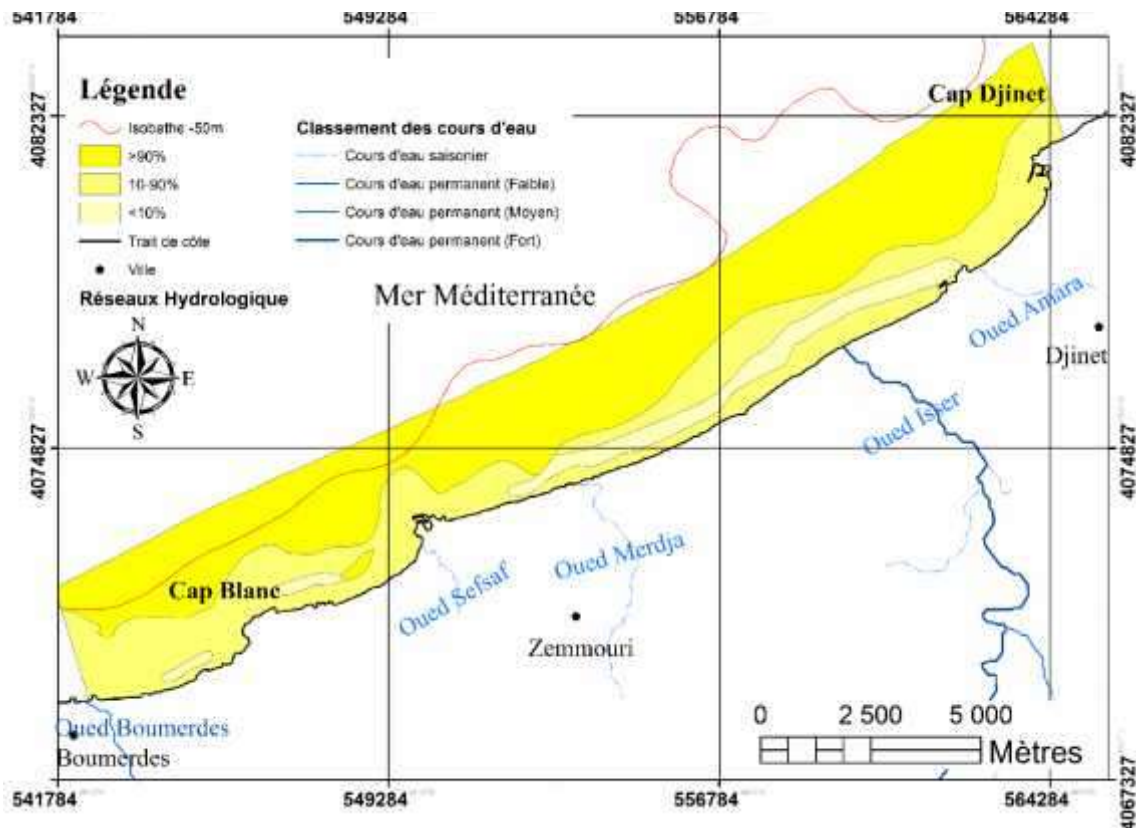


Fig. n°III-14: Carte de répartition de la classe modale A (<250µm) zone orientale.

Ce sable est caractérisé par un bon classement car l'indice de classement de Trask S_0 pour les courbes est compris entre 1.5 et 2.

B) La classe modale B (250-630µm) :

Cette classe est caractérisée par des sédiments, dont les bornes granulométriques s'étalent de 250µm à 630µm.

Sa répartition suit un gradient décroissant de la côte vers le large à l'inverse de la classe modale A. Les teneurs relativement élevées se localisent à la côte, jusqu'à la profondeur de 10m. Dans la partie occidentale, les faibles teneurs semblent souligner la morphologie des canyons de Zemmourir et du Cap Blanc.

Chapitre III : Analyse granulométrique

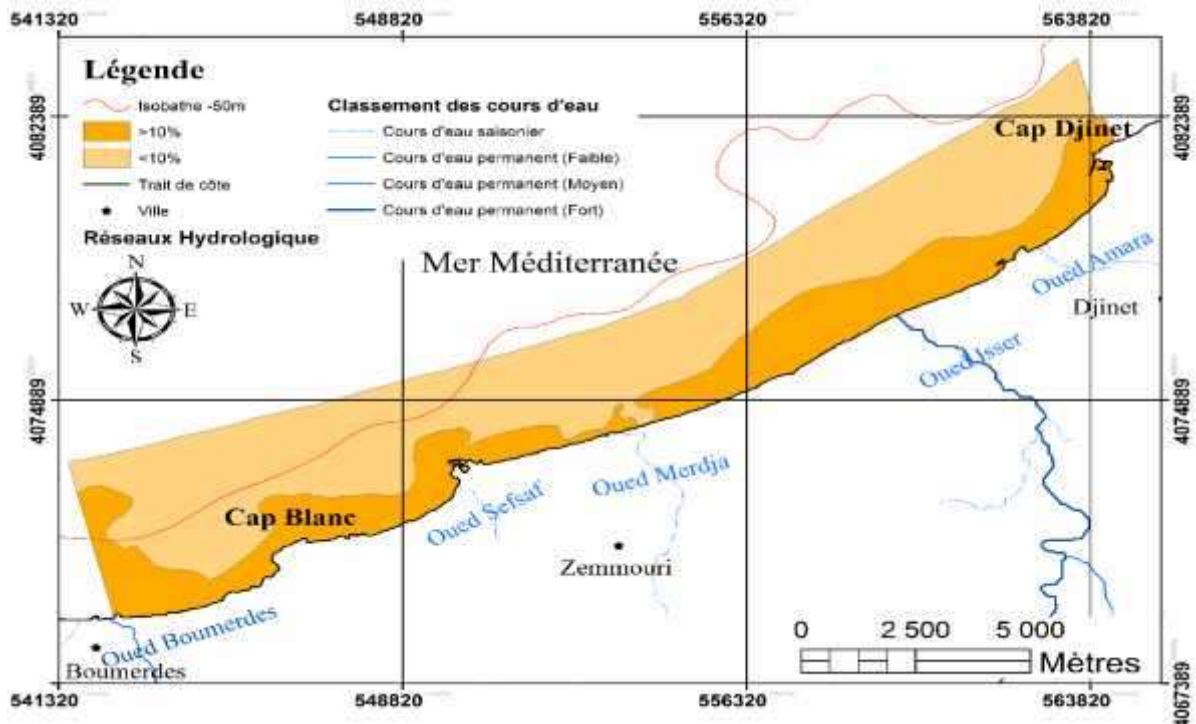


Fig. n°III-15: Carte de répartition de la classe modale B (250-630µm) zone orientale.

Les courbes granulométriques sont assez redressées, avec une légère dissymétrie des parties grossières. Elles sont unimodales à bimodales ;

Le sédiment caractérisant cette classe, est assez bien classé $S_0=2,5$ à 3 pour toutes les courbes.

C) Classe modale C (630µm - 1250µm) :

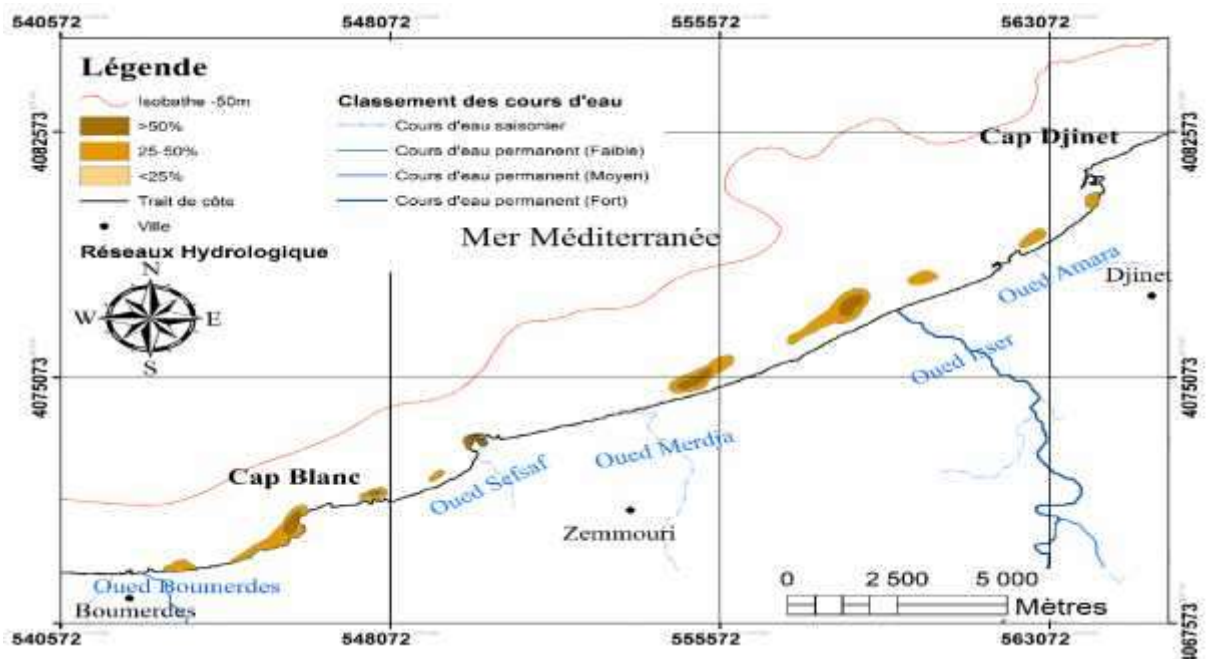


Fig. n°III-16 : Carte de répartition de la classe modale C (630-1250µm).

Chapitre III : Analyse granulométrique

Ce mode est très peu représenté et matérialise un sable grossier. Les teneurs les plus fortes à plus de 50% sont localisées entre l'oued Isser et Zemmouri El-Bahri, et de part et d'autre du cap Blanc. Ce sédiment grossier occupe le sommet des rides d'avant-côte. Les faibles pourcentages s'étalent dans la zone infralittorale et côtière.

Les sédiments de cette classe se situent à la côte confrontés à une énergie puissante, sous l'influence de la dérive littorale et du déferlement des vagues. Ces deux phénomènes entraînent un fort classement et une usure importante des sédiments rencontrés le long de cette zone côtière.

Les sédiments de ce mode sont moyennement classés dans la zone côtière à moins de 10 m de profondeur ($3,5 < S_k < 4,5$).

D) Classe modale D ($>1250\mu\text{m}$) :

Les tailles granulométriques de cette classe sont supérieures à $1250\mu\text{m}$. Sa répartition, très discontinue, se matérialise au niveau du jet de rive et des fonds rocheux (Fig. n°III-17) Il s'agit d'un sable très grossier hérité des platiers rocheux et du démantèlement sur place des différents caps (Cap Djinet, éperon de Zemmouri et du Cap Blanc).

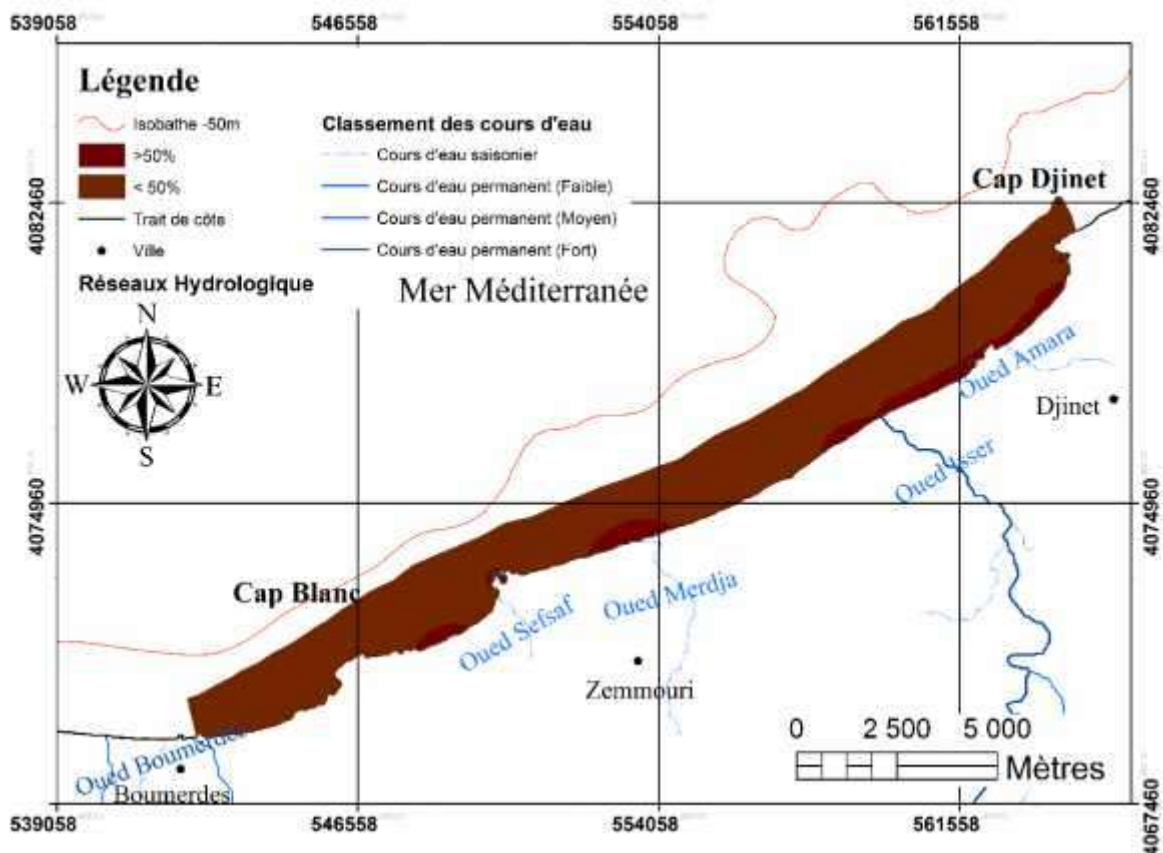


Fig. n°III-17: Carte de répartition de la classe modale ($D > 1250 \mu\text{m}$).

Chapitre III : Analyse granulométrique

Les courbes granulométriques sont bimodales à plurimodales et représentatives des classes B et C. Les sédiments de ce mode sont caractérisés par un mauvais classement, ($S_0 > 4.5$). Ceci s'explique par un mélange de population de nature et de tailles différentes. La distribution de ce mode est observée à l'est du Cap Blanc et aux abords d'Oued Isser ainsi que devant l'embouchure d'Oued Merdja.

7.2.1.3. Caractères sédimentologiques de la fraction fine :

✓ Analyse et répartition de la fraction lutitique (fine) :

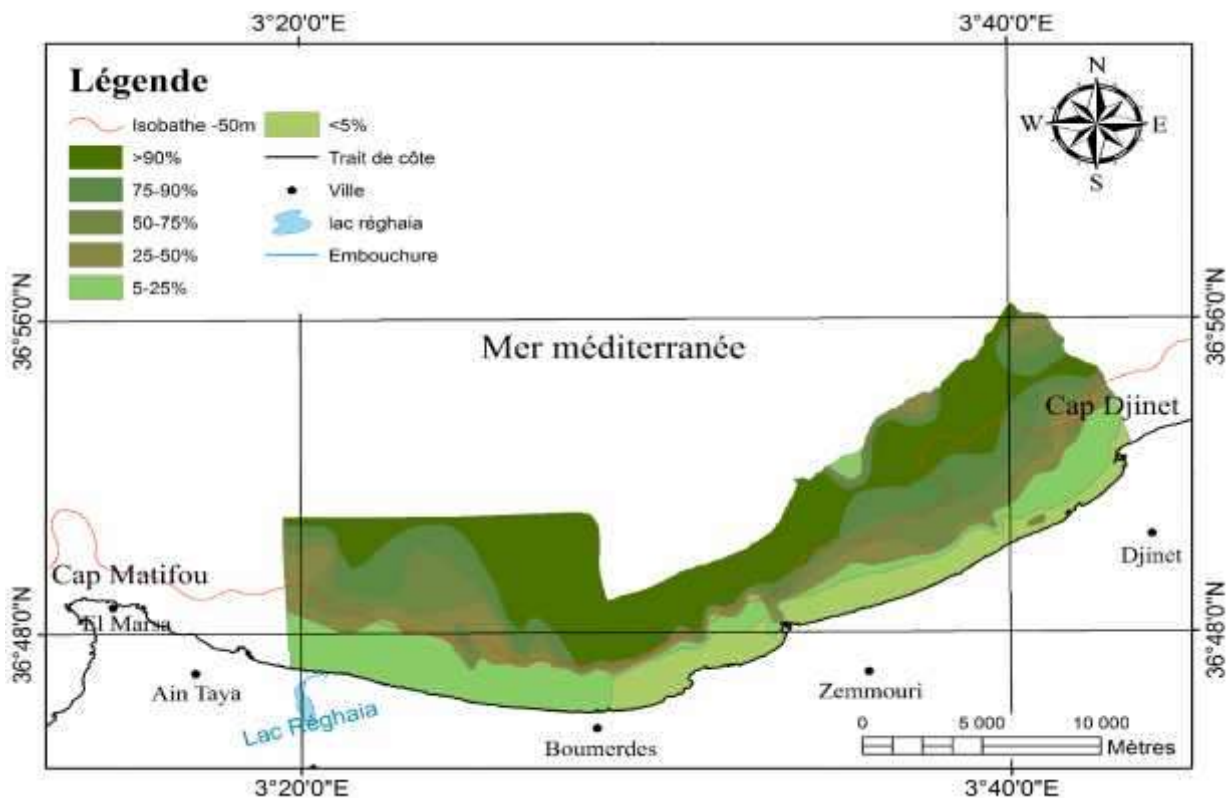


Fig. n°III-18: Carte de distribution des lutites dans la grande baie de Zemmouri.

.Au-delà de -20m de profondeur les proportions en lutites augmentent avec la profondeur dans le cas général, ce schéma est perturbé par l'existence du coquillier du large. La limite d'envasement à 25 % se trouve pratiquement parallèle à la côte, à l'inverse des autres limites. Ceci serait lié à l'influence de la dynamique locale des petits fonds, où l'énergie hydrodynamique est encore puissante et aussi par la granulométrie des sédiments où les zones de mélange des classes modales sont assez restreintes expliquant ainsi le passage d'une zone à haute énergie vers une zone relativement plus calme, zone préférentielle des sédiments fins. La carte de répartition des teneurs en lutites (Fig. n°III-18) fait ressortir d'une manière générale deux secteurs bien distincts par la dissymétrie des gradients de distribution des

Chapitre III : Analyse granulométrique

isoteneurs en lutites : un secteur occidental de Zemmouri vers le Cap Blanc et un secteur oriental de Zemmouri vers le Cap Djinet :

a) Le secteur occidental :

La frange côtière pauvre en lutites (< à **5%**) est bien développée notamment à l'Ouest du Cap Blanc. Les isoteneurs en lutites intermédiaires traduisent un gradient rapide vers l'envasement total (> à **90%** de teneurs en lutites). Ce dernier débute à - 50 m et même à de moindres profondeurs dans l'axe du canyon d'Alger et face au Cap Blanc. L'Isobathe -50 m marque le début de l'envasement circalittoral.

La fraction fine des dépôts superficiels de la région de Boumerdès, suit un gradient naturellement croissant de la côte vers le large. Les teneurs sont assez faibles dans les petits fonds entre 0 et 15 m à 1500 m du rivage dans la zone Est (**0 à 25%**).

On remarque également que certains envasements locaux (**60 à 90 %** de lutites) se produisent face à l'oued Boudouaou et face à l'oued Boumerdes.

Le long des parois du chenal Est, les pourcentages sont compris entre **50 et 75 %**. Au centre de chenal, les teneurs augmentent jusqu'à dépasser les **90 %** à des profondeurs de 35 m.

Dans le chenal Ouest, face à oued Boudouaou, on n'observe qu'un noyau lutitique à forte concentration (jusqu'à **80 %**) dont les teneurs ne dépassent guère les **50 %**.

b) Le secteur oriental :

Les teneurs en lutites sont marquées par un envasement très progressif sur tout le plateau. La carte des lutites fait ressortir un parallélisme des bandes d'isoteneurs plus larges à l'Est entre le cap Djinet et le port de Zemmouri. Cet envasement est perturbé dans la frange côtière, près de l'embouchure de l'oued Isser par des concentrations supérieures à **50%** entre 10 et 30m de profondeur. Ce sont probablement des sédiments de crue fraîchement déposés. Il en résulte à court terme la constitution d'une formation prodeltaïque; ce phénomène se retrouve au débouché de tous les émissaires autour de la Méditerranée (**Aloïsi et al. 1975; 1982**). A proximité de l'isobathe 100 mètre, face à l'oued Isser et face au Cap Djinet; des concentrations à moins de **50%** de teneur en lutites ont été cartographiées;

Cette répartition est due à la présence d'un matériel grossier. Les teneurs sont assez faibles dans les petits fonds entre 0 et 15 m à 2000 m du rivage dans la zone Ouest (varient de **0 à 25%**).

Chapitre IV :
Modélisation
Hydrodynamique de la Baie
de Zemmouri

Introduction

L'approche modélisatrice est basée sur l'utilisation de modèles numériques pour la simulation de propagation de la houle et le flux énergétique longshore et le transport sédimentaire, construits à l'aide des codes de calcul Mike 21 (SW, HD et ST) avec une approche double.

La construction du modèle de simulation a été effectuée à partir d'un levé bathymétrique détaillé réalisé durant la période estivale de 2017. Les données de houles au large ont été extraites du Med Atlas couvrant une période allant de 1994 à 2004.

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 de sable), 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.

Nous avons divisé cette partie en trois grandes parties :

- La première partie consiste à déterminer le climat de houle qui règne dans la zone de déferlement à travers la simulation de différents climats de houle au large des grandes aux très faibles profondeurs ;
- La seconde partie consiste à déterminer la courantologie générée par les vents et les houles dans les alentours de notre Baie ;
- La troisième partie Le troisième chapitre consiste à estimer les taux de transports sédimentaires sous l'effet de la dérive littorale générée par les houles obliques approchant le site d'étude

1. Approche méthodologique :

La modélisation intégrée de l'hydrodynamique et le transport sédimentaire dans les alentours de la Baie de Zemmouri doit tenir compte à la fois des courants de vent et des courants associées aux vagues. Dans ce cas, l'approche est plus complexe car elle doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant trois modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de vagues et un modèle de transport sédimentaire.

Les modèles numériques choisis sont les modules SW (Spectral Waves model) et HD (Hydrodynamic model) et ST (Send Transport model) du système MIKE 21. Ces modèles se prêtent bien à une approche intégrée car ils sont déjà intégrés dans un même environnement de calcul du système MIKE 21.

Les étapes successives de l'approche proposée pour l'étude de l'hydrodynamisme sous l'effet combiné des vagues et des courants sont schématisées dans la (**figure n°01**).

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

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.

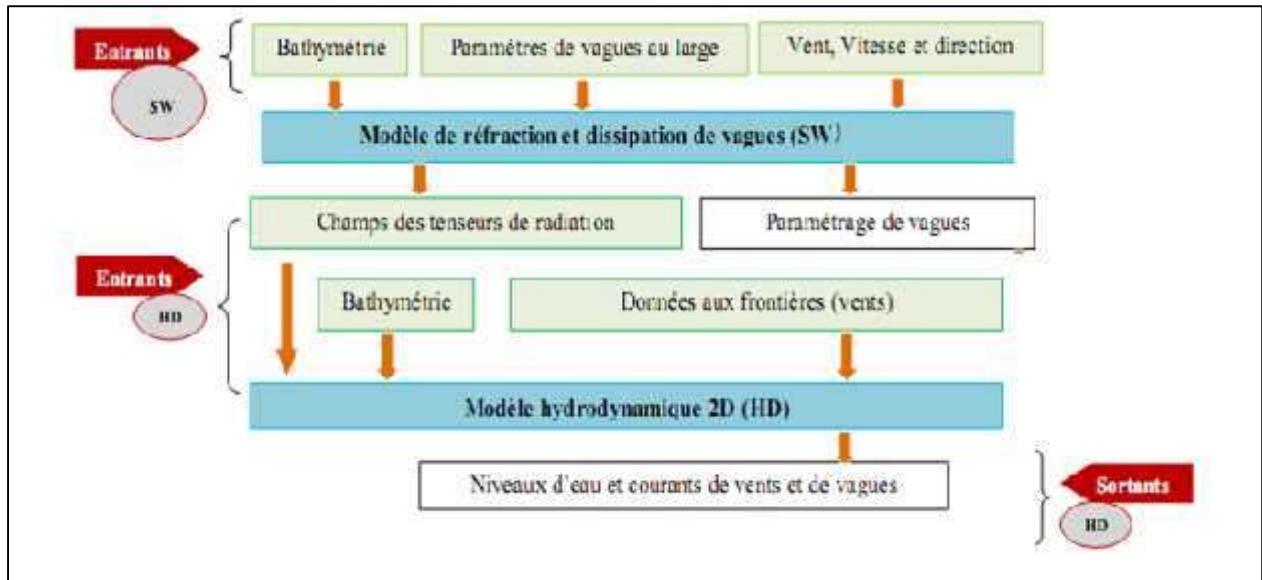


Fig. n°IV-1 : Approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée de l'hydrodynamique.

La modélisation numérique a été réalisée en une seule échelle locale. Nous présentons dans ce qui suit une description de celle :

- Echelle locale :

L'échelle locale de la dynamique côtière est un couplage des modèles de propagation de la houle et l'hydrodynamique. Il simule les modifications du littoral dues aux régimes des vagues. Le domaine de calcul et la bathymétrie sont décrits par la suite dans la partie génératrice de maille, pour pouvoir passer aux modèles couplés. La bathymétrie consiste à des points extraits lors de nos sorties effectuées sur l'embarcation Habibas II le long de la Baie de Zemmouri.

- grille de calcul initiale :

Pour commencer, la première tâche est de créer un maillage simple qui va montrer le contour de la surface nécessaire et forment la base pour plus de raffinement.

1. Création d'un espace de travail ;
2. Importer les conditions limites ;
3. Génération d'un mesh ;
4. Lissage du mesh.

- La bathymétrie initiale

La bathymétrie initiale est maintenant créée à partir du maillage initial par interpolation des données de dispersion.

1. Importation de données de dispersion ;
2. Interpoler les données de dispersion et exportation du Mesh

2. Simulation de la propagation de la houle du large vers la côte au moyen du Module SW

Le module SW fait partie des modèles spectraux vague-vents de dernière génération, il est basé sur une grille de calcul non structurée (mobile). 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 :

- Formules directionnelles (Discrétise le domaine géographique)
- Formules spectrales (Discrétise le domaine géographique et spectrale)

La première formule est basée sur la paramétrisation de l'équation de conservation de l'action des vagues. Cette paramétrisation est effectuée dans le domaine fréquentiel en introduisant le moment zéro et le premier moment du spectre d'action de la vague comme variable dépendante selon (**Holthuijsen, et al., 1989**).

La seconde formule est basée sur l'équation de conservation de l'action des vagues, comme décrit dans **Komen et al. (1994)** and **Young (1999)** in (**DHI-SW, 2007**), où le spectre directionnel des fréquences de l'action des vagues est la variable dépendante.

Le modèle SW prend en considération la génération des vagues par les vents ; 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 et l'effet de sécheresse et inondation.

La discrétisation de l'équation de calcul dans l'espace géographique et spectral est performée en utilisant la méthode des volumes finis. Dans le domaine géographique, une grille non structurée (Mobile) est utilisée. L'intégration dans le temps est performée en utilisant l'approche fractionnelle ou la méthode des multi-séquences est appliquée pour la propagation des vagues.

L'Objectif de cette étape est d'étudier la propagation de la houle du large vers la côte en tenant en considération d'un certain nombre de phénomènes tels que la réfraction et le shoaling.

2.1. Configuration du module SW

L'équation choisie pour étudier la propagation de la houle au large est la formule directionnelle dans le domaine spectral et la formule quasi-stationnaire dans le domaine temporel.

L'algorithme d'itération Newton-Raphson avec les valeurs par défaut a été utilisé. Les niveaux d'eau ont été considérés nuls et le forçage par les vents n'a pas été pris en considération, car on veut simuler la propagation d'une houle déjà formée indépendante du vent. L'effet de déferlement est pris en considération, il est basé sur la formulation de (**Battjes, et al., 1978**), qui exprime le taux de dissipation d'énergie due au déferlement par l'équation suivante :

$$\frac{dE}{dt} = \frac{-\alpha}{8\pi} Q_b \omega H_m^2$$

Où Q_b est la fraction du déferlement donnée par :

$$\frac{1 - Q_b}{\ln(Q_b)} = \left(\frac{H_{ms}}{H_m}\right)^2$$

Et le H_m est la hauteur maximale calculée par :

$$H_m = \gamma_1 k^{-1} \tanh\left(\frac{\gamma_2 k d}{\gamma_1}\right)$$

- k : est le nombre de vagues ;
 - d : Profondeur d'eau ;
 - γ_1 et γ_2 sont deux paramètres de déferlement cont γ_1 les conditions de cambrure et γ_2 contrôle les conditions de profondeur limite. Dans ce cas $\gamma_1 = 1$ et $\gamma_2 = 0.8$
- et $\alpha = 1$.

3. Modélisation des champs de courants générés par la houle et les vents

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. Un régime permanent est atteint lorsque la totalité de cette énergie a été dissipée.

3.1. Modèle HD

Le code de calcul MIKE 21 HD est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques qui permet de simuler les variations du niveau de la surface libre de la mer et du courant moyenné sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et océaniques. Ce module est utilisé principalement pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes.

Ce modèle prend en considération les effets suivants : Frottement sur le fond ; Frottement du vent à la surface de l'eau ; Gradients de pressions barométriques ; Force de Coriolis ; Dispersion instantanée ; les apports terrigènes et les puits ; l'évaporation ; l'inondation et la sécheresse ; les contraintes de radiation des houles.

Le modèle hydrodynamique MIKE21 HD résoud les équations bidimensionnelles classiques de Saint-Venant par la méthode volume fini sur une grille à maillage flexible et par la méthode des différences finies sur une grille à maillage rectangulaire. Il traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vent et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc. ... Il nous permet de simuler les courants côtiers dûes à l'action de la houle dans la zone de déferlement

3.2. Modèle couplé 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.

Le pas de temps global discret est utilisé pour déterminer la fréquence de sortie qui peut être obtenue à partir des différents modules et synchroniser le couplage entre les différents modules. Le pas de temps local pour le module SW et le module ST peut être défini comme un multiple du pas de temps global et d'un facteur de pas de temps.

Les interactions entièrement dynamiques suivantes entre le module hydrodynamique et le module spectral de vague sont possibles. Dans le module SW, il est possible d'inclure les variations d'une part du niveau marin, d'autre part du courant à partir de la simulation hydrodynamique. Dans le module HD, il est possible d'inclure le champ de contrainte et de rayonnement à partir de la simulation de spectre de vague.

Le tenseur de rayonnement de vague généré par le modèle SW est un forçage pour le modèle HD. Il est très important en eau peu profonde. Il permet de calculer le courant induit par les vagues généré par les gradients en tenseur de rayonnement dans la zone de surf

Une variation des tenseurs de rayonnement provoque des efforts des vagues sur le fluide affectant le mouvement de l'eau moyen et les niveaux d'eau (**Pattiaratchi et Wijeratne, 2011**).

Les tenseurs de rayonnement sont responsables de la surcote/décote dû aux vagues, le courant de dérive, et le courant sagittal dans la zone côtière (**Pattiaratchi et Wijeratne, 2011**). Les courants sagittaux et la surcote/décote sont le résultat des variations des niveaux d'eau dû aux contraintes normales de rayonnement. Cependant, les courants de dérive sont le résultat des forces des vagues dû aux contraintes tangentielles de rayonnement.

4. Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant

Le calcul et la prévision de l'évolution du littoral dépendent de l'équilibre du transport des sédiments dans le secteur d'étude.

Les données disponibles ont été étudiées et analysées pour l'étude et la compréhension des processus côtiers. Bien que les données sur la bathymétrie, les niveaux de la mer et des sédiments fussent peu disponibles, les données essentielles sur le site de l'érosion, en particulier sur le régime des vagues, n'étaient pas suffisantes. De plus, le travail sur le terrain ne peut pas couvrir toutes les conditions météorologiques possibles qui se produisent. Par conséquent, une simulation a été développée pour combler cet écart et déterminer l'évolution du littoral. L'ensemble des données disponibles complétées par des mesures spécifiques sur le terrain ont été utilisées pour la configuration, le calibrage et vérifier les modèles numériques.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral, ainsi que l'influence des ouvrages de protection et portuaires au cours de la simulation.

Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21.

Le long du littoral, des ouvrages artificiels ont été construits pour stabiliser les plages et les zones subissant une forte érosion. L'implantation d'ouvrages littoraux entraîne des modifications de la dynamique côtière dont l'impact dépend de beaucoup de paramètres intrinsèques à l'ouvrage, comme son type (longitudinal ou transversal), sa forme, sa taille, sa composition... Des ouvrages longitudinaux sont généralement observés en haut de plage (digues, perrés), pour protéger les zones littorales des forçages météo-marins, mais peuvent aussi se trouver en bas de plage sous forme de brise-lames. Les ouvrages transversaux (épis, jetées) stoppent le transit sédimentaire et limitent les accumulations de sédiments (voir entraînent une érosion) en aval dérive. Les ouvrages transversaux induisent une perturbation hydrodynamique, avec une accentuation des courants de retour au niveau de l'ouvrage (**Short, 1991 ; Sabatier, 2001 in Bertier, 2009**), une accentuation des vitesses de transit au-delà du musoir de l'ouvrage (**Short, 1991**) et des impacts en aval (**Suanez, 1997 ; Sabatier, 2001 ; Bertier, 2009**).

4.1. Dynamique hydrosédimentaire

Les systèmes côtiers ont été analysés selon leurs caractéristiques hydrosédimentaires. D'abord, les dérives littorales principale et secondaire et les courants de retours ont été déterminés par l'analyse des zones d'accumulation et des reculs récents et historiques et selon les obstacles au transit sédimentaire. Ensuite, unités et les cellules hydrosédimentaires ont pu être identifiées.

La dérive littorale est due à une houle oblique. Les courants de dérive littorale sont responsables de la dérive littorale de sédiment. Ils déplacent les sédiments dans la zone de déferlement (**Beach et Sternberg, 1992; Calliari, 1994; Courtaud, 2000**). Ils créent des chenaux d'érosion longitudinaux, parallèles au rivage et aux isobathes. Selon **Blanc (1973)**, ces chenaux peuvent déplacer les sédiments enlevés du fond jusqu'à des distances supérieures 2,5 kilomètres. La dérive littorale peut, selon les cas, apporter ou exporter des sédiments et influencer sur le bilan sédimentaire. La dynamique côtière de ce secteur est donc essentiellement contrôlée par (1) la propagation de la houle la côte, (2) la dérive littorale, parallèle au trait de côte les courants de retours. L'action éolienne a un effet sur un trait de côte sableux.

