

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



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER**

Spécialité : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Thème :



**Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire
du littoral Est de Béjaïa**

Présenté par:

- AOUDJ Cherif
- BOUAZIZ Thinhinane

Soutenu le 25/06/2014 devant le jury suivant :

M. GUERFIS	Maitre de Conférences A (ENSSMAL)	Président
M. MEZOUAR.K	Maitre de Conférences B (ENSSMAL)	Promoteur
M. LARID.M	Maitre de Conférences A (ENSSMAL)	Examineur
M. BELKESSA.R	Professeur (ENSSMAL)	Examineur

Promotion : 2013/2014

« Quand tu vas commencer à mesurer le fond de la mer, fais bien attention de ne pas trop te pencher, et de ne pas tomber par -dessus bord -, et là où ça sera trop profond, laisse un peu mesurer les autres. »

Marcel Pagnol, Fanny (1931)

REMERCIEMENTS

Quatre mois.

Des doutes, des certitudes, des euphories, des satisfactions, des moments de solitude, des présentations dont nous raffolons, des nuits, des week-ends, des étapes que l'on franchi, pas après pas. Un mémoire est un exercice passionnant. Un apprentissage à caractère scientifique. Mais pas seulement. On se révèle, on prend confiance.

Nous tenons en premier lieu à remercier le BON DIEU de nous avoir procuré : santé, patience et amour ainsi aux membres de nos familles qui nous ont soutenu durant ce petit séjour pour réaliser ce modeste travail. Ensuite, nous adressons nos remerciements à notre promoteur **MEZOUAR.K** et aux membres du jury : à notre président du jury Monsieur : **GUERFI S.**, à nos examinateurs Messieurs : **BELKESSA R.** et **LARID M.**

Nous tenons également à exprimer nos remerciements aux personnes qui nous ont laissés leurs touches d'encouragements : **AOUDJ Lounis**, **IKER Arezki**, **MEZHOUD Abd El-K'rim**, **MERZOUK Gaya** et **SMAOUN Abdelouahab**.

Nos remerciements au Colonel **AMRANE**, de nous avoir accordé une formation au sein de l'INCT et de nous avoir fourni des données qui nous ont été indispensables. Aussi, nous remercions Monsieur : **TRIAKLM** (Formateur à l'INCT) pour chaque seconde qu'il a consacré pour nous, son soutien et sa patience durant notre formation.

Nous remercions le personnel de l'EPB (Entreprise Portuaire de Béjaïa) ; À citer le chef de service des stages Madame : **KHENOUCHE.S** et le navigateur **BENNAÏ.S**, le personnel du CNL (Commissariat National de Béjaïa) antenne de Béjaïa, le personnel du PNG (Parc National de Gouraya), le responsable du LGA (Laboratoire de Géologie et de l'Aménagement) Monsieur **MATOUK.Y** et aussi au personnel des deux bibliothèques : de l'ENSSMAL (**BEN SIDI AHMED Cherif** et **LAAROUSSI Youcef**) et de l'USTHB (Faculté Science de la Terre).

Nous tenons énormément encore à remercier toute personne qui nous connaît, et en particulier vous qui êtes en train de nous lire.

DÉDICACES

*Je dédie ce modeste travail à mon père L, ma mère F
Et à mes cinq frères Akli ; Mokrane ; Lounis ; Khelil et Lamine.*

AOUDJ Cherif

Je dédie ce travail à la mémoire de mon père, à ma mère, à mes deux sœurs Fatma et Nina, à mon frère Mohand et à toute ma famille.

Thinhinane

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières.....	i
Liste des acronymes	ii
Liste des figures	iii
Liste des photos	iii
Liste des tableaux.....	iii
Introduction générale	21

Chapitre I : Quelques rappels

1. Le système littoral	24
2. Profil général d'une côte sableuse	24
3. L'évolution morphodynamique	25
4. Relation spatio-temporelle en morphodynamique côtière	26
5. Zonation hydrodynamique du littoral	27
6. Les données sédimentologiques	28
7. Zonation des sédiments sur les littoraux sableux	30
8. Les processus hydro-sédimentaires	30
8.1.Les vagues	31
8.2.Les courants	34
8.3.Les courants de marée	35

Chapitre II : PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction	38
1. La situation géographique de la zone d'étude	38
2. L'analyse topographique	40
2.1.La zone de montagne	41
2.2.La vallée de la Soummam.....	41
2.3.La zone côtière	42
3. Le contexte géologique	42
3.1.Le cadre géologique général	42
3.1.1. Les Maghrébides	42
3.1.2. Les zones internes.....	42
3.1.3. Les zones externes	43
3.2.Stratigraphie et lithologie des terrains	44
3.2.1. La stratigraphie	44
3.2.1.1.Le Trias	44
3.2.1.2.Le Jurassique	44

3.2.1.3.Le Crétacé	44
3.2.1.4.Le tertiaire	44
3.2.2. Lithologie des plaines alluviales	44
3.3.L'activité sismique actuelle	44
4. Le contexte géomorphologique	46
4.1.Les plages	46
4.2.Les côtes rocheuses	49
5. Le contexte hydrographique	50
5.1.Les débits liquides de l'oued Soummam	51
5.2.Les débits solides de l'oued Soummam.....	52
6. Environnement bioclimatique	53
6.1.Les facteurs climatiques	53
6.1.1. Les précipitations	53
6.1.2. Les températures	55
6.1.2.1.Les températures moyennes mensuelles	55
6.1.2.2.Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен	56
6.1.2.3.Le quotient pluviométrique d'EMBERGER	57
6.1.2.4.Indice de continentalité	58
6.1.3. Les vents	58
6.2.Les facteurs hydrodynamiques	59
6.2.1. Les houles	59
6.2.1.1.La houle au large	59
6.2.1.2.La houle à la côte.....	62
6.2.1.2.1. Cap Carbon – Cap Aokas	62
6.2.1.2.2. Caractéristiques de la houle à la côte.....	62
6.2.2. Les courants.....	63
6.2.2.1.Les courants généraux.....	63
6.2.2.2.Les courants côtiers	63
6.2.2.3.Le courant de retour	63
6.2.2.4.Le courant de dérive littorale	63
La marée.....	64
7. Occupation des sols et anthropisation de la côte	64
7.1.Occupation du sol	64
7.1.1. Occupation urbaine	64
7.1.2. Occupation agricole et forestière	65
7.1.3. Occupation industrielle et touristique.....	65
7.2.Anthropisation de la côte	65
Conclusion	66

Chapitre III : ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DE LA PARTIE AÉRIENNE

Introduction	68
1. Le prélèvement des sédiments	68
2. Travaux au laboratoire.....	69

2.1.L'étude granulométrique.....	69
2.2.Principe de la méthode.	69
2.3.Mode opératoire.....	69
2.4.Les paramètres et indices granulométriques.....	70
1. Les paramètres de position.....	70
a. Les quantiles.....	70
b. Le mode granulométrique.....	71
2. Les indices granulométriques.....	71
2.1.Les indices de dispersion ou de classement.....	71
2.2.Les coefficients d'asymétrie.....	71
2.5.Résultats et discussion.....	72
2.5.1. Analyse de la fraction fine.....	72
2.5.2. Analyse de la fraction grossière.....	72
2.5.2.1.Les courbes granulométriques.....	72
2.5.2.2.Les quantiles.....	74
a. Le décile inférieur (D10).....	74
b. Le quartile inférieur (Q25).....	74
c. La médiane (Q50).....	75
d. Le quartile supérieur (Q75).....	76
e. Le décile supérieur (D90).....	76
2.5.2.3.Les indices granulométriques.....	77
a. Indice de classement.....	77
b. Le coefficient d'asymétrie.....	77
2.5.2.4.L'analyse modale.....	78
Conclusion.....	79

Chapitre IV : MORPHODYNAMIQUE CÔTIÈRE À UNE MACRO ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE

Introduction.....	81
1. Evolution historique du trait de côte.....	81
1.1.Echelle spatio-temporelle de l'évolution morphologique des systèmes côtiers.....	81
1.2.Récolte des données.....	82
1.3.Moyens et procédure.....	82
1.3.1. Aperçu du logiciel ArcGis 9.2.....	83
1.3.2. Procédure et discussion.....	83
2. Evaluation de la vulnérabilité littorale.....	86
2.1.Evaluation de la vulnérabilité des plages.....	86
2.1.1. L'indice de vulnérabilité des plages (B.V.I).....	86
2.1.2. L'indice de perte de la plage au cours de temps (B.T.L).....	88
2.2.Evaluation de la vulnérabilité côtière.....	90
2.2.1. Aperçu sur la méthode.....	90
2.2.2. Résultats et interprétation.....	91

2.2.2.1.La géomorphologie.....	92
2.2.2.2.La pente côtière.....	92
2.2.2.3.Le taux d'érosion / accrétion de la côte.....	92
2.2.2.4.La hauteur moyenne de la houle significative	93
Conclusion.....	95

Chapitre V : ÉTUDE BATHY-SÉDIMENTAIRE

Introduction	97
1. Etude bathymétrique.....	97
1.1.Le levé bathymétrique.....	97
1.2.La carte bathymétrique.....	98
1.3.Réalisation des profils topographiques	99
2. Etude sédimentologique	100
2.1.La répartition spatiale des dépôts sédimentaires	101
2.1.1. Répartition des pélites	102
2.1.2. La médiane granulométrique.....	103
3. La dynamique sédimentaire dans la baie de Béjaïa.....	103
3.1.Analyse de la dynamique sédimentaire de la plage de Sidi Ali Lebhar avec la modèle Mc Laren / Gao et Collins	104
3.1.1. Principe du modèle	106
3.1.2. Procédure analytique	107
a. Préparation des données d'entrée	107
b. Application du GSTA.....	107
c. Exploitation des données de sortie	107
- Les résultats de la modélisation.....	108
- Interprétation des résultats.....	108
Conclusion.....	109

Chapitre VI : MÉTHODES DE PROTECTION CONTRE L'ÉROSION

Introduction	111
1. Erosion du système littoral Béjaoui.....	111
2. Impacts anthropiques sur le littoral	112
2.1.Exploitation des matériaux de construction.....	112
2.1.1. L'exploitation du sable des plages.....	112
2.1.2. L'exploitation du sable des oueds.....	113
2.2.Les conséquences de la surexploitation des sédiments	113
2.2.1. Le recul du trait de côte.....	113
2.2.2. Déchaussement des grands ouvrages maritimes	113
2.2.3. Affouillement des structures de base des ponts	114
3. Les stratégies d'adaptations	114
3.1.Les types de stratégies d'adaptation.....	114
3.1.1. Le retrait	114

Table des matières

3.1.2. L'accommodation	114
3.1.3. La protection	115
3.2.Cas de la côte de la partie Ouest de la baie de Béjaïa	115
3.2.1. A court et moyen terme	115
- Le principe de l'ECOPLAGE	116
- Le procédé de STABIPLAGE	117
3.2.2. A long terme.....	117
3.2.2.1.L'élaboration d'un plan de gestion des zones côtières (G.I.Z.C)	117
1. Le renforcement juridique	118
2. Le renforcement institutionnel.....	118
Conclusion.....	118
Conclusion générale.....	120
Références bibliographiques	123
Annexes	126

LISTE DES ACRONYMES

A.N.R.H :	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
B.C.R:	Bloc Cubique Régulier.
B.V.I:	Beach Vulnerability Index- (Indice de Vulnérabilité de la Plage).
B.T.L:	Beach Time Loss- (Indice de perte de la plage au cours du temps).
C.N.L	Commissariat National du Littoral.
C.V.I:	Indice de Vulnérabilité Côtière.
D.S.W:	Digital Scan Workstation.
E.N.M :	Élévation du Niveau de la Mer.
E.P.B :	Entreprise Portuaire de Béjaïa.
Fig.:	Figure.
G.E.I.C.C :	Groupe d'Expert Intergouvernemental sur le Changement Climatique.
G.I.E.C :	Groupe d'Expert Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat.
G.I.Z.C :	Gestion Intégrée des Zones Côtières.
G.P.S:	Global Positioning System.
I.N.C.T:	Institut National de Cartographie et de Télédétection.
I.P.C.C:	International Panel on Climate Change.
Km:	Kilomètres.
L.E.M:	Laboratoire des Études Maritimes.
L.R.R:	Régression Linière de la Plage.
m:	Mètres.
M.N.T:	Modèle Numérique de Terrain.
N.G.A:	Niveau Général Algérien.
O.N.M:	Office National de Météorologie.
P.N.G	Parc National de Gouraya.
P.O.S:	Plan d'Occupation du Sol.
R.N:	Route Nationale.
S.S.M.O:	Summary of Synoptic Meteorological Observation.
Tab:	Tableau.
U.T.M:	Universal Transverse Mercator.
W.G.S:	World Géoïde System.

LISTE DES FIGURES

Fig.n°01	Profil transversal type d'une plage.	25
Fig.n°02	Zonation hydrodynamique du littoral.	27
Fig.n°03	Les trois modes de transport sédimentaire, d'après Fredsoe et Deigaard.	30
Fig.n°04	Caractéristiques de la vague.	31
Fig.n°05	Les différents types de déferlement, d'après Fredsoe et Deigaard, 1994.	34
Fig.n°06	Schéma récapitulatif de la dynamique sédimentaire en milieu littoral.	36
Fig.n°07	Localisation de la zone d'étude.	39
Fig.n°08	Carte topographique de Béjaia-Est au 1/50000, INCT.	40
Fig.n°19	Modèle Numérique de Terrain (N.M.T) du littoral Est de Béjaia exagéré à 5 fois.	41
Fig.n°10	Carte géologique de la wilaya de Béjaia.	43
Fig.n°11	Environnement structural de la région de Béjaia.	45
Fig.n°12	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa, source DPC de Béjaïa.	50
Fig.n°13	Moyennes annuelles des débits liquides de l'oued Soummam à la station de Sidi-Aich pour la période 1973-1993	51
Fig.n°14	Moyennes annuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi-Aich pour la période 1973-1993	52
Fig.n°15	Moyennes mensuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi-Aich pour la période 1973-1992	52
Fig.n°16	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles pour la période 1978-2007	54
Fig.n°17	Histogramme du régime saisonnier pour la période 1978-2007	54
Fig.n°18	Moyennes annuelles des précipitations au niveau des stations (Tifra, Béjaia aéroport et Sidi-Aich) pour la période 1970-2007	55
Fig.n°19	Variation des températures maximales, moyennes, et minimales de la station de Bejaïa Aéroport période (1978-2007), source ONM	56
Fig.n°20	Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson de la station littorale	56
Fig.n°21	Climagramme pluviométrique d'EMBERGER.	57
Fig.n°22	Roses trimestrielles et annuelle des vents au large des côtes de Béjaïa (LEM, 1998).	59
Fig.n°23	Roses trimestrielle et annuelle de la houle, (L.E.M, 1998, in Djouder et Smaoun, 2011).	61
Fig.n°24	Diagramme de la répartition territoriale de la population de la wilaya de Béjaïa (2007).	64
Fig.n°25	Carte synthèse du domaine littoral de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013).	An
Fig.n°26	Schéma illustrant les différents points de prélèvement des échantillons de sable des plages de la partie Est du littoral de Béjaïa.	68
Fig.n°27	Carte de la répartition des pélites.	72
Fig.n°28	Courbe unimodale.	73
Fig.n°29	Histogramme unimodal.	73
Fig.n°30	Courbe bimodale.	73
Fig.n°31	Histogramme bimodale.	73
Fig.n°32	Courbe plurimodale.	74
Fig.n°33	Histogramme plurimodal.	74
Fig.n°34	Carte de la répartition du décile inférieur (D10).	74
Fig.n°35	Carte de la répartition du quartile inférieur (Q25).	75
Fig.n°36	Carte de la répartition de la médiane (D50)	75

Fig.n°37	Carte de la répartition du quartile supérieur (Q75)	76
Fig.n°38	Carte de la répartition du décile supérieur (D90)	76
Fig.n°39	Relation entre l'indice de classement et la médiane	77
Fig.n°40	Relation entre le coefficient d'asymétrie et la médiane	78
Fig.n°41	Fréquence d'apparition des modes	78
Fig.n°42	Carte de la répartition du mode (315 µm)	79
Fig.n°43	Relation spatio-temporelle des systèmes morphodynamique côtiers, d'après Stephanian (2002).	82
Fig.n°44	Digitalisation du trait de côte sous ArcMap 9.2.	83
Fig.n°45	Diagramme des différents taux annuels d'érosion (m ² /an).	84
Fig.n°46	Carte de l'évolution historique du trait de côte du littoral Est de Béjaïa entre 1956 et 2013 (AOUDJ et BOUAZIZ, 2014)	85
Fig.n°47	Carte de l'indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) du littoral Est de Béjaïa.	89
Fig.n°48	Carte des pertes de la plage au cours du temps (B.T.L) du littoral Est de Béjaïa.	89
Fig.n°49	Carte des facteurs de risque relatifs à la variable géomorphologie du littoral Est de Béjaïa.	89
Fig.n°50	Carte des facteurs de risque relatifs à la pente du littoral Est de Béjaïa.	89
Fig.n°51	Carte des facteurs de risque relatifs à la variable érosion / accrétion du trait de côte.	93
Fig.n°52	Carte de l'Indice de Vulnérabilité côtière du littoral Est de Béjaïa.	94
Fig.n°53	Diagramme du pourcentage du littoral de la partie Est de Béjaïa pour les facteurs de risque relatifs à la variable géomorphologie.	An
Fig.n°54	Pourcentage du littoral de la partie Est du littoral de Béjaïa pour les facteurs de risque relatifs à la pente côtière.	An
Fig.n°55	Pourcentage des facteurs de risque relatifs à la variable érosion / accrétion du trait de côte.	An
Fig.n°56	Pourcentage du littoral Est de Béjaïa pour le degré de vulnérabilité physique à l'élévation du niveau de la mer	An
Fig.n°57	Carte bathymétrique du littoral Est de Béjaïa, (AOUDJ et BOUAZIZ, 2014)	98
Fig.n°58	Profil bathymétrique n°1	99
Fig.n°59	Profil bathymétrique n°2	99
Fig.n°60	Profil bathymétrique n°3	100
Fig.n°61	Carte de la répartition spatiale des sédiments superficiels entre Cap Carbon et Cap Aokas.	101
Fig. n°62	Carte de la répartition spatiale des pélites entre Cap Carbon et Cap Aokas.	102
Fig. n°63	Carte de la répartition spatiale de la médiane granulométrique entre Cap Carbon et Cap Aokas.	103
Fig. n°64	Schéma probable de la dynamique sédimentaire entre Cap Carbon et Cap Aokas.	104
Fig. n°65	Localisation des stations de prélèvements au niveau de la plage de Sidi Ali Lebhar	105
Fig. n°66	Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Ali Lebhar	108

LISTE DES PHOTOS ET TABLEAUX

Photo n°01	Embouchure de l’oued Soummam au niveau de la plage de Sidi Ali Lebhar	47
Photo n°02	Protection en enrochements naturels de la plage de Sidi Ali Lebhar	47
Photo n°03	Les épis en forme de T et de L	47
Photos n°04 et 05	Plage El Maghra	48
Photo n°06	Plages Bensaid et Taghzout	48
Photo n°07	Plage de Tichy	48
Photo n°08	Plage de Tablout	49
Photo n°09	Falaise entaillée dans de la roche dure, cas de Cap Aokas	49
Photo n°10	Falaise développée dans des formations tendres recouvertes par des enrochements artificiels type B.C.R, Cas de Cap Tichy	50
Photo n°11	Matériel utilisé lors des prélèvements	68
Photo n°12	Prélèvement de sable	68
Photo n°13 et 14	Conditionnement et étiquetage des échantillons	69
Photo n°15	Préparation et séchage des échantillons	An
Photo n°16	Pesée et lavage des sédiments	An
Photo n°17	Déduire le poids des pélites	An
Photo n°18	Opération de tamisage	An
Photo n°19	Pesée des refus de tamis	An
Photo n°20	Echosondeur de marque FURONO de la pilotine El Marsa BJ44	97
Photo n°21	RADAR de la pilotine El Marsa BJ44	97
Photo n°22	Etat d’érosion de la plage de Sidi Ali Lebhar	112
Photo n°23	Erosion de la plage Thassifth	112
Photo n°24	Destruction de la forêt d’eucalyptus	113
Photo n°25	Puits d’un terrain agricole submergé par la mer	113
Photo n°26	Effondrement des structures côtières de protection, Bougie plage.	114

Tableau n°1	Classification de Wentworth (1922)	29
Tableau n°2	Les types de déferlement en fonction des nombres d'Iribaren, d'après Galvin (1968)	33
Tableau n°3	Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1977 – 2003)	54
Tableau n°4	Quotient pluviométrique d'EMBERGER pour la station littorale	57
Tableau n°5	Les types de climats en fonction des écarts thermiques	58
Tableau n°6	Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions	60
Tableau n°7	L'état de la mer (Source : S.S.M.O, 1963 – 1970)	60
Tableau n°8	Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (Source : L.E.M, 1998).	62
Tableau n°9	Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes (Source : L.E.M, 1998)	62
Tableau n°10	Les caractéristiques du domaine littoral de la wilaya de Béjaïa.	65
Tableau n°11	Les valeurs adoptées de S_o pour le classement	71
Tableau n°12	Les valeurs adoptées de S_k pour l'asymétrie	71
Tableau n°13	Bilan des taux d'érosion et d'accumulation du littoral Est de Béjaïa entre 1956 et 2013	84
Tableau n°14	Indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) et ses valeurs de risque	87
Tableau n°15	Les valeurs de B.V.I de la partie Est du littoral de Béjaïa, entre Cap Carbon et Cap Aokas	87
Tableau n°16	Classement du B.T.L et ses valeurs de risque selon l'U.S.G.S	88
Tableau n°17	Les valeurs du B.T.L des plages de la partie Est du littoral de Béjaïa	88
Tableau n°18	Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (d'après THIELER & HAMMAR-KLOSE, 2001)	90
Tableau n°19	Les valeurs de l'I.V.C au niveau de la partie Est du littoral de Béjaïa, entre cap Carbon et cap Aokas	94
Tableau n°20	Bilan de l'évolution des surfaces des plages entre Cap Carbon et Cap Aokas (1973-2001), (Boutiba et al, 2005 in Djouder et Smaoun, 2011).	112

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction générale :

Le littoral est un milieu fragile et instable, à moins de **60 km** duquel vit **70 %** de la population mondiale, soit près de 4 milliards de personnes. Les enjeux industriels et économiques qui accompagnent généralement cette concentration démographique nécessitent une prise de conscience de la fragilité des façades littorales. En effet, **80 %** du trait de côte mondial est en retrait à des taux de l'ordre du centimètre à la dizaine de mètres par an. Ce phénomène est en partie dû à la remontée naturelle du niveau marin, mesurée depuis une centaine d'années. Cependant, à cette tendance s'ajoute l'impact des activités humaines qui modifient l'équilibre climatique, tendant à accroître la température de l'atmosphère et la fonte des glaces continentales et accélérant, par conséquent, la remontée du niveau moyen de la mer à l'échelle globale.

Dans ces environnements littoraux, la tendance érosive naturelle est parfois accélérée par des actions anthropiques qui ont introduit un déséquilibre dans les processus côtiers en limitant le volume de sable nécessaire au maintien des plages et à la stabilité du trait de côte (**Paskoff, 1998**). La dynamique naturelle des sédiments fluviaux, principale source d'alimentation des côtes, est entravée par l'aménagement des cours d'eau (barrages, stabilisation des berges). Localement, des effets néfastes d'ouvrages de protection (digues, épis, ouvrages portuaires) sont parfois ressentis, perturbant la dynamique sédimentaire naturelle. Enfin, l'extraction de granulats marins peut avoir des conséquences préjudiciables sur la stabilité du trait de côte en aggravant le déficit sédimentaire de la zone côtière.

En effet, la conjugaison des forts aléas naturels et d'enjeux considérables concentrés sur un espace réduit crée une grande vulnérabilité sur la frange côtière.

Une protection raisonnée des littoraux (aménagements adéquats contre l'érosion marine, gestion de sédiments dragués) nécessite donc une compréhension préalable des processus qui interagissent dans la zone littorale. Les connaissances acquises visent à élaborer des outils fiables de prédiction de l'évolution morphologique d'un site afin d'obtenir les éléments d'expertise indispensables pour aider les acteurs locaux dans une gestion éclairée du littoral.

Le linéaire côtier du littoral Est de Béjaia s'étend sur une trentaine de km, aujourd'hui fortement investi, cet espace devient un territoire à risque, subissant une dégradation côtière très intense. Le danger de voir ses plages perdre de leur biodiversité et disparaître est très réel et inquiétant.

L'une des raisons qui nous a motivés à choisir comme sujet de mémoire la région de Béjaia est le recul spectaculaire de trait de côte, qui a considérablement régressé. A travers ce travail, nous allons dresser un bilan général sur le fonctionnement morphodynamique de la côte béjaouie et calculer les taux nets d'évolution du trait de côte sur une période de 57 ans. Nous aborderons également les mécanismes d'érosion et de transfert de sédiment.

Pour atteindre ces objectifs, nous adopterons une démarche simplifiée et concrète. Elle se résume en ces six chapitres :

- Chapitre premier : Dans ce chapitre, nous avons abordé les différents processus hydrosédimentaires qui régissent les littoraux sableux ;
- Le deuxième chapitre est consacré à l'étude des différentes caractéristiques de notre zone d'étude à savoir : sa topographie, sa géologie, sa géomorphologie et son environnement bioclimatique ;
- Le troisième chapitre est réservé à l'étude granulométrique de la partie aérienne du littoral Est de Béjaïa ;
- Le quatrième chapitre porte sur l'étude de la variation de la ligne de côte depuis 1959 jusqu'à l'année 2013, et sur l'évaluation de sa vulnérabilité ;
- Le cinquième chapitre est une étude bathy-sédimentaire de la zone ;
- Enfin le sixième chapitre concernera les mesures envisagées pour la protection de ce littoral en déclin contre le phénomène d'érosion.

Chapitre I :

QUELQUES RAPPELS

1. Le système littoral :

Un système est un ensemble d'éléments en interaction. Pour décrire ce type d'objet complexe, il est utile de combiner des études analytiques classiques à une approche systémique. Tandis que les analyses traditionnelles visent à détailler chaque constituant de façon séparée, les études systémiques considèrent la globalité de l'environnement et les relations entre les éléments de l'ensemble.

Tout système quel qu'il soit se distingue par ses caractéristiques spatiales et temporelles :

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

L'environnement littoral est considéré comme un système. Il forme une zone géographique complexe, à la limite du continent, de l'océan et de l'atmosphère. A l'intérieur de ce vaste ensemble, des systèmes de rangs inférieurs et d'extension plus limitée peuvent être distingués. Les frontières de tous ces domaines sont bien difficiles à établir.

Le système côtier est composé d'eau, d'air, de sédiments, de roches et d'organismes vivants. Ces éléments sont stockés dans l'océan, l'atmosphère, la matrice sédimentaire, le substratum géologique et la biosphère. Des échanges d'éléments et d'énergie s'effectuent au niveau des interfaces, à la transition entre les systèmes d'ordre inférieurs. Ainsi, la transition entre la mer et l'atmosphère est le lieu de déplacement des vagues qui véhiculent une grande quantité d'énergie. Quant à l'interface entre le prisme sédimentaire et l'océan ou l'atmosphère est pour sa part un domaine de transport d'éléments très important pour le fonctionnement de l'environnement.

La classification du littoral se fait selon plusieurs typologies. En effet, elles sont au nombre de trois ; en se basant sur l'évolution morphologique des rivages induite par les variations du niveau moyen de la mer, nous définirons les côtes émergées et les côtes submergées. Une autre classification est établie à partir de la dynamique du trait de côte, définissant les côtes d'érosion, d'accumulation et des côtes stables. Enfin celle en fonction de la structure géologique, qui permet de distinguer les côtes rocheuses ou d'ablation et les côtes d'accumulation.

Le modelé actuel des littoraux résulte d'une combinaison de facteurs météorologiques, hydrodynamiques et lithologiques, d'où la variété des types de formes. Le littoral est extrêmement mobile dans le temps et dans l'espace. Il est très sensible aux actions anthropiques directes (aménagement des littoraux) ou indirectes (pollution affectant les écosystèmes littoraux).

2. Profil général d'une côte sableuse :

Les plages sont des accumulations littorales de sédiments meubles, qui vont des sables fins (de 0.063 à 0.2 mm) aux blocs (supérieurs à 20 cm), susceptibles d'être mobilisés par le passage régulier des eaux marines ; on parle de grève lorsqu'elles sont constituées de galets. Les

matériaux des plages proviennent des sédiments continentaux apportés par les fleuves, ils sont remaniés par l'action des houles et des dérives littorales qui peuvent les transporter vers le large. Ainsi, il se forme une plage dès lors que le volume de sédiments disponibles est supérieur au volume transporté.

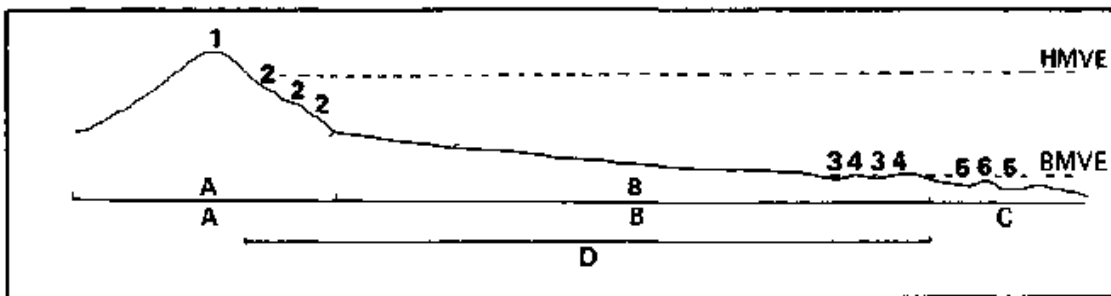
Les plages ont un profil transversal en pente douce, à allure faiblement concave. Leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent. Le profil est abrupt quand les sédiments sont grossiers.

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

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

- Haut de plage : sous forme de bourrelets, qui sont dus à l'accumulation des matériaux par les mers les plus hautes ;
- Moyenne plage : marquée par une ligne de réflexion à partir de laquelle la pente diminue brusquement.
- Bas de plage : submergé à chaque marée. Sa partie avale montre parfois une alternance de bancs surbaissés et de gouttières ou bâches.

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



HMVE : pleine mer de vive-eau BMVE : basse mer de vive-eau

A : haut de plage, B : bas de plage, C : avant-plage, D : estran, 1 : crête, 2 : gradin, 3 : bâche, 4 : banc, 5 : sillon, 6 : barre.

Fig. n°01 : Profil transversal type d'une plage

3. L'évolution morphodynamique :

Les littoraux sont des environnements dynamiques soumis à un large spectre de forçage (tectonique, eustatique et hydrodynamique). L'étude de l'évolution morphodynamique des

littoraux consiste à relier les forçages hydrodynamiques, les processus de transport sédimentaire et le développement morphologique à toutes les échelles de temps.

La topographie des fonds côtiers est en constant ajustement avec la dynamique du milieu fluide, cet ajustement morphologique est le résultat d'un gradient de transport sédimentaire.

Une modification des forçages génère une modification de la dynamique des fluides, et du transport sédimentaire. L'interaction de ces processus avec la morphologie initiale est à l'origine de la construction d'une nouvelle morphologie.

De ce fait, l'évolution morphodynamique d'un système côtier est une transformation graduelle et réversible par des états morphologiques successifs interdépendants.

Ainsi, en fonction des caractéristiques de la houle (hauteur, cambrure et période), il est possible d'observer alternativement des périodes plus ou moins longues pendant lesquelles le profil connaît un abaissement (érosion / démaigrissement), puis un relèvement (engraissement), et aussi l'apparition et la disparition des barres sur l'avant-plage.