Les forçages hydrodynamiques ont permis de structurer les formations superficielles du littoral centre algérois.

Le transit littoral des sédiments dépend, pour une grande part, des directions et de l'obliquité des houles par rapport au rivage

4.2. Description et configuration du modèle Mike 21 ST

La modélisation intégrée du transport de sédiments doit tenir compte à la fois des courants de vent et des courants associées aux vagues. Dans ce cas, l'approche est complexe et doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant trois modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de vagues et un modèle de transport de sédiments non-cohésifs (sables) sous l'effet combiné des vagues et des courants.

Le critère de choix pour la houle représentative concerne donc sa capacité à induire une dérive littorale conforme à la dérive mesurée ou estimée. Ce chapitre consiste à modéliser le transport sédimentaire induit par les courants et les houles simulés durant les trois périodes citées précédemment au moyen du module **ST** de la compilation **MIKE 21**.

Sous l'action combinée des courants et des vagues, **le modèle Mike 21 ST** calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et la gradation spatiale des sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée.

L'érosion et la déposition des sédiments peuvent ensuite être calculées par l'utilisateur à partir des gradients spatiaux des taux de transport de sédiments fournis par le modèle ST. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus.

Pour calculer le débit sédimentaire dans chaque point, Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant (DHI, 2014g) : la méthode Bijkeret la méthode STP du DHI.

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la tension du cisaillement sur le fond et la concentration sédimentaire en suspension dans sa formulation pour le calcul du transport sédimentaire. Deux méthodes de simulation sont disponibles pour le calcul des taux de transport : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

Le modèle 2DH est une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH). Les taux de transport sont calculés dans le sens du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente des fonds.

Le modèle STPQ3D est une quasi-tridimensionnelle (Q3D) de l'hydrodynamique et du transport de sédiment. Il calcule l'hydrodynamique instantanée et moyenne dans le temps et le transport des sédiments dans deux directions horizontales : perpendiculaire et parallèle au rivage. Comme le modèle calcule le transport par charriage et par suspension séparément, les valeurs de la table de transport des sédiments sont le transport total.

Avant la simulation des valeurs de transport des sédiments non cohésifs, une « table de sédiment » doit être générée à l'aide d'utilitaires de génération de table de sédiment offerts avec le module MIKE 21-ST. Les valeurs de transport interpolées au préalable sont utilisées au cours de la simulation numérique et évitent l'effort de calcul additionnel si les mêmes transports doivent être calculés chaque fois que les mêmes paramètres de grains de sable, de vagues et de courants se présentent aux différents pas temporels de calcul. Un sable de diamètre médian 0.2 mm, de gradation 1.4 et de porosité 0.4 est considéré sur l'ensemble du modèle. Les sortants du module PMS (Hm0 – Tp – Dir) et HD (Vitesses et directions des courants) simulés pour les trois périodes précédentes sont utilisés dans le module ST.

5. Résultats et Discussion

5.1. Bathymétrie :

Pour avoir une carte bathymétrique reflétant la réelle morphologie sous-marine du plateau continental de la baie de Zemmouri ; un levé bathymétrique qui consiste à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide d'un GPS et d'un échosondeur a été effectué lors de nos sorties sur terrain et des mesures sur plusieurs points à savoir 10 points de prélèvement distancés de 100 m sur chaque radiale, les radiales sont espacées de 500 m, donc on a environ 120 radiales et alors ce qui est proche de 1200 points de prélèvement.

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

Pour y ressortir à la fin par la carte bathymétrique (**Fig. n°IV-2**), après analyse sur mike 21 comme était expliqué précédemment dans la partie méthodologie.

L'analyse de la carte bathymétrique montre des isobathes plus au moins régulières et parallèles à la côte allant de 0 jusqu'à -58 m. La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de la Baie de Zemmouri présente deux irrégularité où on constate une variation de la pente qui devienne un peu douce au niveau de BOUDOUAOU ELBAHRI et aussi aux allant tour de AIN TAYA qui est probablement dû aux apports des sédiments terrigènes par l'Oued de Boudouaou et Oued Réghaia respectivement et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières.

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

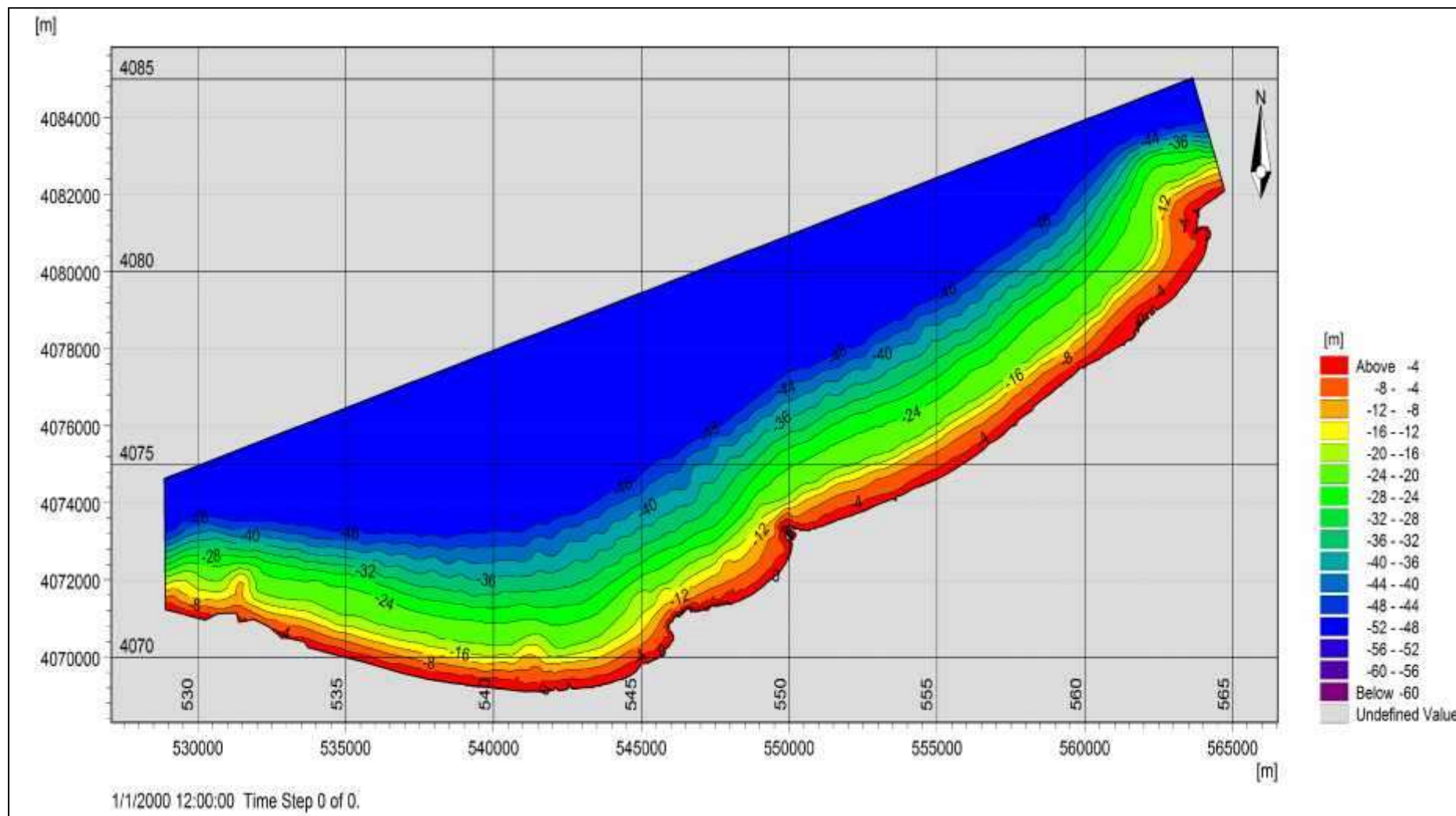


Fig. n°02 : Carte bathymétrique de la Baie de Zemmouri.2017

5.2. Résultats de la modélisation de l'hydrodynamique:

5.2.1. Domaine

Lemaillage indiqué dans la (Fig. n°IV-3), La taille moyenne du maillage de chaque cellule de la grille est de 100 mètres.

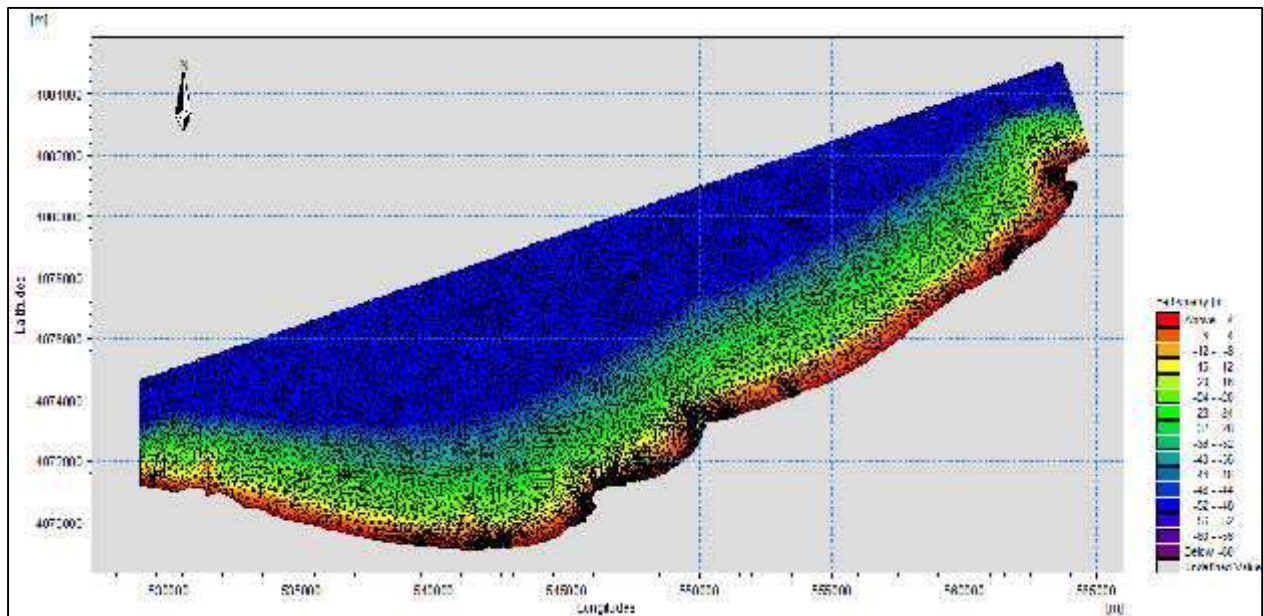


Fig. n°IV-3 : Domaine de calcul et la bathymétrie à l'échelle régionale.

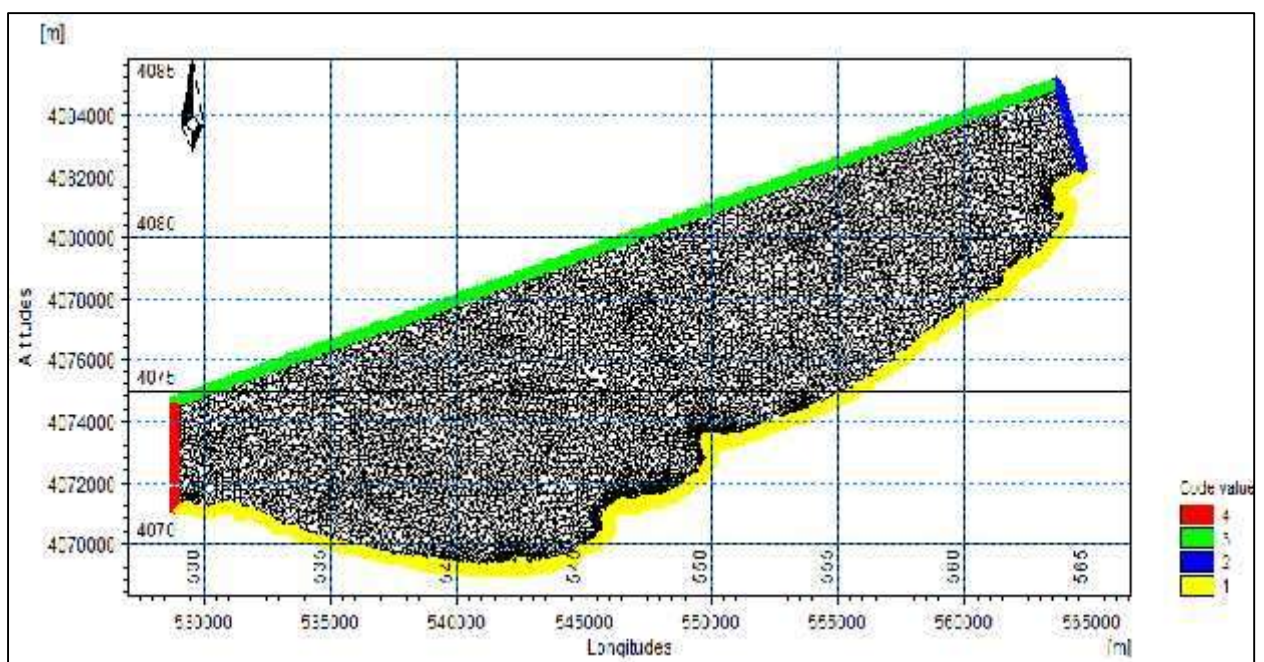


Fig. n°IV-4 : Domaine de calcul avec les codes de chaque limite.

5.2.2. Modele SW :

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

- Propagation des houles de direction Nord-Est au large (45°)

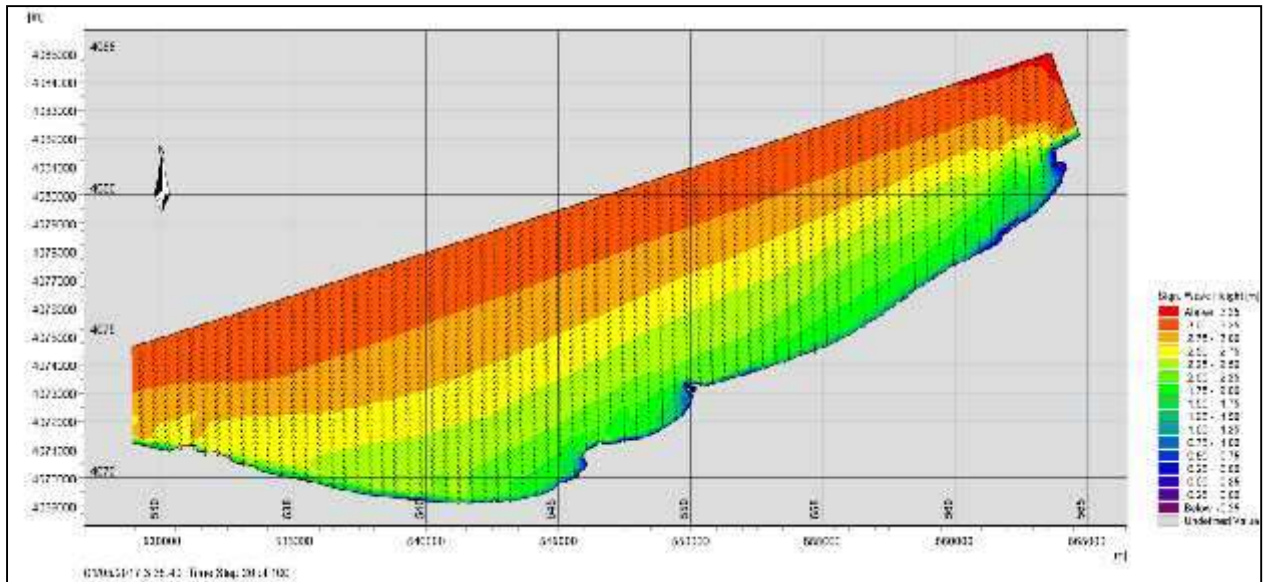


Fig. n°IV-5: Champs de houles (MWD=45°) sur la Baie de Zemmouri.

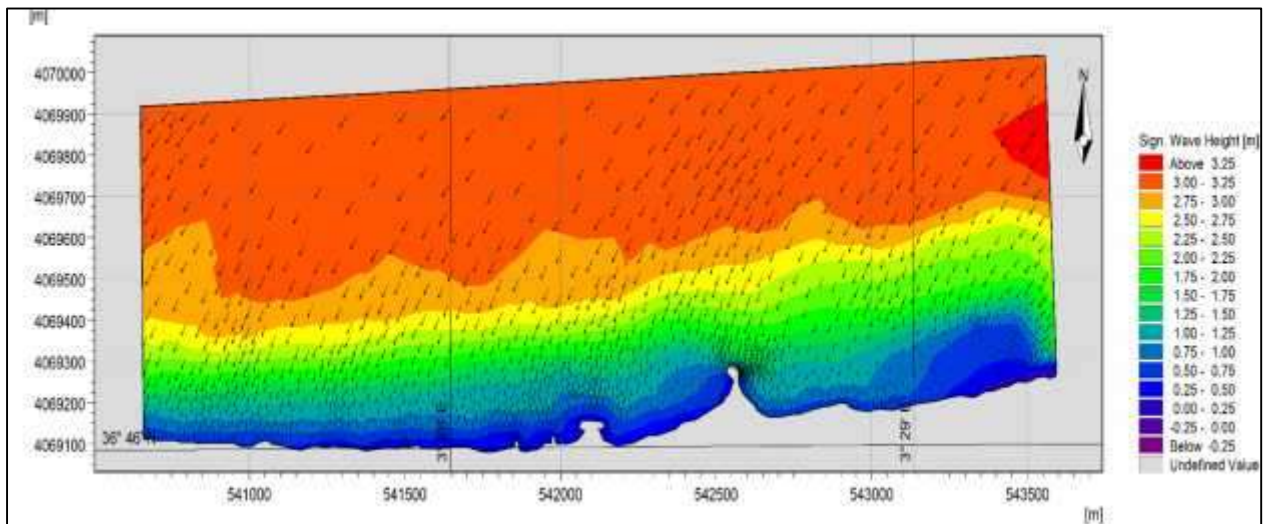


Fig. n°IV-6: Champs de houles (MWD=45°) sur la partie centrale (Plage de Bumerdes cas d'exemple).

Les houles 45°N (Fig. n°IV-5) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanière, elles arrivent avec une obliquité de 25 à 40° par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles a la cote et des courants de retours dans le sens opposé. Les cartes montrent que les orthogonales sont peu réfractées. Au large, les houles de

direction Nord–Est ne subissent aucune modification et gardent leurs caractéristiques initiales (Hs de 4m), mais au fur et à mesure, qu'elles propagent vers la cote et l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la cote pour atteindre des valeurs inférieures varient en fonction de la morphologie des fonds.

Le plan de vague se diffracte dans la partie Ouest au niveau de l'îlot de Réghaia (HadjratBounatah). Dans la partie Est la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, la houle semble ne pas conserver son énergie du large, la zone apparaît naturellement abrité par le Cap. Les orthogonales pivotent légèrement à l'approche du rivage vers les directions Nord et Nord-Est de la zone.

La houle atteint la cote avec des hauteurs variables selon la bathymétrie, des valeurs entre 1.25m et 2.5m enregistrées dans la partie Ouest (Ain taya, Reghaia et Boudouaou el Bahri) et dans la zone Est (plage de Zemmouri). Des valeurs faibles de l'ordre de 0.5m 1.5m dans les zones abritées (plage Boumerdes, port de Zemmouri...). À l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, une diminution moyenne des hauteurs varie de 0.7 et 0.25 m de hauteur au voisinage de certaines plages (plage du Cap Djinet), cela signifie que la houle perd une partie de son énergie presque trois quarts $3/4$ lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement très faible des orthogonales de direction NNE et NEE.

On peut dire que la direction 45° N a une influence sur notre zone d'étude cela peut se voir au niveau des hauteurs de la houle incidente et aussi les coefficients de réfraction notamment dans la partie Est.

▪ Propagation des houles de direction Nord au large (360°)

Cette Fig. n°IV-7 représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 360° N et cela pour une seule période (8.5s).

Au large, ces houles de direction Nord (360°) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement. Au voisinage des profondeurs de 30m, on observe que la hauteur de la houle ne varie, elle est de 3.5m environ, au delà de cette profondeur on observe une diminution de cette hauteur avec une valeur de 2.2m à -21m de profondeur, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

D'après la carte, au voisinage de la cote on remarque que les houles de secteur 360° N sont frontales, c'est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nul, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux de Réghaia et Ain Taya, et d'autre part c'est liée à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles.

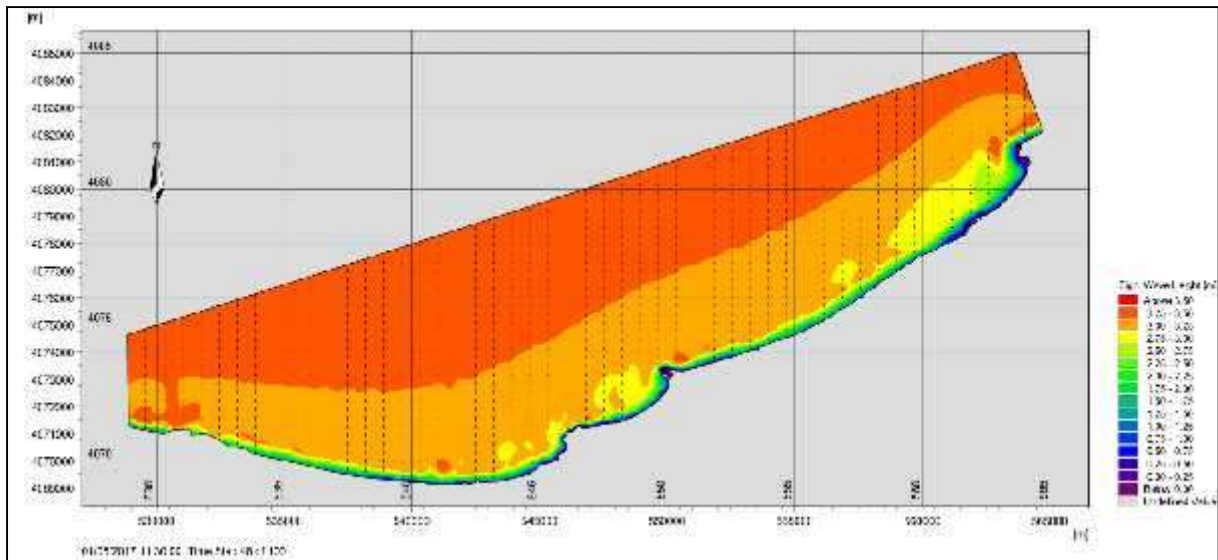


Fig. n°IV-7 : Champs de houles (MWD=360°) sur la Baie de Zemmouri.

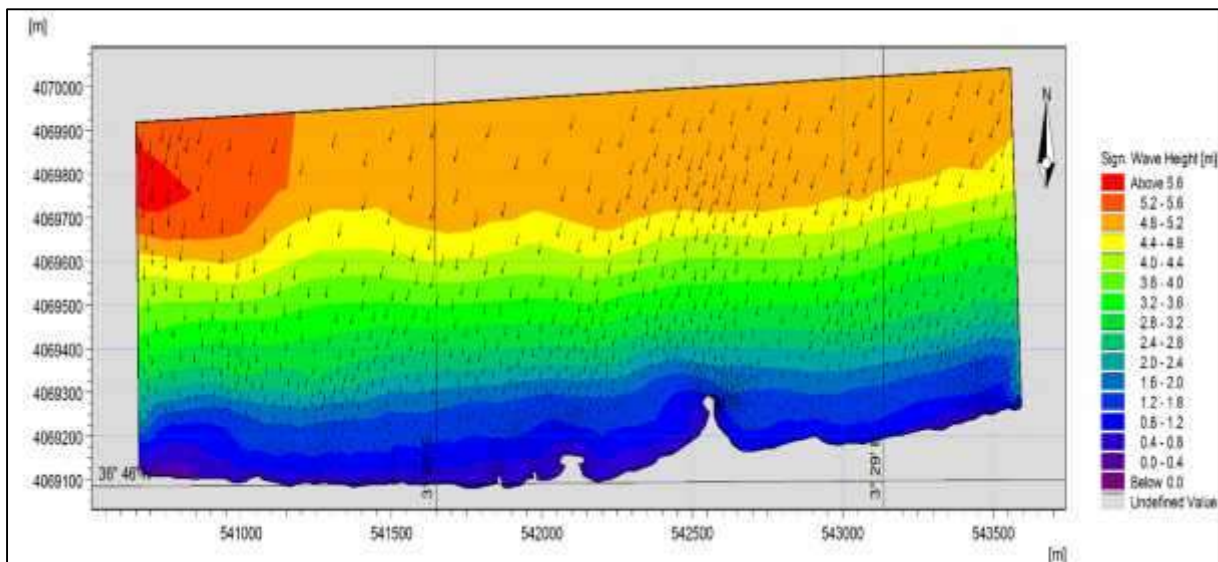


Fig. n°IV-8 : Champs de houles (MWD=360°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes, cas d'exemple).

A l'approche de la côte à des profondeurs inférieures à -1m, une diminution remarquable des hauteurs de vague (H_s varie entre 0.69 m et 0.71 m), avec des coefficients de réfraction relativement faible entre 0.15 à 0.19 et des angles d'incidences de direction moyenne vers le Nord-Est au niveau de la partie Est, et cela signifie que la houle perd une grande partie de son énergie presque 4/5 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré. Les valeurs de H_s varient entre 1,6 à 2,4 m au côté Ouest de la baie

A l'exception de la zone de Cap Djinet, les hauteurs de la houle atteint les 2.75m juste au près de la jetée principale, cela est dû généralement au déferlement important des vagues.

Donc pour la direction 360° , on peut dire que la houle a une propagation quasi frontale et suit presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction 45° , et cela aussi pourrait avoir une influence sur notre zone d'étude.

▪ Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°).

Les houles issues de secteur 315° N, sont généralement des houles hivernales. Au large, ces houles de direction Nord-Ouest ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement, elles sont réfractées au voisinage de la cote. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 3° et 10° . Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de Réghaia Plage qui est abritée par un îlot orienté dans le sens opposé des crêtes de houles. Par conséquent, le climat de houles reste modéré au niveau de cette plage. En effet dans cette localité les houles subissent une diffraction à 1 Km du rivage. Par contre, 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, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone d'étude.

D'après la **Fig. n°IV-9**, nous marquons que les hauteurs significatives sont au-dessus de 4 m au large, en revanche, près des côtes nous avons des hauteurs plus faibles où elles sont comprises entre 0,2-0,8 m à l'Est et entre 1.0-2,0 m à l'Ouest. Au niveau du Cap Matifou, les hauteurs remarquées sont les plus faibles du fait qu'elles sont entre 0.2-0.8m et cela signifie que la houle perd une très grande partie de son énergie lors de son trajet vers la côte due généralement à la variation abrupte de la bathymétrie.

Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement léger des orthogonales vers le Nord-Est notamment au niveau du port de Cap Djinet.

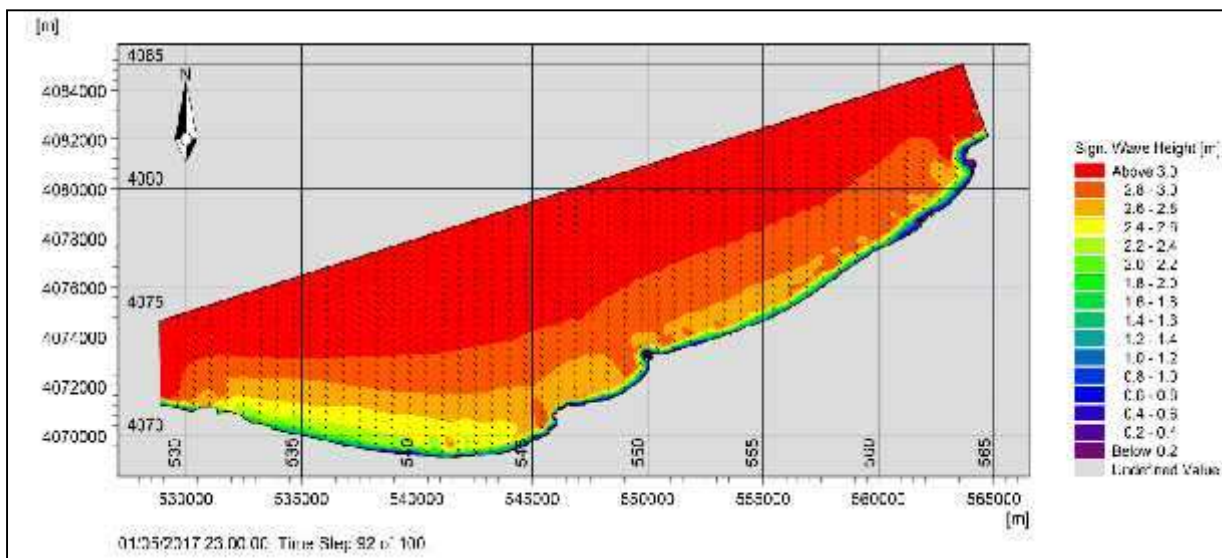


Fig. n°IV-9: Champs de houles (MWD= 315°) sur la Baie de Zemmouri

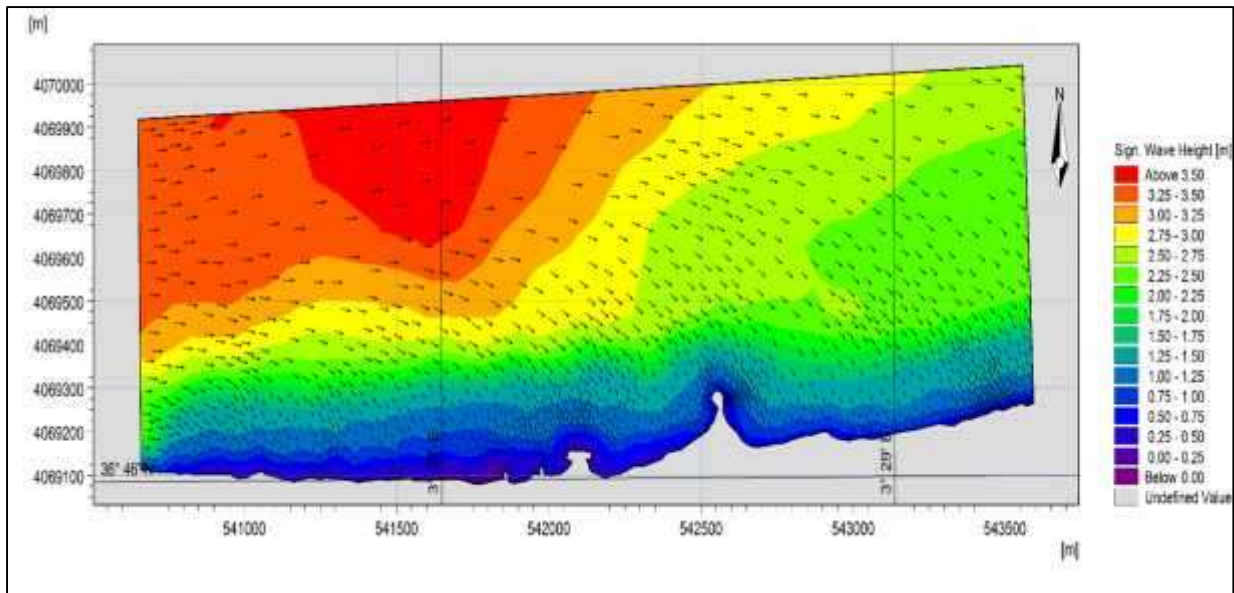


Fig. n°IV-10 : Champs de houles (MWD=315°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes, cas d'exemple).

5.2.3. Modélisation des champs de courants générés par la houle

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. Un régime permanent est atteint lorsque la totalité de cette énergie a été dissipée. (**Longuet-Higgins, et al. 1964**) ont montré que les forces motrices du courant de houle étaient dues aux variations du flux des quantités de mouvement induites par la houle. Schématiquement, dans le cas d'une plage rectiligne, la composante de cette poussée parallèle à la côte engendre une dérive littorale tandis que sa composante normale induit une surélévation du niveau moyen. La définition des contraintes de radiation par (**Longuet-Higgins, et al., 1964**) marqua la naissance de la modélisation des courants littoraux et de leur répartition dans la zone de déferlement. (**Bowen, 1969**) montre que le long d'une plage de pente constante, une houle monochromatique ne crée une force motrice pour le courant qu'à l'intérieur de la zone de déferlement. C'est le mélange latéral qui permet l'extension de ce courant au large de la ligne de déferlement. Bowen montre par ailleurs que la largeur de la zone de déferlement et l'intensité du courant augmentent avec la hauteur de houle, et propose un profil de vitesse du courant littoral montrant une bonne correspondance avec les mesures.

L'objectif de cette partie est de modéliser les champs de courants générés par les houles approchant le rivage, au moyen du module HD. Les contraintes de radiation étant calculées par le module SW elles nous ont servi à modéliser la courantologie au niveau de la grande baie de Zemmouri.

- **Conditions aux limites et autres paramètres :**

Le niveau de la mer est considéré constants (0.34 m). Les flux tout au long des limites ouvertes sont considérés perpendiculaires par rapport aux limites. Par conséquent la surface initiale est considérée nulle aussi. La viscosité et la résistance sont considérées comme valeurs par défaut (0.5 et $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ respectivement). Les contraintes de radiations incluses dans chaque grille de calcul sont calculées par le module SW.

- **Résultats des simulations HD et interprétations :**

Les figures ci-après (**Figures n° 11, 12, 13**) montrent les champs de courants induits par les vagues calculées au moyen du modèle numérique MIKE21-HD pour les trois directions de houles sélectionnées.

Le long de la côte Est algéroise, les résultats du modèle montrent clairement que le flux d'énergie long-shore provient du secteur Ouest et s'oriente vers l'Est.

Les vagues venant du secteur Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone de Zemmouri. Les vitesses sont plus élevées dans la zone Est de l'embouchure de l'oued Réghaia qui dépassent 1m/s. Ces vitesses diminuent en allant vers l'Ouest à cause de l'effet d'abri de l'île, HadjratBounattah, et du léger changement dans l'orientation de la côte. Ces fortes vitesses sont à l'origine du transport sédimentaire vers l'Ouest en favorisant l'érosion des cotes sableuses exposées à ses courants.