Pendant les périodes de forts coups de vents ou de tempêtes soufflants vers la côte, les vagues sont dites destructrices. Les sédiments qui se trouvent en haut de plage ont tendance à migrer vers le bas de plage. En effet, la grande efficacité de la nappe de retrait du moment génère un départ de sédiments vers le bas de plage pour les cordons de galets et vers l'avant plage pour les sables afin de former les barres de déferlement. Cet ajustement morphologique réduit l'efficacité de l'attaque de la houle sur le haut de plage en générant son déferlement plus au large.

Avec les houles dites de beau temps, les vagues moins hautes et moins cambrées vont déferler plus près du rivage, induisant un jet de rive plus efficace que la nappe de retrait. Les sédiments vont progressivement remonter sur l'estran dont le profil se relèvera jusqu'à atteindre pratiquement la situation morphologique antérieure.

4. Relation spatio-temporelle en morphodynamique côtière :

L'étude des processus dynamiques qui commandent l'évolution du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation est largement fonction de l'échelle temporelle à laquelle ils agissent, et cette tendance évolutive ne peut être appréciée que si les observations portent sur plusieurs années.

Les littoraux sont des environnements particulièrement dynamiques soumis à de nombreux forçages d'origine tectonique, eustatique ou encore hydrodynamique agissant à des échelles de temps différentes. Ainsi, à l'échelle des temps géologiques, l'évolution du littoral est principalement contrôlée par des facteurs tectoniques et eustatiques. A l'échelle des temps historiques, les environnements côtiers subissent l'influence de la climatologie locale (fréquence des tempêtes, vents dominants) et des processus côtiers de haute fréquence (marée, courants, vagues et turbulence). L'étude de l'évolution morphodynamique des littoraux consiste à relier leur développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps.

Dans le cas d'un système côtier, De Vriend (1991) suppose l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales subies par le système et l'échelle temporelle de ces

évolutions. Il découle de cette relation primaire une hiérarchisation spatio-temporelle des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière.

Les processus intervenant sur des échelles de temps très longues (plurimillénaire) affecteront des zones s'étendant au domaine océanique. A l'inverse, les changements saisonniers ou les événements brutaux (tempêtes) concerneront plutôt le proche côtier.

5. Zonation hydrodynamique du littoral :

En termes de comportement hydrodynamique, le littoral est subdivisé en quatre zones différenciées : le domaine soumis à l'action des houles du large, la zone des brisants, la zone de déferlement et enfin la zone de swash, qui constitue une véritable frontière entre la partie marine et la partie continentale.

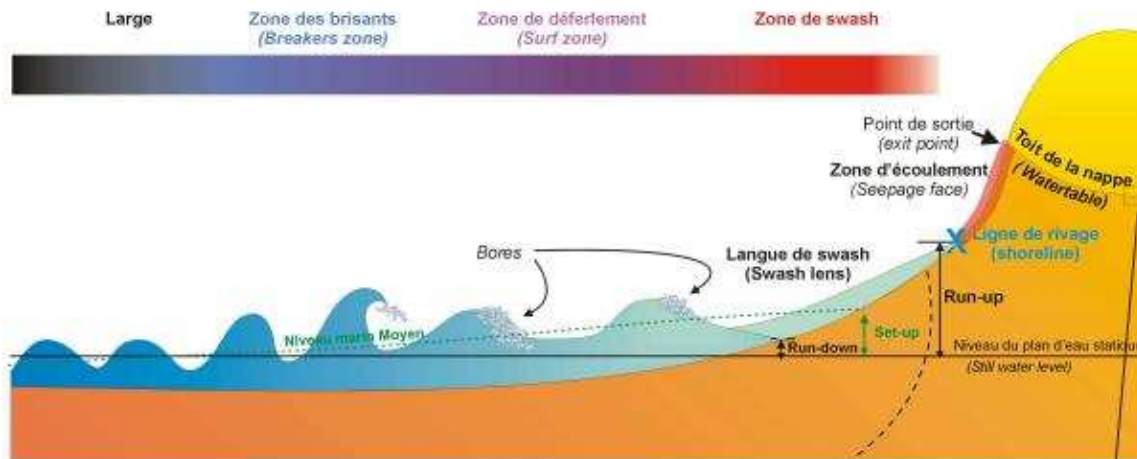


Fig.n°02 : Zonation hydrodynamique du littoral

■ Définition de la zone de swash (*Swash zone*) :

La zone de swash correspond à la partie de la plage exposée au balayage successif des vagues. Elle est aussi nommée zone de jet de rive ou zone de ressac. La zone de swash est située entre la ligne de rivage (Shoreline) et la zone de déferlement (Surf zone). Ces limites varient dans le temps et dans l'espace et se déplace sur l'estran en suivant les fluctuations du cycle tidal, de ce fait la largeur de la zone de swash est difficile à percevoir.

Nous dirons aussi que la zone de swash est la partie de la plage comprise entre la ligne de rivage et la zone de collision entre la nappe de retrait et le jet de rive suivant. Le jet de rive rencontre fréquemment la nappe de retrait précédente avant que celle-ci n'ait eu le temps de s'écouler complètement pour découvrir la plage, cet écoulement par gravité caractérise la zone de swash.

■ La zone de déferlement (*Surf zone*) :

Cette zone marque la transition entre le déferlement des vagues et leur amortissement total sur la plage. C'est une région particulièrement complexe où les vagues, après s'être brisées, se propagent sous forme de fronts d'ondes (bores) et peuvent se reformer pour à nouveau déferler près de la plage. Des effets de turbulence et de vortex contribuent à la complexité des écoulements dans ce milieu. Un courant orienté vers le large compense l'afflux d'eau dans cette zone. Ce courant de retour est proportionnel à la hauteur des vagues dans la zone de déferlement.

■ La zone des brisants (*Breaker zone*) :

Cette zone très dynamique est le lieu de dissipation maximale de l'énergie des vagues incidentes. Le déferlement des vagues se produit lorsque la profondeur d'eau devient faible comparée à leur hauteur. Dans le cas d'une onde monochromatique, le déferlement se produit lorsque $h_b = H_b/\gamma$ avec γ comme critère de déferlement ($\gamma = 0.78$, Mc Cowan, 1894).

■ La zone de shoaling (*Shoaling wave zone*) :

Dans cette zone, la profondeur d'eau est telle qu'il se produit une perte d'énergie des vagues par friction sur le fond. Cette friction entraîne une augmentation de la hauteur des vagues et une réduction de la longueur d'onde. Tout au long de la propagation des crêtes vers la côte, il se produit donc une augmentation de la cambrure des vagues (H/L) s'accompagnant d'une augmentation de l'asymétrie des courants orbitaux au niveau des fonds ($U_{on} > U_{off}$), qui participent à un transport sédimentaire résiduel vers le haut de plage, dans les conditions d'agitation les plus courantes.

La largeur de ces zones est fonction de l'amplitude de la houle au large. En effet, les vagues de tempêtes déferlant plus au large, la zone de déferlement est alors très large et peut présenter plusieurs lignes de brisants. A l'inverse, en conditions de très faible agitation, le déferlement primaire se produit juste au niveau du rivage et il y a, dans ce cas, une transition directe entre la zone des brisants et celle de swash.

6. Les données sédimentologiques :

Les sédiments sont issus de l'altération des formations continentales superficielles et de l'activité biologique in situ. L'altération constitue l'ensemble des mécanismes qui libèrent les particules des roches et soustraient les éléments dissous à la surface terrestre, ces particules chutent, sédimentent et se déposent sur le fond pour former le sédiment. Dans le sédiment se produit des processus de tassement et de consolidation.

Les sédiments sont de nature très variée selon les roches dont ils dérivent et sont dominés par des silicates, surtout le quartz pour les fractions grossières, et les minéraux argileux et les carbonates d'origine biogénique.

Le spectre granulométrique est très étendu, depuis les fines poussières jusqu'aux gigantesques blocs, et les sédiments ont des formes très variées : ils sont curviformes, allongés, aplatis ou en feuillets mais rarement sphériques.

L'analyse des tailles fait appel à une échelle partagée en classes granulométriques, dont la progression est géométrique par commodité historique. La progression la plus utilisée est celle

de Wentworth (1922), pour laquelle chaque classe principale correspond à un diamètre du double ou de la moitié de la classe voisine, la classe de base correspond à 1 mm.

Tableau n° 1 : Classification de Wentworth (1922) :

Nomenclature :	Taille (mm) :	
Blocs	≥ 256	Sédiments grossiers
Gros cailloux	64 – 256	
Graviers	32 – 64	
Petits cailloux	4 - 32	
Granules	2 – 4	
Sables	1 – 2	
Sable très grossier	0,5 – 1	Sédiments fins
Sable grossier	0,25 – 0,5	
Sable moyen	0,125 – 0,25	
Sable fin	0,0625 – 0,125	
Sable très fin	0,0312 – 0,0625	
Silt	0,0156 – 0,0312	
Silt grossier	0,0078 – 0,0156	
Silt moyen	0,00390625 – 0,0078	
Silt fin	0,0001 – 0,00390625	
Silt très fin	< 0,0001	
Argile		
Colloïde		

Lorsque l'agitation engendrée par les courants et les vagues est suffisante, les sédiments peuvent être remis en suspension ou érodés puis transportés dans l'eau.

Pour le transport des sédiments, il existe trois modes de transport : par charriage, par saltation et en suspension. Ces modes peuvent être simultanés et les particules concernées par chaque type dépendent des conditions d'écoulement.

- Le transport par roulement ou charriage concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement.
- Le transport par saltation apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci.
- Le transport en suspension se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les

particules concernées sont les sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement.

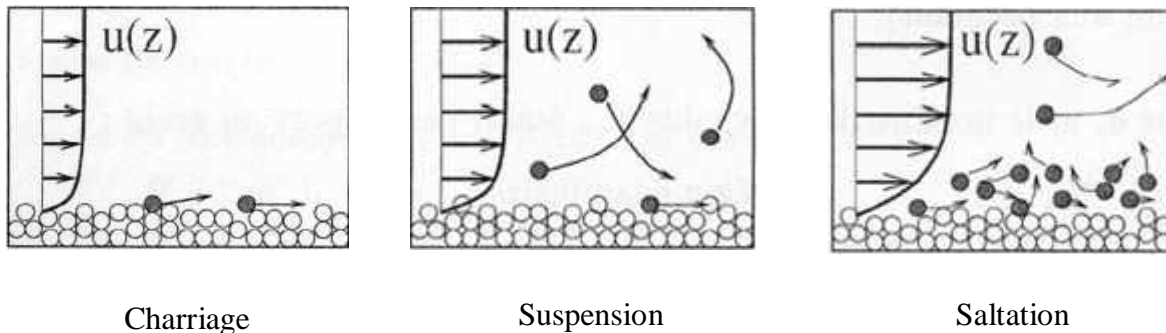


Fig. n° 03: Les trois modes de transport sédimentaire, d'après Fredsoe et Deigaard

7. Zonation des sédiments sur les littoraux sableux :

La répartition granulométrique des sédiments le long du profil de la plage est fonction de la pente, du degré local de la turbulence et de l'énergie des vagues et donc au grès des tempêtes et des saisons.

Les grains les plus grossiers sont situés au point de déferlement des vagues. Il existe aussi un second point d'accumulation sur le sommet de la barre de sable, formée en arrière du point de déferlement, mais il est sensiblement moins marqué que le premier en termes de dimension comme en termes de proportion de sédiments.

Par contre les particules fines sont déposées de part et d'autre de la barre de déferlement, aussi bien vers le large que vers la plage.

O.F. Evans (1993) a présenté la première explication au tri qui s'opère dans la zone de swash. La vague déferlée monte sur la plage en entraînant avec elle des particules de sédiments. Comme l'eau perd de la vitesse progressivement tout au long de son ascension, la taille des grains qu'elle peut faire monter sur la plage diminue également au fur et à mesure de son avancée. Une fois arrivée en haut, la masse d'eau redescend en prenant progressivement de la vitesse, ce qui lui confère une capacité grandissante à faire redescendre des grains de plus en plus gros, jusqu'au dernier point de déferlement. Ce phénomène a pour effet de trier les sédiments, les plus gros restent ou reviennent en bas alors que les plus fins sont déposés en haut de la zone.

8. Les processus hydro-sédimentaires :

A l'échelle des processus, le comportement d'un système côtier résulte des mouvements à l'interface eau/sédiments. Les conditions hydrodynamiques (vagues, courant, marée) induisent un transport sédimentaire responsable de l'évolution morphologique de la plage.

8.1. Les vagues :

Les vagues, qui constituent la houle, sont des oscillations qui affectent la surface de la mer. Elles sont générées par l'énergie du vent et entretenues par la pesanteur. Les caractéristiques des vagues seront fonction des rafales de vent les plus fréquentes et les plus fortes. De fait, le contexte météorologique, et plus particulièrement le climat de vent, constitue une information fondamentale dans la détermination des caractéristiques des vagues.

La formation des premières vagues va perturber l'écoulement de l'air, augmentant le transfert d'énergie vers la mer et accroissant la houle. Celles-ci transportent une quantité importante d'énergie qui est dissipée par le déferlement au large sur les côtes. Les vagues courtes, qui restent dans leur aire de génération, sont appelées mer du vent, ou encore clapot. En revanche, la houle, stricto sensu, correspond aux oscillations qui se propagent en dehors de l'espace sur lequel souffle le vent (fetch), ou lorsque le vent a cessé.

Les vagues se caractérisent par :

- Une crête et un creux successifs dont la dénivellation verticale constitue la hauteur (H, en mètres) ;
- Une longueur d'onde (L, en mètres), distance qui sépare deux crêtes ou deux creux successifs ;
- Une période (T, secondes), intervalle de temps qui s'écoule entre deux crêtes ou deux creux ;
- La fréquence (Hertz), inverse de la période, se détermine par la mesure du passage d'une série d'ondulations par seconde.
- La célérité (c, en mètre par seconde). Les vagues de longues périodes progressent plus rapidement que celle de courtes périodes, ces dernières peuvent disparaître rapidement après l'arrêt du vent.

La hauteur et la période des vagues générées par le vent dépendent de la vitesse du vent, de sa durée d'action, de la longueur du plan d'eau sur lequel il souffle (Fetch) et de la profondeur d'eau.

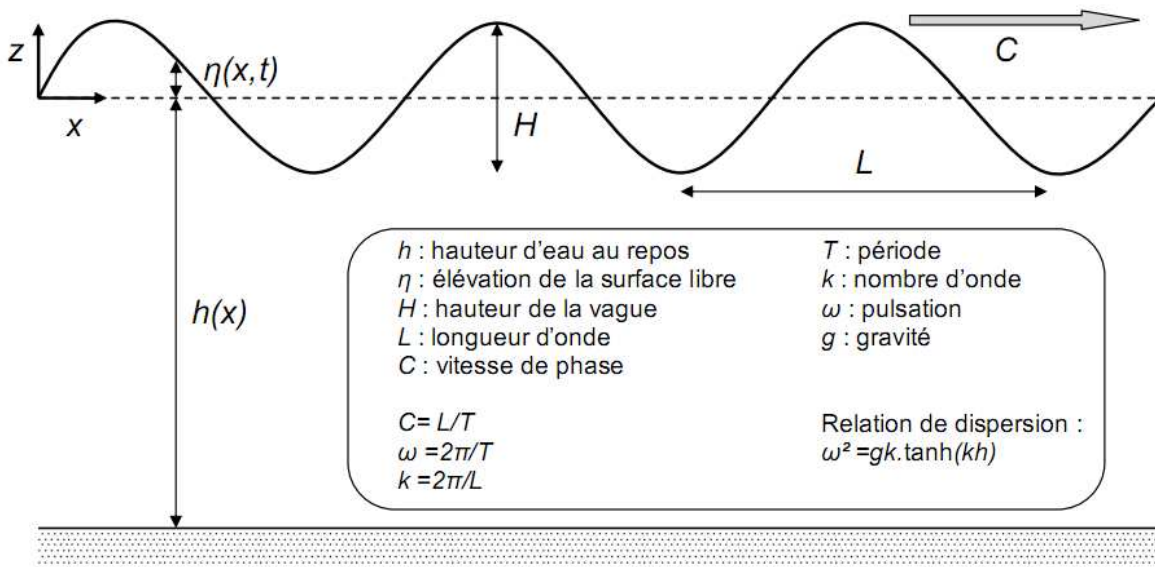


Fig. n°04: Caractéristiques de la vague.

Dans la pratique la description des vagues fait référence à un quantile de leur hauteur et de leur période. Ainsi sont définis $H_{1/3}$, $H_{1/10}$,...qui représentent la moyenne du tiers supérieur des hauteurs des vagues, le dixième, etc. La hauteur dite significative, notée H_s , peut être calculée par $H_{1/3}$ ou estimée à partir d'une caractérisation énergétique des hauteurs de vagues.

Les vagues sont généralement classées en fonction de leur période. On distingue ainsi les ondes courtes, ou capillaires (de l'ordre de la seconde), gravitaires (période comprise entre la seconde et la dizaine de seconde), infragravitaires (période de l'ordre de 20 secondes à la minute) et les ondes dites de longues périodes (seiches et tsunamis).

Lorsque la vague aborde la côte, elle subit des modifications qui sont en rapport avec sa hauteur, sa direction de propagation et sa cambrure. Ces changements d'état se traduisent par :

1. Le shoaling :

C'est le phénomène de gonflement de la houle, appelé aussi le phénomène de levée. Il survient lorsque la houle du large aborde des profondeurs inférieures à la moitié de sa longueur d'onde, sa hauteur diminue progressivement dans un premier temps, passe par un minimum (91% de la hauteur au large pour une profondeur égale à 15% de sa longueur d'onde au large), la diminution est estimée à 8.7%. Puis augmente rapidement et dépasse la hauteur au large pour des profondeurs faibles (moins de 5% de la longueur d'onde au large). Quant aux orbites décrites par les particules d'eau sous l'effet de la houle, ne se referment plus à l'interface eau/sédiment. Par contre la longueur d'onde et la vitesse de phase diminuent du large vers la côte.

2. La réfraction :

Quand les fonds remontent ($d < L/2$), la direction de propagation de la houle tend à s'orienter suivant la ligne de plus grande pente. Les crêtes des vagues ont tendance à se disposer parallèlement aux isobathes. Dans les baies, la houle s'épanouit (réfraction divergente) ; il se produit un étalement spatial de l'énergie qui conduit à une diminution des hauteurs : les baies présentent une agitation plus faible qu'au large. En revanche, les caps attirent les vagues (réfraction convergence), il s'y produit une concentration d'énergie, raison pour laquelle les vagues sont plus spectaculaires aux caps.

3. La réflexion :

Lorsque la houle rencontre perpendiculairement un obstacle vertical plein (parement d'une digue ou falaise), elle est réfléchi : une onde de hauteur identique va se propager vers le large. La superposition des deux ondes forme un clapotis. Si la houle rencontre un obstacle avec une certaine incidence, des houles gaufrées vont se former en avant de l'obstacle. Il peut aussi se produire des réflexions partielles, comme sur les plages ou les perrés : la hauteur de la houle renvoyée vers le large n'est alors qu'une partie de celle de la houle incidente. Une partie de l'énergie de la houle est dissipée, l'autre est réfléchi. Une plage ou un perré seront d'autant plus réfléchissant qu'ils seront pentus et étanches.

4. La diffraction :

La houle se diffracte lorsqu'elle ne se propage plus en ligne droite par profondeur constante. On observe de la diffraction autour des musoirs de digue ou de brise-lames : à l'abri de ces ouvrages, il existe une certaine agitation qui peut s'interpréter comme un transfert d'énergie des zones les plus agitées vers les zones abritées. La diffraction est d'autant plus marquée que la période de la houle est forte : une digue protégera mieux un plan d'eau des clapots que des houles océaniques.

5. Le déferlement :

Au fur et à mesure que les vagues se rapprochent de la côte, la profondeur diminue ; le mouvement des particules d'eau devient plus elliptique ; la célérité et la longueur d'onde diminuent avec la profondeur d'eau, alors que la hauteur des vagues augmente, dans ce cas il s'agit du déferlement bathymétrique. Ces modifications aboutissent à une exagération de la cambrure, qui s'exprime par le rapport (H/L) , et à un profil des vagues de plus en plus dissymétrique.

Nous distinguons également le déferlement en eau profonde, appelé moutonnement, est lié à l'influence du vent qui pousse sur les crêtes des vagues et leur fournit de l'énergie et augmente ainsi leur cambrure qui atteint une valeur de 0.143. Ce phénomène n'est pas dû au frottement sur le fond.

La vague déferle sous différentes formes en fonction de leurs caractéristiques morphométriques au moment du déferlement et de la pente de la plage. Galvin (1968) a utilisé les nombres d'Iribaren ξ_0 et ξ_d respectivement au large et au point de déferlement pour décrire les différents types de déferlement. ξ_0 et ξ_d sont donnés par :

$$\xi_0 = \tan \beta / \sqrt{H_0/\lambda_0} \quad \text{et} \quad \xi_d = \tan \beta / \sqrt{H_d/\lambda_d}$$

Où $\tan \beta$ est la pente locale du fond, H_0 la hauteur de la houle au large, λ_0 la longueur d'onde de la houle au large et H_d la hauteur des vagues au point de déferlement.

A partir de l'étude de Galvin (1968), il est possible de classer les différents types de déferlement :

Tableau n°2 : Les types de déferlement en fonction des nombres d'Iribaren, d'après Galvin (1968).

Le type de déferlement :	ξ_0	ξ_d
Glissant (<i>Spilling breakers</i>)	$\xi_0 < 0.5$	$\xi_d < 0.4$
Plongeant (<i>plunging brekers</i>)	$0.5 < \xi_0 < 3.3$	$0.4 < \xi_d < 2$
Frontal ou à gonflement (<i>Surging breakers</i>)	$3.3 < \xi_0$	$2 < \xi_d < 4$

1. Le *déferlement glissant* est favorisé par les houles courtes et les pentes faibles. L'instabilité se crée sur la face avant de la crête. Elle se concrétise par un panache d'eau et de bulles d'air glissant sur la pente, la hauteur de la houle diminue rapidement.

2. Le *déferlement plongeant* est favorisé par la présence d'une houle longue et d'une pente douce (de l'ordre de quelques %). Il se traduit par une déstabilisation rapide de la vague et par une projection d'une lèvre d'eau conséquente au-devant de la vague. L'impact du jet sur la surface libre crée une éclaboussure ou jet secondaire "Splash-up" qui engendre souvent la mise en suspension d'une importante quantité de sédiment.
3. Le *déferlement frontal* débute à la manière du déferlement plongeant, mais c'est par la base de son profil que l'onde s'affaisse. C'est-à-dire que ce n'est plus la crête qui est instable, mais le pied de la vague qui remonte la pente provoquant la disparition progressive de la crête.

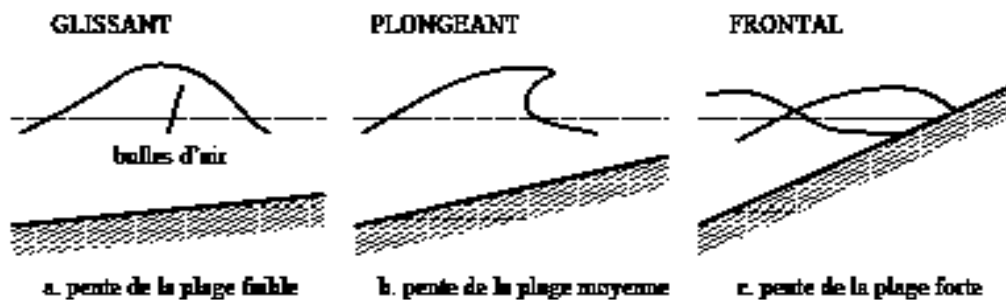


Fig.n°05 : Les différents types de déferlement (d'après Fredsoe et Deigaard, 1994)

8.2. Les courants :

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

- Courants locaux liés à la houle :

Avant leur déferlement, mais dès qu'elles sont influencées par les fonds marins (lorsque $d < L/2$), les vagues induisent des mouvements d'eau capables de déplacer les sédiments.

En effet, à l'approche de la côte, les particules d'eau suivent des trajectoires de plus en plus elliptiques, dont l'amplitude décroît avec la profondeur d'eau. Au voisinage du fond, ces mouvements se transforment en courants qui entraînent l'oscillation des sédiments si les vitesses sont suffisantes. Il existe donc des courants sous les creux et les crêtes de chaque vague.

Le transport des sédiments est suivant le sens de propagation de la houle. Selon la pente des fonds, le transport résultant pourra alors être dirigé plus ou moins intensément vers la côte, parfois même vers le large.

■ Les principaux courants induits par la houle :

a. Le courant de retour :

Le courant de retour (ou "undertow"), aussi appelé courant de compensation, est présent sur toutes les côtes exposées aux houles. En milieu côtier la houle transporte de l'eau dans sa direction de propagation. Cela est particulièrement vrai dans la zone de déferlement. Le courant de retour permet donc de compenser cet apport de masse en transportant les masses d'eau vers le large.

La distribution du courant de retour sur la verticale n'est pas homogène, la vitesse maximale étant située vers le fond.

Ce courant est responsable d'un fort transport sédimentaire vers le large et de la migration de barres pendant les épisodes de tempête.

b. Le courant de dérive ou courant "longshore" :

Le courant de dérive ou courant longitudinal est dû aux vagues générées au large et qui arrivent proche des côtes avec un sens de propagation présentant un angle par rapport au rivage. Un courant de houle prend naissance dans la zone de déferlement et se dirige parallèlement au rivage, avec une vitesse de l'ordre du mètre par seconde. Ce courant assure un important transport sédimentaire le long de la plage, appelé « dérive littorale ». En raison de la vigueur des courants et des volumes de sédiments susceptibles d'être transportés, de nombreux auteurs parlent de fleuves littoraux pour décrire les courants longitudinaux.

Dans le cas de l'existence d'ouvrages maritimes (digues, ports, épis) le long de la côte, le transit sédimentaire sera perturbé, accumulation de sédiments à l'amont et érosion de la plage à l'aval.

c. Le courant d'arrachement ou sagittal ou "rip-current" :

Le courant sagittal est courant violent, intense et étroit dirigé vers le large, qui est observé sur de nombreuses plages.

Ces courants de retour peuvent affecter une grande partie des plages ou être localisés en des points privilégiés (notamment là où la hauteur des vagues est la plus faible) ; ils sont alors appelés rip-currents. S'étendent vers le large sur plusieurs centaines de mètres, ils sont parfois très puissants (vitesse de plusieurs mètres par secondes).

Deux facteurs permettent de les identifier : d'une part, ils sont matérialisés par les sédiments fins qu'ils ont mis en suspension et, d'autre part, ils provoquent la déchirure de la ligne de déferlement à l'endroit où ils passent.

8.3. Les courants de marée :

Les oscillations du niveau des mers et des océans qu'entraîne la marée s'accompagne de mouvements horizontaux de masses d'eau appelés courants de marée. Les courants induits par la marée sont fondamentaux. L'originalité de ces courants qui affectent l'ensemble de la masse d'eau (avec malgré tout une lente décroissance des vitesses vers le fond) réside, d'une part, dans leur puissance (atteignant parfois 12 nœuds, et ayant par conséquent une forte influence sur le relief sous-marin) et, d'autre part, dans leur réversibilité.

Conclusion :

Ce premier chapitre a permis de décrire les principaux processus hydro-sédimentaires sur les plages sableuses. La figure 06 résume tous ces processus.

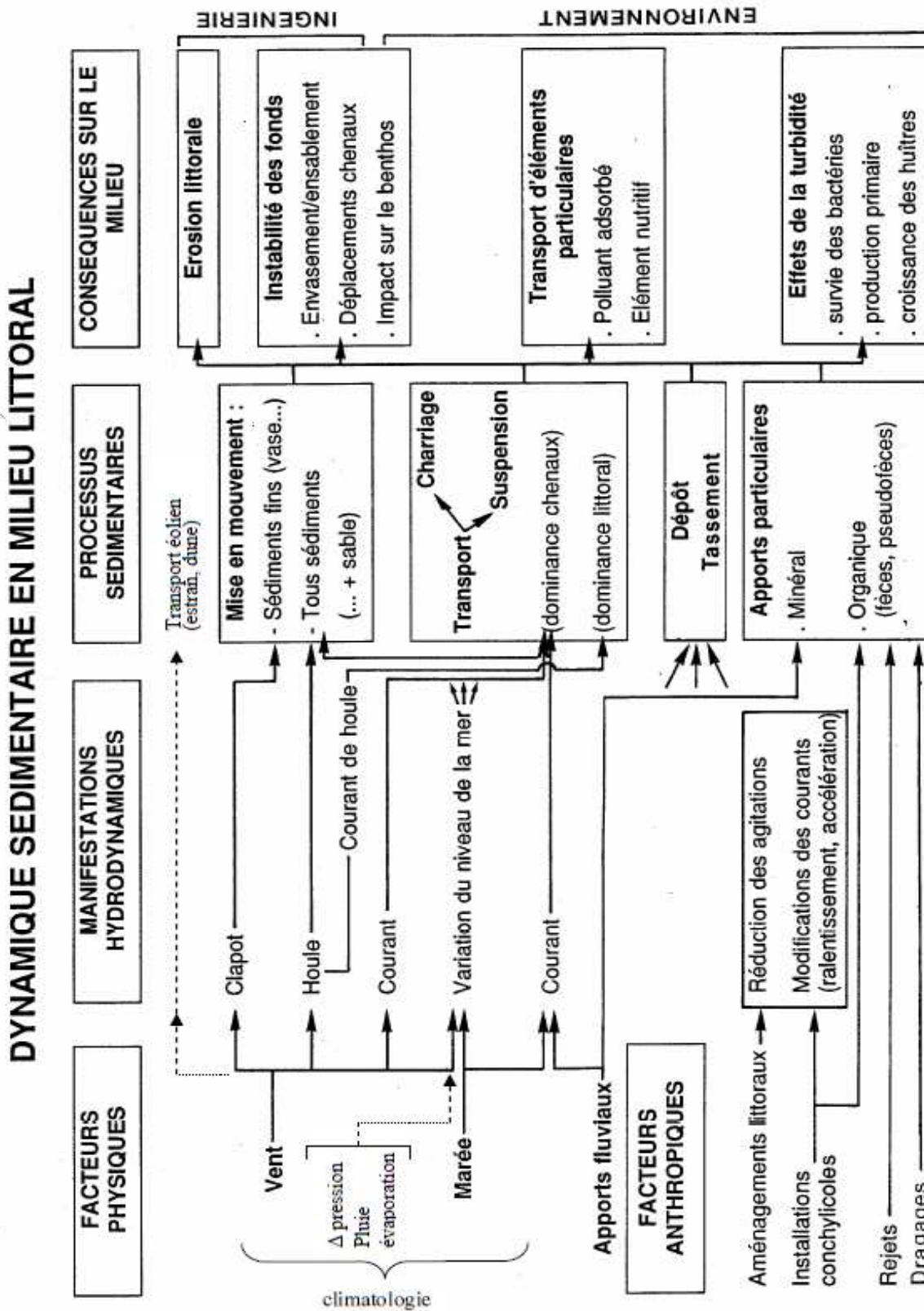


Fig.n°06 : Schéma récapitulatif de la dynamique sédimentaire

Chapitre II :
PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Introduction :

Ce chapitre porte sur le contexte général de notre zone d'étude, qui est la partie Est du littoral de Béjaïa. En premier lieu, nous abordons la situation géographique, ensuite nous passons aux différents contextes topographique, géologique, géomorphologique et hydrographique. L'environnement côtier est gouverné par des indicateurs bioclimatiques tels que les vents, les précipitations ainsi que les facteurs hydrodynamiques, qui sont exposés dans ce chapitre. Enfin, nous concluons par le point portant sur l'occupation des sols et l'anthropisation de la côte.

Appelée Bougie sous l'occupation française – ce qui signifie chandelle - la wilaya de Béjaïa est une wilaya côtière disposant d'un patrimoine riche et diversifié, représenté par des sites naturelles et des vestiges historiques millénaires.