D'après cette figure, on observe que les champs des courants formés par la houle de secteur est (45°N) dans la région de Boumerdes montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone. On remarque que le courant se propage d'est en ouest suivant une direction parallèle au trait de côte avec une vitesse majoritaire qui varie entre 0.60 m/s à 1.05 m/s, ce courant est produit principalement par le phénomène de réfraction de la houle.

Plus à l'Ouest, le long de la plage, Deca Plage, les vitesses du courant long-shore augmentent de nouveau puis elles diminuent progressivement en allant vers la localité d'Ain Chorb où note un changement de la direction de la côte et la présence de hauts fonds à l'avant côte. L'effet de ces hauts fonds engendre localement un courant dans la direction opposée.

A l'Est du port de Cap Djinet, on remarque des champs de courants plus importants qui dépassent la vitesse de 1.5m/s orienté vers la direction Ouest, c'est l'origine des accumulations de quantités importantes du sable au niveau de la jetée principale et favorise l'ensablement du port

Avec des vagues venant de l'autre côté, ici en cours à des vitesses plus élevées, ce qui aura un effet visible sur le transport des sédiments et de l'évolution côtière.

Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

opposée mais avec des vitesses nettement faibles dans la partie Est où les vitesses des courants de dérive ne dépassent pas 0.5m /s. par contre dans la partie Ouest, au niveau de la plage de Zemmouri, on observe des champs de courant importants avec des vitesses qui dépassent 1m/s. ce courant joue un rôle important dans la redistribution des sédiments accumulés au voisinage du port pour alimenter la partie érodée.

D'après cette figure, on observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres directions, qui sont dirigés vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages de protection et les jetées, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages. Au niveau de la zone Est, des vitesses relativement faibles d'environ 0.08m/s. on constate des courants avec une vitesse un peu élevée au niveau de la zone centre de Zemmouri 0.5m/s - 1m/s.

▪ Champs des courants pour un MDW=45° :

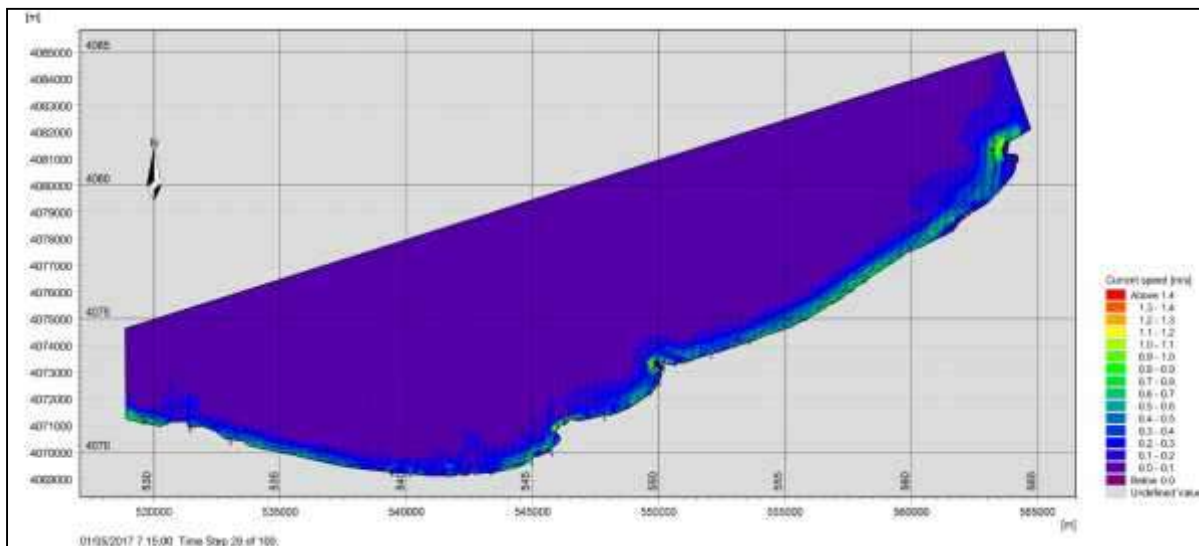


Fig. n°IV-11: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°.

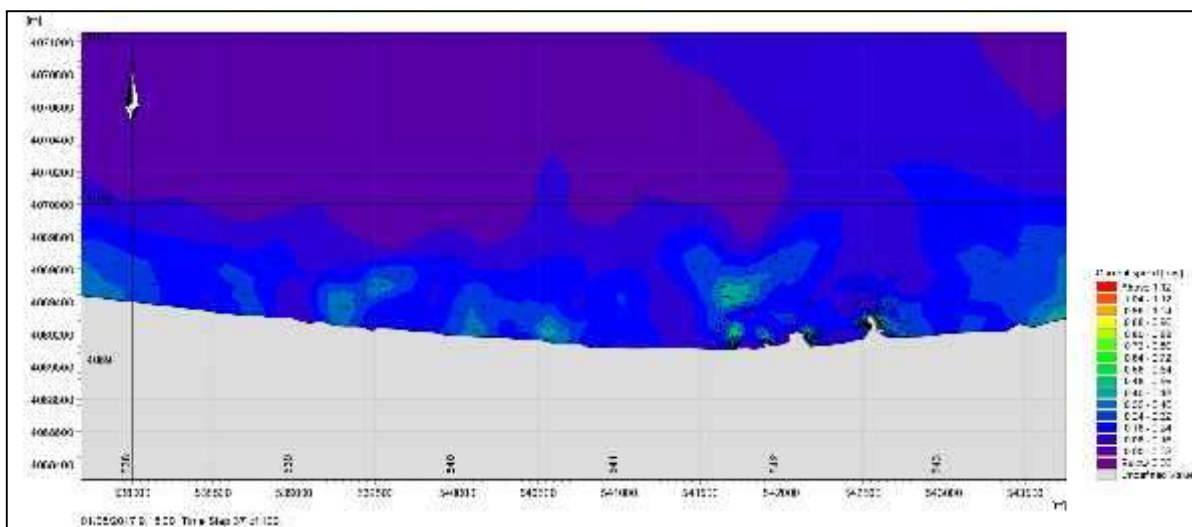


Fig. n°IV-1: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°. (Boumerdes).

▪ Champs des courant pour un MDW= 360°

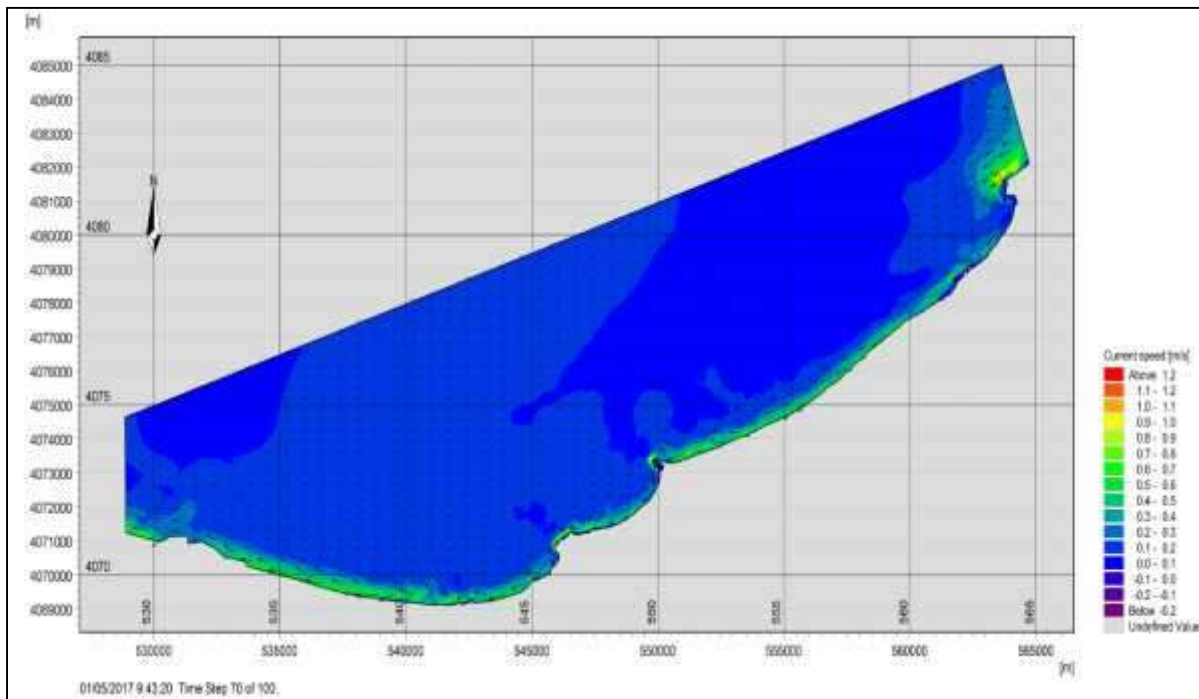


Fig. n°IV-13: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD=360°.

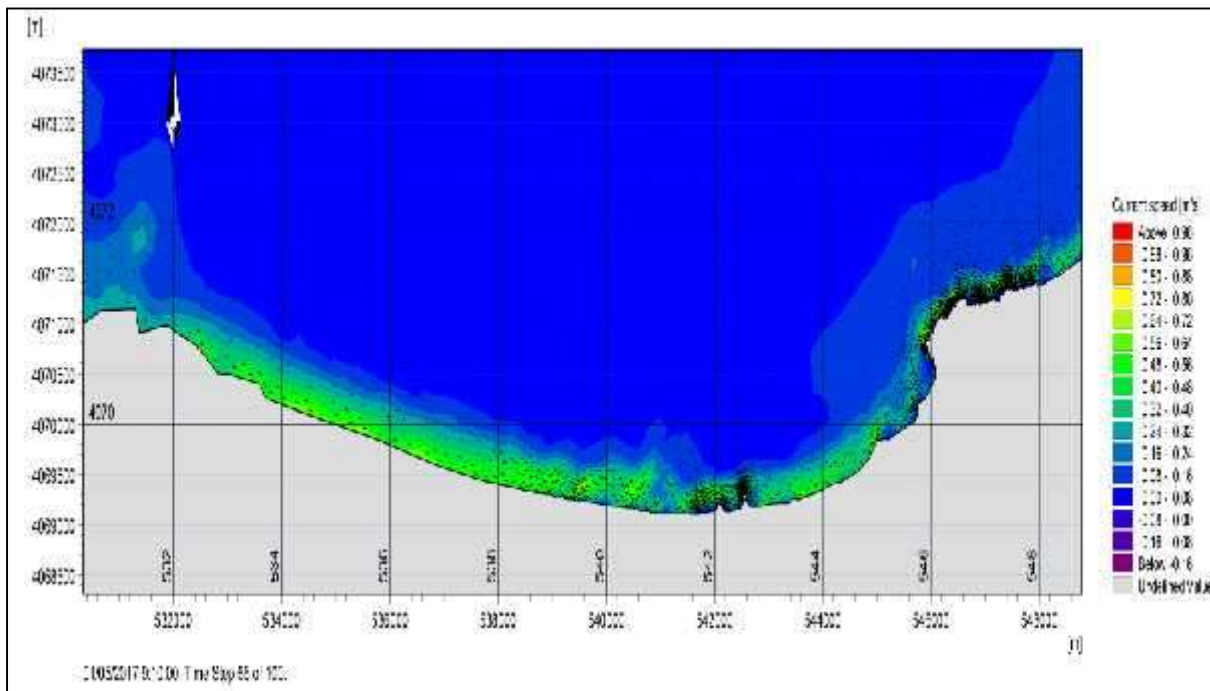


Fig. n°IV-14: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD=360°(Boumerdes).

▪ Champs des courant pour un MDW= 315°

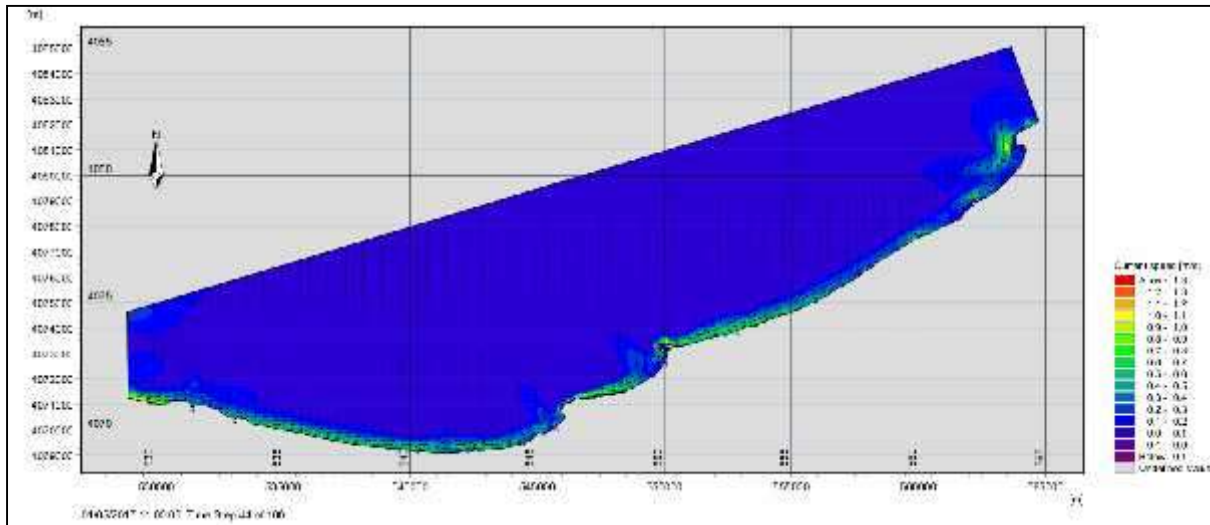


Fig. n°IV-15: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 315°.

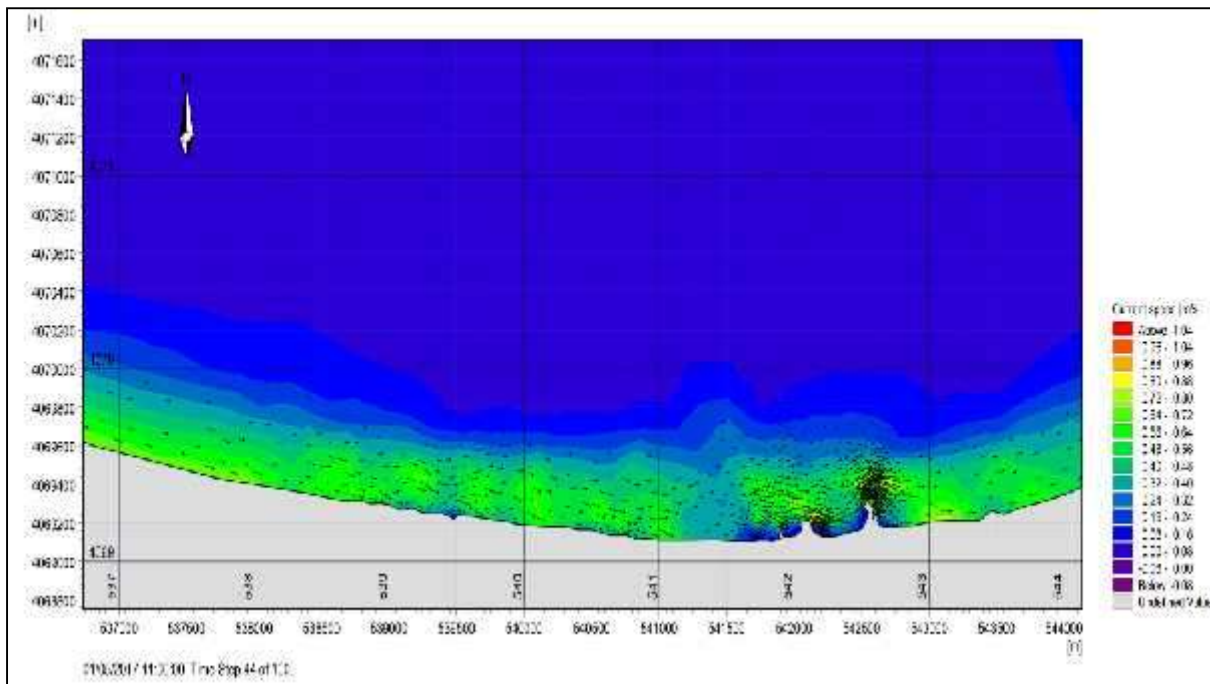


Fig. n°IV-16: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°.(Boumerdes)

5.3. Résultats du modèle ST

Les transports des sédiments calculés dans la zone d'étude adoptent des unités de $m^3/s/m$ sous l'effet des vagues, des courants de dérive, de retours et des vents d'Est. L'interprétation de ces transports est basée sur le changement de l'intensité du transport d'une maille à l'autre. Par exemple, une diminution des vecteurs de transport d'une maille à l'autre indique une zone de convergence ou de dépôt potentiel des sédiments à cet endroit alors

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

qu'une augmentation des vecteurs adjacents indique une divergence ou un potentiel d'érosion à cet endroit.

De façon générale dans la baie de Zemmouri, une tendance de dérive littorale de l'Est vers l'Ouest semble persister pour les houles de 45°N et Ouest vers Est pour les houles de 315°N, par contre les houles en provenance de 360°N engendrent des transports sédimentaires qui convergent vers les deux directions selon la morphologie de zone au voisinage de la cote.

Les courants modélisés dans la plage Nord semble favoriser un transport sédimentaire vers l'épi Nord pour les trois climats de houle (45, 360 et 315°N). En effet les houles en provenance du Nord-Est engendrent un courant littoral Nord-Sud qui entraîne les sables vers le sud qui favorise l'accumulation des sables et la formation d'une plage large et cela confirme l'avancée de la ligne de cote calculée par le modèle DSAS (évolution de trait cote). Lorsque les houles sont de fortes amplitudes (>1.3m) ce courant contourne l'épi Nord et par conséquent forme un vortex en aval de l'ouvrage et revient vers celui-ci en entraînant les sables vers le Nord.

Par contre, les houles en provenance de l'ouest génèrent un courant Sud-Nord qui entraîne les sables vers le nord, ce courant contourne l'épi Nord et forme derrière celui-ci un vortex qui revient vers l'ouvrage, en entraînant les sables vers le Sud malgré un régime de houle Ouest.

On constate également que le transport le dans cette portion épis et jetée du port est faible avec un taux de $+16. 10^{-6}$ et $+20. 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} / \text{m}$ soit $+498$ et $+622 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$.

Sur la plage de Cap Djinet, à l'ombre du port, le transport s'effectue vers l'Ouest à cause d'une recirculation des courants engendrés par la houle du secteur Est, avec un taux $+26. 10^{-6}$ et $+36. 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} / \text{m}$ soit $+808$ et $+1129 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$.

Les résultats du transport sédimentaire sur la zone allant de station électrique de Cap Djinet au Port de Zemmouri sont qualitativement conformes à l'analyse des écoulements menée précédemment et confirment la dérive littorale parallèle à la côte sur cette zone.

L'intensité de la dérive augmente entre l'Est et l'Ouest ce qui aurait tendance à favoriser un déplacement de sable de -1120 et $-1368 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$, mais que dans le même temps les houles de Ouest engendrent un transport en direction Est de $345 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ moins important que celui engendrée par la houle de direction Est et Nord, au voisinage du port de Zemmouri et des ouvrages de protection un transit sédimentaire dirigé vers le large d'un débit de $1120 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$. Le bilan sédimentaire est donc complexe, et résulte de la contribution de chaque houle. Cette perte de sédiment vers le large favorise l'érosion de cette zone et un recul important du trait de cote qui confirme les résultats du modèle DSAS (un bilan surfacique négatif).

A l'extrémité Ouest de la baie, une divergence des écoulements a été mise en évidence: elle est causée par le déferlement des houles sur le platier rocheux. Cette divergence se retrouve dans le transport vers le Ouest et vers le Nord pour les deux directions de houle

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

Est et Nord autour de la des pointes rocheuses, qui déclenche un transit sédimentaire vers la baie d'Alger et vers le large.

Dans la partie Nord Ain Taya, il est difficile à ce stade de déterminer si le transport résultant est orienté vers le Nord ou l'Ouest, étant donné sa variabilité : fonction de l'incidence des houles et la diffraction de cette dernière avec les ouvrages de protection, des sédiments sont piégés dans cette zone protégée qui favorise l'accumulation et formation d'une plage sableuse.

L'analyse qualitative des écoulements et du transport nous a permis de déterminer le cheminement de la drive littorale le long de la zone entre Reghaia et le rochet noir, elle s'effectue globalement du Est Vers l'Ouest pour la houle de l'Est avec un débit de $1399 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. les houles du secteur ouest et Nord, le transport est orienté vers l'Est, provoquant le dépôt de sédiments le long des brise-lames de la région de Boumerdes avec un taux de $622 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et $995 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$. un courant de retours est dirigé vers le large qui aurait tendance à favoriser une perte de sable vers le large, et provoque un déficit sédimentaire de cette région.

Sur la zone comprise entre le rochet noir et le port de Zemmouri, le bilan sédimentaire est complexe, et résulte de la contribution de chaque houle. Les transits sédimentaires des trois directions sont piégés entre les deux extrémités et alimentent cette zone.

Cette modélisation confirme les résultats obtenus avec le modèle DSAS. Bilan surfacique positif pour la plage de Figuier, et un bilan négatif pour les plages de Reghaia à Boumerdes.

- Direction NE, MWD= 45°.

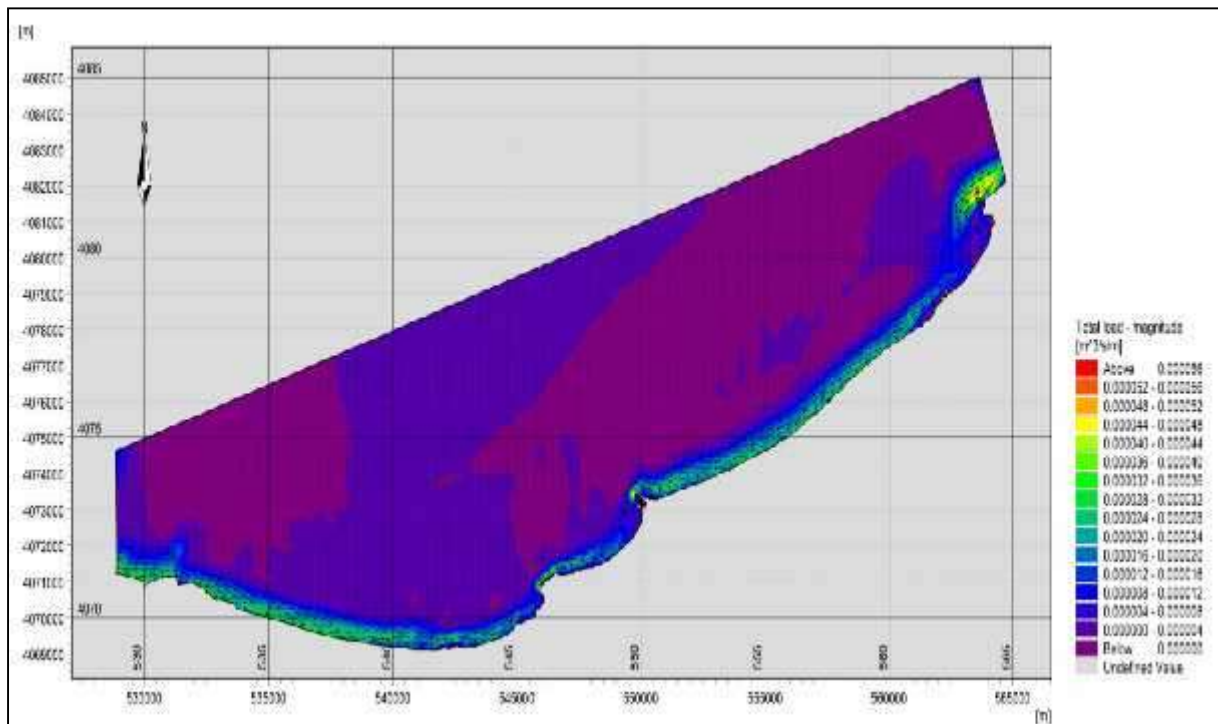


Fig. n°17 : Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°.

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

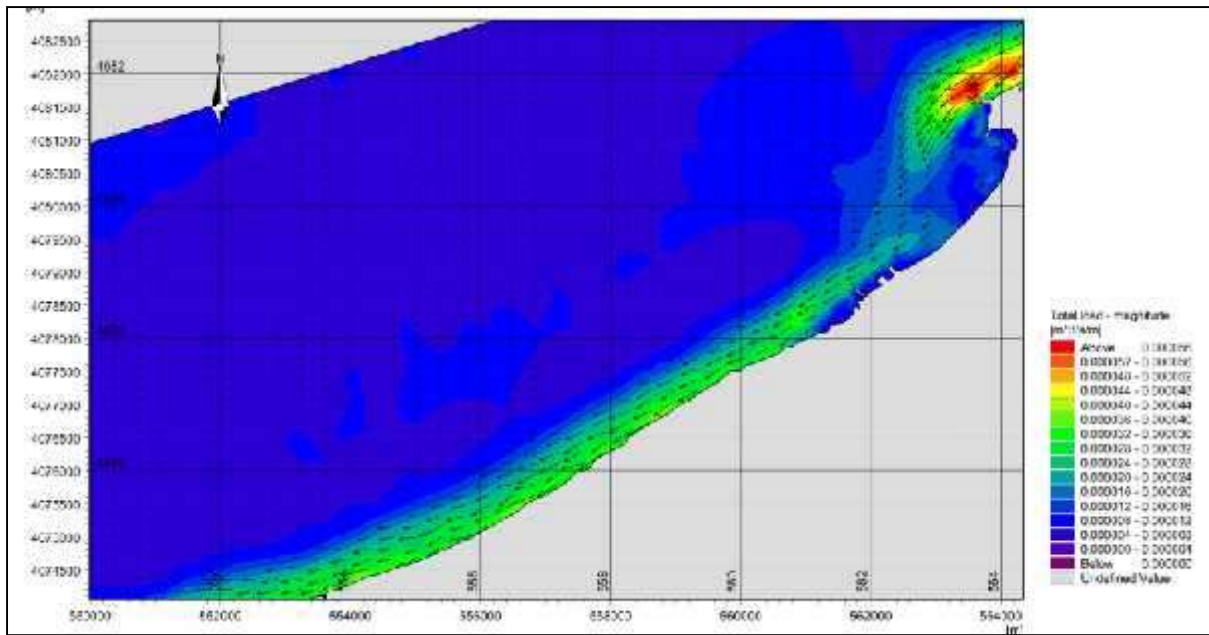


Fig. n°IV-18 : Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de de Zemmouri:
MWD= 45°.

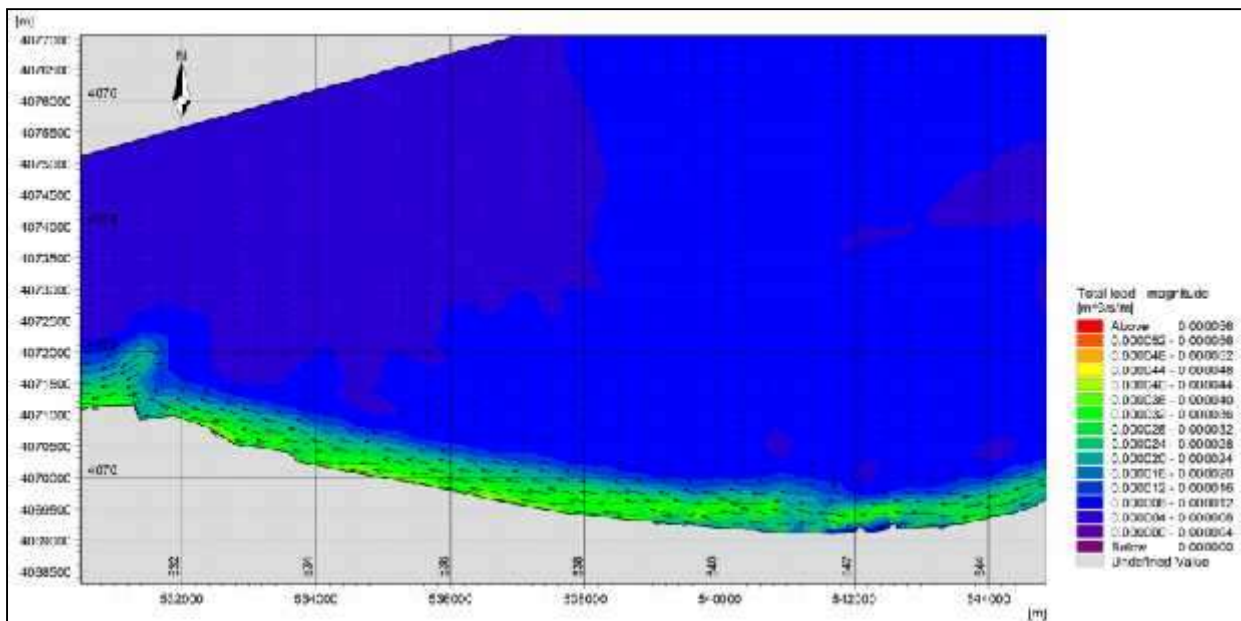


Fig. n°IV-19: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de de Zemmouri:
MWD= 45°.

Chapitre IV : Modélisation Hydrodynamique de la Baie de Zemmouri

- Direction N, MWD= 360 :

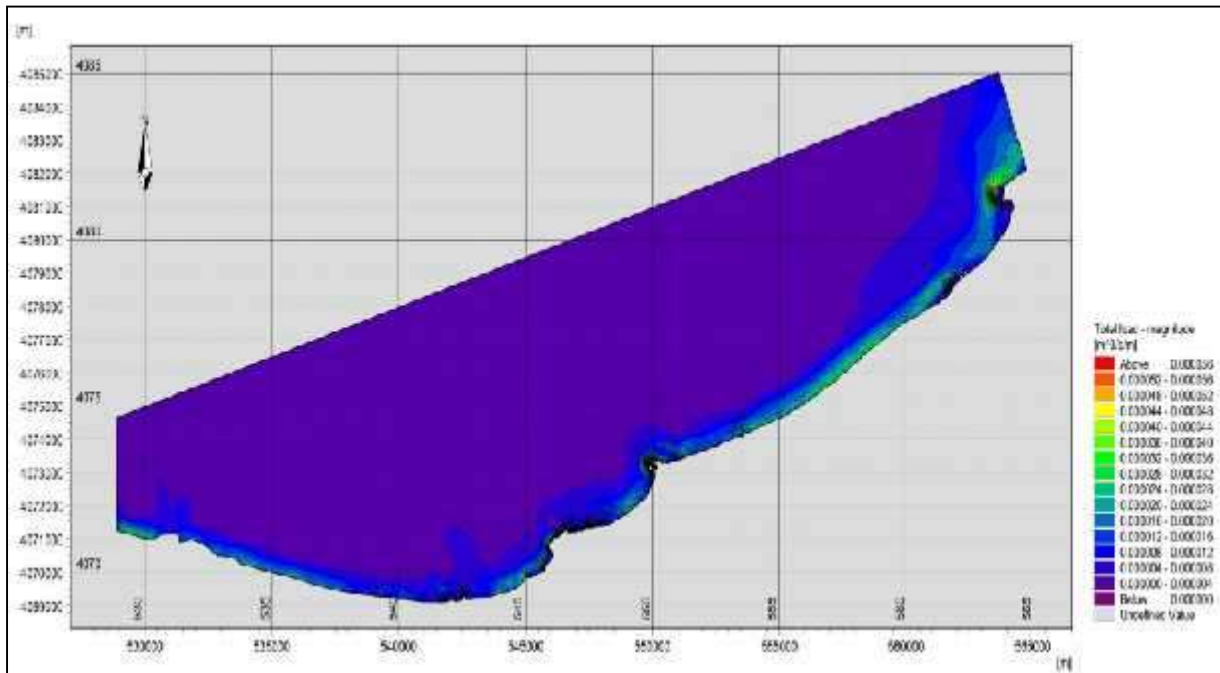


Fig. n°IV-20: Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°.

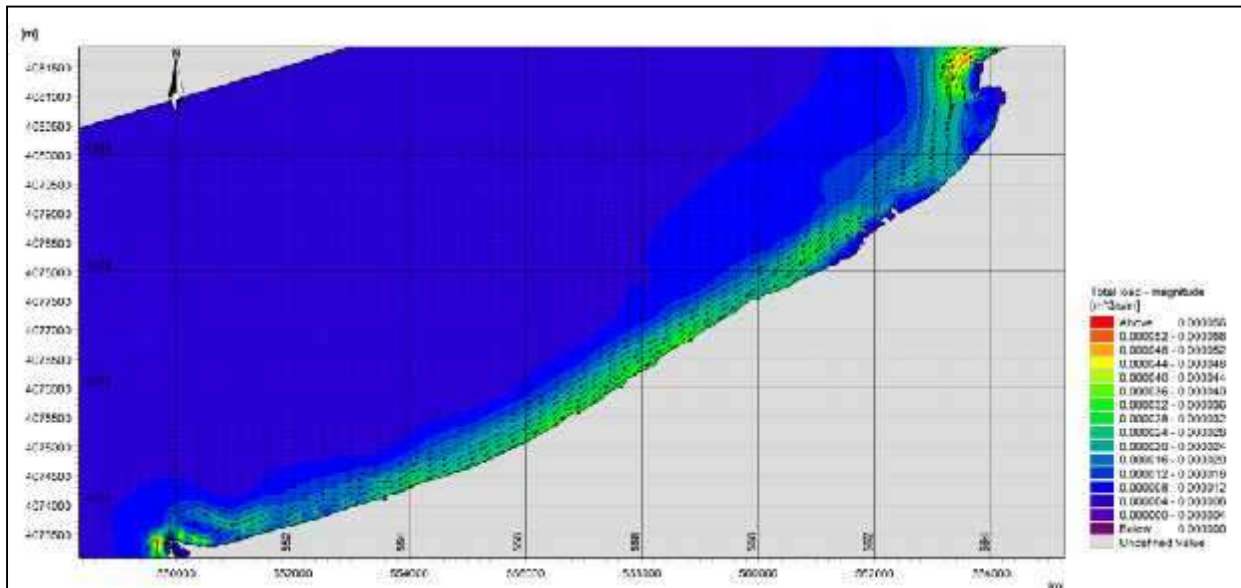


Fig. n°IV-21: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri:
MWD= 360°.