1. La situation géographique de la zone d'étude :

La wilaya de Béjaïa « V'gayeth », est une région côtière du Nord-Est de l'Algérie comprise entre les parallèles 36°43' de latitude Nord et les méridiens 4°55' de longitude Est. Elle est distante de 250 km d'Alger avec une superficie de 3261.26 km², bornée par : la wilaya de Jijel à l'Est, les wilayas de Bouira et Tizi-Ouzou à l'Ouest, les wilayas de Bordj Bou-Arredj et Sétif au Sud et la mer Méditerranée au Nord. Elle est d'une frange littorale qui s'étend sur plus de 110km, soit 10% du littoral Algérien.

La baie de Béjaïa se localise à l'Est de la ville, elle est comprise entre deux massifs d'âge et de nature différents : Le cap Carbon à l'Ouest et le massif d'El Aouana à l'Est, sa limite méridionale est presque totalement bordée par la chaîne montagneuse des Babors.

Notre zone d'étude est la partie Ouest de cette baie qui s'étend sur un linéaire estimé à environ une trentaine de kilomètres.

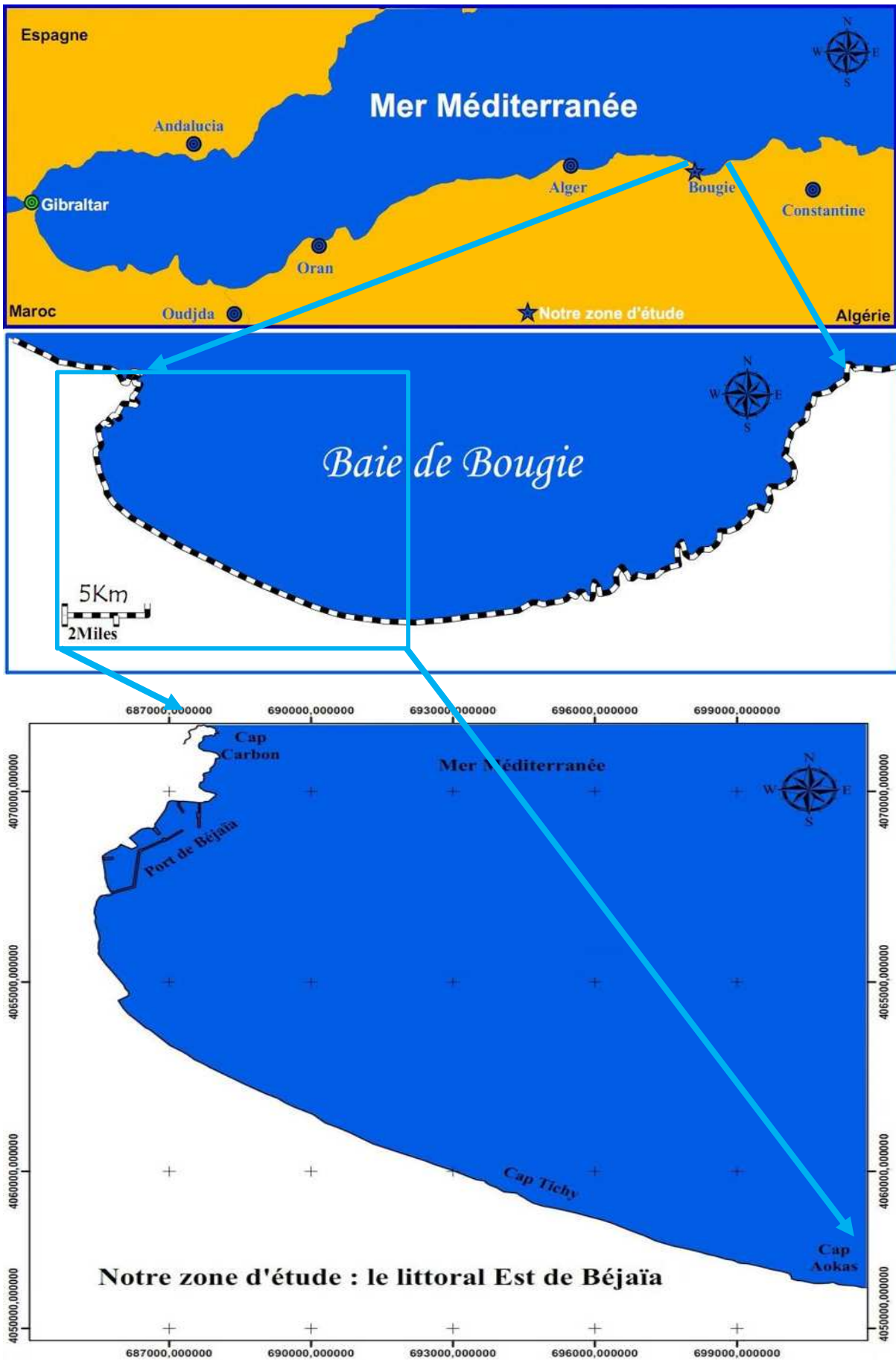


Fig. n°07 : Localisation de la zone d'étude

2. L'analyse topographique :

L'analyse de la carte topographique de Béjaïa -Est au 1/50000 ci-dessous et les sorties menées sur terrain nous ont permis de déduire qu'il s'agit bien d'une zone tellienne, marquée par la prédominance de la montagne. Néanmoins, d'autres formes topographiques existent, en l'occurrence la vallée de la Soummam et la zone côtière.

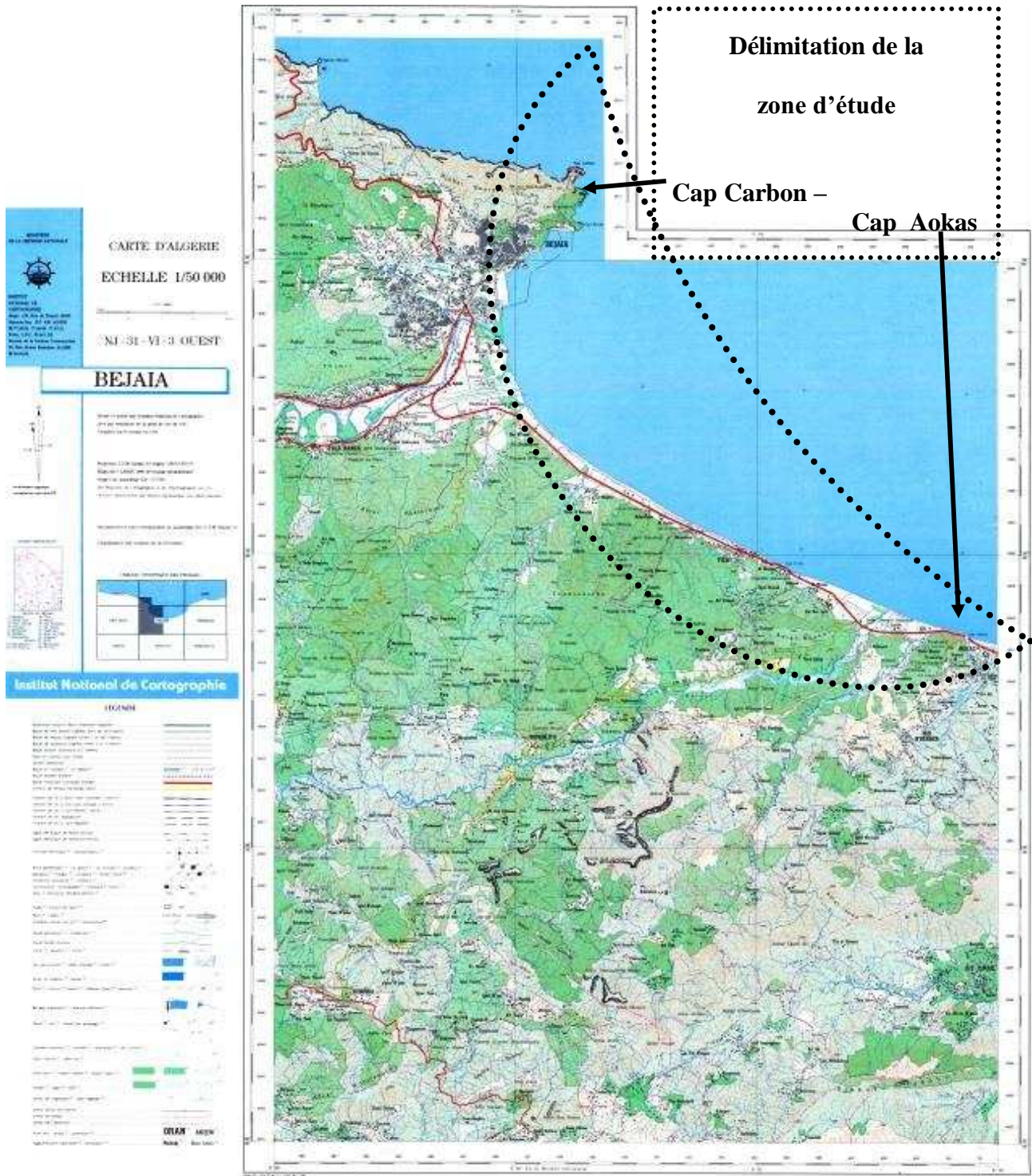


Fig.08. Carte topographique de Béjaïa -Est au 1/50000, INCT

2.1- La zone de montagne :

C'est la zone la plus dominante de la wilaya, elle représente environ (3/4) des reliefs existants ayant des pentes excédant 25% ; Les altitudes relevées dans cette zone sont comprises entre (240m et 672m) par suite nous distinguons d'Ouest en Est les monts suivants :

- Djebel Gouraya avec une altitude de 660m.
- Djebel S'Bou Draham avec une altitude de 499m.
- Djebel Akinntouth avec un pic de 499m.

Une ligne de crête orientée d'Est en Ouest relie trois monts (Adrar Hamou 636 m, Adrar n'Zaka 592 m et Adrar Oukal 630m).

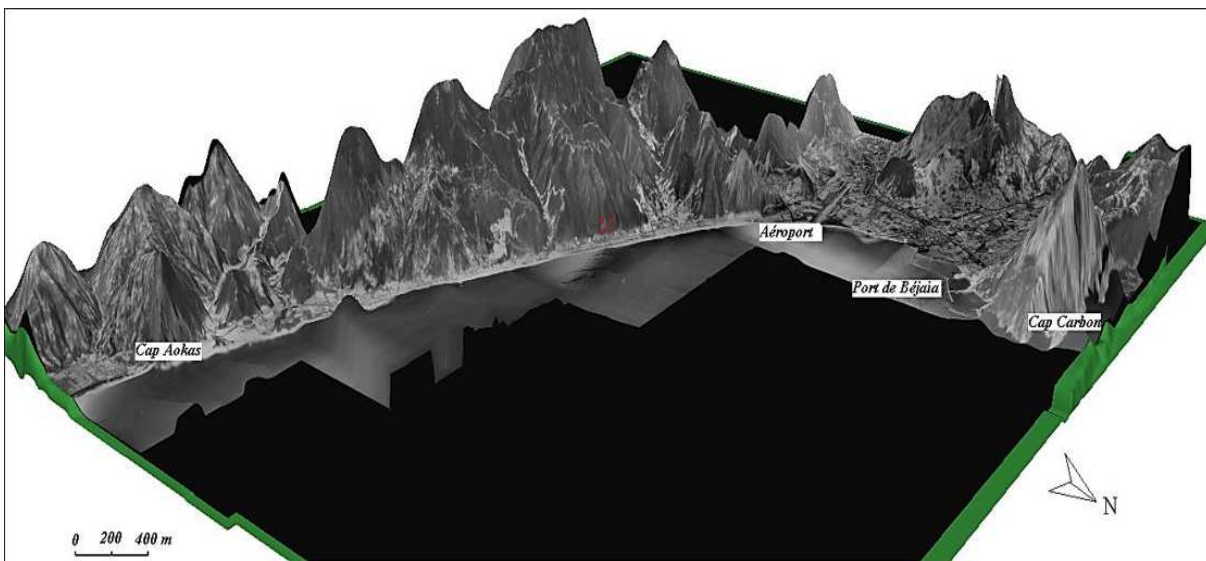


Fig.n°09: Modèle Numérique de Terrain (M.N.T) du littoral Est de Béjaïa, exagéré à 5 fois (DJOUDER et SMAOUN, 2011).

2.2- La vallée de la Soummam :

La vallée de la Soummam est enserrée entre deux massifs montagneux, les Babors au Sud et Akfadou-Gouraya au Nord lui conférant ainsi une orientation générale de direction Sud-Ouest/Nord-Est. Elle se caractérise par des reliefs à pente douce de 2,5%, résultant des dépôts quaternaires et formant en générale des terrasses. L'accumulation des alluvions peut évoluer en plusieurs types de terrasses (haute terrasse, moyenne terrasse et basse terrasse).

Les versants délimitant cette vallée sont longs, assez réguliers avec de faibles pentes et des replats dominés par les massifs calcaires.

Le versant Nord présente un étagement allant de 200 m à Allayhane jusqu'à 1884 m à Azroun'tour. Il est fermé par la terminaison orientale du massif cristallin de la grande Kabylie et la chaîne calcaire du Djurdjura.

Le versant Sud est formé par des monts moins importants, culminants à 100 m pour la plupart, où dominent les replats assez rudes.

La haute vallée de la Soummam présente des conditions non favorables avec une forte tendance à l'aridité des crues.

La basse vallée de la Soummam et la plaine côtière (Tichy jusqu'à Souk el Ténine) se composent de terrasses alluviales constituées pour l'essentiel de limons.

2.3- La zone côtière :

La zone côtière est constituée par des plaines (à partir de la rive droite de l'oued Soummam) et elle est bordée dans son extrémité Nord par une frange littorale divisée en deux : la frange littorale Ouest et la frange littorale Est.

La frange littorale Ouest s'étend de l'Ouest immédiat du Cap Carbon jusqu'aux frontières d'Azzefoun. C'est une côte rocheuse qui se caractérise par son aspect accidenté et escarpé.

La frange littorale Est, qui nous intéresse en partie, s'étend à partir de la rive droite de l'oued Soummam à l'Ouest au Kef de Ziama à l'Est. Cette zone se caractérise par une plage sableuse qui est surplombée par une zone montagneuse dont les altitudes moyennes excèdent les 200 mètres. Le contact se fait par des versants courts, abrupts et entrecoupés par des vallées plus ou moins larges, dont les altitudes varient entre 2 et 4 mètres.

3. Le contexte géologique :

3. 1- Le cadre géologique général :

Le pourtour du bassin de la méditerranée occidentale est constitué par des chaînes montagneuses résultantes de l'Orogenèse tertiaire (Eocène à Miocène) du cycle alpin. Ces chaînes forment deux segments, grossièrement parallèles, enserrant le bassin Algéro-Baléare.

Au Nord, on trouve les chaînes Bétiques et au Sud celle des Maghrébides qui se prolonge jusqu'en Sicile. Ces deux ensembles se raccordent par l'arc de Gibraltar.

3.1.1- Les Maghrébides :

La chaîne des Maghrébides s'étend de l'Est à l'Ouest, sur le pourtour méditerranéen et forme les plus hauts reliefs côtiers. Schématiquement parlant, elle peut-être subdivisée du Nord au Sud en deux grands domaines structuraux et paléogéographiques.

3.1.2- Les zones internes :

Les zones internes sont représentées en Algérie par les massifs de Ténès, de Chenoua, d'Alger, de petite et de grande Kabylie et de l'Eddough. Dans ces zones, on distingue respectivement : le Socle cristallin (métamorphique), le paléozoïque non métamorphique et enfin la dorsale Kabyle ou chaîne calcaire.

Cet ensemble chevauche les zones externes par l'intermédiaire d'unités de flyschs dont l'origine et la mise en place sont encore discutées et au sein desquelles on distingue le flysch massylien à matériel crétacé, le flysch maurétanien à matériel crétacé à éocène et le flysch numidien d'âge Paléogène.

Les zones internes des Maghrébides disparaissent à l'Est immédiat du Djebel Gouraya et laissent place au domaine des Babors (zones externes), qui bordent sur une grande partie le golfe de Béjaïa.

3.1.3- Les zones externes :

Appelées aussi domaine tellien, les zones externes sont formées essentiellement de terrains d'âge Mésozoïque et Cénozoïque très épais, plissés, parfois schistosés et métamorphisés. Ces terrains ont été charriés sous forme de nappes au cours de l'orogénèse alpine.