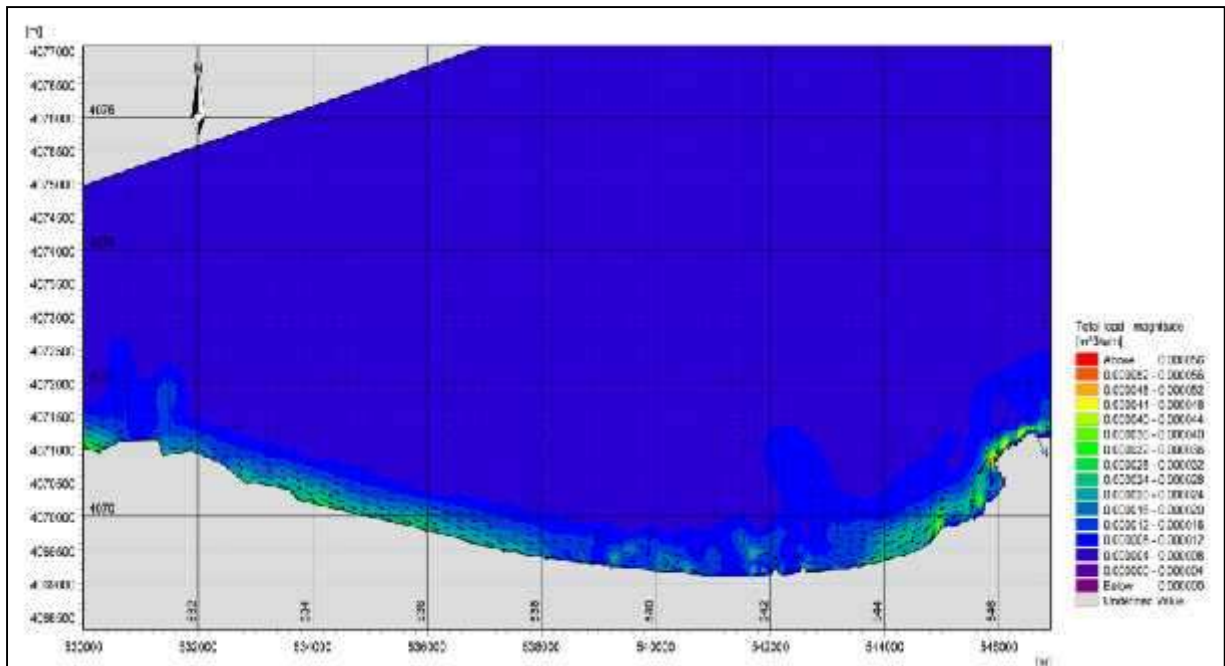


Fig. n°IV-22: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de de Zemmouri: MWD= 360°.

- **Direction NW, MWD= 315° :**

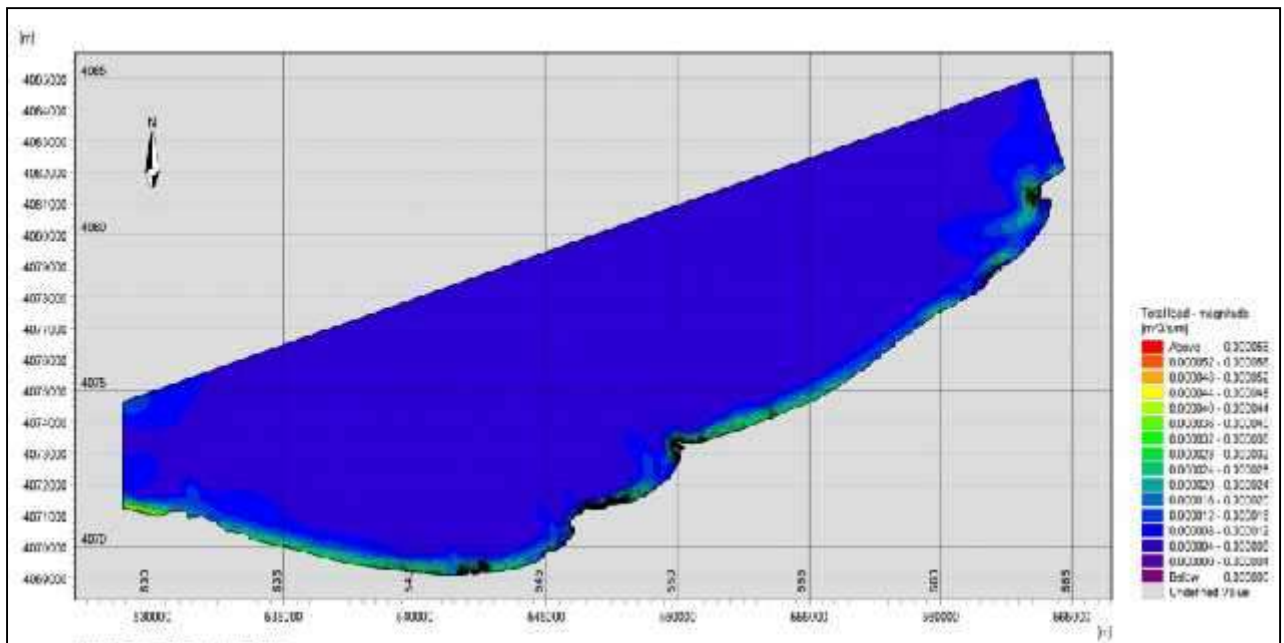


Fig. n°IV-23: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de de Zemmouri: MWD= 315°.

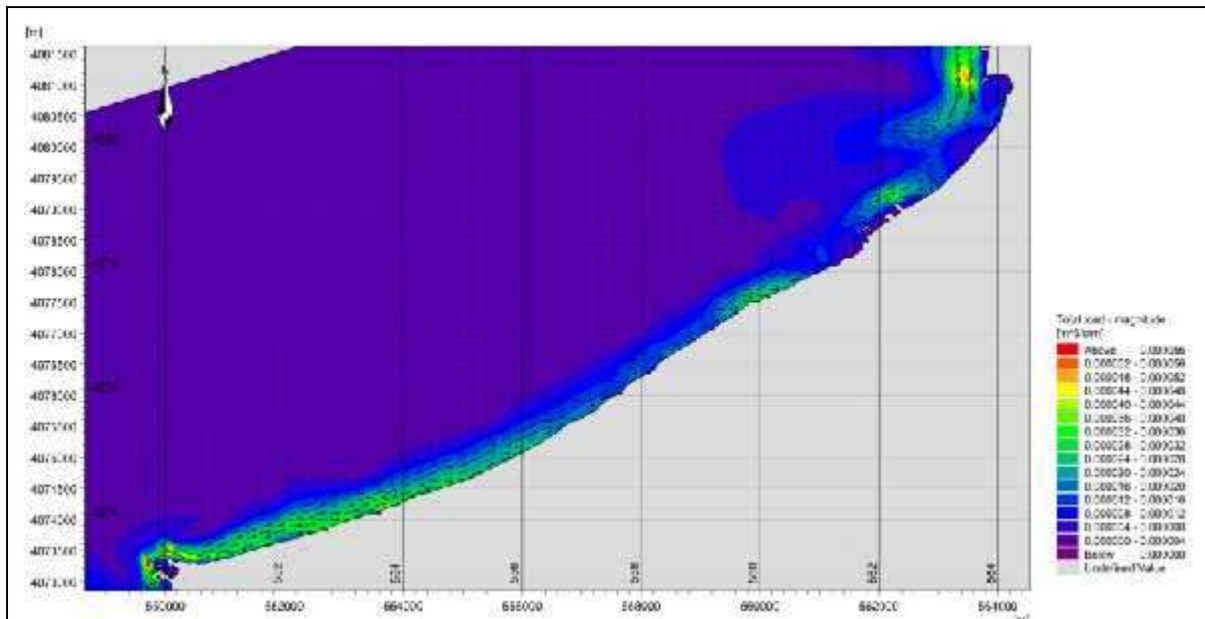


Fig. n°IV-24: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri:
MWD= 315°.

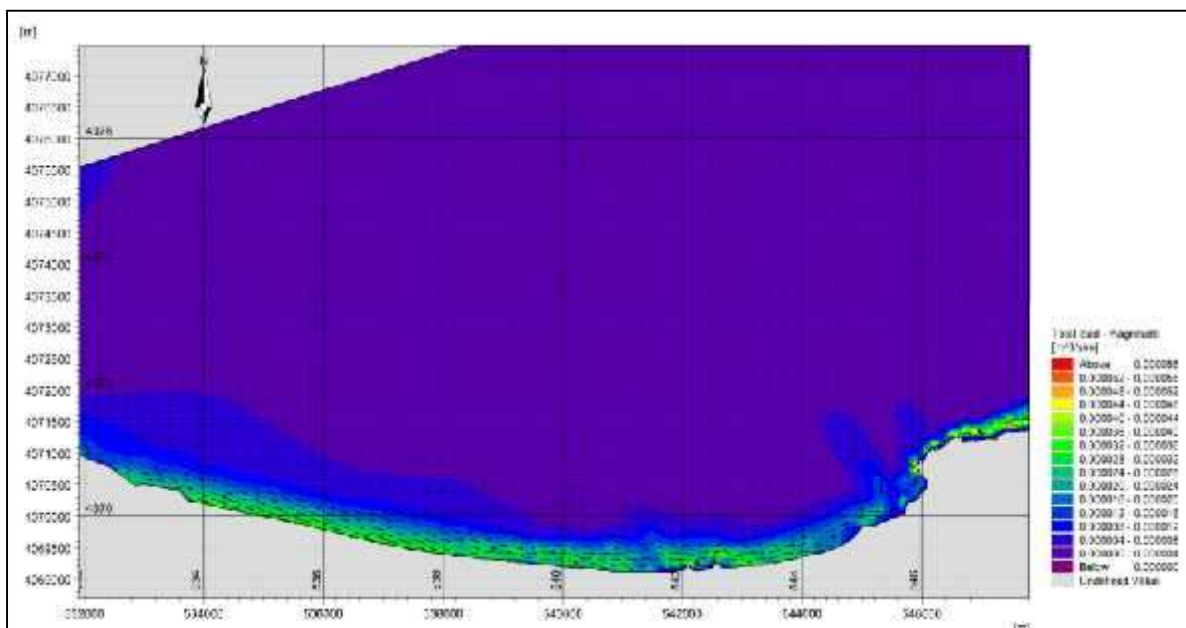


Fig. n°IV-25 : Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri:
MWD= 315°.

Chapitre V :
*Evolution spatio-
temporelle du trait de
cote*

Introduction :

Les littoraux, et plus particulièrement les plages sableuses, sont des environnements dynamiques dont la morphologie évolue continuellement. Les différents types de forçages auxquels ils sont soumis (eustatique, climatique, hydrodynamique, anthropique, etc.) se manifestent à l'échelle géologique et aux échelles annuelle, saisonnière et événementielle.

La morphologie actuelle d'un littoral résulte donc de la superposition de différents processus agissant sur une gamme d'échelle temporelle allant du million d'années à la seconde.

Une compréhension globale de cette évolution et des processus qui en sont responsables nécessite donc un suivi de la zone côtière à différentes échelles spatio-temporelles.

Ce qui a induit la recherche de nombreuses méthodes pour détecter, extraire et suivre la mobilité du trait de côte. Ces approches méthodologiques reposent sur la compilation et la comparaison des données acquises, en laboratoire par un traitement numérique des photographies aériennes et des images satellitaires ; ce que nous allons essayer de faire dans ce chapitre.

- Établir l'évolution côtière historique et récente de l'ensemble du système côtier;
- Établir l'évolution surfacique côtière historique ;
- Réaliser des projections futures de l'évolution côtière pour l'horizon 2050;

1. Aperçu sur le logiciel ArcGIS Desktop 10.2.2 et l'extension DSAS :

1.1. ArcGIS Desktop 10.2.2:

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

Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

1.1.1. ArcCatalog :

Est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une leur exploration.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

1.1.2. ArcMap :

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

1.1.3. ArcToolbox :

Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (Asbai, 2013 in NADIR M., 2016).

1.2. DSAS (Digital Shoreline Analysis System) :

Cet outil, logiciel libre développé par l'USGS, fonctionne sous ArcGIS ©ESRI. Il permet de calculer les statistiques d'évolution d'une série de traits de côte.

L'exécution de cette analyse nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géodatabase (une entité par année) et la numérisation d'une ligne de base (onshore ou offshore) à partir de laquelle DSAS créera des transects perpendiculaires qui viendront couper les différents traits de côtes.

C'est à partir de ces points d'intersection que DSAS calcule le taux d'évolution entre les différents traits de côte. Il connaît en effet le temps écoulé entre deux traits de côte (date) et la distance entre les deux lignes (distance calculée entre les deux points d'intersection).

En sortie, DSAS fournit une table contenant les statistiques d'évolution (taux de régression linéaire, moyenne des moindres carrés,...) et une table contenant les caractéristiques des points d'intersection (coordonnées, distance par rapport à la ligne de base) (LAFON & HOAREAU & MALLET & DESPRATS, 2010).

1.2.1. Barre d'outils (Toolbar) de DSAS :

- ✚ Définir / Modifier les paramètres : spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.

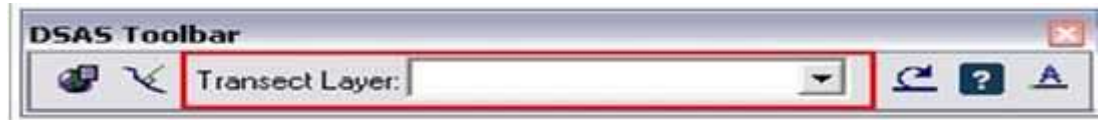


- ✚ TransectsCast : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.

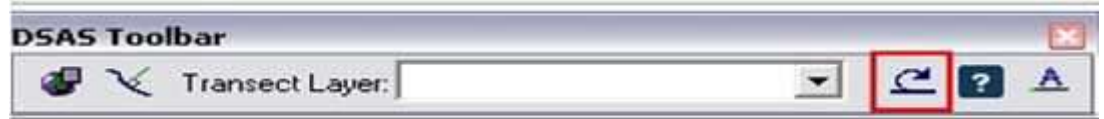


- ✚ Le menu déroulant : répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte



- ✚ Calculer les statistiques : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.



- ✚ Lancer la fonction d'aide DSAS.



- ✚ A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.



2. Méthodologie :

Dans le cadre de cette étude, on a utilisé des photos aériennes ortho-réctifiées de 1972 à 2003 et deux images satellitaires 2010 et 2017 ; Il. Le traitement des données s'est déroulé en trois étapes :

- ✓ D'abord, L'analyse des photos de photographies aériennes de 1972 à 2003 et des deux images satellitaires 2010 et 2017 :

Les photographies aériennes de 1972 à 2003 qui proviennent des documents de l'INCT sous forme papier, ont été scannées et la totalité des images ont été géoréférencées avec ArcGIS 10.2.

- ✓ Ensuite Le logiciel ArcGIS Desktop 10.2.2 a été utilisé pour la digitalisation des traits de côte et la réalisation des cartes.
- ✓ Enfin DSAS v4.3a permis le calcul statistique des vitesses d'érosion (EPR), des taux d'évolution (LRR) et les distances entre la ligne de rivage la plus ancienne (1972) et celle qui est la plus récente (2017) à partir des différents traits de côte extraits des images utilisées.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

- **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 (**Faye, 2012**).

- **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(ou alors la ligne de base). 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.

- **NSM :**

Le Net Shoreline Movement (NSM) est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne.

Pour cette étude, on a utilisé comme pas de mesures 100 m entre les transects long de 400 m (**Fig. n°V-1**) pour obtenir 566 transects le long de notre Baie (50km environ).



Fig. n°V-1 : Boite de dialogue d'outil DSAS.

Le maillage fin (100 m) permet de mieux apprécier l'évolution du littoral dans le détail et préciser le comportement du littoral localement.

3. Résultats :

L'analyse des photographies aériennes de 1972 et 2003 et les images satellitales de 2010 et 2017 a permis de définir la mobilité du trait de côte sur l'ensemble de la côte de Zemmouri. Malgré les erreurs de précision liées à la résolution des photos ainsi que les erreurs de précision introduites dans le traitement de ces photos (orthorectification et géoréférencement), on rappelle qu'une valeur de seuil de mobilité de 5 m a été considérée pour déterminer les zones en érosion, accrétion ou stables. La mobilité du trait de côte extraite

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

de cette analyse a donc un caractère très affirmé et peut ainsi être prise comme représentative de l'évolution récente durant les deux dernières décennies.

Il s'en suit que l'évolution historique des dernières décennies peut être extrapolée aux trois décennies à venir. De manière générale, une prévision de la localisation du trait de côte en 2050 peut donc être obtenue en multipliant les taux d'évolution annuels observés entre 1972 et 2017 par 33 en rajoute le taux d'évolutions du au tempêtes extrêmes.

L'évolution périodique expose les rythmes de la mobilité historique et récente du trait de côte.

La représentation des résultats doit mettre en valeur les rythmes d'évolution afin d'identifier l'intensité spatiotemporelle de l'aléa. Pour cela, la segmentation du trait de côte en plusieurs sous-ensembles permet de calculer la moyenne des taux d'évolution situés au sein d'un même sous-ensemble, rendant alors possible les comparaisons dans le temps pour un même secteur.

- Zone 01 : DECA-PLAGE, SURCOUF, REGHAIA-PLAGE et EL-KADOUS.
- Zone 02 : BOUDOUAOU ELBAHRI, SIDI KHIDHER et CORSO.
- Zone 03 : BOUMERDES, FIGUIER et ZEMMOURI
- Zone 04 : BEN YOUNES et ELDZIRAT.
- Zone 05 : ELKABKAB, ELKOUTHBANELRAMLIA, ELCHOUICHA et ELHMADNA
- Zone 06 : ELAZRAK ELKABIR, OULAD ELGHRAF, ELSTARA et ELMARDJA.

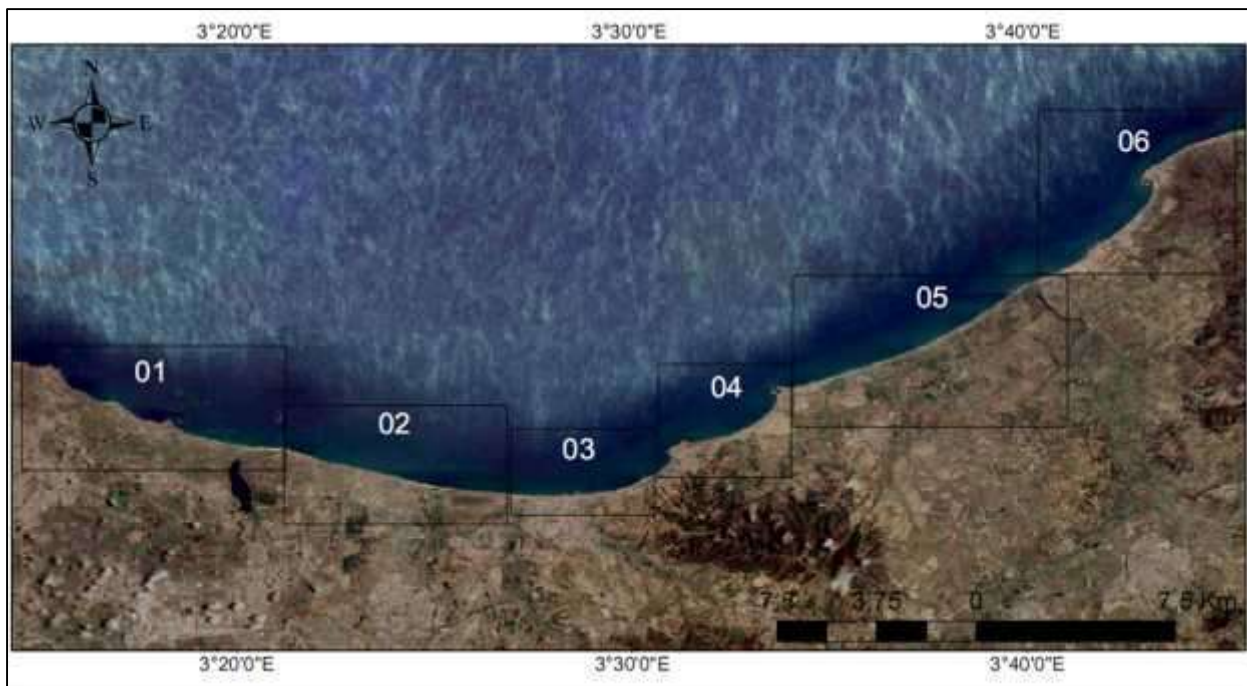


Fig. n°V-2: Découpage de la Baie de Zemmouri en 06 zones représentatives de l'évolution spatio-temporelle de la ligne de rivage.

3.1. Variations historiques de la ligne de rivage le long de la côte de la baie de Zemmouri :

Les résultats de cette cinématique sur le littoral de Zemmouri conduisent à la réalisation d'une cartographie de l'aléa érosion côtière de 1972 à 2017. Cette approche permet de représenter la distribution spatiale et temporelle des tendances d'évolution de ce linéaire côtier et d'appréhender les dynamiques sédimentaires historiques et périodiques des différentes unités morphosédimentaires composant ce littoral.

Les taux d'évolution obtenus à partir des taux des points extrêmes (EPR) sont cartographiés afin de spatialiser la dynamique du trait de côte sur le long terme (1972-2017). Ce mode de représentation synthétise et spatialise les rythmes d'évolution dans lesquels sont intégrés tous les traits de côte digitalisés entre 1972 et 2017 (**Fig. n°V-3**).

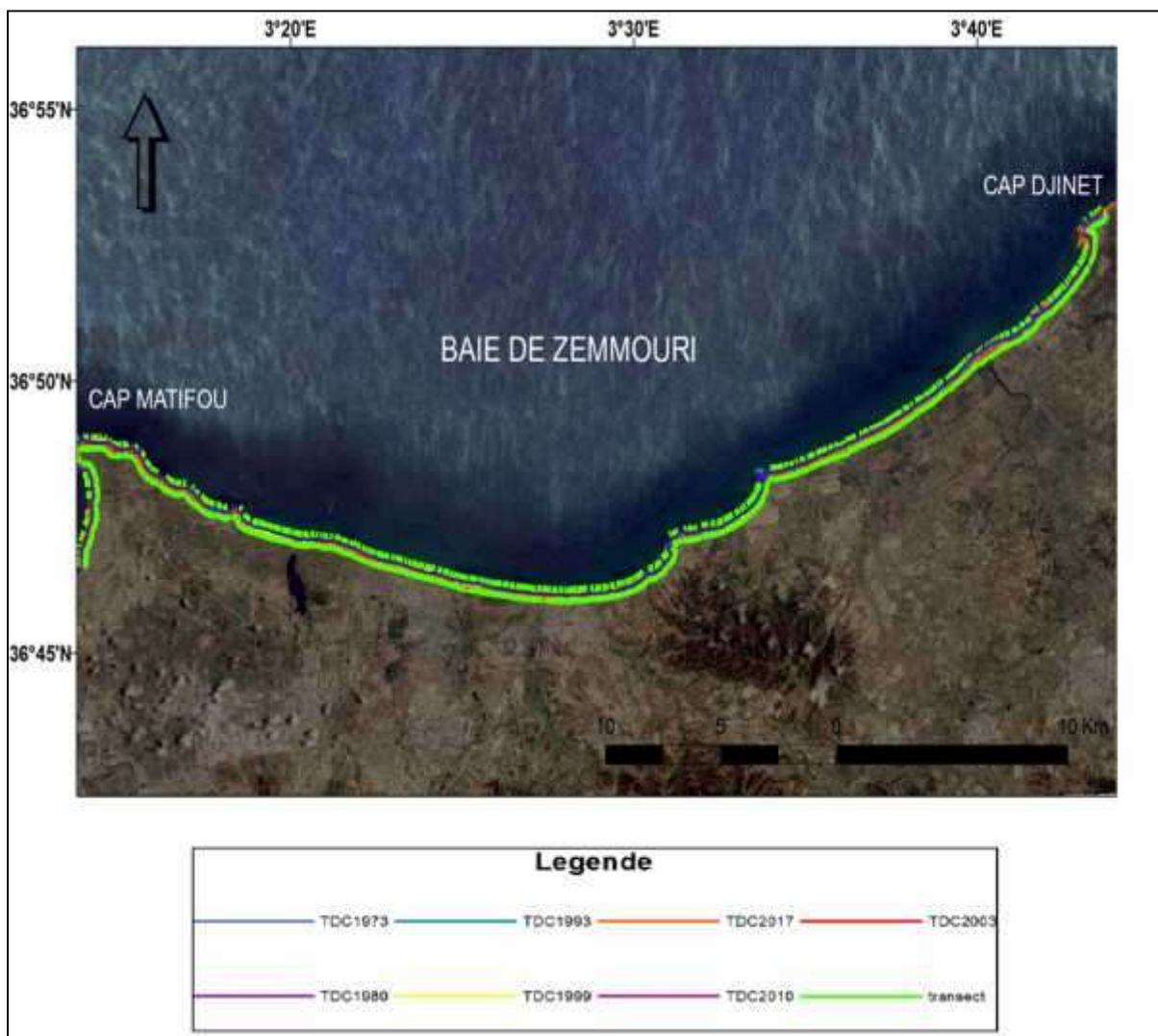


Fig. n°V-3: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone entre 1972 et 2017.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

A chaque unité correspond un taux d'évolution moyen par période. Afin d'améliorer la lecture de l'intensité de l'aléa, les taux ont été discrétisés manuellement en six classes, l'accrétion étant représentée par un dégradé de bleuet l'érosion par un dégradé de rouge (**Fig. n°V-4**).

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

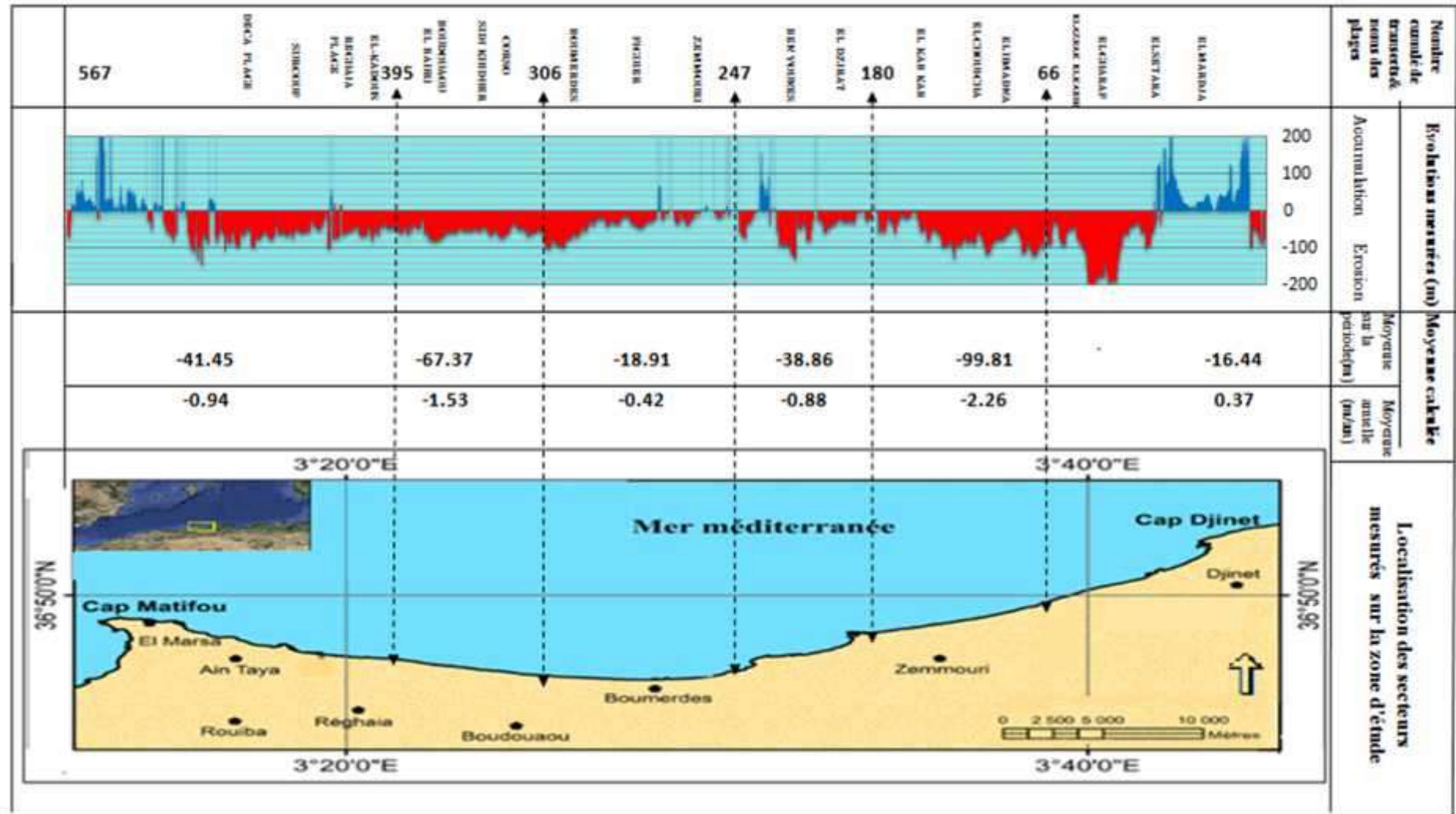


Fig. n°V-4: L'évolution du trait de côte et les reculs ou les avancées moyennes annuelles du trait de côte de la Baie de Zemmouri de 1973 à 2017.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

L'analyse de la carte de l'évolution de la position du trait de côte du littoral de la Baie de Zemmouri fait apparaître d'une manière générale que la ligne de rivage est en érosion à l'exception de la zone de cap Djinet. Approximativement, les changements mesurés dans cette portion côtière sont très contrastées depuis Cap Matifou à l'Ouest jusqu'à Cap Djinet à l'Est.

Passant aux unités qu'on a choisies, on va analyser l'Evolution du trait de côte selon les 3 statistiques antérieurement définis à savoir Le NSM, l'EPR et le LRR pour les 45 ans d'évolution (1972-2017). En focalisant sur la zone 01, la zone 06 et la zone 03.

➤ Zone 01 :

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre première zone d'étude, sur 86 transects (**Fig. n°V-5**), nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes.



Fig. n°V-5: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone 01 entre 1972 et 2017.

➤ NSM :

Cette zone fait apparaître une forte tendance à l'érosion d'une moyenne de -41.45 m qui continue sur l'ensemble des transects 395 à 481 (DECA-PLAGE, SURCOUF, REGHAIA-PLAGE et EL-KADOUS), à l'exception du transect 436 et qui a enregistré un engraissement engendrant une avancée du trait de côte de l'ordre de +17.02 m (**Fig. n°V-6**).

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

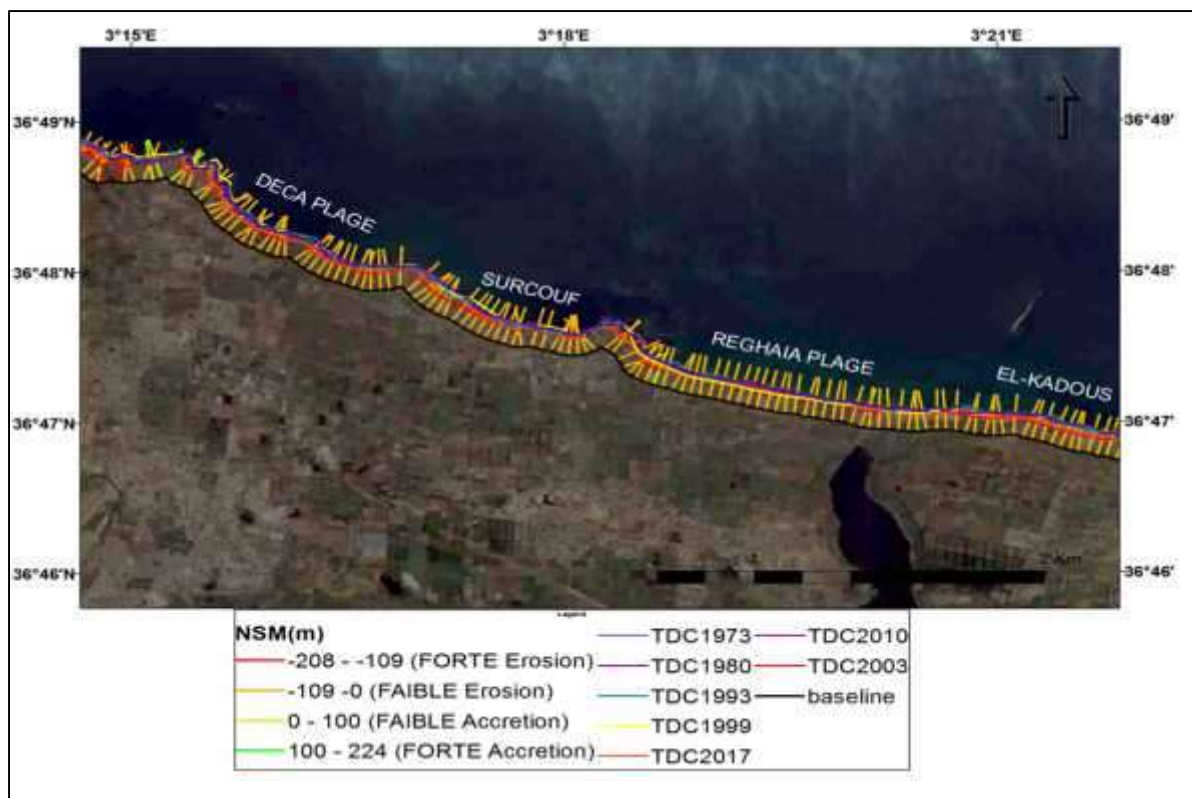


Fig. n°V-6: le mouvement net du trais de cote (NSM) entre 1973 et 02017 de la Zone 01.

➤ EPR :

L'End Point rate pour la zone 01 a marqué une moyenne de -0.94 m.an^{-1} , avec une valeur maximale de l'ordre -2.74 m.an^{-1} au niveau de transect 441 à AIN TAYA qui est dû aux ouvrages de protections implantés sur ce site (Fig. n°V-7).