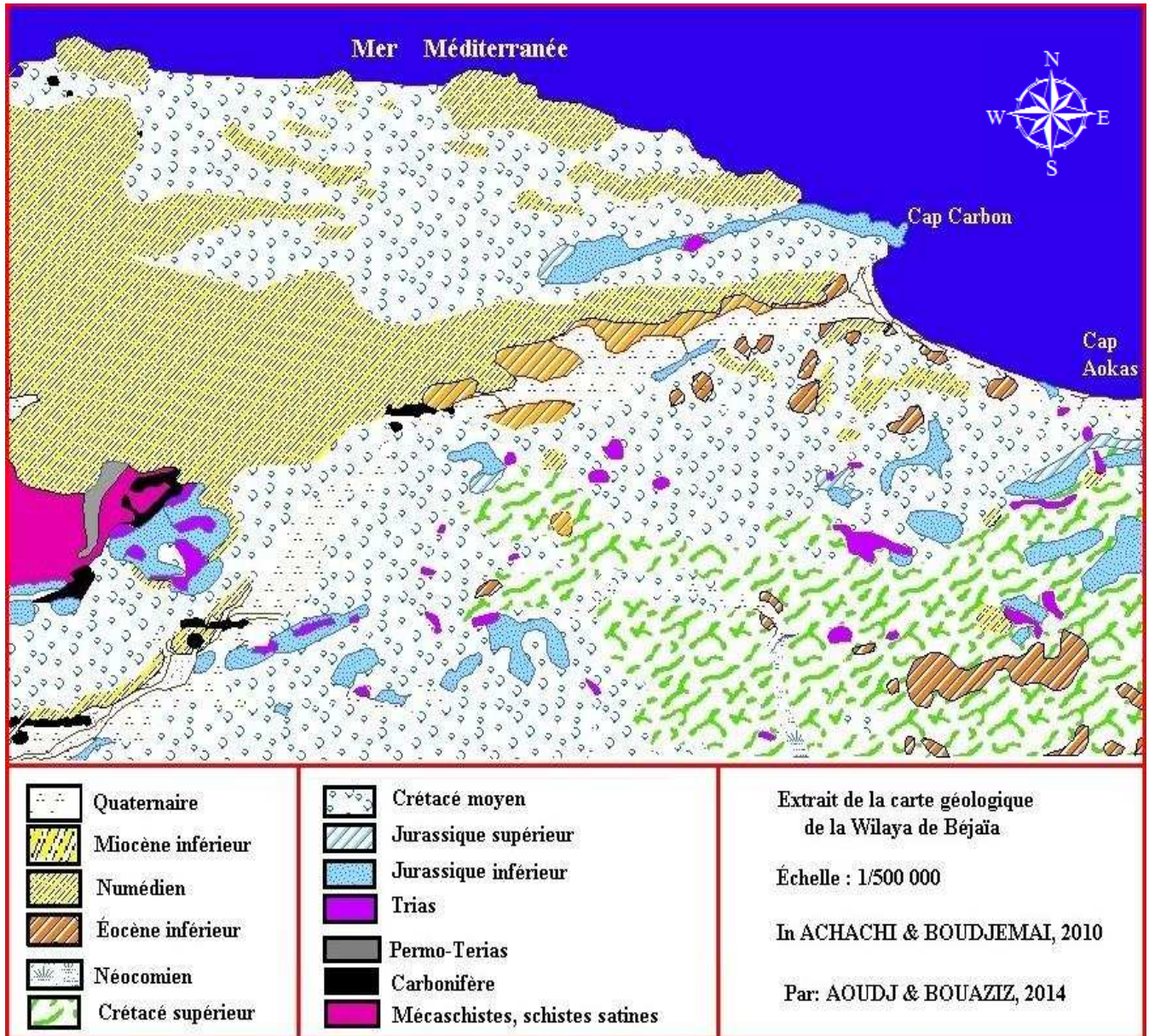


Fig.n°10 : Carte géologique de la wilaya de Béjaïa

3.2- Stratigraphie et lithologie des terrains :

3.2.1- La Stratigraphie :

3.2.1.1- Le Trias :

Il est constitué par des faciès argilo-évaporitiques et dolomitiques, on le trouve en écailles ou sous- forme de Diapirs (Trias de Souk el Ténine). Plusieurs auteurs signalent sa présence aux environs du chaînon Gouraya-Arbalou. L. Duplan, la cartographie, en intrusion le long de l'accident de l'Arbalou ainsi qu'à l'extrémité orientale du Djebel Arbalou.

Hassissene Mourad (1989), indique que, dans la région de Béjaïa, le Trias n'apparaît pas. Les affleurements triasiques cartographiés auparavant correspondent aux dolomies liasiques teintées en rouge violacé.

3.2.1.2- Le Jurassique :

Il est essentiellement constitué de formations calcaires et dolomitiques qui peuvent atteindre 1500 m d'épaisseur et forment ainsi d'importantes masses disposées en chaînons, de directions WSW-ENE. Les montagnes de Boukhelifa– Aokas présentent des appointements culminants de calcaires, des séries marno-calcaires et des flyschs, profondément entaillés par les cours d'eau.

3.2.1.3- Le Crétacé :

Les dépôts d'âge Crétacé affleurent dans les Babors occidentaux et se répartissent en deux ensembles lithologiques : les formations pélitiques et marneuses appelées « faciès tellien » et les formations schisto-gréseuses.

3.2.1.4- Le Tertiaire :

Le Tertiaire marin n'apparaît dans les Babors *sensu-stricto* qu'à partir du Burdigalien supérieur. Il est composé de dépôts extrêmement détritiques dont le contenu faunistique traduit un caractère le plus souvent littoral.

3.2.2- Lithologie des plaines alluviales :

La vallée de la Soummam se compose de basses terrasses alluviales qui sont constituées pour l'essentiel de limons, de sables et de plusieurs niveaux argileux inondables en période de crues. Les plaines côtières sont formées d'alluvions peu argileuses comprenant des sables, des graviers et des galets.

3.3. Activité sismique actuelle :

En effet, l'Algérie du Nord a connu plusieurs séismes historiques, dont certains étaient désastreux (1716, 1825, 1856, 1954, 1980 et 2003), vers 1847, A. Perry publia la première note sur les séismes en Algérie.

Pour sa part, la région de Béjaïa n'a jamais subit de séismes de forte intensité variant de 4,2 et 5,8 sur l'échelle de Richter, mais la sismicité y est intense. La plus forte activité est enregistrée au Nord à savoir : les frontières du Djurdjura et les Babors (surtout avec les séismes de Kherrata).

Entre 1862 et 1912, plusieurs secousses d'une intensité avoisinant 6 jusqu'à 7 sur l'échelle de Mercalli ont été recensées dans la région de Kherrata et Rothé (1950) donne une liste de 139 secousses pour la période (1919, 1938).

À partir de 1949 jusqu'à 1992, seulement 24 secousses d'une intensité comprise entre 3 et 7 ont été recensées toujours dans la même zone.

D'autres points ont été touchés dans la région de Béjaïa comme Seddouk (1954 et 1978), Tazmalt (1964), Djurdjura deux fois (1965), Sidi Aich (1975), Amizour (1981), Darguina (1977), Souk el Ténine (1982) et Béjaïa (1977 et 1981).

Il est à noter que plusieurs de ces séismes ont eu lieu en mer, ce qui laisse penser que les failles actives qui apparaissent à l'intérieur du pays ont probablement un prolongement en mer.

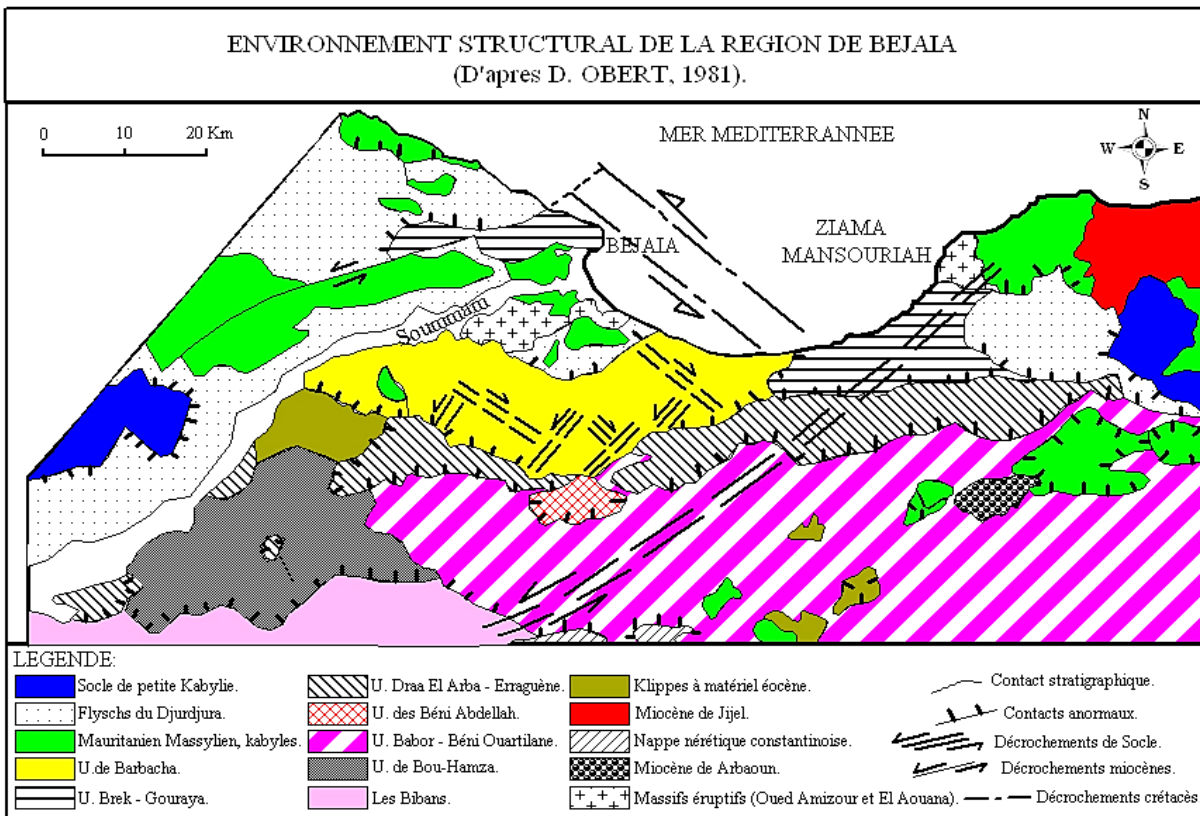


Fig.n°11 : Environnement structural de la région de Béjaïa.

4. Le contexte géomorphologique :

La géomorphologie est une discipline qui a pour objet l'étude, la description et l'explication des formes du relief terrestre, et les processus qui interviennent, spécialement ceux qui entraînent l'érosion, le transport et le dépôt des sédiments.

Quant à la géomorphologie côtière, elle vise à étudier la morphologie de la zone côtière et les processus qui entrent en jeu tels que les vagues, les courants et la marée et façonnent la côte.

Les formes côtières s'expriment par l'existence de grandes et belles plages ouvertes, notamment autour de l'embouchure de l'oued Soummam. Elles se traduisent aussi, par la présence de falaises plus ou moins élevées, soumises par vocation à l'érosion marine, participant ainsi à l'alimentation des plages limitrophes.

Néanmoins, le littoral de Béjaïa souffre d'une forte érosion de ses plages, notamment la plage de Sidi Ali Lebhar. La cause principale de cette perte excessive en sédiment revient à la construction de la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaïa sur le bord de mer.

4.1. Les plages :

Ces zones basses d'accumulations sont alimentées principalement par les apports d'origine continentale (sédiments allochtones) ou par les produits de l'érosion côtière (sédiments autochtones).

La zone côtière de Béjaïa est constituée de quatre (4) communes côtières, de l'Ouest vers l'Est : Béjaïa, Boukhlifa, Tichy, Aokas comprenant 16 belles plages.

4.1.1. Commune de Béjaïa :

Au niveau de la commune de Béjaïa, nous recensons une seule plage qui est de nature sableuse : Sidi Ali Lebhar, d'une longueur de 1750 m et d'une largeur moyenne estimée en Aout 2004 à 30 m, et actuellement elle n'existe plus.

La plage de Sidi Ali Lebhar est une plage d'accumulation sous l'influence des vagues de Nord-Est, est alimentée uniquement par l'Oued Soummam.

Ce matériel sédimentaire va être distribué le long de la plage par le courant de dérive.

Nous avons également constaté la présence de revêtement qui sert à protéger l'arrière-pays de la remontée de l'eau.

Du côté Est de la plage, il y a présence d'une batterie d'épis, ils sont au nombre de 3 ; un qui est à l'extrémité Est de la plage en forme de L et les 2 autres en forme de T. Ils servent à protéger la plage de l'érosion et la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaïa.



Photo n°01 : Embouchure de l'Oued Soummam au niveau de la plage de Sidi Ali



Photo n°02 : Protection en enrochements naturels de la plage de



Photo n°03 : Les épis en forme de T et de L

4.1.2. Commune de Boukhelifa:

Cette commune contient 4 plages : Club Hippique, El Maghra, Acharchour et Oued Affalou avec des longueurs respectivement de 2 km, 1.1 km, 2.5 km et 2 km. La nature du sédiment de ces plages est du sable fin à moyen.



Photos n°04 et 05 : Plage El Maghra

4.1.3. Commune de Tichy :

Elle présente 5 plages de sable fin : Hammadites, Tichy stade, Tichy centre, Thassifth et Cité Bensaïd et Taghzouth, ayant des longueurs de 1.33 km, 1.0 km, 1.5 km, 800 m et 1.0 km.



Photo n°06 : Plages Bensaïd et Taghzouth



Photo n°07 : Plage de Tichy

4.1.4. Commune d'Aokas :

De même la commune d'Aokas contient 6 plages : Oued Zitouna, Grottes Féériques, Aokas centre, Sidi Rihane, Sahel et Tablout. Leurs longueurs sont comme suit : 1.0 km, 600 m, 1.2 km, 1.0 km, 800 m et 900 m.



Photo n°08 : Plage Tablout

4.2. Les côtes rocheuses :

Deux types de falaises peuvent être mises en évidence : les falaises développées dans des roches dures et celles développées dans des roches tendres. Elles sont toutes les deux vives et constamment érodées, caractérisées par une dénivelée plus ou moins importante variant de 5 à 6 m environ et un talus sinueux.

4.2.1. Les falaises entaillées dans de la roche dure:

Au niveau d'Aokas, existe une falaise développée dans des formations dures, elle est constituée de bas en haut d'un :

- Substratum calcaire ;
- Dépôt de poudingue constitué de galets sub-aplatés et de sable coquillé fortement consolidé. L'épaisseur de ce dépôt est de 2 m en moyenne ;
- Dépôt calcaire, d'une épaisseur moins importante de 0,5 m environ ;
- Poudingue de gros blocs cimentés par du calcaire, il est d'une épaisseur de 1,5 m ;
- Dépôt de 1 m constitué de galets sub-aplatés, de graviers et de sables très consolidés ;
- Sol peu évolué de 20 cm d'épaisseur, de texture limono-argileuse et de quelques galets. Ce sol forme la couche supérieure de la falaise.



Photo 9 : Falaise entaillée dans de la roche dure, cas de Cap Aokas

Aux environs, apparaît une falaise morte constituée d'un substratum calcaire surmonté par un poudingue de gros blocs associés à des graviers et des sables très consolidés. Cette dernière couche est surmontée à son tour par un dépôt de grés consolidés.

4.2.3. Les falaises entaillées dans de la roche tendre:

Elles sont représentées par la falaise de Tichy. Cette dernière est constituée d'un dépôt de colluvions de nature hétérogène, mélangé avec des éléments fins (argile et sable).



Photo 10 : Falaise développée dans des formations tendres recouvertes par des enrochements artificiels type B.C.R, cas du Cap Tichy.