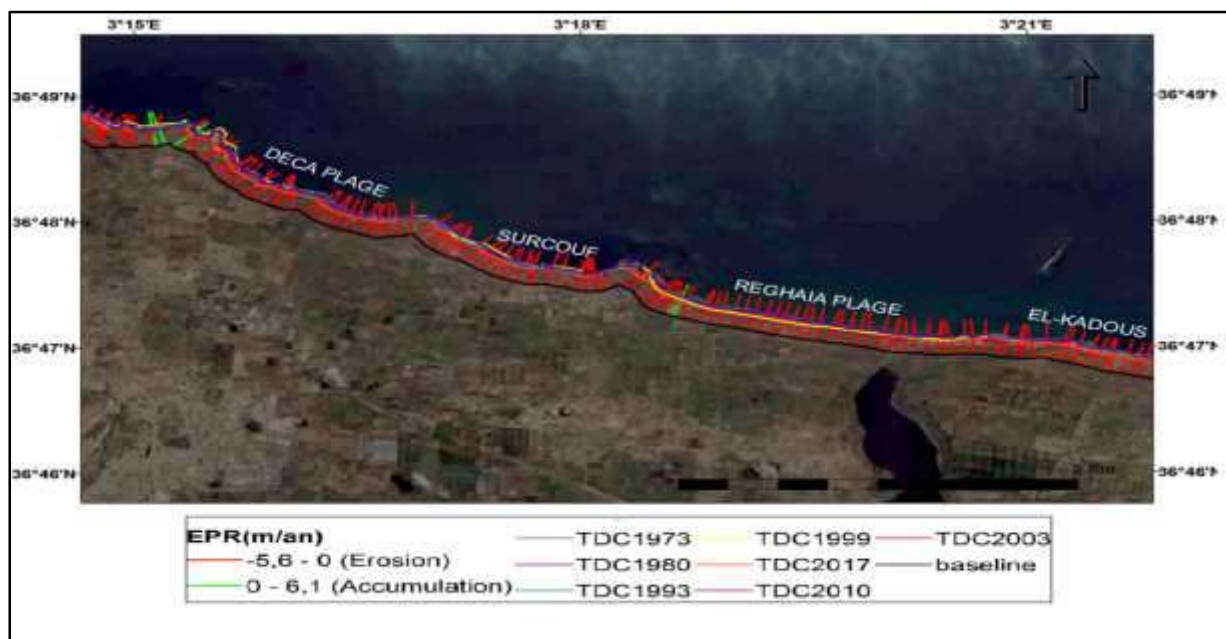


Fig. n°V-7: L'End Point Rate (EPR) entre 1973 et 02017 de la Zone 01.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

➤ LRR

Linéaire rate régression fait apparaitre une tendance évolutive de l'ordre de -1.54 avec un gain de l'érosion par rapport à l'engraissement (moyenne qui continue sur l'ensemble des transects de la zone 01 dont on a marqué une valeur maximale de recul d'environ -3.36. (Fig. n°V-8).

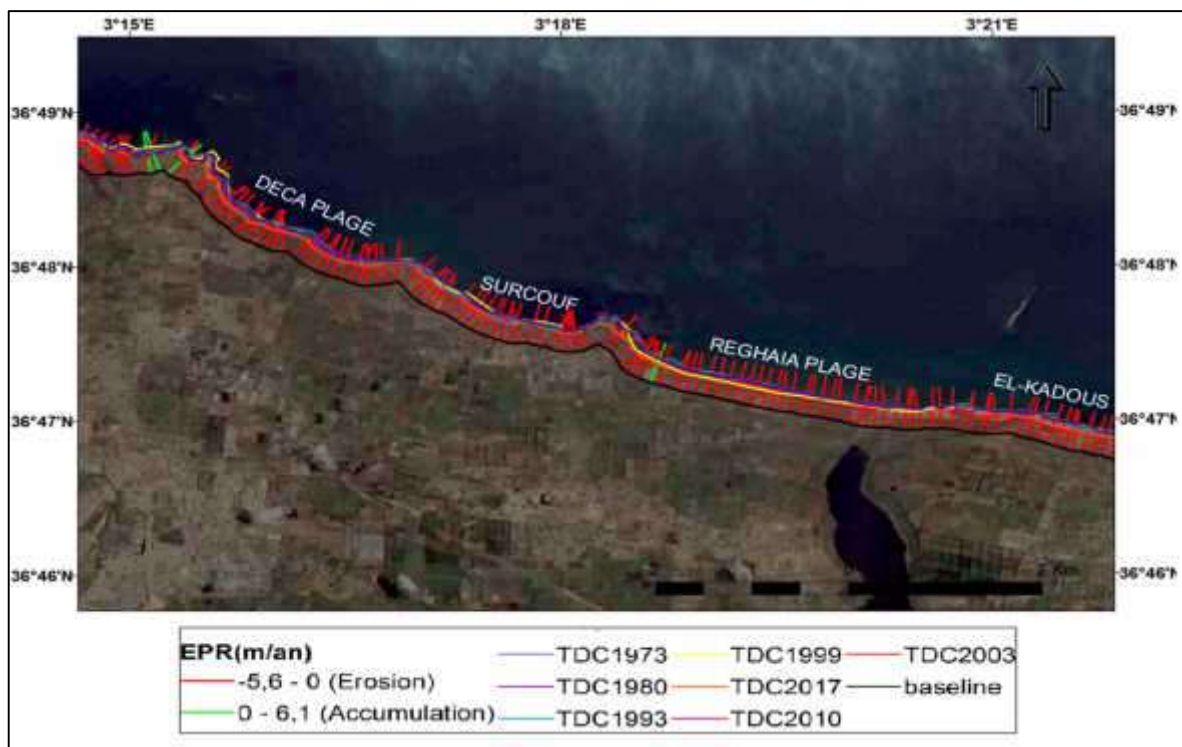
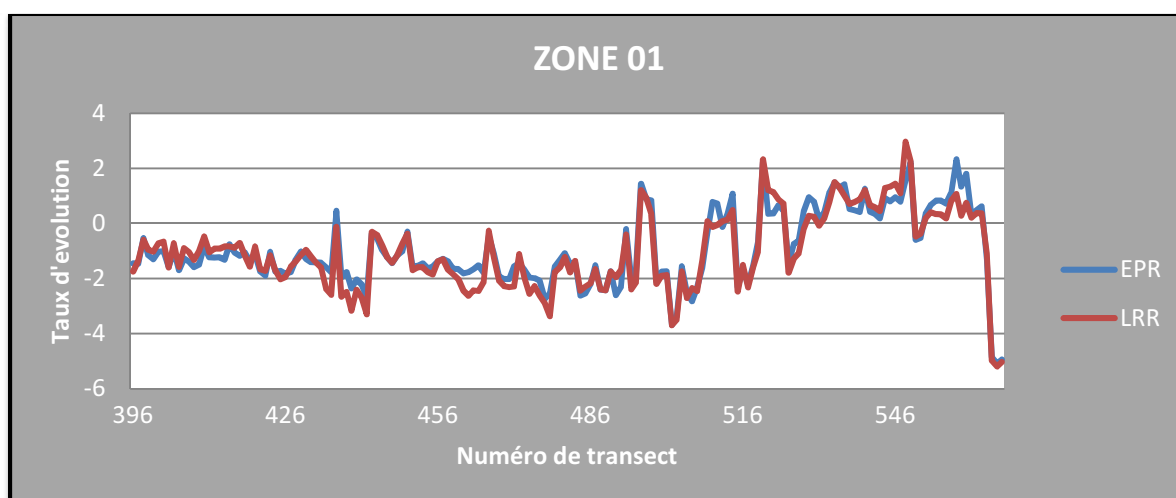


Fig. n°V-8: Linear Rate Regression (LRR) entre 1973 et 2017 de la Zone 01.

Ainsi, l'analyse effectuée indique une corrélation nette entre l'EPR et le LRR de l'ordre de 0.91 (Fig. n°V-9).



Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

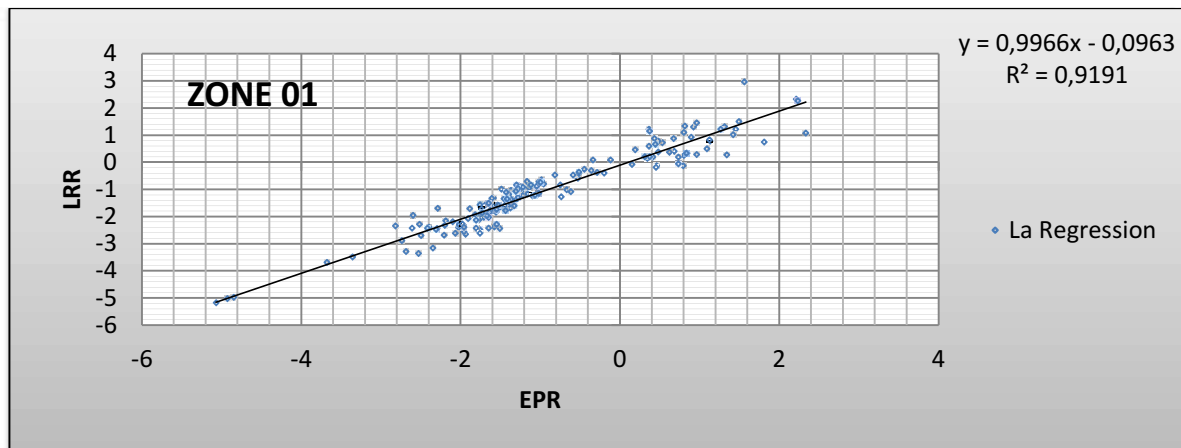


Fig. n°V-9:Le diagramme LRR, EPR (en haut)et Courbe de regression (en bas) de la Zone 01.

➤ Zone 03 :

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre deuxième zone d'étude (**zone 03**), sur 89 transects (**Fig. n°V-10**), nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes.

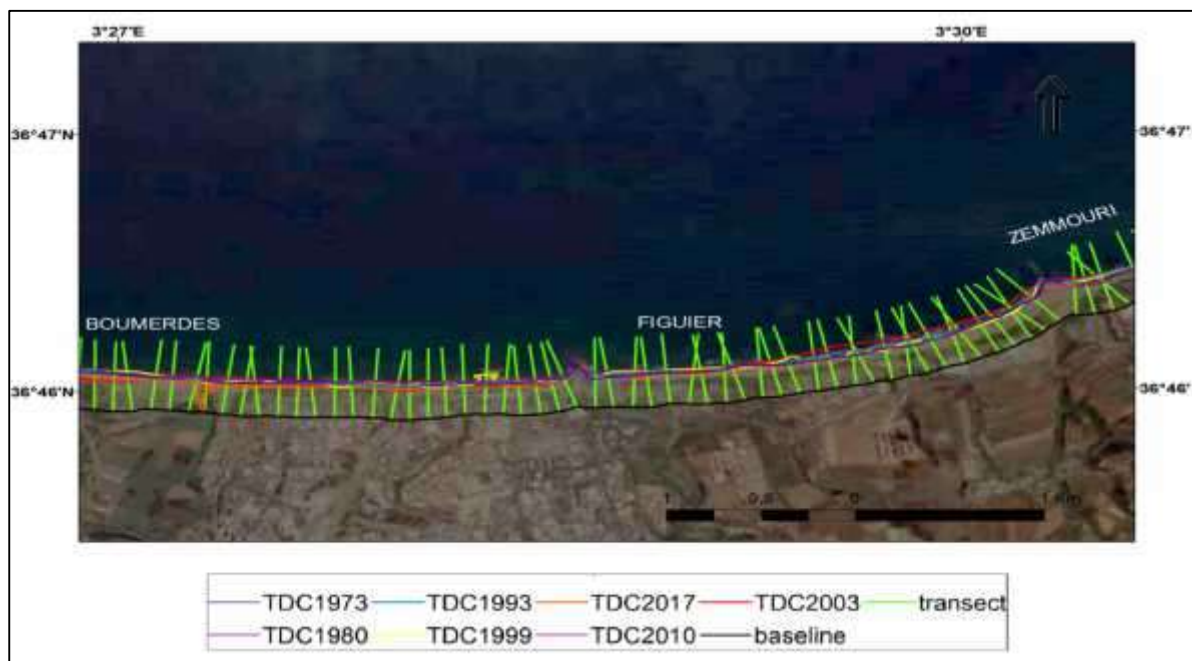


Fig. n°V-10: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemouri Zone 03 entre 1973 et 2017.

➤ NSM

Dans cette partie de la Baie , nous passons d'un secteur dominant en érosion de l'ordre de **(-18.21m)** vers un mini-secteur dans la partie Est de la plage FIGUIER (500m) qui est en accumulation avec des valeurs ayant atteint moyennement plus **(+50m)** (**Figure n°11**) Cette tendance évolutive pourrait trouver son explication dans la morphologie des plage sableuses et leur exposition directe aux houles des 3 secteurs dominants (N, NE et NW) ce qui favorise le

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

recul de linéaire côtier. Les intrusions accumulatives sont dues probablement aux ouvrages qui sont implantés à ce niveau.

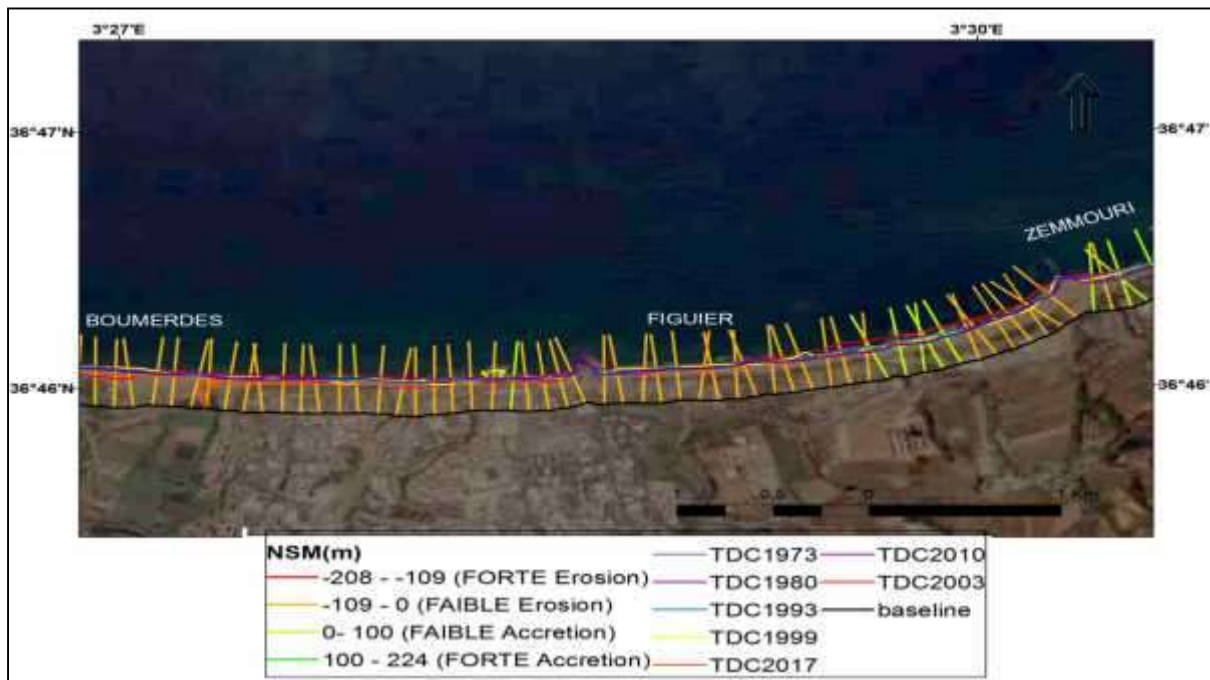


Fig. n°V-11: le mouvement net du trait de cote (NSM) entre 1973 et 2017 de la Zone 03.

➤ EPR

Cette zone a enregistré un recul dominant de la ligne de rivage de l'ordre de -0.42 m.an-1 sur l'ensemble des plages (BOUMERDES, FIGUIER et ZEMMOURI) ainsi nous relevons une valeur maximal niveau au detranssect 331 de l'ordre de -1.2 m.an-1 (**Figure n°12**).

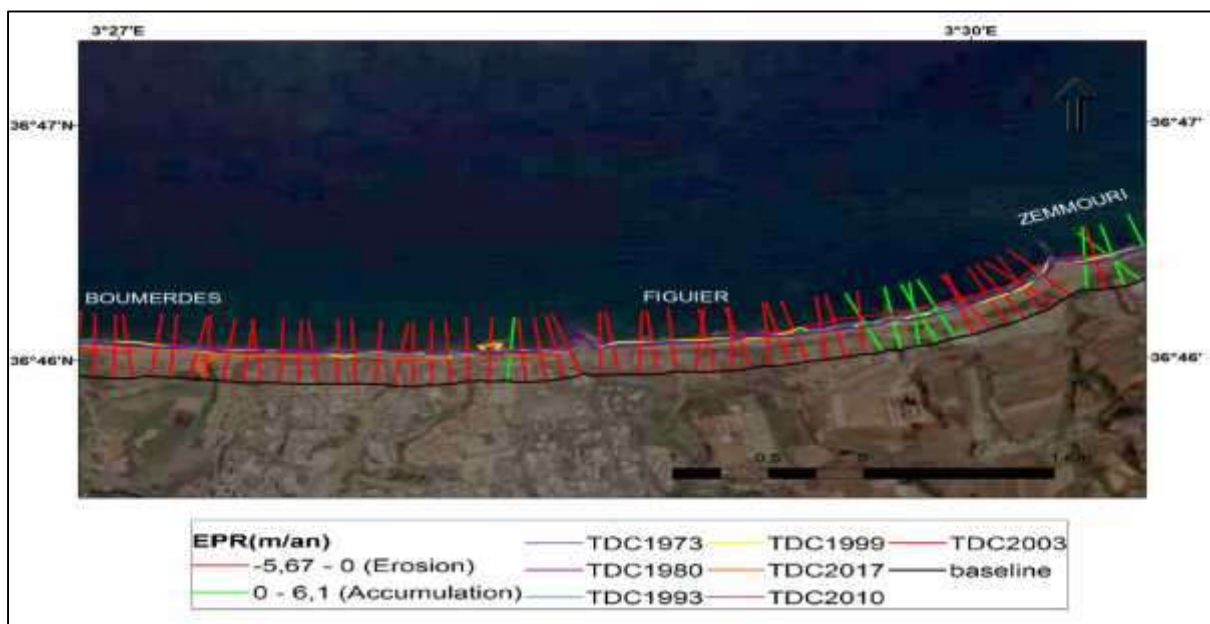


Fig. n°V-12: L'End Point Rate (EPR) entre 1973 et 2017 de la Zone 03.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

➤ LRR

Le LRR, présente des valeurs comprises entre de -5.6et +4.6 avec une moyenne de -2,78 Cependant, nous relevons un engraissement du rivage, sur un linéaire de 1200m d'une moyenne de +1.2.

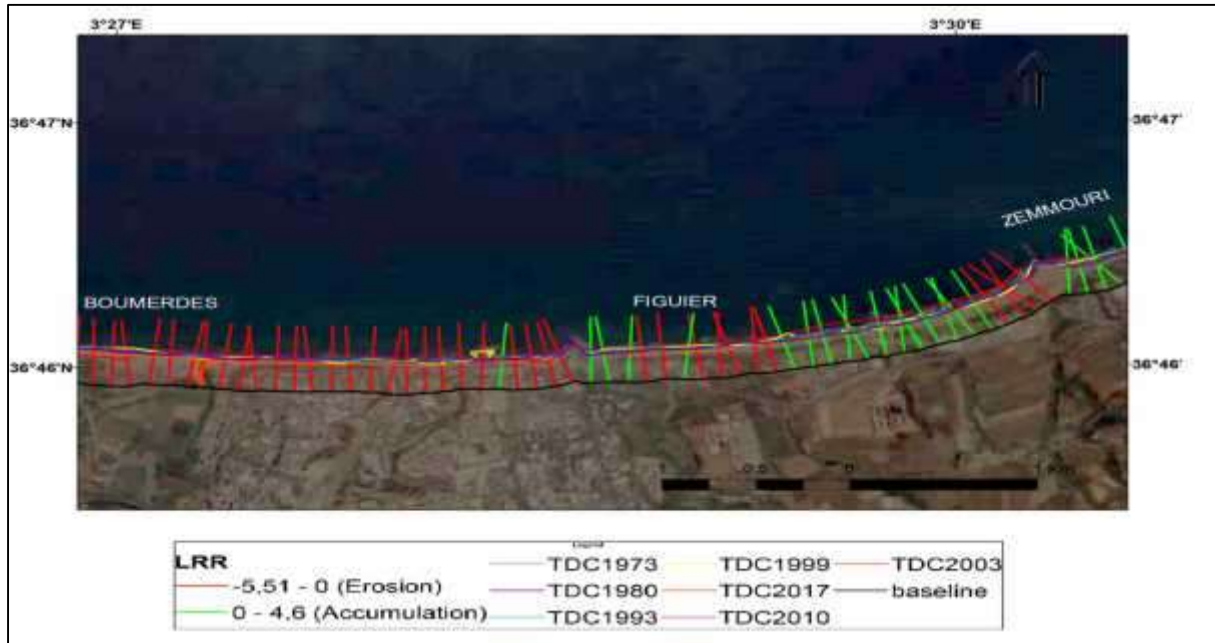


Fig. n°13 : Linear Rate Regression (LRR) entre 1973 et 02017 de la Zone 03.

➤ Zone 06 :

L'analyse de l'évolution du trait de côte de notre troisième zone d'étude (zone 06), sur 66 transects (Fig. n°V-14), nous a permis d'aboutir aux constatations suivantes :

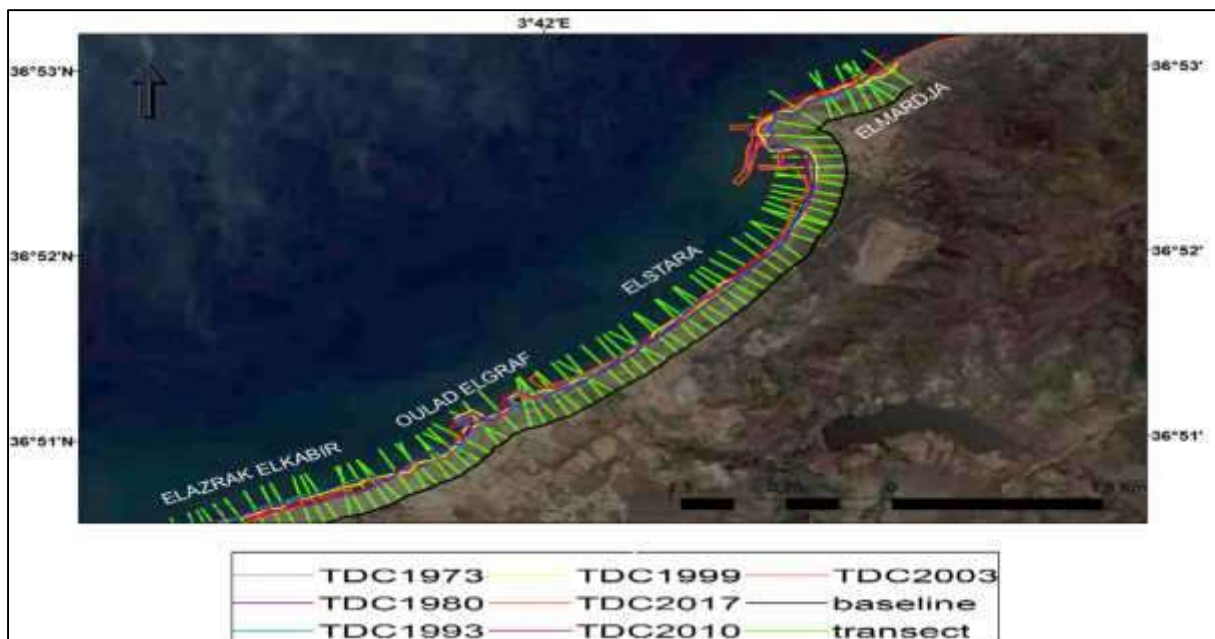


Fig. n°V-14: Evolution du trait de côte de la Baie de Zemmouri Zone 06 entre 1973 et 2017.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

➤ NSM

L'évolution du trait de côte tout au long de cette zone a connu un engraissement sur la plage de Carrière 02 de l'ordre de 225 m. Cependant, certains transects ont connu un recul de l'ordre de -120 m. Ce recul a été maximal de -200 au niveau du transect 64 (Fig. n°V-15). Cette avancée du trait de côte pourrait être justifiée par l'implantation du port et tous ces extensions qui misent cette zone en abris et favorise l'accumulation des sédiments.

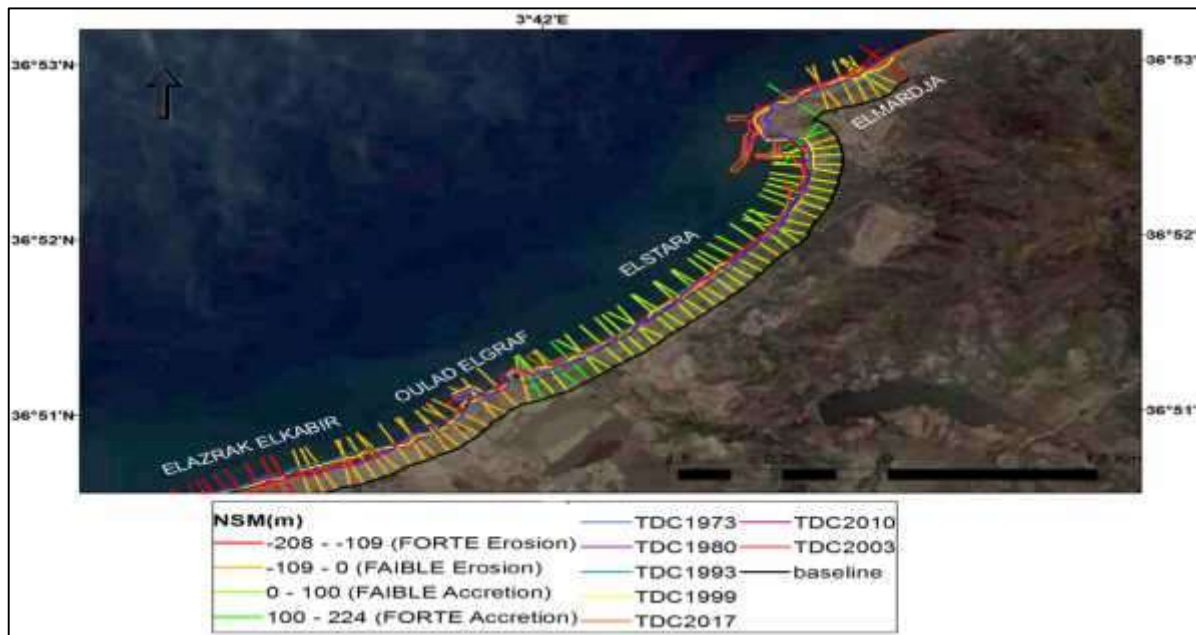


Fig. n°V-15: le mouvement net du trait de cote (NSM) entre 1973 et 2017 de la Zone 06.

➤ EPR

L'End Point rate pour la zone 06 a marqué une moyenne de +0.37 m.an-1, avec une valeur maximale de l'ordre 6.2m.an-1 au niveau de transect 46tjr sur la plage de Carrière 2et une valeur minimale -3.5 m.an-1 au niveau du transect 1à la plage d'Elmardja(Fig. n°V-16).

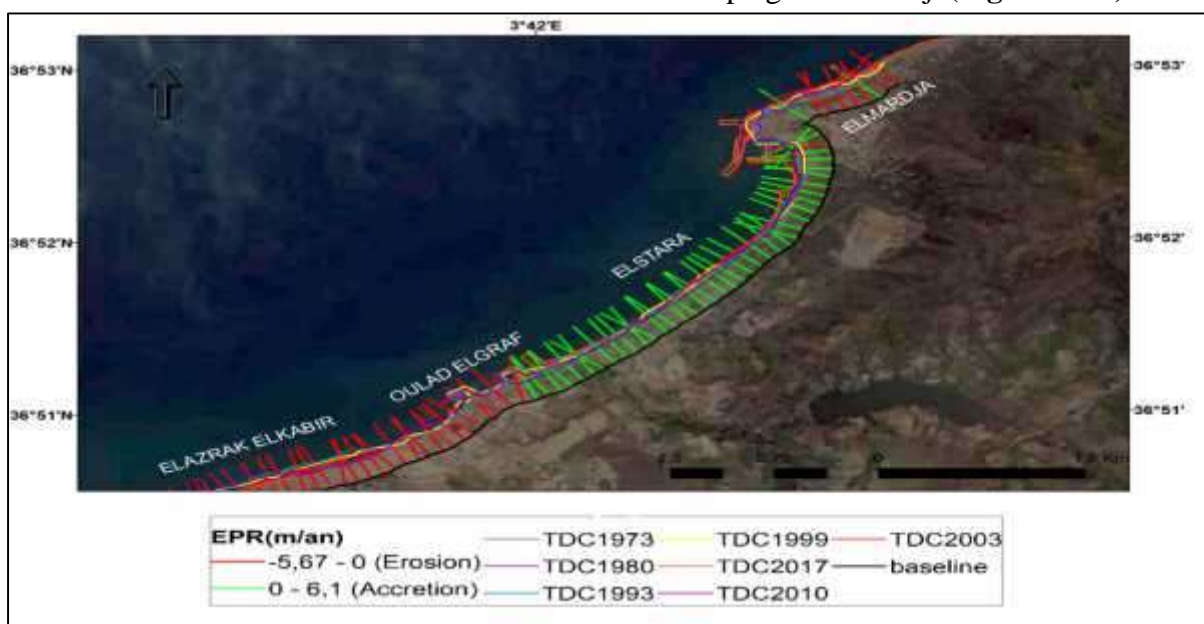


Fig. n°V-16: L'End Point Rate (EPR) entre 1973 et 2017 de la Zone 06.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

➤ LRR

Dans cette Zone un pic d'engraissement de +4.6 a été enregistré au niveau du transect 1, et la tendance à l'engraissement a continué le long de 4 km de la côte avec une moyenne de +0.5. Les valeurs négatives du LRR varient entre -5.51 et -0.16 avec une moyenne de -3.2 enregistrées au niveau des plages Elmardja, Oulad Elghraf et Elazrak Elkabir. (Fig. n°V-17).

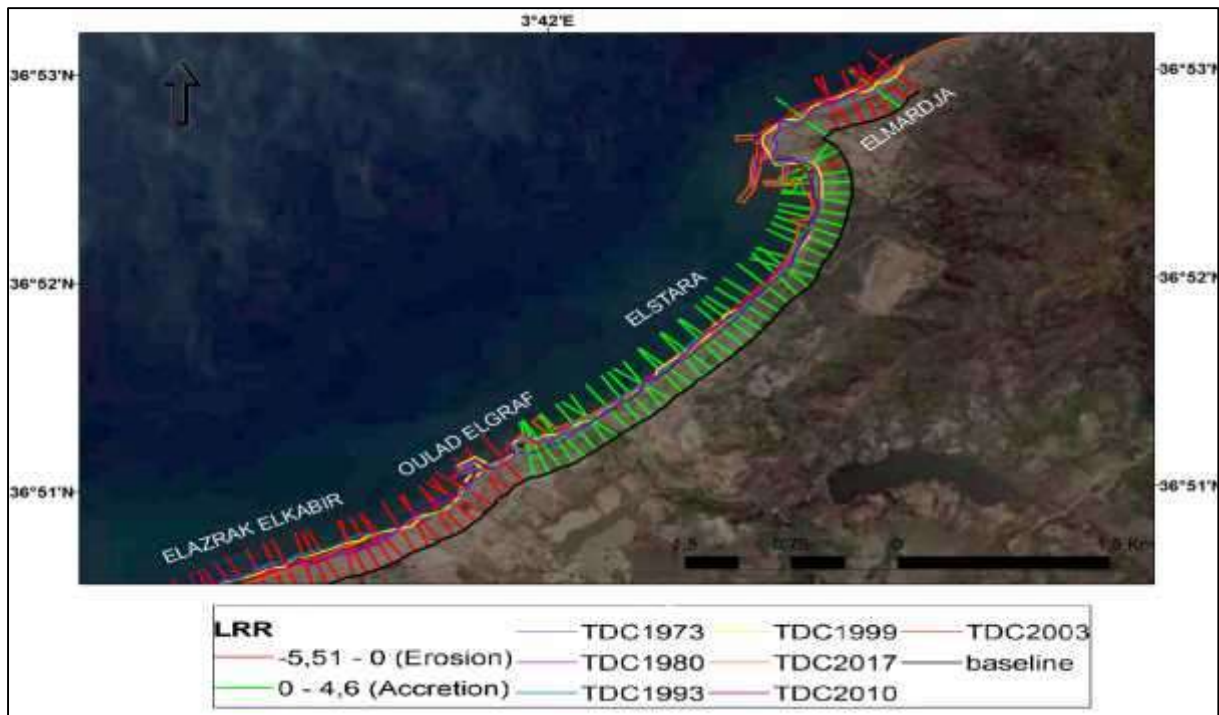


Fig. n°V-17: Linear Rate Regression (LRR) entre 1973 et 2017 de la Zone 06.

Les résultats de la présente étude matérialisent les changements maximum et minimum du trait de côte pour les périodes: **1972-1980, 1980-1993, 1993-1999, 1999-2003, 2003-2010, 2010- 2017 et 1972-2017.**

L'interprétation des résultats est basée sur le paramètre End Point Rate (EPR).

3.1.1. Période 1972 - 1980

Les résultats des changements du trait de côte obtenus durant cette période (8 ans) sur l'ensemble des transects de la baie de Zemmouri montrent une position de recul avancée du trait de côte tout au long de la baie (Fig. n°V-18). Durant cette période la côte oscille entre des phases d'érosion et d'accrétion.

Au niveau de la partie Est (plage de Zemmouri jusqu'à la plage de Cap Djinet) on distingue des formes d'accrétions avec des vitesses de **1m/an** à **3m/an**, cela est dû généralement à la dissipation des énergies de la houle au voisinage de la côte qui favorise l'accumulation du sable et la formation des plages.

Les forts taux de recul en terme d'EPR enregistrés durant cette période varient entre **0.6m/an** et **-1.2m/an** au niveau de Ain Taya (les flots bleus, surcoul, deca plage, tarfaia, El

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

kadous) et des valeurs entre -0.5 m/an et au niveau de Boudouaou el Bahri et Corso, ces formes d'érosion sont causées par les agents hydrodynamiques, concentration de l'énergie de la houle dans cette zone qui donne naissance à des courants de retours et de dérive littorale qui déclenche un transit littoral vers l'Ouest.

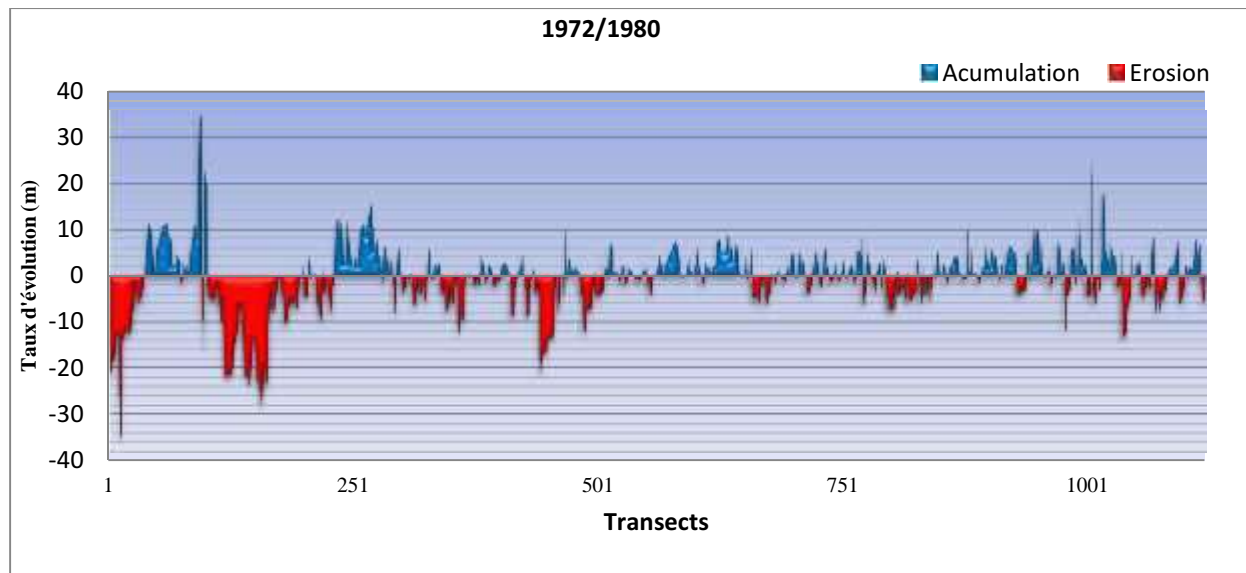


Fig. n°18 : Changements moyens de la position de la ligne de rivage dans la Baie de Zemmouri durant la période 1972-1980

3.1.2. Période 1980- 1993

La comparaison des traits de côte de 1980 et de 1993 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates au niveau de la côte Est et Ouest. Le taux moyen de recul est moins important que la période précédente. Les changements du trait de côte de la partie occidentale de la Baie de Zemmouri (Cap Matifou- Oued Réghaia) durant cette période oscille entre avancée–recul et avancée-recul-avancée (**Fig. n°V-19**). Ces changements indiquent une inversion de la situation par rapport à la période précédente.

Les plages qui étaient en situation d'engraissement ont connu des phases de régression et les plages qui étaient en situation d'érosion durant la période précédente (1972-1980) ont vu leur trait de côte s'engraïssé. Les plages qui ont enregistré une accrétion sont la plage de Zerzouria, Surcouf et El Kadous où le taux d'évolution d'EPR enregistré oscille entre 0.3 m/an et 4 m/an.

Le recul du trait de côte est enregistré au niveau des plages Ain Beida, Kef Ain-taya, Tamaris et Déca-plage avec des vitesses de recul d'EPR qui fluctuent entre -0.3 m/an et -4 m/an. Ces forts taux de recul sont dus principalement aux effets répétés et cumulés des forçages hydrodynamiques. Encore des valeurs plus importantes observées dans la partie Ouest en allant vers Cap Djinet le taux d'érosion est de $-0,76$ m/an à -4 m/ansi on tient compte de toutes les mesures. Ces forts taux de recul sont dus principalement aux effets répétés et cumulés des forçages hydrodynamiques au niveau de cette zone.

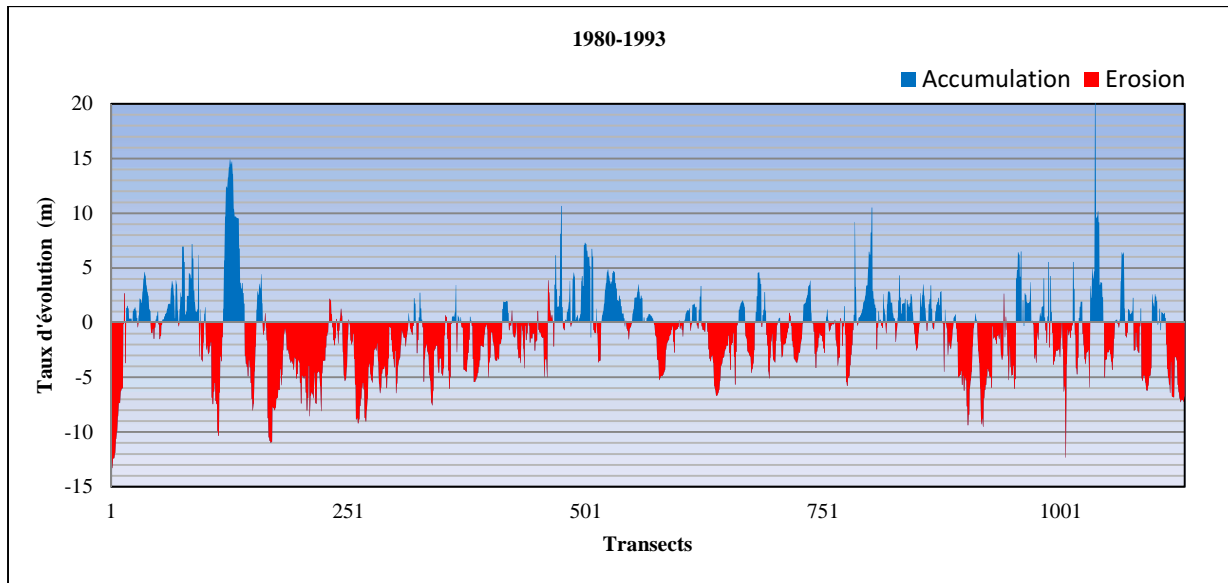


Fig. n°19 : Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 1980-1993.

3.1.3. Période 1993_1999

Durant cette courte période de temps (8 ans) la zone occidentale de la baie de Zemmouri (Cap Matifou – Oued Réghaia) est marquée par une phase d'érosion généralisée, à l'exception des plages de Zerzouria et Kef Ain-taya qui ont enregistré une progradation. La valeur moyenne globale d'EPR calculée a atteint le chiffre de -0.46 m/an. Donc tous les transects sont en spectacle récession

Cette période de 6 ans allant de 1993 à 1999 est caractérisée par accentuation du phénomène d'érosion comparativement à la période précédente de 1980 à 1993. La majorité des plages sont touchées par le recul, Ain Beida, Surcouf, Déca-plage, Boumerdes, Zmmouri, Djinet avec des taux maximum de recul d'EPR de -2.99 m/an, -1.74 m/an, -3.66 m/an et -1.98 m/an respectivement.

L'engraissement par les sédiments a continué au niveau des plages de Tamaris et El Kadous avec un taux de progradation moyen (EPR) de 1.13 m /an. L'accrétion maximale est enregistrée au niveau de Tamaris et El Kadous avec des valeurs maximales d'EPR de 2,72 et 2.73 m/an respectivement.

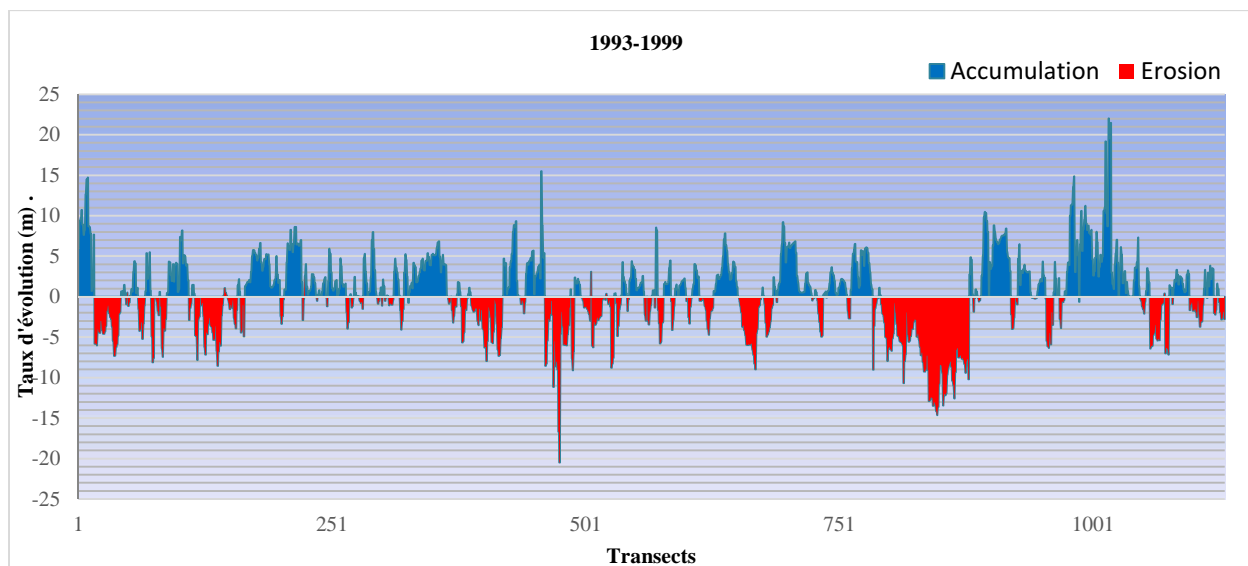


Fig. n°V-20: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 1993-1999.

3.1.4. Période 1999_2003

Cette période est marquée par une hausse de l'érosion notamment au niveau de la partie Est qui a enregistré durant cette période un recul généralisé de la côte avec des taux moyens d'EPR qui oscillent entre -1.3 m/an et -6 m/an. En baie de Zemmouri la tendance à l'érosion est presque généralisée sur toute la côte à l'exception des tronçons côtiers localisés dans la partie centrale correspondant à la plage de Figuier, Zemmouri Est où des taux moyens d'EPR de 0.70 m/an et 0.4 m/an ont été enregistrés respectivement.

Les causes de ce recul peuvent être dues à la fois à des facteurs naturels et anthropiques. Les causes naturelles d'érosion dans le secteur Est et Ouest de la baie sont dues principalement aux effets répétés et cumulés des tempêtes et dans la hausse relative du niveau moyen de la mer. Les causes anthropiques peuvent être dues aux extractions massives et arbitraires des quantités requises pour l'essor urbain que connaît la zone centre de l'Algérie.

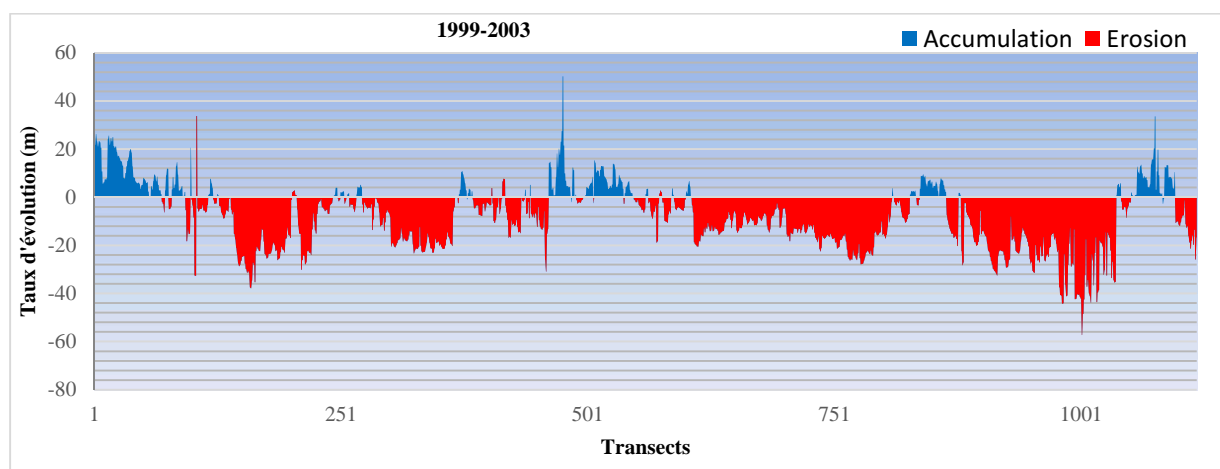


Fig. n°V-21: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 1993-1999

3.1.5. Période 2003-2010

Durant cette période l'évolution de la ligne du rivage de la baie de Zemmouri affiche une position recul-avancée tout au long de toute la cote. Au niveau de la partie Ouest de la plage Zerzouria, le rivage marque un important recul du trait de côte avec des taux d'EPR qui varient entre -0.8m/an et -2 m/an (**Fig. n°V-22**), cependant sa partie orientale transects a enregistré une avancée du trait de côte avec des taux d'EPR de 0.72 m/an à 2m/an.

Dans la partie occidentale plage Surcouf, Déca-plage et El Kadous le trait de côte montre une situation de recul-avancée-recul. Le recul le plus marqué de la côte est enregistré au niveau de la plage Surcouf et au niveau de la plage El Kadous qui a marqué un recul généralisé sur tout son étendu. Les valeurs d'EPR enregistrés varient entre -0.5 m/an et -2.0 m/an.

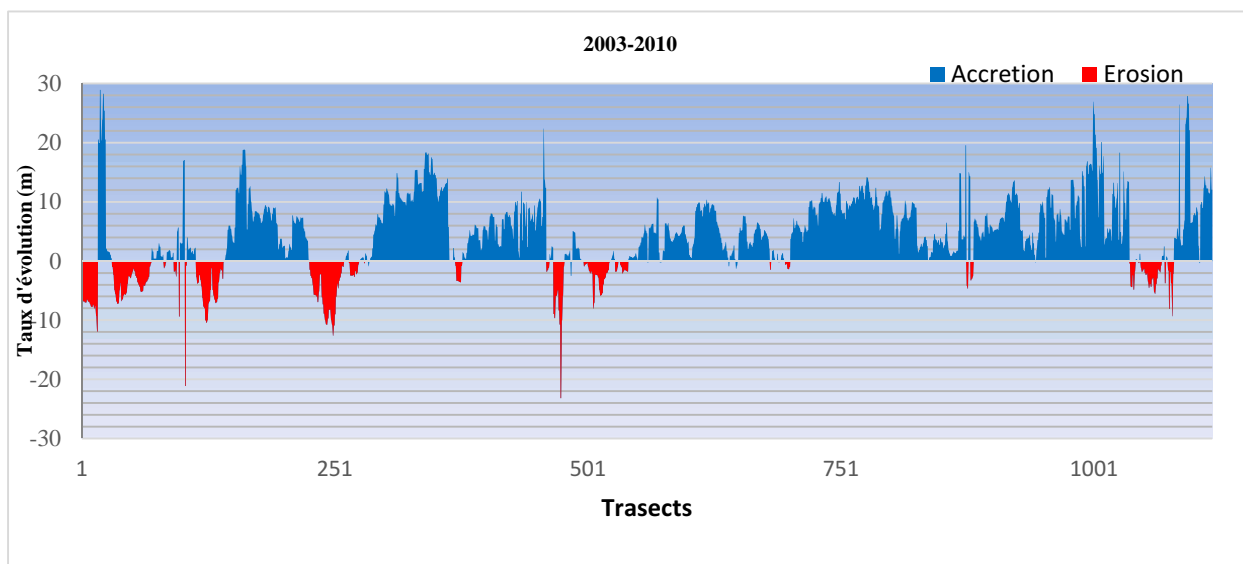


Fig. n°V-22: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 2003-2010

3.1.6. Période 2010-2017

Cette période allant de 2007 à 2017 est caractérisée par une forte augmentation du phénomène d'érosion par rapport aux périodes précédentes (1972-1980, 1980-1993, 1993-1999, 1999-2003, 2003-2007). Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un recul moyen d'EPR de -0.2 m/an sur la totalité de la ligne du rivage. Dans la partie est de cette portion côtière les résultats obtenus affichent des zones en accrétion avec des taux de progradation de 0.2 m/an (**Fig. n°V-23**). L'engraissement par les sédiments a continué au niveau de la plage de d'El Kadous avec un taux de progradation moyen (EPR) de 0.9 m/an. L'érosion moyenne maximale (érosion forte à très forte) est enregistrée sur les plages de Boudouaou el Bahri jusque la plage de Zemmouri Est, avec des valeurs maximales d'EPR de -1.64 m/an et -3.59 m/an respectivement.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

Les causes de ce recul peuvent être dues à des facteurs hydrodynamiques (houle et courants), comme le montre la modélisation de la houle sur la zone de Zemmouri, où on a constaté des fortes concentrations des énergies de la houle au voisinage de la cote qui engendrent des courants de dérive littorale de ces zones.

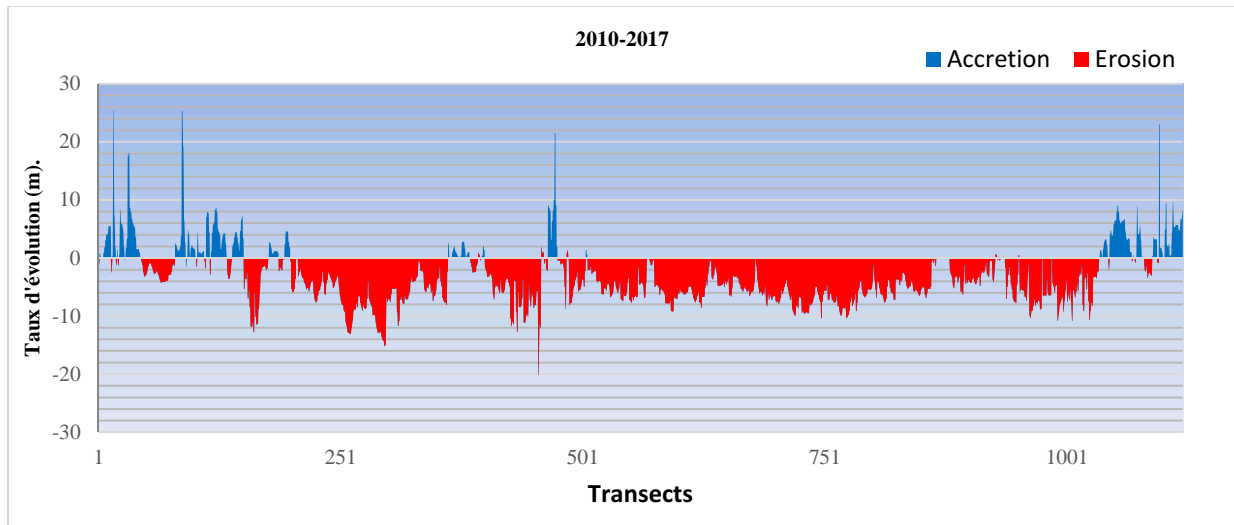


Fig. n°V-23: Changements moyens de la position de la ligne de rivage de la Baie de Zemmouri durant la période 2010-2017

L'étude de la dynamique du trait de côte de la Baie de Zemmouri avec l'extension DSAS 4.3 a montré soit une érosion soit un engraissement. D'après l'analyse des différentes cartes réalisées, l'évolution graphique du trait de côte montre une nette variation par secteur et par année.

La synthèse de ces cartes (**Tableau n°VI-1**) montre une forte vitesse d'érosion au niveau de notre baie notamment dans la partie occidentale (**-1.65 m/an**), avec quelques intrusions accumulatives de (**+0.4 m/an**) dans la partie orientale (L'Est du port de Cap Djinet) La valeur négative matérialise une érosion et la valeur positive un engraissement.

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

Tableau n°V-1 : synthèse de la dynamique côtière de la Baie de Zemmouri le long de 45 ans.

Baie de Zemmouri																
	Carrière 2	Dar el Mendil	Chouic ha	Mendoura	el kabkab	Zemmo uri est	Zemmo uri sahel	Zemmo uri Ouest	Sable d'or(saf saf nabij)	Sghiret	Figuier est	Rocher	Figuier Ouest	plage sahel Brouk	Boumerdès est	Boumerdès
Nombre de Transects	32	22	21	15	16	19	16	18	14	17	10	8	5	10	11	15
Longueur (m)	2400	2215	1963	1580	1618	1800	1600	1775	700	1220	440	675	510	1000	1124	1500
Taux moyen du changement du trait de côte (m/an)																
EPR	1.22	-2.72	-2.9	-2.25	-1.93	-1.93	-1.64	-0.7	-0.48	-1.07	0.15	-0.27	-0.3	-0.02	-0.53	-0.56
LRR	1.1	-2.58	-2.74	-2.23	-1.9	-2.24	-1.39	-0.44	-0.6	-0.64	0.08	0.28	-0.18	0.46	-0.02	-0.49
Taux Max du changement du trait de côte (m/an)																
EPR	7.29	-0.72	-0.92	-0.71	-0.96	-0.96	-0.1	-0.1	-0.01	0	2.38	1.01	-0.08	0.44	0	1.83
LRR	2.4	-0.07	-1.03	-1.18	-1.17	-1.53	-0.02	0.08	-0.22	0.01	1.55	0.89	0.16	0.79	0.52	1.79
Taux minimum de changement du trait de côte (m/an)																
EPR	0.06	-5.38	-5.67	-3.35	-3.12	-3.12	-3.96	-1.59	-0.89	-2.2	-0.93	-1.83	-0.49	-0.57	-1.04	-1.23
LRR	0.25	-5.51	-3.89	-3.22	-2.53	-3.65	-2.82	-1.05	-0.98	-1.24	-0.59	-0.91	-0.59	0.03	-0.4	-1.04
Nombre de transects en accrétion																
EPR	65	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6	10	0	10	2	3
LRR	65	0	0	0	0	0	0	3	0	1	6	13	3	21	8	3
Nombre de transects en érosion																
EPR	0	45	42	30	33	38	33	36	28	33	12	7	10	11	22	29
LRR	0	45	42	30	33	38	33	33	28	34	12	4	7	0	16	29
% de transects en accrétion																
EPR	100	0	0	0	0	0	0	0	0	5.71	33.33	58.82	0	47.62	8.33	9.38
LRR	100	0	0	0	0	0	0	8.33	0	2.86	33.33	76.47	30	100	33.33	9.38
% de transects en érosion																
EPR	0	100	100	100	100	100	100	100	100	94.29	66.66	41.17	100	52.38	91.66	90.62
LRR	0	100	100	100	100	100	100	91.67	100	97.14	66.66	23.52	70	0	66.66	90.62

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

Baie de Zemmouri

	corso centre	Guedouari	Boudouaou el bahri	Boudouaou el bahri ouest	sidi khider	reghaia plage	El kadous	Deca plage	surcouf	Kaf el Aar	Tamaris	TOTAL
Nombre de Transects	18	18	11	14	22	16	22	7	6	5	8	400
Longueur (m)	1796	1822	1000	1407	2186	1633	2220	750	732	378	674	36618
Taux moyen du changement du trait de côte (m/an)												
EPR	-0.7	-1.76	-1.95	-1.49	-1.41	-1.53	-1.39	-1.38	-1.51	-1.11	-1.49	-1.17
LRR	-0.56	-1.9	-1.84	-1.25	-1.27	-1.41	-1.23	-1.5	-2.07	-1.01	-1.65	-1.08
Taux Max du changement du trait de côte (m/an)												
EPR	-0.34	-0.61	-1.28	-0.85	-1.07	-0.53	-0.75	-1	0.46	-0.82	-1.24	0.01
LRR	0.03	-1.17	-1.02	-0.45	-0.74	-0.59	-0.47	-0.96	-0.08	-0.61	-1.29	-0.16
Taux minimum de changement du trait de côte (m/an)												
EPR	-1.25	-2.73	-2.8	-1.99	-1.82	-2.21	-2.2	-1.75	-2.85	-1.43	-2.11	-2.16
LRR	-1.43	-2.75	-2.43	-1.67	-1.76	-2.16	-2.12	-2.48	-3.45	-1.42	-2.21	-1.92
Nombre de transects en accrétion												
EPR	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	50
LRR	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
Nombre de transects en érosion												
EPR	37	36	21	29	44	33	45	15	16	11	16	350
LRR	35	36	21	29	44	33	45	15	18	11	16	351
% de transects en accrétion												
EPR	0	0	0	0	0	0	0	0	11.11	0	0	13.87
LRR	5.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.79
% de transects en érosion												
EPR	100	100	100	100	100	100	100	100	88.88	100	100	86.13
LRR	94.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	85.21

3.2. Bilan surfacique des plages de la côte de la baie de Zemmouri et budget sédimentaire total de la côte.

La quantification du bilan sédimentaire (pertes et gains en sédiments) le long du littoral de la baie de Zemmouri et des changements du trait de côte ont été exprimés en termes de surfaces. Les résultats montrent une variabilité le long de la côte (**Fig. n°V-24**). Les surfaces des plages perdues sont nettement supérieures à celles gagnées par engraissement. Le budget sédimentaire global établi sur les 45 ans est déficitaire et s'élève à -166,6 hectares de plages perdues. La majorité des plages de la baie de Zemmouri sont touchées par l'érosion (Zerzouria, Ain Beida, Surcouf, Déca-plage, El Kadous, zemmouri, ...) avec des bilans surfaciques négatifs. La cote de Cap Djinet, Figuiers a enregistré un bilan surfacique positif de 16 ha d'environ dû généralement à l'implantation du port et le rechargement artificiel de la plage (**Histogramme sur la carte**).

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

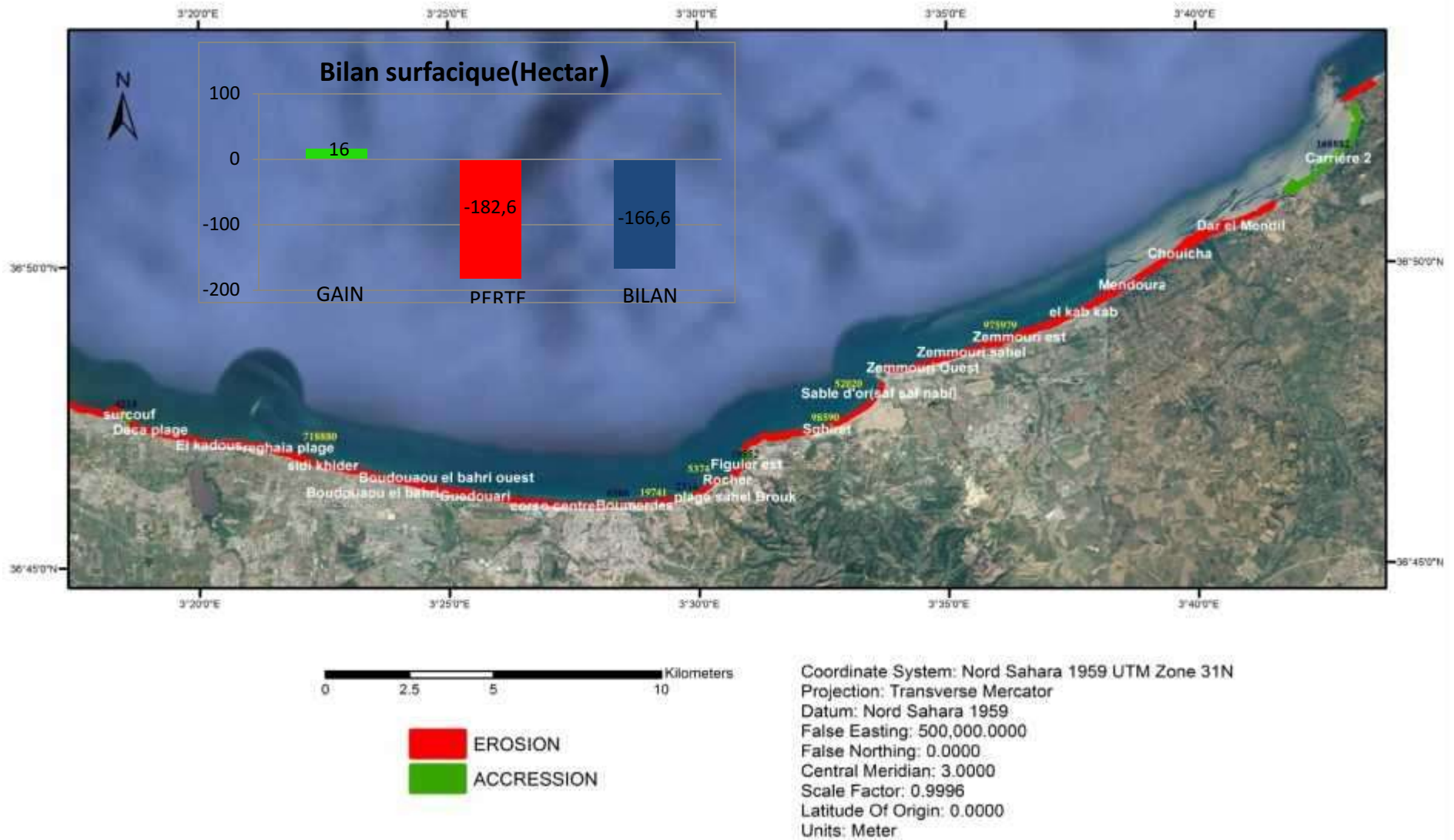


Fig. n°V-24: Bilan surfacique de la cote de la baie de Zemmouri durant la période 1972-2017

4. Scenario tendentiel pour l'année 2050 :

Face à la réduction de la fiabilité de l'évolution future des agents de la morphodynamique littorale – en l'occurrence, le climat de vent et de houle – avec une échéance croissante, seules les prévisions de l'évolution du trait de côte à court terme sont détaillées au niveau de chaque unité sédimentaire, alors que pour le moyen et long terme, une évaluation de l'impact de la variabilité des agents morphodynamiques sur l'évolution à 50 est menée ci-après.

A l'échéance de 20 ans, la variabilité du principal agent de la morphodynamique littoral – le vent, responsable de la génération des houles et des surcotes-décotes de marée – existe, mais il s'agit surtout de variabilité interannuelle. Comme on l'a vu, afin de prendre en compte la variabilité interannuelle du climat de houle, les résultats de taux de transport sédimentaire présentés dans cette étude peuvent varier de l'ordre de ± 50 % d'une année à l'autre. Dans le contexte d'évolution à court terme, il est également important de noter que cette variabilité n'a pas de véritable tendance. Par la suite, à l'échelle du court terme, la variabilité du climat de houle, à la fois responsable de l'érosion ou de l'accumulation du sable sur les plages et les dunes vendéennes, est a priori connue.

Ainsi, à court terme, la variabilité du climat de houle observée peut être considérée comme représentative de la variabilité climatique des 30 années à venir. Il s'en suit que l'évolution historique des dernières décennies peut être extrapolée aux trois décennies à venir. De manière générale, une prévision de la localisation du trait de côte en 2050 peut donc être obtenue en multipliant les taux d'évolution annuels observés entre 1972 et 2017 par 33 en rajoute le taux d'évolutions du au tempêtes extrêmes (**Fig. n°V-25**).

A noter que cette approche est uniquement possible parce que l'évolution observée – sur laquelle se base la prévision – est d'une part récente et d'autre part, que la période, sur laquelle l'évolution est observée, est suffisamment longue pour contenir une variabilité interannuelle du climat de houle. L'hypothèse décrite est donc que la variabilité du climat de houle des dernières décennies soit représentative de la variabilité du climat de houle des années à venir.

Pour chacune des unités sédimentaires de la côte, la mobilité du trait de côte en 2017 par rapport au trait de côte en 2050 sera indiquée. Des zooms rapprochés sur des tronçons de littoral particulièrement dynamiques seront également fournis afin d'illustrer la localisation prévue du trait de côte en 2050 (**Figure n°26**).