5. Le contexte hydrographique :

La région de Béjaïa est caractérisée par la présence de plusieurs cours d'eau qui drainent les bassins versants adjacents, et se déversent directement en mer, parmi lesquels l'oued Soummam, qui est le plus important de la région, avec un bassin versant de plus de 9125 km² et une

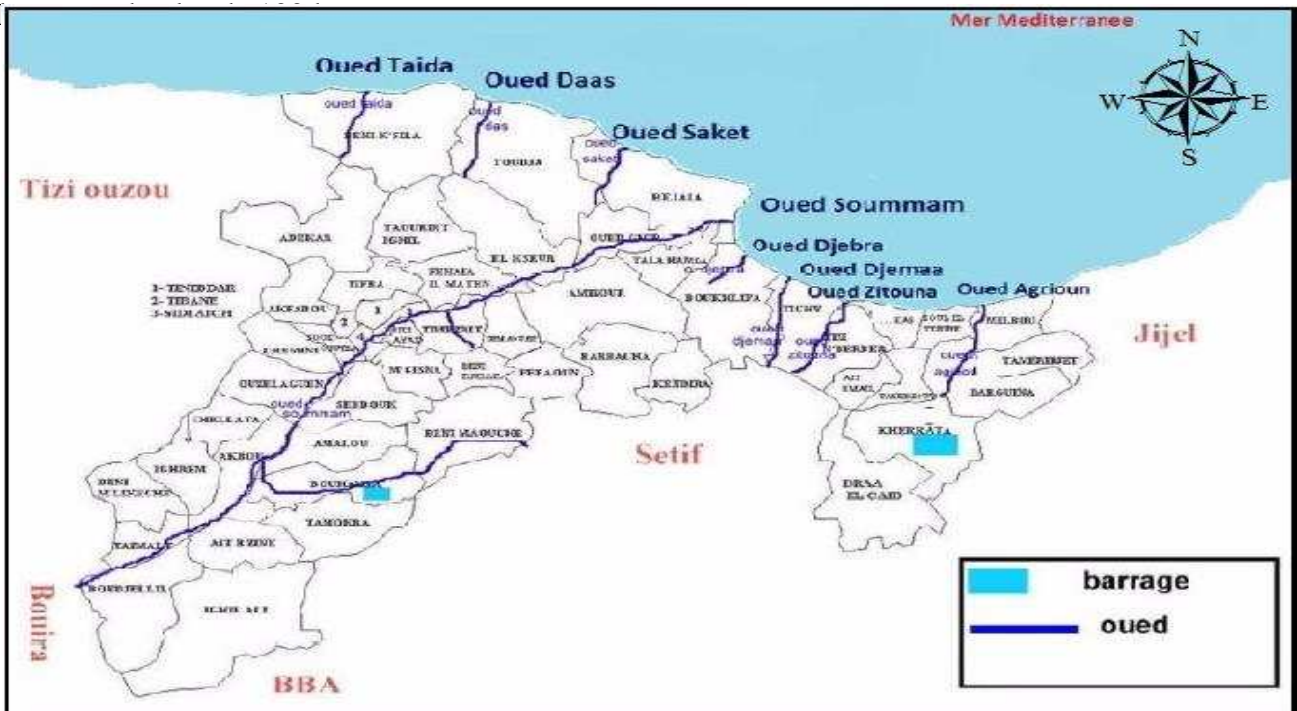


Fig. n°12 : Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013)

Ce bassin versant est discontinu du point de vue écoulement et ruissèlement, ceci est dû essentiellement à 3 facteurs :

- L'irrégularité de la pluviométrie ;
- Variation des perméabilités et des pentes ;
- Diversification du couvert végétal.

Les apports que reçoit l'oued Soummam proviennent principalement des affluents de la rive gauche, avec un total moyen de 68 millions m³/an, et les affluents de la rive droite déversent un total moyen de 25 millions m³/an. Les affluents de la rive gauche étant situés sur des versants plus arrosés en pluies et en neige, leur permettant canaliser un écoulement de surface plus important que celui des versants drainés par les affluents de la rive droite.

5.1. Les débits liquides de l'oued Soummam :

Les apports liquides sont fluctuants d'une année à une autre comme le montre la série de mesures recueillies à la station de Sidi Aïch pour la période 1973- 1993 (Fig. 11). Le maximum des débits liquides est enregistré durant la période allant de 1959-1961 avec un maximum de 115.35 millions de m³/an durant l'année 1959, et un minimum de 2.82 millions m³ /an observé durant l'année 1970 et 1988. Les écarts interannuels varient de 1 à 50 soit de 115 millions m³/an à 2.82 millions de m³/an.

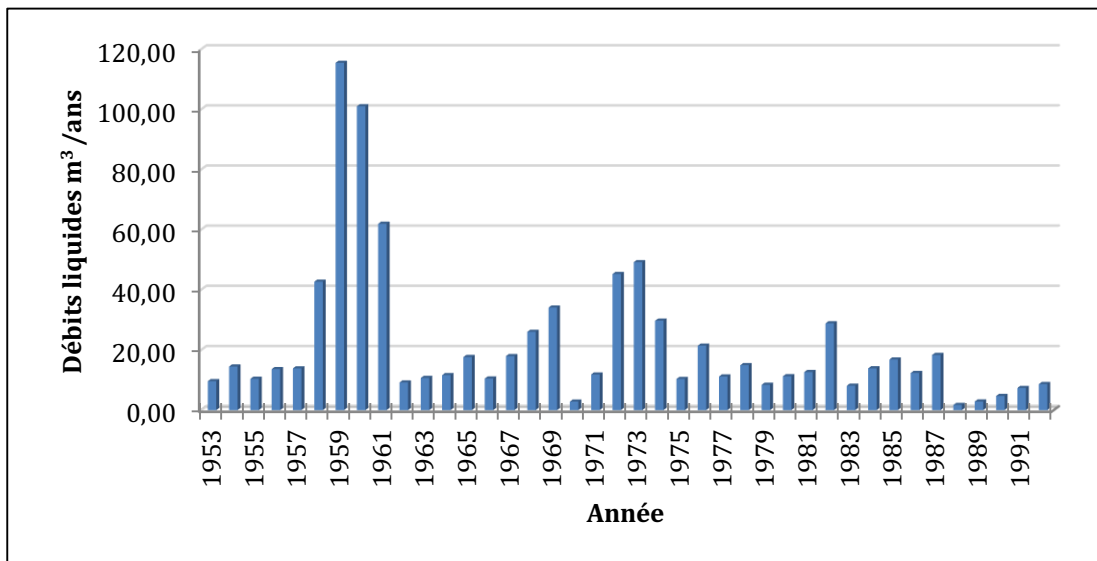


Fig.n°13 : Moyennes annuelles des débits liquides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993.

5.2. Les débits solides de l'oued Soummam :

Les débits solides charriés par l'oued Soummam ont atteint un maximum qui dépasse 6000m³/an durant les deux années 1973 et 1974 (Fig.18) ces valeurs témoignant du rôle que joue les crues fréquentes de l'Oued Soummam et de l'importance de leurs force dans la mobilisation des apports. L'analyse de l'histogramme des moyennes mensuelles des débits solides (Fig. 19) a révélé que les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Mars, Aout et Octobre alors que les plus faibles enregistrements sont observés durant le mois de Juillet (200 m³/s).

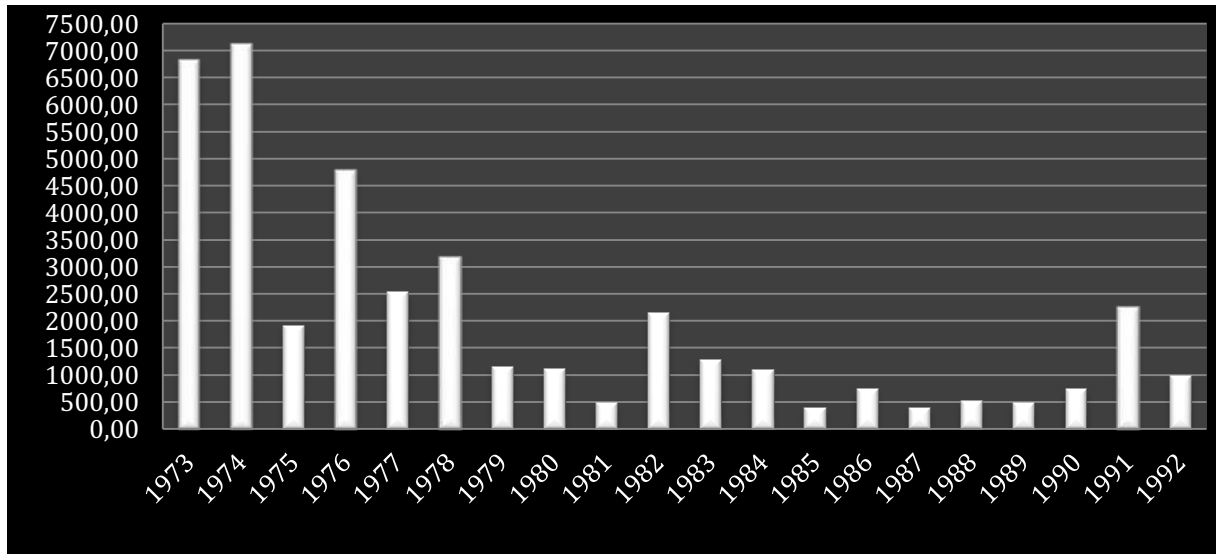


Fig.n°14 : Moyennes annuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993.

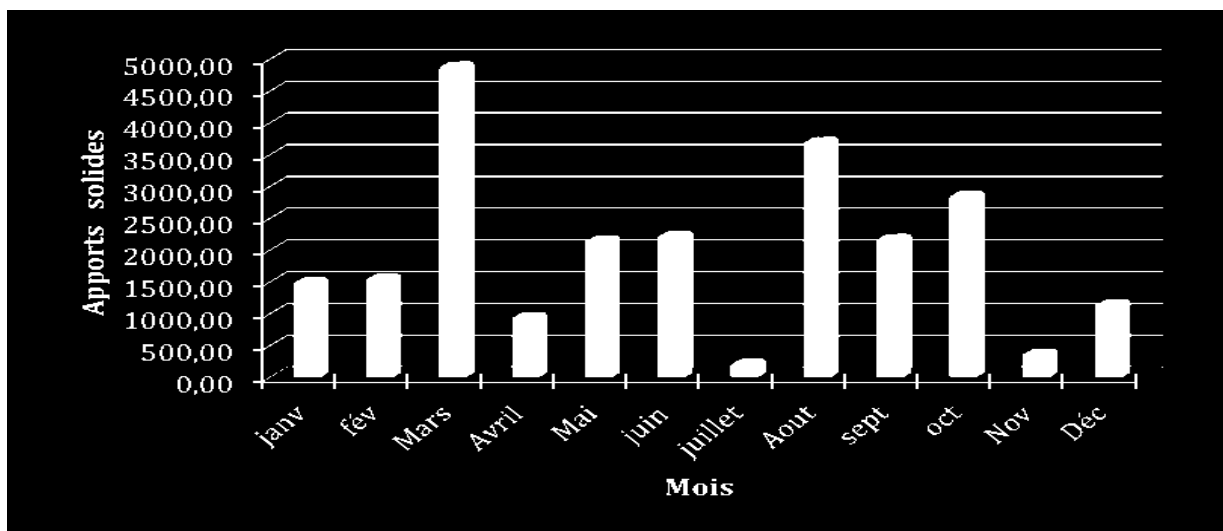


Fig.n°15 : Moyennes mensuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi-Aïch, pour la période 1973-1992.

6. Environnement bioclimatique :

Le climat de la wilaya de Bejaia n'échappe pas au type méditerranéen à hiver tempéré et à été chaud et sec.

Son étendue géographique confère à la région des divers micros climats par la voie des formes du relief et de leurs orientations (les hauts reliefs du Djurdjura, des Babors et des Bibans, la Haute vallée de la Soummam, le versant Sud de la Soummam, et le littoral).

6.1. Les facteurs climatiques :

Le territoire Béjaoui, du Nord au Sud, reçoit des précipitations abondantes, irrégulières et inégalement réparties à la fois dans le temps et dans l'espace, avec un volume et une intensité qui augmentent avec l'altitude et l'exposition.

L'analyse a été faite sur la base des mesures des précipitations et des fréquences des vents enregistrés au niveau de la station de Béjaïa Aéroport (36°43'N 05°04'E « O.N.M »).

6.1.1. Les précipitations :

La répartition mensuelle des précipitations est caractérisée par l'irrégularité de leurs quantités et de leurs intensités, elle est signalée par l'existence de deux périodes ; une période plus arrosée qui s'étale de Septembre à Mai avec un maximum en mois de décembre ; **145 mm**, et l'autre période qui s'étend de Juin à Août, marquée par un déficit pluviométrique observé au mois d'Août avec **(7.9 mm)**.

D'après les résultats (Tableau N°3, Figures 20 et 21), il y a une variation de répartition saisonnière des pluies ,à cette effet le régime saisonnier est de type **HAPE** ,un premier maximum de pluies en hiver ,un premier minimum en été ,un second maximum en automne et un second minimum au printemps .

La station côtière localisée au niveau de l'aéroport de Béjaïa enregistre 755.6 mm de pluie en moyenne annuelle, calculée sur la base de la période allant de 1977 à 2003.

Tableau N°3 : Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1977-2003)

Mois	Jan	Fev	M	Av	M	J	Jt	A	S	O	N	D	Régime saisonnier				Type	Précipitations Annuelles (mm)
													H	P	E	A		
Bejaia	120,6	83,3	54,8	73,1	42,8	11,2	10,2	7,9	54,8	69,2	81,9	145,8	349.7	170.7	29.3	205.9	HAPE	755.6

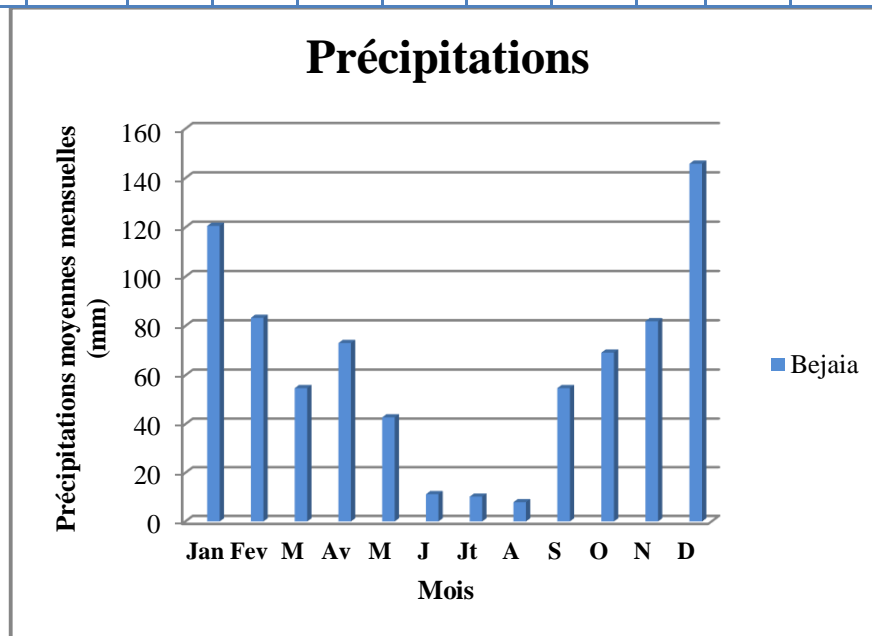


Fig.n°16 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles
Pour la période (1978-2007)

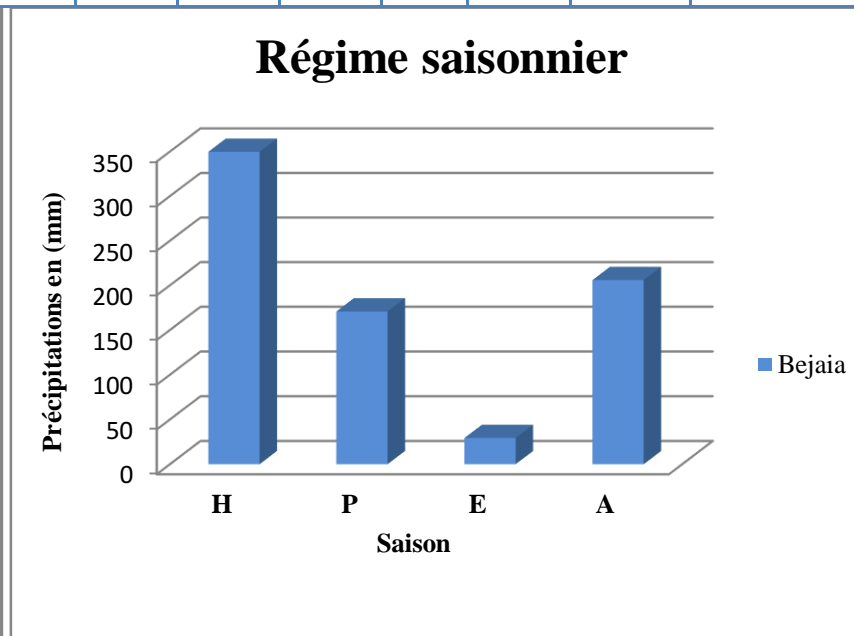


Fig.n°17 : Histogramme du régime saisonnier pour la période
(1978-2007)

L'analyse de l'histogramme des moyennes annuelles des précipitations (Fig.20) montre que le régime pluviométrique se différencie d'une année à l'autre et d'une station à l'autre. Les valeurs élevées des précipitations sont enregistrées au niveau de la station de TIFRA (1300mm) tandis que les faibles valeurs sont enregistrées au niveau de la station de Sidi Aïch, cela revient généralement à la situation géographique de la station et sa proximité de la mer.