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

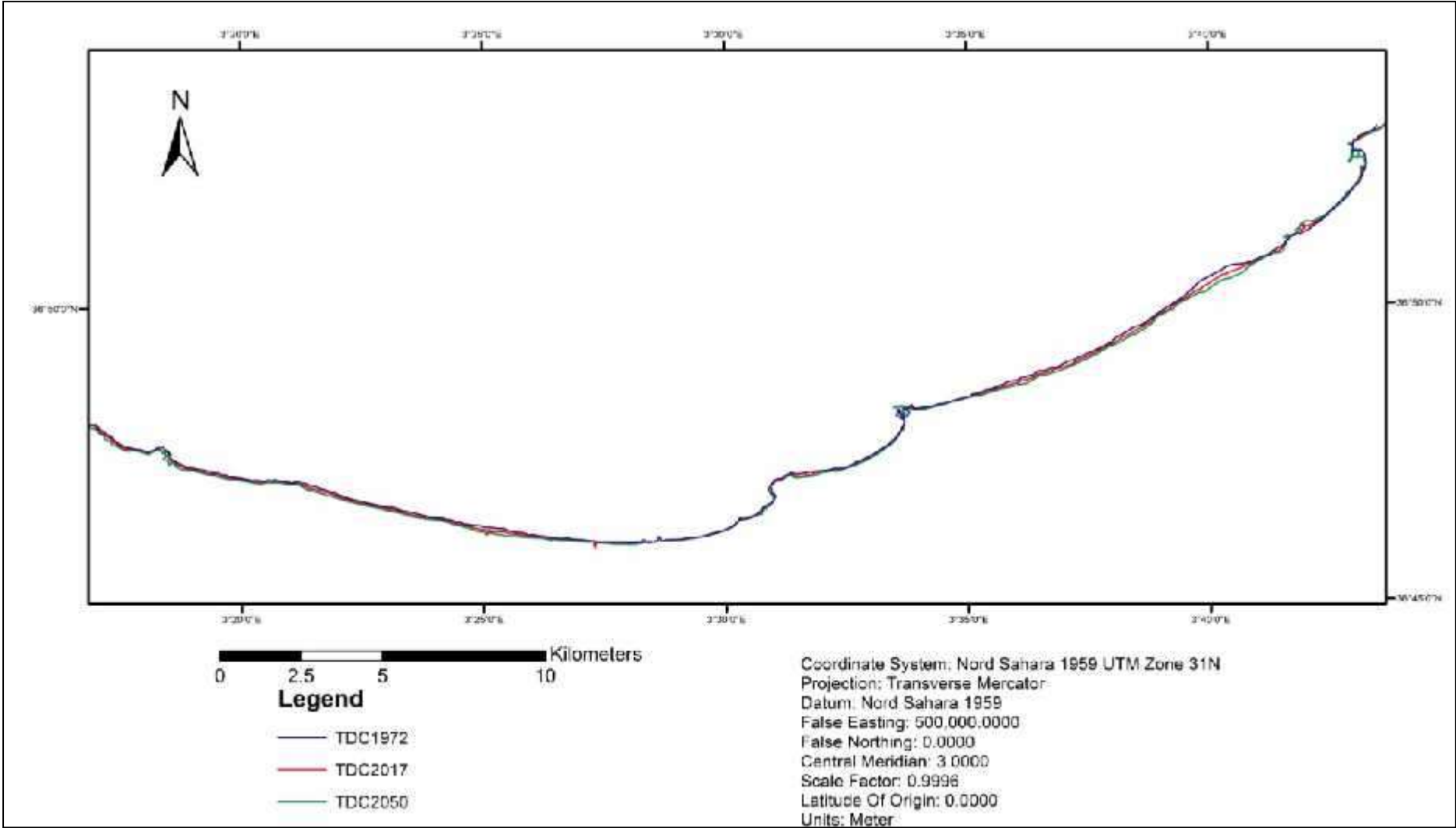


Fig. n°V-25: Evolution du trait de cote de la baie de Zemouri entre le passé, le présent et le future

Chapitre V : Evolution spatio-temporelle du trait de côte

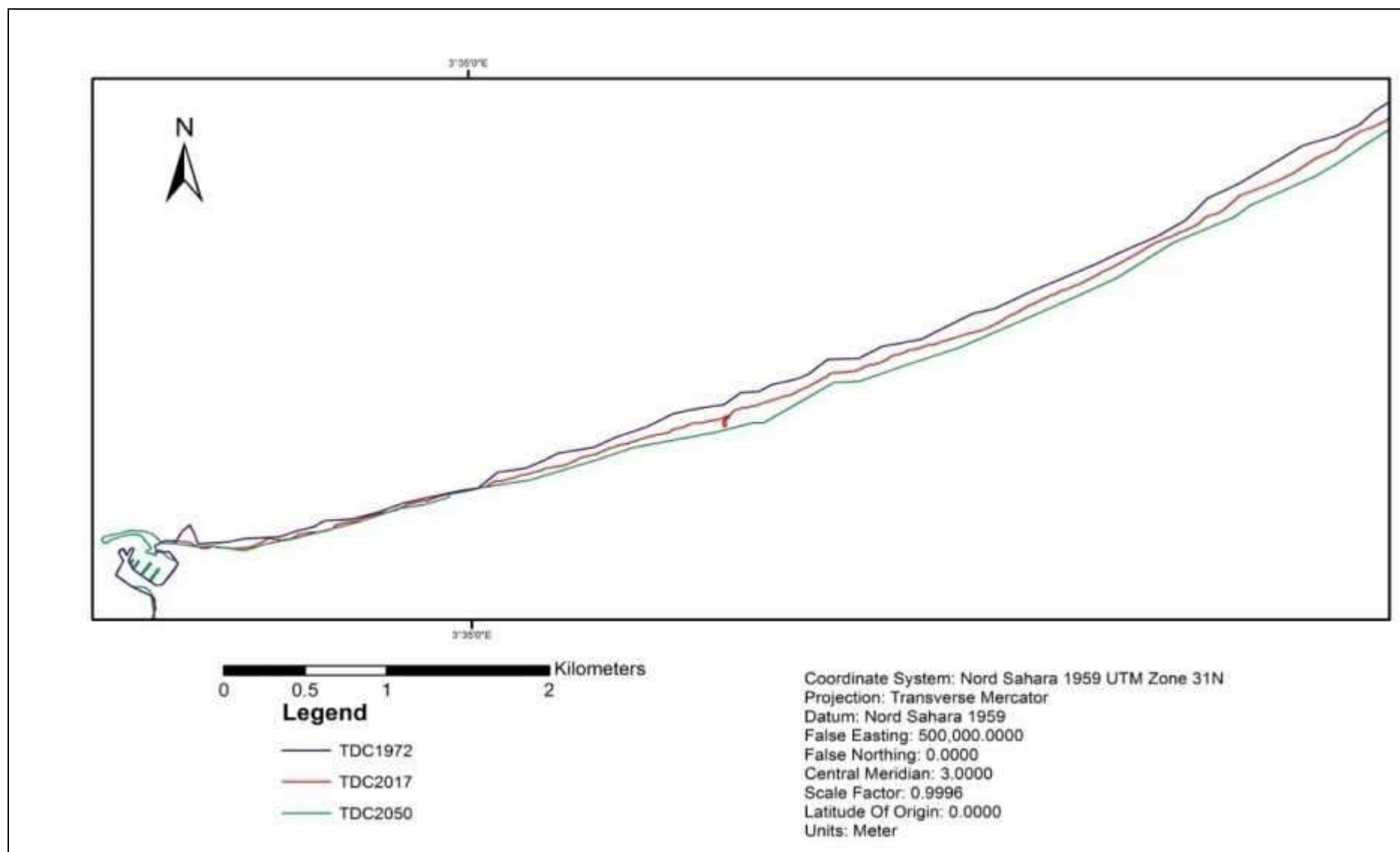


Fig. n°V-26: Evolution du trait de cote de la plage de Zemmouri Est entre le passé, le présent et le futur

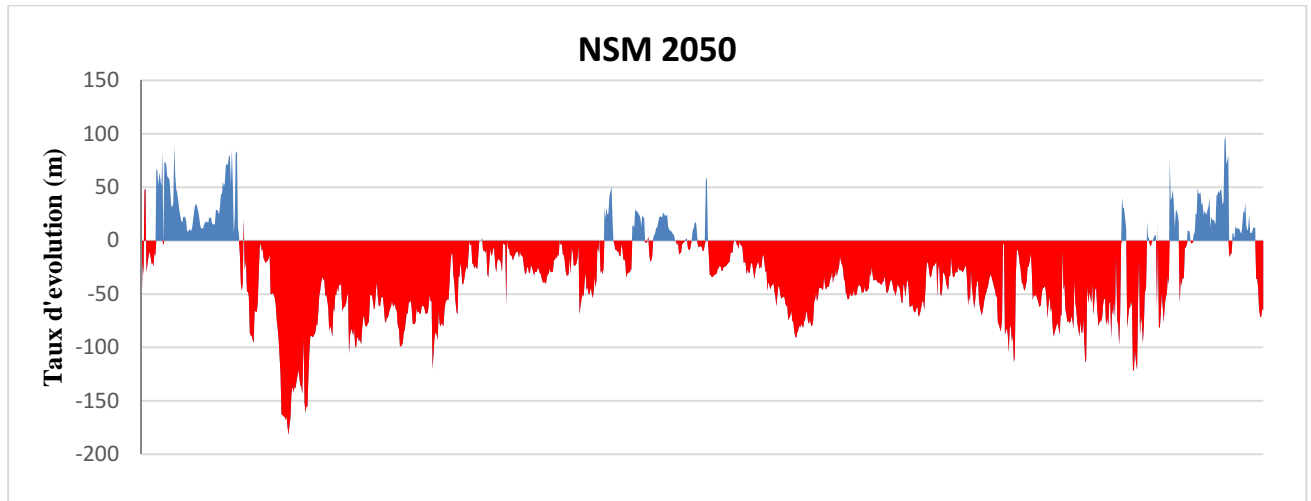


Fig. n°V-27 : Changements moyens de la position de la ligne de rivage en baie de Zemmouri en 2050

Dans l'horizon de 2050, une forte augmentation du phénomène d'érosion. Les résultats de l'analyse statistique des changements du trait de côte affichent un recul moyen d'EPR d'environ **-1.5 m/an** sur la totalité de la ligne du rivage. Dans la partie est de cette portion côtière les résultats obtenus affichent des zones en accrétion avec des taux de progradation de 0.2 m/an (**Fig. n°V-26**). L'engraissement par les sédiments a continué au niveau de la plage de d'El Kadous avec un taux de progradation moyen (NSM) de 45m. L'érosion moyenne maximale (érosion forte à très forte) est enregistrée sur les plages de Boudouaou el Bahri jusque la plage de Zemmouri Est, avec des valeurs maximales d'NSM de -160m et -150m respectivement.

Les causes de ce recul peuvent être dues à la fois à des facteurs naturels et anthropiques. Les causes naturelles d'érosion dans le secteur Est et Ouest de la baie sont dues principalement aux effets répétés et cumulés des tempêtes et dans la hausse relative du niveau moyen de la mer. Les causes anthropiques peuvent être dues aux extractions massives et arbitraires des quantités requises pour l'essor urbain dans le futur proche.

Chapitre VI :
*L'aléa de la submersion
marine dans la Baie de
Zemmouri*

Introduction

Les espaces littoraux sont des zones d'interface entre la mer et la terre. Ces espaces étant sujets aux assauts de la mer, ils appartiennent même aux "espaces de l'eau" selon **Tricot (2012)**. L'homme n'a pas toujours été attiré par ces espaces relativement vierges proches de la mer. En effet, le littoral a longtemps été considéré comme un espace laid et/ou dangereux où seules les populations dont le travail était lié à la mer y vivaient.

La connaissance des phénomènes océano-météorologiques extrêmes est fondamentale pour prévenir les risques de submersion marine en zone côtière ou concevoir des aménagements côtiers, portuaires ou des plate-formes offshore, avec des périodes de retour d'intérêt allant généralement de 10 à 100 ans.

La conception ou la vérification de protections côtières adaptées nécessite la connaissance précise de la probabilité d'occurrence des conditions océano-météorologiques extrêmes susceptibles de générer des submersions marines (le niveau marin ou les vagues par exemple).

En particulier, la notion de niveau de retour des aléas maritimes est fondamentale en ingénierie marine et côtière. Par exemple, pour les états de mer, caractérisés par la hauteur de vague dite significative, le niveau de retour 100 ans correspond à la hauteur de vague dépassée en moyenne une fois tous les 100 ans. En d'autres termes, c'est la hauteur de vague qui a une probabilité 10^{-2} d'être dépassée chaque année.

Les submersions marines sont la conséquence de fortes tempêtes et peuvent aussi être influencées par le marnage de la mer ou l'océan (**Hénaff et Philippe, 2014**), l'ampleur du phénomène étant accentuée si les deux éléments conjuguent de fortes intensités.

L'objectif de cette étape est de produire une carte des aléas de submersion en considérant la configuration actuelle de période de retour 10 ans et 100 ans et à l'horizon 2100 pour l'événement de période de retour 100 ans.

1. La submersion marine

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (**MATE, 1997**), généralement née de la conjonction de phénomènes extrêmes (dépression atmosphérique, vent, houle, pluie) et de forts coefficients de marée provoquant une surcote importante du plan d'eau.

D'après **Nielsen (2009)** et **Shallenger (2000)**, les tempêtes peuvent causer deux types de phénomènes sur les espaces côtiers du globe. Dans un premier temps, les tempêtes entraînent une élévation du niveau moyen de l'eau car elles combinent les effets d'une faible pression atmosphérique et ceux de forts vents. Ensuite, les effets d'une forte houle s'ajoutent au phénomène : les vagues cassant sur les côtes, plus particulièrement sur les plages plates,

vont s'étendre sur plusieurs mètres et générer des effets appelés "wave set up" et "swash" (Anselme *et al.*, 2011), ce qui a pour conséquence d'amplifier le phénomène et surtout d'augmenter la taille de la zone atteinte.

Le "wave set up" correspond à l'élévation du niveau moyen de la mer par les hauteurs atteintes par les vagues, tandis que le "swash" est défini comme l'eau s'étendant sur la plage à la suite de l'arrivée d'une vague.

Le "swash" est capable de déplacer les sédiments dans le sens parallèle à l'arrivée des vagues (Whittow, 2005) et fait partie des facteurs accentuant l'érosion. La force et la zone d'impact élargie de ces vagues augmentent la vulnérabilité à l'érosion de la zone concernée (Davidson-Arnott, 2001).

De plus, le "swash" et le "wave set up" participent pour au moins deux-tiers à la hauteur totale des niveaux d'eau. La submersion marine est ainsi définie comme un aléa naturel se produisant sur les régions côtières du monde entier, mais n'étant dangereuse que si ces régions côtières sont anthropisées.

Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si le battement des vagues et les projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux.

Les submersions marines peuvent durer quelques heures à quelques jours. Trois modes sont distingués :

- submersion par rupture d'un cordon dunaire ou d'un ouvrage de protection lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin (brèche, érosion intensive, surverse). L'attaque de la mer durant une tempête peut rompre un cordon naturel ou un ouvrage de protection. L'eau peut alors s'engouffrer dans la brèche et envahir très rapidement la zone basse située en arrière, un phénomène de débordement peut également entraîner la destruction complète d'un cordon ou d'un ouvrage. Sur les cordons, ce phénomène a été nommé « barrierovertopping ».
- submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la crête du cordon dunaire ou des ouvrages. Souvent, ce type de submersion a lieu dans des zones abritées comme les estuaires ou les ports. Dans ces zones situées à l'abri de l'agitation marine, les côtes d'arase des ouvrages de protection et les altitudes des cordons sont souvent plus basses que sur les littoraux exposés. Cependant, dans ces zones protégées les surcotes peuvent être plus importantes à cause des phénomènes de « concentration » de l'onde de tempête. En outre, les mouvements de seiches dans la plupart des ports peuvent engendrer des élévations du niveau d'eau d'amplitude métrique, en quelques minutes et ainsi contribuer de façon significative aux phénomènes de débordement.
- submersion par franchissement de vagues « paquets de mer » : Ce mode de submersion, nommé waveovertopping en anglais, concerne toutes les inondations

provoquées par le franchissement des vagues au-dessus de cordons naturels ou d'ouvrages de protection. Dans ce type de submersion, seule l'élévation du jet de rive est supérieure au sommet du cordon ou à la côte d'arase de l'ouvrage, et peut engendrer l'inondation de la zone basse située en arrière. L'énergie des vagues, le profil topographique de la plage et le cas échéant la forme de l'ouvrage, déterminent la hauteur du run-up, donc l'importance du franchissement.

En outre, la direction et la force du vent influent sur le jet de rive et les projections d'eau, en favorisant leur franchissement lorsque le vent souffle de la mer vers la terre, et inversement (CARIOLET, 2011).

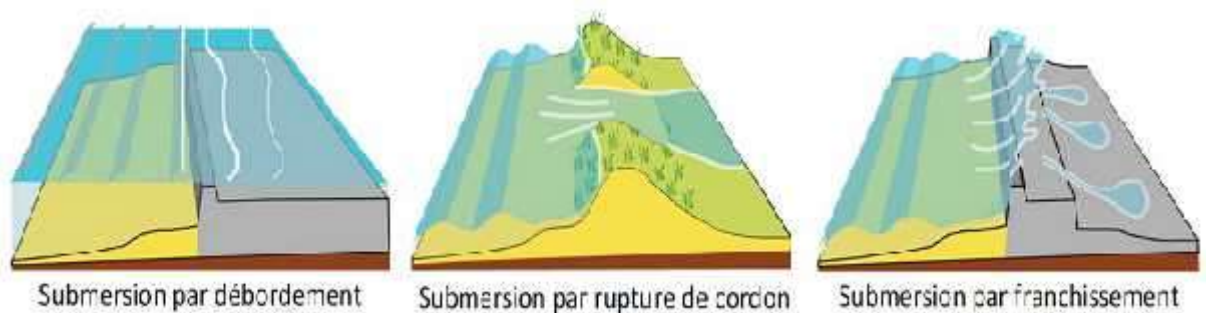


Fig. n°VI-1: Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec surcotes associées (CARIOLET, 2011 in BREILH, 2015).

Ces trois phénomènes peuvent se produire conjointement ou indépendamment. Cependant le phénomène de franchissement apporte des volumes d'eau négligeables en comparaison des volumes apportés par débordement ou rupture. De ce fait, lorsqu'une inondation est générée par débordement ou rupture, le franchissement n'est pas étudié.

Le calcul de l'aléa submersion marine est par conséquent mené pour chaque zone identifiée comme potentiellement submersible, en tenant compte des spécificités du site considéré (type d'ouvrage, dunes, type de franchissement, scénarios de rupture).

2. Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine

La délimitation précise des zones soumises à l'aléa « submersion marine » est complexe. Elle dépend de nombreux paramètres et ne peut être définie que localement à partir d'études et de relevés de terrain importants, sur terre et en mer.

Le zonage de l'aléa repose, au niveau du rivage, sur la prise en compte d'une zone d'impact direct de la houle et, en arrière, sur la définition d'une cote de référence. Pour un site donné, le calcul de la cote de référence prend en compte (1) le niveau de la pleine mer de vive eau (2) la surcote atmosphérique (3) le setup et (4) une valeur de l'élévation du niveau marin d'une dizaine de centimètres. Les niveaux d'aléa suivants (moyen et faible) sont définis en fonction des hauteurs de submersion uniquement, calculées en croisant la cote de référence d'une part, et l'altitude du sol d'autre part (par analogie avec ce qui est habituellement admis en matière de zonage de l'aléa inondation).

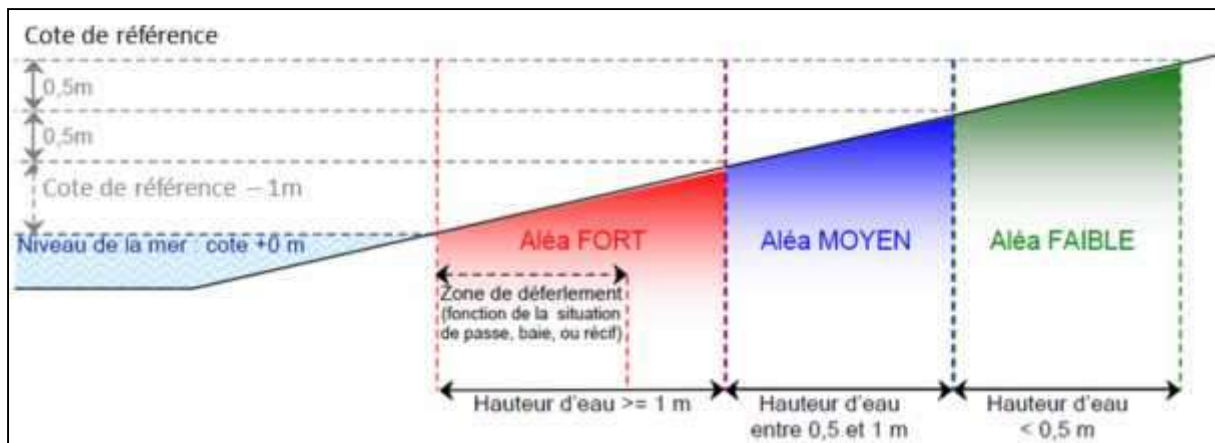


Fig. n°VI-2: Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine.

3. Le phénomène responsable de ces submersions marines d'origine météorologique

3.1. La surcote :

Les surcotes sont générées par l'action de deux phénomènes météo-marins distincts : l'action d'une basse pression atmosphérique et l'action d'un vent d'afflux, c'est-à-dire qui souffle de la mer vers la terre. On peut dès lors considérer deux types de surcote, à savoir la surcote d'origine barométrique et la surcote d'origine anémométrique. Ces deux phénomènes peuvent se combiner, amplifiant alors la surcote totale.

Lors du passage d'une tempête sur l'océan, la baisse de la pression atmosphérique entraîne une réduction du poids de la colonne d'air sur l'eau, et donc une élévation du plan d'eau. Selon la règle du « baromètre inversé », une baisse de la pression atmosphérique de 1 hPa entraîne une élévation de la surface de l'eau de 1 cm (**Harris, 1963**). Les vents qui accompagnent une tempête agissent par friction sur la surface de la mer et génèrent une accumulation d'eau au niveau des littoraux exposés face à ces vents – alors qualifiés de vents d'afflux. Plus l'action du vent s'exerce sur une grande distance (*fetch*), plus l'élévation du niveau d'eau à la côte est importante (**Harris, 1963**). La direction du vent joue un rôle primordial dans ce processus d'élévation du niveau d'eau à la côte.

Lorsqu'une dépression se déplace au-dessus d'un océan, elle est donc accompagnée par une onde de pression et une onde générée par l'action du vent. La somme de ces deux ondes forme ce que l'on appelle une onde de tempête (**Hontarrède et Galli, 2001**).

3.2. Estimation des surcotes :

Il existe deux moyens pour estimer une surcote. La méthode la plus sûre et la plus précise nécessite d'utiliser un marégraphe. Celui-ci mesure la marée observée qui intègre les effets météo-marins décrits précédemment. Afin d'obtenir la valeur de surcote, il suffit donc de soustraire la marée prédite (marée astronomique) à la valeur de marée observée. En l'absence de marégraphe, il est possible d'estimer la surcote en calculant séparément la part

Chapitre VI : L'aléa de la submersion marine dans la baie de Zemmouri

de la surcote barométrique et celle de la surcote anémométrique, à l'aide de formules empiriques.

La surcote barométrique est estimée à partir de la règle du « baromètre inversé ». Chaque hectopascal inférieur à 1013 hPa entraîne une élévation du plan d'eau de 1 cm. La surcote générée par l'effet des vents d'afflux (*wind setup* en anglais) peut être estimée à partir de l'expression de K.F. Bowden (1983) :

$$d_z = (\rho_a C_D W^2 / g \rho) d_x$$

Où :

ρ_a : densité de l'air (1,21 kg/m³)

W : vitesse du vent en m/s 10⁻³

C_D : fonction de la vitesse du vent

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

ρ : densité de l'eau de mer (eau à 12° = 1026 kg/m³)

h : profondeur de fermeture du profil en m, calculé par l'expression $h = 2,28 \text{ He } 68,5$ (He²/gTe²) où He et Te sont la hauteur et la période associée des vagues excédant seulement 12h par année.

dx = fetch du centre de la dépression à la côte en m

Pour obtenir la valeur de surcote totale, il faut ensuite ajouter la surcote barométrique à la surcote anémométrique.

Au phénomène de surcote s'ajoute l'effet des vagues déferlantes dans l'élévation du plan d'eau à la côte.

La part de l'élévation du niveau d'eau à la côte induite par l'action des vagues s'exprime à travers le phénomène de *runup*, dont l'amplitude verticale est définie comme étant la différence entre le niveau maximum atteint par le jet de rive et le niveau moyen de la mer observé sans agitation (Komar, 1998) (figure ...). Le *runup* est la somme de deux phénomènes distincts : l'élévation liée à une accumulation d'eau entre la zone de déferlement et la plage, appelée *wave setup*, et une série d'élévations maximales atteintes par le jet de rive nommée *swashrunup* (Komar, 1998).

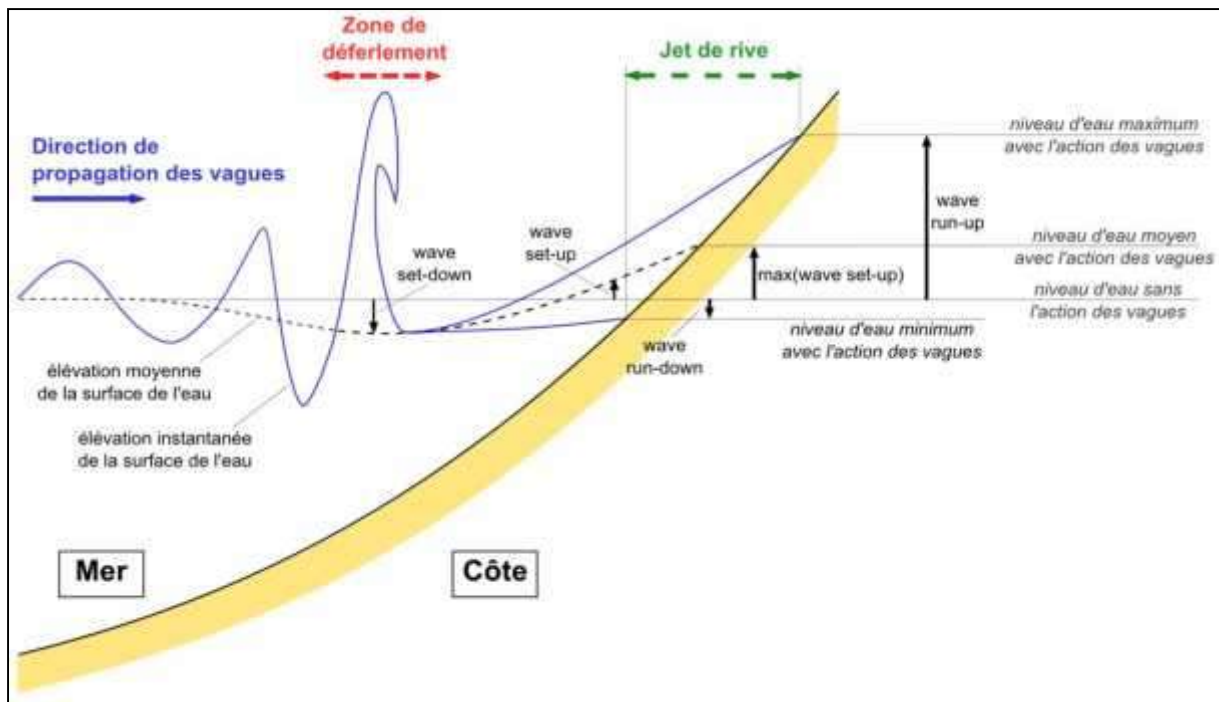


Fig. n°VI-3: Principe de formation du waveset-up.

3.3. Le Wave Setup :

Des observations *in situ* ont montré que durant les tempêtes, le niveau d'eau à la côte dans les zones exposées aux vagues pouvait être un mètre plus haut que dans les zones protégées. Dans les années 60, plusieurs auteurs ont proposé une explication théorique du *setup* (Dorrestein, 1961; Longuet-Higgins et Stewart, 1962, 1963, 1964). Selon ces auteurs, l'augmentation de l'énergie associée au déferlement des vagues dans la zone de surf sont compensés par une déformation du niveau d'eau moyen qui prend la forme d'une pente orientée vers la plage. Plus tard, des mesures *in situ* et en laboratoire ont permis de montrer que le *setup* () dépendait de la profondeur d'eau (h), de la hauteur de la houle et de la pente de la plage. En 1985, R.A. Holman et A.H. Sallenger ont mis au point une formule de calcul du *setup*, repris par P. D. Komar en 1998 :

$$\eta_{max} = 0.45 H_{m0} \kappa_0 = 0.18 g^{1/2} \tan \beta H_{m0}^{1/2} T$$

$$\kappa_0 = \tan \beta / (H_{m0} / L_0)^{1/2}$$

Où :

η_{max} : représente la valeur du *setup* maximum en m

H_{m0} : hauteur de la houle au large en m

$\tan \beta$: pente de la plage

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

T : période (de la houle) en s

κ_0 : nombre d'Iribarren

L_0 : longueur d'onde au large (1.56 T²)

3.4. Le Runup :

Représente la hauteur maximale atteinte par le jet de rive. De nombreux travaux réalisés en laboratoire et sur le terrain ont permis de mieux caractériser le phénomène de *runup*. Il apparaît que le *runup* est fonction de la pente de la plage ($\tan \beta$), de la hauteur et de la longueur d'onde de la houle au large (H_{m0} et L_0) (**Hunt, 1959**) et donc du nombre d'Iribarren I_r .

Les différentes formules s'appliquent en fonction du contexte morphodynamique exprimé par le nombre d'Iribarren. Pour un nombre d'Iribarren inférieur à 0,3 :

$$R_{2\%} = 0.043 (H_{m0} L_0)^{1/2}$$

Pour un nombre d'Iribarren compris entre 0,3 et 1,25 :

$$R_{2\%} = 1.1 - 0.35 \beta_f (H_{m0} L_0)^{1/2} + \frac{H_{m0} L_0^{0.563} \beta_f + 0.004}{2}^{1/2}$$

Où :

β_f = pente de la plage émergée sur laquelle s'effectue le jet de rive.

Enfin pour les plages où le nombre d'Iribarren est supérieur à 1,25 :

$$R_{2\%} = 0.73 \tan \beta (H_{m0} L_0)^{1/2}$$

Les niveaux d'eau extrêmes sont générés par la combinaison rare de conditions météorologiques particulières : basses pressions, vents d'afflux, agitation marine et marée de vive-eau. Les phénomènes de submersion du littoral interviennent généralement lorsque le niveau d'eau à la côte devient suffisamment haut pour franchir ou déborder un cordon littoral (**Benavente et al., 2006**). Sur le littoral, la quantification des niveaux d'eaux extrêmes est donc primordiale, car elle permet de définir, par exemple, la côte d'arase d'ouvrages côtiers ou encore de déterminer les niveaux altitudinaux de référence des zones potentiellement inondables par la mer (**Garry et al., 1997 ; Benavente et al., 2006 ; Peeters et al., 2009**). Après avoir expliqué la genèse des niveaux d'eau extrêmes, nous allons nous intéresser dans le chapitre suivant aux différents modes de submersions marines et aux stratégies employées face à ce risque.

3.5. Niveau marin maximal statique et instantané

Le niveau marin extrême atteint pendant les tempêtes va conditionner l'intensité de la submersion. En cohérence avec le modèle de Sallenger (2000).

On distingue :

- Le niveau marin statique atteint pendant l'intégralité de la tempête :

$$N_{\max} = \text{setup} +$$

où : setup = remontée locale du niveau marin ;
= surcote.

- Le niveau instantané maximal, atteint par le jet de rive sur la plage (run-up) :

$$N_{\text{maxinstantané}} = R_{2\%} +$$

où : $R_{2\%}$ représente le run-up extrême (2% les plus hauts). $R_{2\%}$, incluant le set-up des vagues et le jet de rive extrême, définira l'élévation maximale atteinte par les lames d'eau extrêmes pendant quelques secondes, et non un niveau statique d'inondation. Ce choix de valeur extrême permet notamment de définir les secteurs qui pourraient être franchis lors de la tempête.

représente la surcote pendant la tempête

3.6. Evaluation des différents niveaux d'inondation

Le niveau marin peut, schématiquement, se représenter comme la superposition de deux phénomènes principaux : la marée astronomique (déterministe), et la surcote météorologique (stochastique). Cette décomposition est valable pour le niveau marin *au repos*, c'est-à-dire en l'absence de vagues. Quand celles-ci sont présentes, des composantes statique et dynamique (wave set-up, wave run-up) s'ajoutent au niveau marin.

L'approche empirique utilisée pour déterminer les niveaux d'inondation dans les régions côtière et d'estuaire est basée sur la formule de **HOOZEMANS *et al.* (1993)**.

$$D_{ft} : MHW + S_t + W_f + P_f$$

Avec:

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

S_t : élévation relative du niveau marin ;

W_f : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

P_f : élévation du niveau marin sous l'effet d'une baisse de pression.

Les étapes méthodologiques proposées par **HOOZEMANS *et al.* (1993)** et appliquées par **SNOUSSI *et al.* (2008)**, ont été suivies, pour déterminer les niveaux d'inondation par la somme des facteurs impliqués dans l'élévation du niveau de la mer. Par conséquent, les contributions des phénomènes induits par le niveau d'eau extrême ont été simulées: haute ligne d'eau maximale au cours des 20 dernières années; montée du niveau de la mer due aux tempêtes : surcotes et haute vague; montée du niveau de la mer projeté pour le prochain siècle qui peut être optimiste (+0.3 m pour 2100, approximativement 3 mm/an) ou critique (+0.5 m pour 2100, approximativement 5 mm/an).

D'après **ROHLING *et al.*, 2008** la montée du niveau de la mer pour le prochain siècle peut être jusqu'à approximativement deux fois la projection maximale trouvée.

Chapitre VI : L'aléa de la submersion marine dans la baie de Zemmouri

La méthode utilisée ne tient pas compte de la subsidence et des mouvements tectoniques, alors que le littoral étudié appartient à une marge active. Malheureusement, nous ne disposons pas de données sur les taux de subsidence et sur la cinématique de la région. Les estimations restent donc limitées.

4. Topographie et utilisation des sols

Le phénomène d'urbanisation est différencié spatialement, Cette polarisation est l'un des facteurs principal de la littoralisation avec tous les impacts environnementaux et fonciers qu'elles génèrent.

Une densité de population inégalement répartie et qui s'accroît :

L'analyse de la densité (Habitants au Km²) estimée, en 2010, montre une polarisation du peuplement, avec un pic de 2 275,1hab/Km² pour l'agglomération de Boumerdes, contre 707.88hab/Km² pour le reste des communes côtières.

Le développement du bâti urbain dans la zone côtière est caractérisé par une occupation longitudinale préférentielle. L'occupation 'pieds dans l'eau', trop proche du rivage, s'est intensifiée et étendue à proximité des pôles urbains de Boumerdes à l'Est. Cette occupation consiste en grande partie en habitat individuel, peu dense, qui se traduit par des aménagements spontanés.



Fig. n°VI-4: Carte de la délimitation et potentialité du domaine littoral de la Wilaya de Boumerdes (PATW, 2016).

5. Méthodologie :

Le littoral de la baie de Zemmouri est constitué de typologies de côte très diversifiées. Chaque nature de linéaire est exposée différemment aux aléas naturels : l'érosion varie considérablement en fonction des secteurs et, de la même manière, ce sont les côtes basses qui sont les plus sensibles à la submersion marine.

La délimitation précise des zones soumises à l'aléa « submersion marine » est complexe. Elle dépend de nombreux paramètres et ne peut être définie que localement à partir d'études et de relevés de terrain importants, sur terre et en mer.

L'étude de l'emprise maximale des zones basses constitue cependant un bon indicateur des secteurs susceptibles d'être inondés lors de submersions marines.

La mise en perspective historique des événements climatiques permet également d'apporter un éclairage sur la vulnérabilité du territoire. Les aléas, s'ils sont particulièrement fluctuants et aléatoires, ont finalement peu varié au cours des siècles et c'est bien l'accroissement de la vulnérabilité par la multiplication des enjeux qui donne lieu aux risques littoraux.

La méthodologie mise en œuvre pour l'élaboration des cartes des zones basses permet de caractériser simplement et efficacement l'aléa submersion. La méthodologie peut toutefois être majorant, puisque l'approche suivie est fondée sur un mode statique qui consiste à considérer que le niveau marin centennal calculé côté mer se prolonge à l'identique dans les terres.

Le phénomène de submersion est en réalité plus complexe : il dépend du cycle de la marée lors d'une tempête (le niveau marin ne reste pas longtemps à sa valeur maximale) et également de la dynamique de défaillance des ouvrages (ruine totale ou brèche) qui peut dans certaines conditions ralentir le flux d'eau entrant. Ainsi, en cas de défaillance des structures de protection ou de surverse de ces dernières, la période de remplissage des zones basses situées à l'arrière de ces structures est limitée dans le temps. Lorsque ces zones représentent un volume important à « remplir », ce remplissage est susceptible de prendre plusieurs heures, et par conséquent le niveau d'eau maximal atteint dans ces zones, peut ne jamais égaler le niveau maximum observé côté mer pendant l'événement.

Afin de calculer les écoulements liés aux entrées d'eau marine dans les terres, une modélisation numérique en deux dimensions est réalisée, ce qui permet de calculer, sur l'ensemble du territoire étudié, la hauteur et la vitesse d'écoulement de l'eau durant la submersion.

Cette modélisation est basée sur un relevé de terrain de précision qui permet de connaître l'altimétrie du terrain en chaque point du territoire d'étude avec une précision de l'ordre de 10 à 20 cm (**Fig. n°VI-5**).

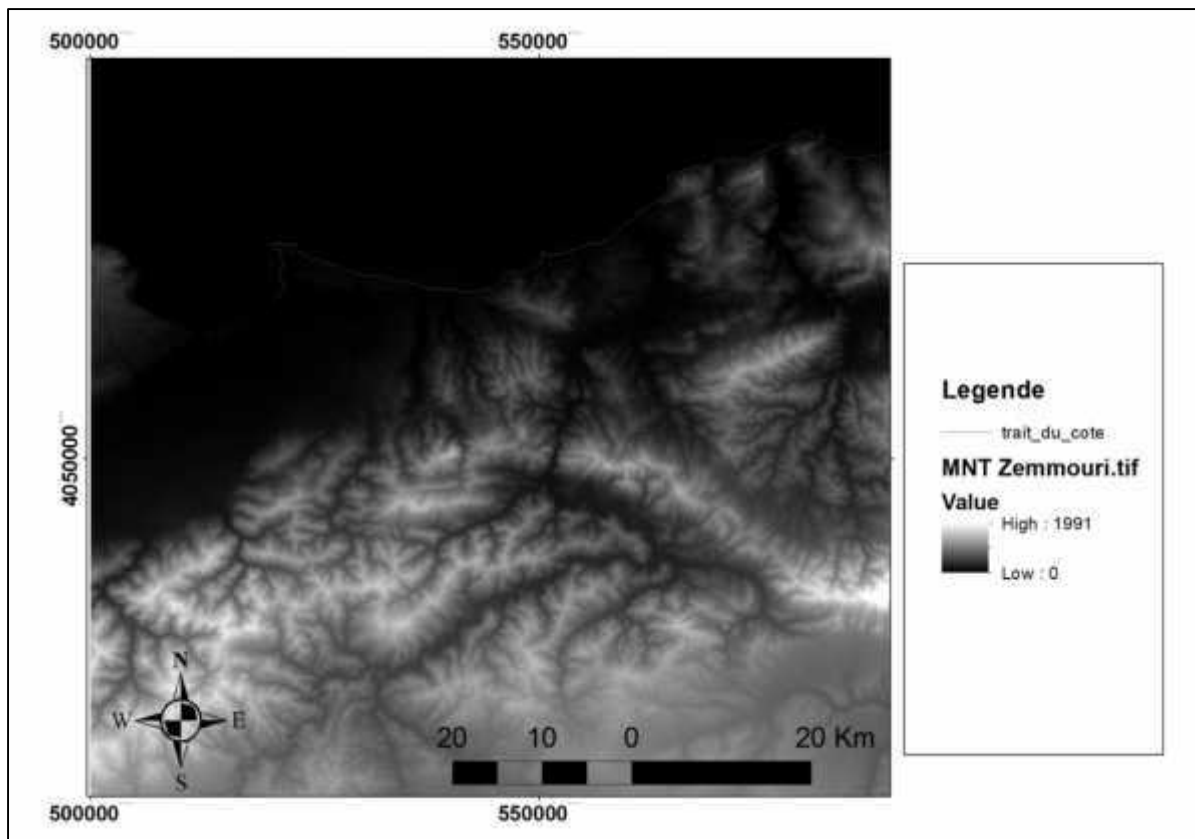


Fig. n°VI-5: Modèle numérique du terrain de la Baie de Zemmouri extrait du site de l'USGS.

Le résultat des calculs hydrauliques ainsi réalisés permet, en croisant la vitesse et la hauteur d'eau obtenues, de définir le niveau de risque dans les zones submersibles.

Une fois les cartes de risques définies, une analyse fine de la submersion sur l'ensemble du territoire afin d'en caractériser les enjeux, c'est à dire les personnes, les biens, les équipements, les activités ou les différentes composantes de l'environnement susceptibles, du fait de leur exposition au risque, de subir des dommages.

La superposition des enjeux recensés dans les zones exposées et de l'intensité du risque (hauteur d'eau, vitesse) permet de caractériser la vulnérabilité du territoire au risque d'inondation.

C'est sur la base de cette analyse que sont définies des orientations visant à réduire cette vulnérabilité, tant du point de vue de l'urbanisation future que des modalités de construction et des usages du territoire.

6. Résultats :

Les cartes de submersion sont obtenues après la modélisation de ce phénomène sous ArcGIS 10.4 pour plusieurs scénarios de l'élévation de niveau marin à savoir 1m, 2m, 3m, 5m et 7m.

Chapitre VI : L'aléa de la submersion marine dans la baie de Zemmouri

Les cartes de submersion montrent qu'une large partie de la zone urbanisée située en arrière des dunes se trouvait sous cette cote d'inondation, soulignant ainsi le risque non négligeable de submersion en cas de disparition même partielle du cordon dunaire.

- **Scénario d'une élévation de 1m :**

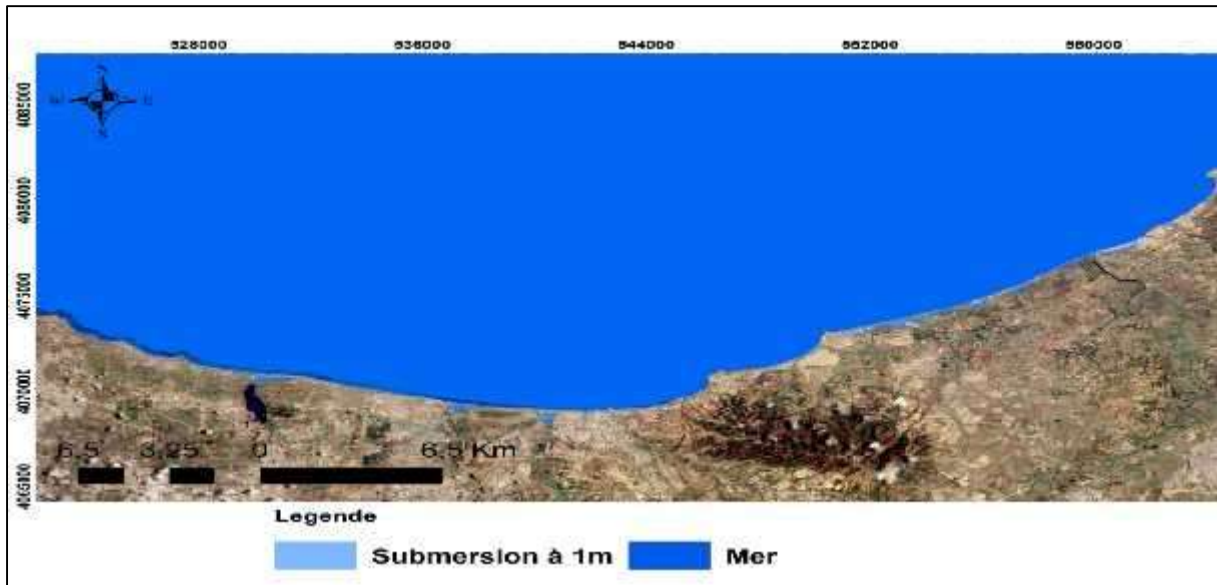


Fig. n°VI-6: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 1m de niveau de la mer

On remarque sur la figure que l'élévation du niveau marin de l'ordre de 1m affecte surtout la cote basses et les plages à faible pentes tel que Boumerdes, Reghaia, Boudouaou El Bahri, plage de Zemmouri vers en terme de surface occupée par les eaux marine ni au moins on relève dans la partie occidentale (Reghaia et Boudouaou), les eaux marine pénètrent vers l'arrière pays avec des distance plus au moins importante d'environ 50m (par rapport à la ligne du côte), cela dû à la présence des Oueds débouchant à la mer dans ces zones, absence d'ouvrage et la pente faible des plages.

- **Scénario d'une élévation de 2m :**

Pour une élévation de 2m, on remarque que la surface occupée par les eaux de la mer est plus importante, par rapport au niveau marin de 1m. L'intrusion des eaux marine vers la terre est accentuée par les réseaux hydrographiques notamment Oued Réghaia, Oued Boudouaou, Oued Boumerdès et l'Oued Isser à l'Est, où les eaux marines atteignent des surfaces importantes dans la terre.

Dans la partie occidentale vers la baie d'Alger, les eaux marines occupent une superficie d'environ 10km² à quelques kilomètres du trait de cote qui est dû à la morphologie continentale à faible altitude (voire le MNT).

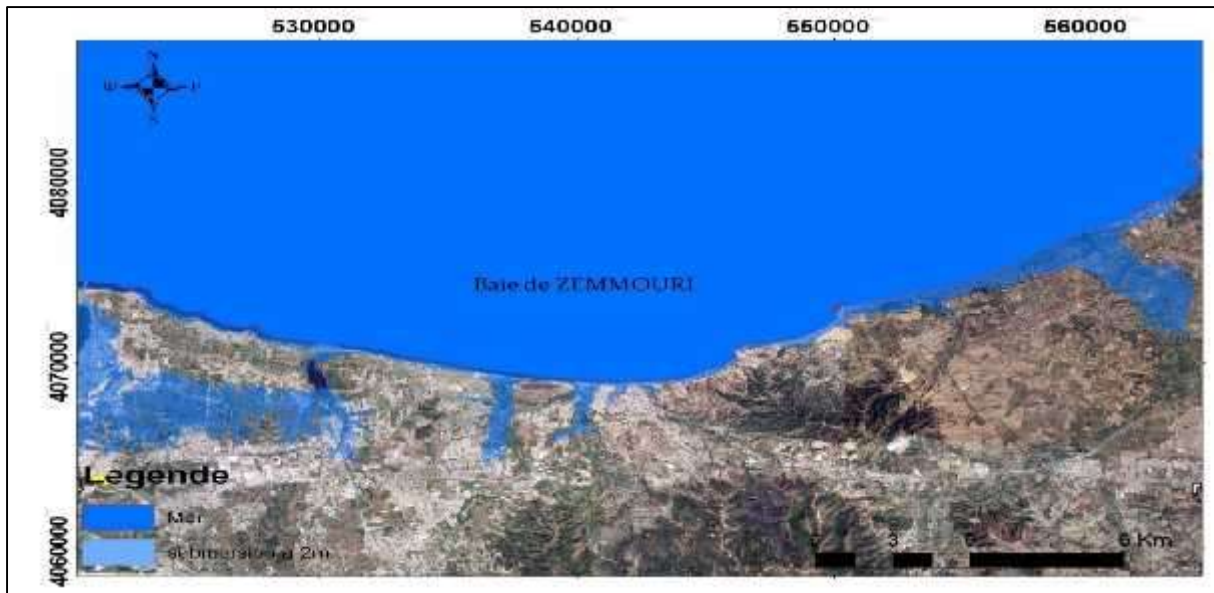


Fig. n°VI-7: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 2m de niveau de la mer

- **Scénario d'une élévation de 3m :**

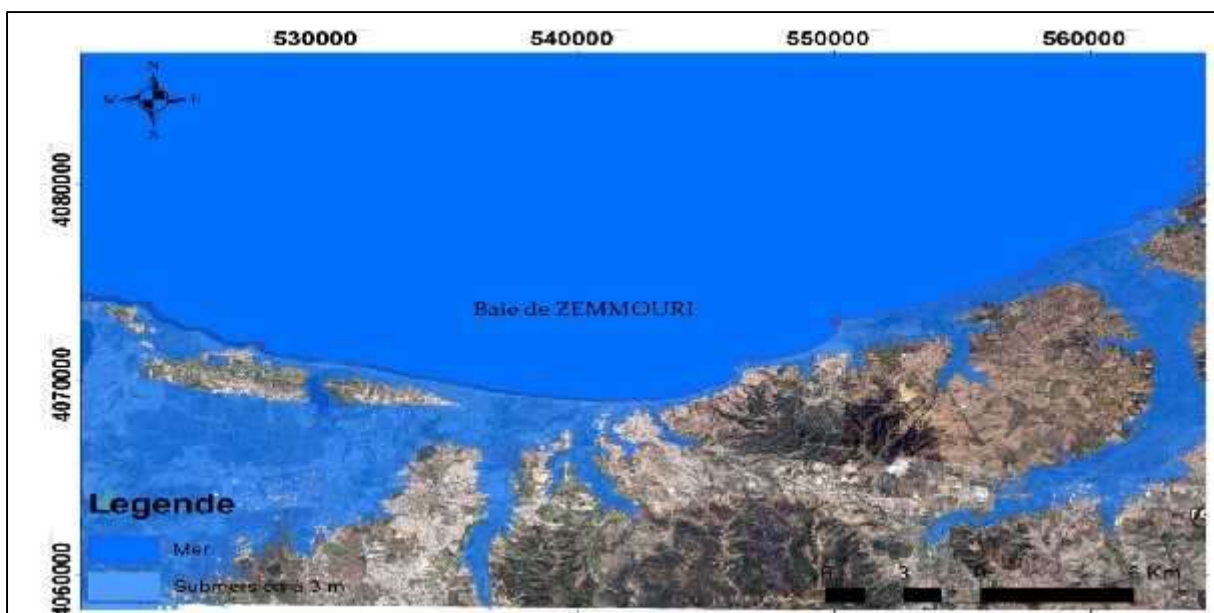


Fig. n°VI-8: Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 3m de niveau de la mer

Pour un cas extrême d'une élévation de 3m de niveau marin, On constate une intrusion spectaculaire de l'eau de mer vers l'arrière pays à des distances très loin de la côte (dizaine de kilomètres) dans des directions très variées notamment dans la partie occidentale où la majeure totalité de la zone est immergée (hauteurs de terrains varient entre quelques centimètres à plus de 1m par rapport au niveau 0).

- Scénario d'une élévation de 5m :

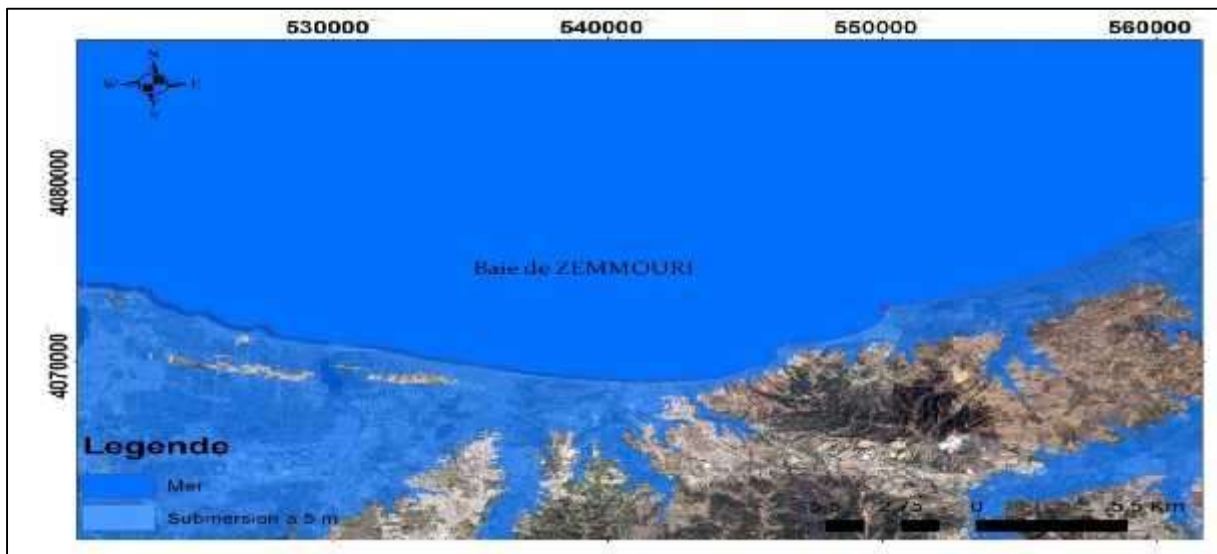


Fig. n°09 : Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 5m de niveau de la mer

La figure montre un envahissement presque 50 % de la baie par les eaux marines sur la terre au niveau des deux cotés de la baie ou la topographie et plus au moins peu élevée (par rapport au centre). La superficie des terres immergées est d'environ $\frac{2}{3}$ de la superficie des terres totale.

- Scénario d'une élévation de 7m :

La carte de submersion pour un niveau marin montre qu'une large partie de la zone urbanisée située en arrière des dunes se trouvait sous cette cote d'inondation, soulignant ainsi le risque non négligeable de submersion en cas de disparition même partielle du cordon dunaire. Toute la partie occidentale et orientale sont envahies par les eaux marines, elles dépassent les 20 Km vers l'arrière pays.

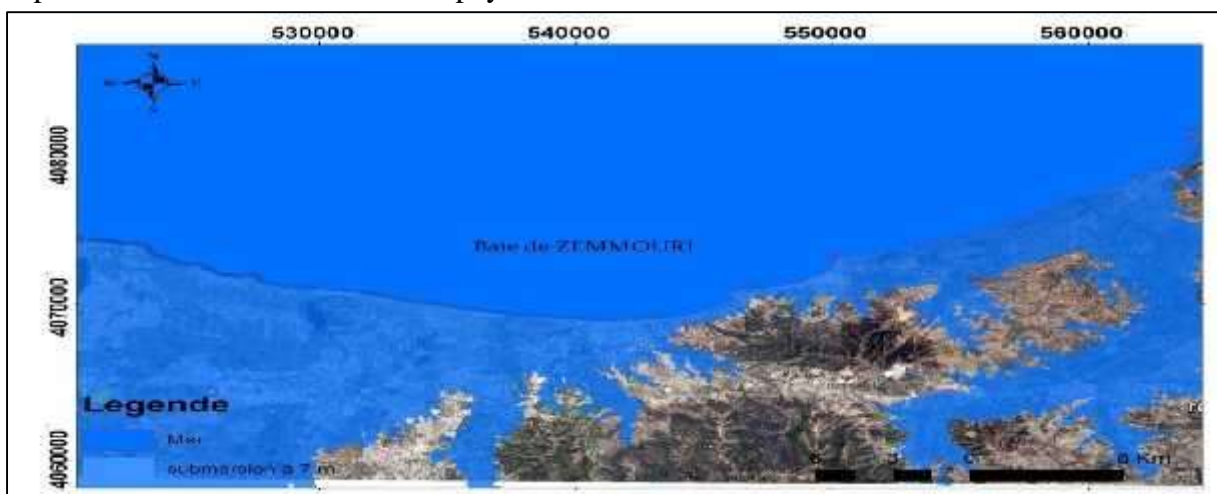


Fig. n°10 : Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 7m de niveau de la mer.



*Conclusion
Générale*

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était de contribuer à la compréhension des processus hydro-sédimentaires qui s'effectuent au niveau de la grande Baie de Zemmouri. C'est une côte qui est située dans un lieu dont les caractéristiques hydrodynamiques et morphologiques sont complexes du fait de sa configuration et de son exposition aux agitations marines et météorologiques qui affectent le site entièrement.

Afin de bien comprendre cette dynamique en relation avec la morphologie et de diagnostiquer l'état de ce système dans une échelle spatio-temporelle, on a étudié le contexte général de cette thématique. Dans cette partie, on s'est préoccupé de mettre quelques concepts et des approches générales qui portent des caractérisations concernant le littoral, le profil d'une côte sableuse, le forçage hydrodynamique en décrivant toutes les zones d'un point de vue océanographique qui les traversent depuis la génération dans la zone de fetch jusqu'aux limites de transition et d'échange avec la bande terrestre, et aussi les différents phénomènes qui accompagnent et affectent cet évolution, en se focalisant sur le substrat et les différents mode de son transport à condition d'arriver aux seuils de mise en mouvement.

Avant d'entamer le vif de sujet, une recherche bibliographique sur les caractéristiques du site a été effectuée dans le but de replacer la Baie dans son contexte topographique, géologique, climatique, hydrodynamique, hydrographique et morpho-dynamique. L'analyse des données générales relatives au cadre physique et dynamique de la Baie de Zemmouri a permis d'avoir une vue d'ensemble sur l'organisation des reliefs et des structures et de déceler les caractères spécifiques à cette région.

Cette étude a été réalisée en fonction des données morphologiques et sédimentologiques de terrain, en utilisant un ensemble des techniques, des moyens et en particulier des outils de modélisation, on a entamé une étude sur terrain au niveau de la plage Ouest de port de Zemmouri. Des échantillons ont été prélevés et analysés au sein de laboratoire. La cartographie de la répartition du grain moyen et du mode dominant a été réalisée à l'aide d'un SIG (ArcGis). On remarque sur la partie aérienne, une prédominance spatiale de diamètres $330\mu\text{m}$ qui est due probablement à l'effet que la zone qui vient juste après le port considérée comme une zone abritée ce qui favorise le dépôt des grains fins et en s'éloignant vers l'Ouest ce diamètre moyenne a une tendance à croître sous l'effet de jet de rive et la nappe de retrait sur la ligne de rivage, puis transporté par le vent dans différentes directions.

La synthèse des résultats sédimentologiques pour la partie marine nous révèle deux secteurs :

- Le secteur occidental, qui compte très peu d'îlots et Trois classes modales qui présentent des sédiments très hétérogènes, allant des sables fins et sables moyens jusqu'aux sables grossiers.
- Le secteur oriental de la baie est composé de quatre classes modales qui

Conclusion

présentent des sables de granulométrie très variée et ne compte pas d'îlots.

Dans notre étude qui s'est focalisée sur la modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles appliquées au littoral de la Baie de Zemmouri.

La méthodologie mise en avant dans ce travail a réussi à valoriser les apports de la modélisation numérique par l'utilisation des modèles numériques Mike 21 et ArcGIS 10.4.

Tout d'abord, on a utilisé le module Mike 21/3 coupled model FM, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle, des courants engendrés par le vent dominant (45°) et du transport sédimentaire dans notre zone d'étude. La première partie nous a permis une bonne reconnaissance de la morphologie sous-marine. La deuxième partie nous a également permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative et des courants à la côte. La troisième partie concernant le transport sédimentaire. Cette modélisation nous a permis de déduire que :

- Le fond de notre zone d'études se caractérise généralement par une morphologie plus ou moins régulière parallèle à la côte ;
- Les houles 45°N et 360°N pourrait avoir une influence sur notre zone d'étude en engendrant des courants de dérive parallèles à la cote et des courants de retours dans le sens opposé.
- Les houles hivernales de secteur 315°N sont les plus menaçantes pour la zone d'étude car la propagation semble se faire de façon quasi-frontale. La houle ne perd que très peu de son énergie et les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage.
- De façon générale dans la baie de Zemmouri, une tendance de dérive littorale de l'Est vers l'Ouest semble persister pour les houles de 45°N et Ouest vers Est pour les houles de 315°N. Par contre les houles en provenance de 360°N engendrent des transports sédimentaires qui convergent vers les deux directions selon la morphologie de la zone au voisinage de la cote.

Ensuite, on a entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinées des logiciels DSAS et ArcGis ® ESRI). Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation dans le passé, le présent et le futur. Les résultats de ces traitements sont comme suit :

- la côte étudiée a connu une érosion généralisée de l'ordre de -1.75 m.an⁻¹ avec un bilan sédimentaire quantifié sur les 45 ans de -2.52 hectares.
- la tendance évolutive de la ligne de rivage dans l'horizon 2050 continue de s'aggraver vers des recules spectaculaires notamment dans la partie occidentale vers les plages Réghaia, Boudouaou et Boumerdes.

Conclusion

En fin, on a effectuée une modélisation de phénomène de submersion marine sur la baie de Zemmouri en proposant des scénarios de l'élévation de niveau marin à savoir 1m, 2m, 3m, 5m et 7m pour y ressortir vers la fin par des cartes d'aléas exposants les envahissements des eaux marines sur les terres à des distances différentes en occupants des surfaces distinguées proportionnelles avec les hauteurs.

Ce travail nous a permis d'approfondir nos connaissances avec les techniques de modélisation, d'analyse, de se familiarisé avec le terrain et de mieux comprendre la dynamique côtière.



Bibliographie

Références Bibliographiques

References bibliographies:

1. **ALOISI, J. et al (1982)**. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin : Application au Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*.vol. 5, n° 4, p.p. 481-491.
2. **ANSELME, B et al. (2011)**. Storm extreme levels and coastal flood hazards: a parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). *C. R.Geoscience*, Vol.43, n°17. p.p 677–690.
3. **AOUDJ.C, BOUAZIZ.T. (2014)**. Fonctionnement et dynamique morphosédimentaire du littoral Est de Bejaïa. Mémoire d'ingénieur.Aménagement du littoral.Alger: ENSSMAL. 150 p.
4. **BATTJES, J.et al., (1978)**. Energy loss and set-up due to breaking of random waves. In: *Coastal Engineering*. Netherlands. p.p. 569-587.
5. **BENAVENTE, J., et al (2006)**. Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). *Continental Shelf Research*, Vol. 26, no 9. p.p 1061-1076.
6. **BOUHMAODOUCHE M. (2012)**. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemouri (Cap-Matifou Cap-Djinet. Thèse doctorat .Géologie marine .Alger : USTHB. 180 p.
7. **BOUGIS, J. (2000)**.Ouvrages de défense des littoraux. Rapport. Document non publié. France : Institut des Sciences de l'Ingénieur de Toulon et du Var, Université de Toulon et Du Var.
8. **BOWDEN, K. F. (1983)**. Physical oceanography of coastal waters. 1^{ere} Edition. E. Horwood. 302 p.
9. **BOWEN. (1969)**. The generation of longshore currents on a plane beach. *Journal of Geophysical Research*. vol. 27. n° 3. p.p. 206-215.
10. **BREILH, J-F. ET AL.(2012)**. Importance of wave age and resonance in storm surges: The case Xynthia, Bay of Biscay. *Ocean Modelling*. CNRS. vol. 42. n° 5. p.p. 16-30.
11. **BRIERE, C.(2005)**. Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée: l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Thèse de doctorat. Hydraulique maritime et transport sédimentaire. France: université de Pau et des pays de l'Adour.257 p.

Références Bibliographiques

12. **CARIOLET, J-M. (2011).**Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne: vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météoro-océaniques et des paramètres morpho-sédimentaires. Thèse de doctorat. Oceanographie physique. France : Université de Bretagne occidentale-Brest. 247 p.
13. **DAVIDSON-ARNOTT, R. G. D. ET DAWSON, J. C.(2001).**Moisture and fetch effects on rates of aeolian sediment transport, Skallingen, Denmark. Rapport d'activité. Document non publié..Canada: CCSEA.
14. **Didier, R. (2004).** Analyse statistique de l'évolution morphodynamique des plages sableuses : Application aux sites d'études du programme national d'environnement aux plages d'Anglet. thèse doctorat. Génie civil-dynamique littorale et sédimentaire .France : université de Pau et des pays de l'Adour.219 p.
15. **DHI 2014a.** MIKE ZERO: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & Mesh Generator.
Scientific Documentation. Disponible sur le web
< www.mediafire.com/view/yc3w6h2c2elqnhh/BathymetryGeneration_ScientificDoc.pdf.>
16. **DHI 2014b.** MIKE 21 Spectral Wave Module. Scientific Documentation. Disponible sur le web
< www.mediafire.com/view/rr6pv2o6bf6k87u/M21SW_Scientific_Doc.pdf.
17. **DHI 2014c.** MIKE 21/3 Couple Model FM. Disponible sur le web
<www.mediafire.com/view/4extjtmhec4v69v/MIKE_213_Coupled_Model_FM.pdf.>
18. **DOMZIG, A.(2010).** Déformation active et récente; et structuration tectonosédimentaire de la marge sous-marine. Thèse de doctorat. Géoscience marine. France : Université de Bretagne occidentale-Brest.344 p.
19. **EDOUARD, V. H. .(2012).**Mer et Littoral : l'érosion côtière.
20. **FAYE, I. (2012).**Cartographie normalisée de l'évolution de trait de cote. Rapport. Document non publié. Bretagne : université de Bretagne Occidentale.
21. **FERRANI, A. .(1998).** Contribution à l'élaboration des données de base de la baie de Zemouri et l'étude du site de Palme-Beach (Bai de Bou Ismail). Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger: ISMAL. p.p 35- 114.
22. **FLORENT, G.(2009).** Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages .thèse de doctorat. Science de l'univers océans. France : Université Joseph-Fourier-Grenoble I.171 p.

Références Bibliographiques

23. **GUIDOU.O.TOUZI, W.. (2016).** Mise en place d'une Base de données sédimentologiques dans le domaine côtier de centre de l'Algérie (Etablissement de la carte morpho sédimentaire). 1 36 P.
24. **HARRIS, S.W. et MARSHALL, W.H. (1963).** Ecology of Water-Level Manipulations on a Northern Marsh. Ecology. Vol. 44, n° 2. p.p. 331-343.
25. **HENAFF, A., ET MANUELLE P.(2014).** Gestion des risques d'érosion et de submersion marine. Géographie environnement. Brest. 153 p.
26. **HOLTHUIJSEN, L.H et aL. (1989).** A prediction model for stationary, short-crested waves in shallow water with ambient currents. Coastal Engineering.Vol. 13, n° 1. p.p 23-54.
27. **HONTARREDE, M. .(2001).** Surcote et marée de tempête. Navigation. Vol. 49, n° 196. p.p 78-89.
28. **HOOZEMANS, F. M. J ET AL (1993).** Sea level rise: A global vulnerability assessment vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale H1588. Rapport. Document non publié. Holland : Deltares (WL).
29. **HUNT, I.A. . (1959).** Design of sea-walls and breakwaters. Transactions of the American Society of Civil Engineers. Vol. 126, n° 4, p.p. 542-570.
30. **KOMAR, P. D. (1998).** Beach processes and sedimentation.
31. **LAFON, VIRGINIE, HOAREAU, ANAÏS, MALLET, CYRILL, Et AL.(2010).** Suivi du trait de côte en Aquitaine par imagerie Formosat-2. In : XIèmes Journées Nationales Génie Côtier–Génie Civil. 1^{ère} Edition. Paralia CFL. 517 p.
32. **LONGUET-HIGGINS, M. S. ET AL. (1964).** On group velocity and energy flux in planetary wave motions. In Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts. Elsevier. Vol. 11. n° 1. pp. 35-42.
33. **NADIR, MOHAMMED. (2016).** Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.149 p.
34. **PATTIARATCHI, C. ET WIJERATNE, S.(2011).** Sand and seagrass wrack modelling in Port Geographe, south-western Australia. In Coasts and Ports 2011: Diverse and Developing: Proceedings of the 20th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 13th Australasian Port and Harbour Conference. Australia. 564 p.

Références Bibliographiques

35. **ROHLING, E. J. et AL. (2008)**. High rates of sea-level rise during the last interglacial period. *Nature Géoscience*. Vol.1, n°1. p.p 38-42.
36. **STEPANIAN, A. (2002)**. Evolution morphodynamique d'une plage macro tidale à barres : Omaha Beach (Normandie).Thèse de doctorat. Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace. Caen : L'Université de Caen. 217 P.
37. **(Wright et Short, 1984)**. WRIGHT, L. D. et SHORT, Andrew D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 1984, vol. 56, no 1-4, p. 93-118.
38. **Cowell et Thom, 1994)**. COWELL, P. J. et THOM, B. G. *Morphodynamics of coastal evolution*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1994.

Résumé :

Le littoral algérien est soumis à un recul important sur toutes ses façades maritimes (occidentale, Centrale et orientale). Ainsi, Environ 50 % des côtes régressent dont plus de 75 % sont des plages sableuses, A L'échelle de la baie de Zemmouri. La côte sableuse en particulier est un véritable système où se conjugue l'action de plusieurs facteurs qui conditionnent l'évolution morpho-dynamique de la côte de Zemmouri.

Les principaux objectifs de cette recherche, première du genre sur la baie de Zemmouri. Sont de parvenir à la compréhension des processus actuels qui commandent l'évolution morpho-dynamique de la côte de Zemmouri (transferts sédimentaires). Ceci nous aidera à mieux interpréter les modalités d'érosion, de transport et de dépôt dans l'environnement côtier actuel. Ces objectifs s'appuient essentiellement sur des observations morphologiques. Diachroniques et des mesures qualitatives des phénomènes contribuant aux changements de la morphologie de la côte, l'acquisition des données sur les mouvements sédimentaires et les variations topographiques et morphologiques induits par ses transferts littoraux s'est effectuée selon une approche basée sur des campagnes de mesures topographiques et de quantification des transferts sédimentaires.

Mots clés : Littoral, trait de côte, dynamique sédimentaire, évolution des littoraux, modélisation numérique, Baie de Zemmouri.

The Algerian coastline is subject to a significant decline on all its maritime frontages (western, central and eastern). So, Approximately 50% of the coasts decline, of which over 75% are sandy beaches, at the Zemmouri Bay scale. The sandy side in particular is a real system in which the action of several factors is combined, conditional on the morpho-dynamic evolution of the Zemmouri coast.

The main objectives of this research, first of its kind on the Bay of Zemmouri. Are to understand the current processes that control the morpho dynamic evolution of the Zemmouri (sedimentary transfer). This will help us better interpret the erosion modalities. Transport and deposit in the present coastal environment. These objectives are mainly based on morphological observations. Diachroniques and qualitative measurements of the phenomena contributing to changes in the morphology of the coast, the acquisition of data on sedimentary movements and the topographic and morphological variations induced by its coastal transfers was carried out according to an approach based on measurement campaigns topography and quantification of sediment transfer.

Key words: Coastline, coastline, sediment dynamics, coastal evolution, numerical modeling, Zemmouri Bay

العملية التي ينطوي عليها التطور المورفوديناميكي في خليج زموري
النمذجة المائية الرسوبية والحركية للخط الساحلي

ويخضع الساحل الجزائري لانخفاض كبير في جميع جوانبه البحرية (الغربية والوسطى والشرقية). وهكذا. ما يقرب من 50
من السواحل تراجع، منها أكثر 75% من الشواطئ الرملية، على مقياس خليج زموري. والجانب الرملي على وجه
الخصوص هو نظام حقيقي يتم فيه الجمع بين عدة عوامل، مشروطا بالتطور الديناميكي لساحل زموري

الأهداف الرئيسية لهذا البحث، الأول من نوعه على خليج الزموري. هي أن نفهم العمليات الحالية الـ
المؤخفة ديناميكي من الزموري (النقل الرسوبي). وسيساعدنا ذلك على تفسير طرق التآكل بشكل أفضل. النقل والإيداع في
البيئة الساحلية الحالية. وتستند هذه الأهداف أساسا إلى الملاحظات المورفولوجية. وقد أجريت عمليات قياس دياكرونيكس
وقياسات نوعية للظواهر التي ساهمت في التغيرات في مورفولوجيا الساحل، واكتساب البيانات عن الحركات الرسوبية
والتغيرات الطبوغرافية والصرفية الناجمة عن عمليات النقل الساحلية وفقا لنهج يستند إلى حملات القياس الطبوغرافيا،
وكمية نقل الرواسب.

كلمات مفاتيح : ي، ديناميك الرواسب، التطور الساحلي، النمذجة العددية، خليج