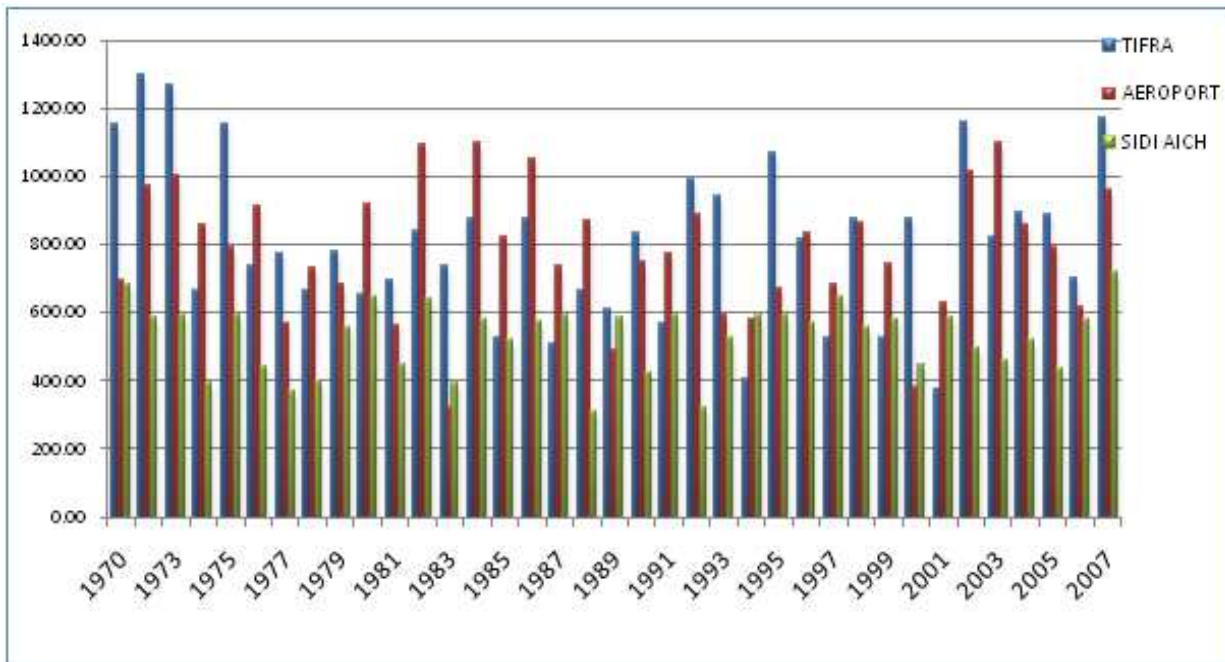


Fig.18 : Moyennes annuelles des précipitations au niveau des stations (Tifra, Béjaïa aéroport et Sidi–Aich) pour la période (1970-2007).

Un autre fait remarquable du climat Béjaoui est la présence de pluies orageuses avec des fréquences très importantes. Ces pluies orageuses sont fréquentes, surtout en automne.

6.1.2. Les températures :

La température est le second facteur constitutif du climat influant l'environnement en général, c'est un élément primordial pour caractériser le climat régional selon plusieurs variables :

6.1.2.1 Les températures moyennes mensuelles :

Les températures enregistrées à la station de l'aéroport de Béjaïa caractérisent un régime thermique de type méditerranéen avec un été chaud et sec, et un hiver doux et humide.

L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral (Fig N°19) présente une période estivale caractérisée par des températures relativement élevées avec **22°C** en Juin, **25°C** pour Juillet et **26°C** au mois d'Août. Quant au mois le plus froid est celui de janvier avec **11.9°C**.

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois d'Aout avec une valeur qui dépasse **30°C**, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Janvier et

qui dépasse 7°C (Fig. n°19), sachant que l'adoucissement des températures est sans doute lié à l'influence maritime.

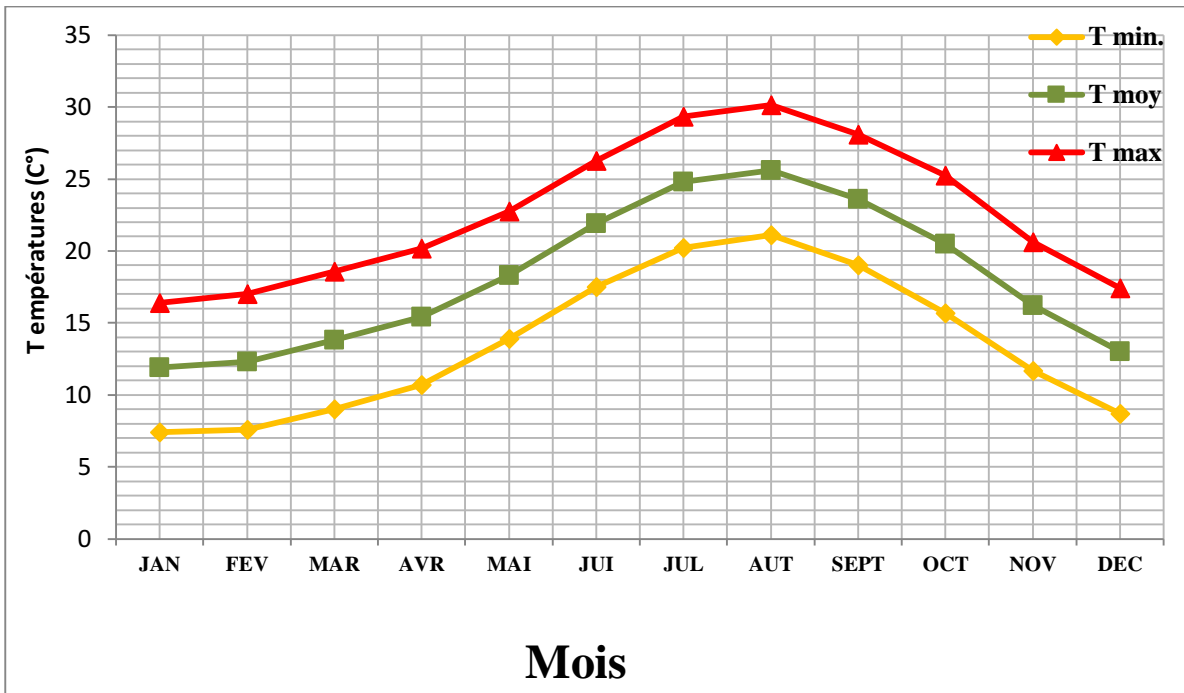


Fig.19 : Variation des températures maximales, moyennes, et minimales de la station de Bejaïa Aéroport période (1978-2007), source ONM.

6.1.2.2. Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

L'analyse du diagramme figure 24, permet de visualiser une période pluvieuse qui est de 9 mois, elle s'étale de Septembre à la fin Mai et une période sèche qui caractérise les mois les plus secs (Juin, Juillet et Aout).

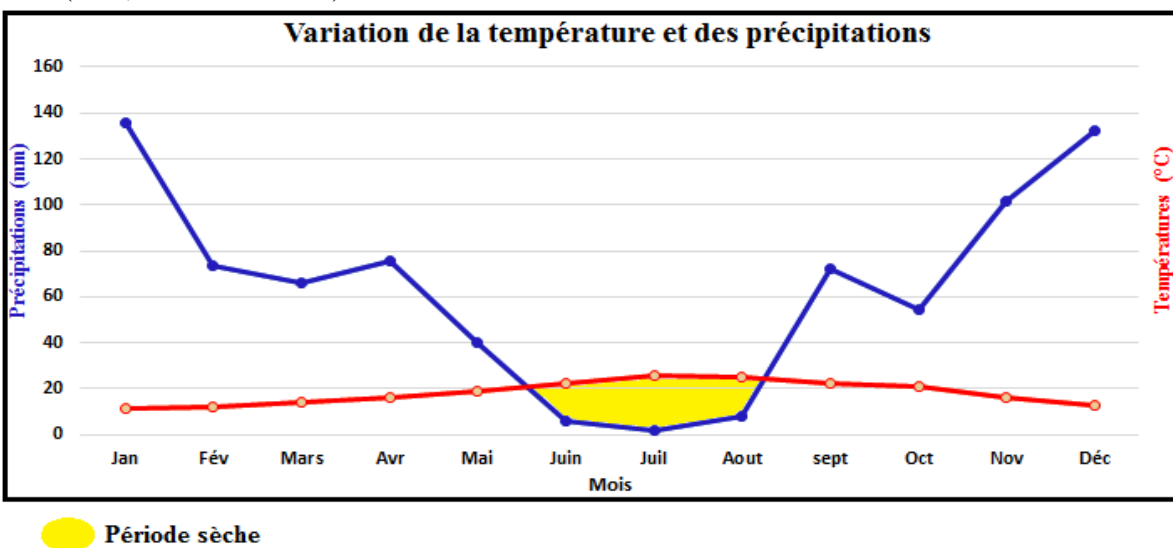


Fig.20 : Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la station de l'aéroport de Béjaïa

6.1.2.3. Le quotient pluviométrique d'EMBERGER :

Il est particulièrement adapté aux régions méditerranéennes dans lesquelles il permet de distinguer différents étages climatiques.

Rappelons que le quotient pluviométrique d'Emberger s'exprime comme suit :

$$Q_z = 1000 P / [(M+m)/2] \quad \text{Ou encore} \quad Q_z = 2000 P / M^2 - m^2$$

Dans laquelle :

P : Moyenne des précipitations annuelles (mm)

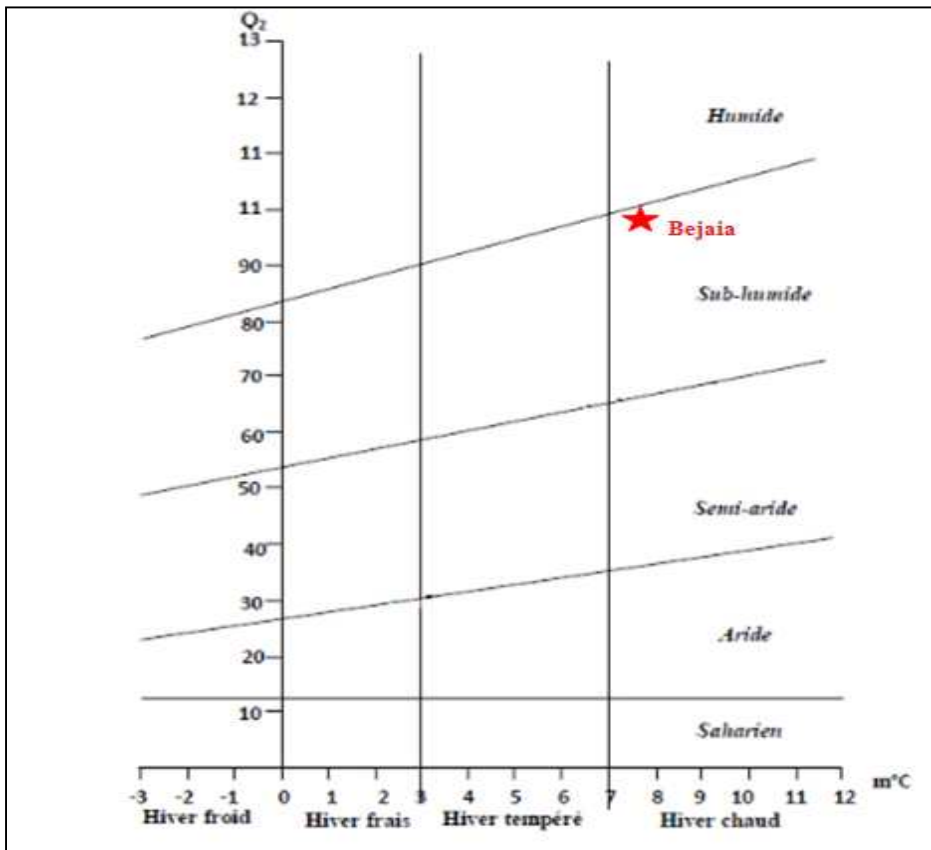
M : Moyenne des maxima du mois le plus chaud (K°)

m : Moyenne des maxima du mois le plus froid (K°)

Tableau N°4 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER pour la station littorale :

Station	Période	Précipitations moyennes annuelles (mm)	M (C°)	m (C°)	Q _z	Etage bioclimatique
Bejaia	1970-2007	755.6	30.6	7.5	<u>112</u>	Sub-humide à hiver chaud

A travers cette analyse, la station de Béjaïa se localise dans l'étage bioclimatique sub- humide à variante hiver chaud.



★ : Station littorale

Fig.n°21 : Climagramme pluviométrique d'EMBERGER

6.1.2.4. Indice de continentalité :

Il définit le type de climat en fonction de l'amplitude thermique (**M-m**), sa valeur est écologiquement importante. Comme le montre le tableau N°, la station de référence (Béjaïa) a un écart thermique «**M-m**» moyen de **23.1 C°**, sachant que l'amplitude thermique est comprise entre **15 C° < M-m < 25 C°**. De ce fait le climat de la région de Béjaïa est de type littoral.

Tableau N°5 : Les types de climats en fonction des écarts thermiques :

Station	Période	Amplitude thermique	Type de climat
Bejaia	1978-2007	23.1	Climat littoral

6.1.3. Les vents :

Le vent constitue un élément primordial à prendre en considération dans toute étude relative à la zone côtière car il provoque non seulement l'agitation de la mer qui est elle-même génératrice de certains phénomènes tels que les houles et les courants de surface, mais aussi le déplacement d'importantes quantités de sable le long de la côte dans les régions à climat sec.

Il ressort des données recueillies dans la région de Béjaïa, que les régimes des vents sont influencés par le relief environnant en l'occurrence le Djebel Gouraya, les Babors et la vallée de la Soummam.

En effet, les vents du secteur Ouest sont canalisés par la vallée de la Soummam qui leur donne son orientation Sud-Ouest – Nord Est : c'est « le vent de la Soummam ».

Les données caractéristiques des vents sont fournies par l'United States of Naval Weather Service Command (U.S.N.W.S.C).

D'après les fréquences d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse pour chaque trimestre et pour toute l'année et selon les roses trimestrielles et annuelles des vents indiquées sur la (fig.25), on enregistre une prédominance des vents issus des directions W et NW avec des fréquences respectives de 29% et 7% pour les trois trimestres (hiver, printemps et automne)

Les directions N, E et NE sont aussi fréquentes mais avec des fréquences relativement faibles. Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses supérieures à 8 m/s.

Pour le troisième trimestre (estival), les directions de vent sus citées existent toujours, mais avec une nette prédominance des vents issus des directions E et NE avec des fréquences respectives de 31% et 22 %.

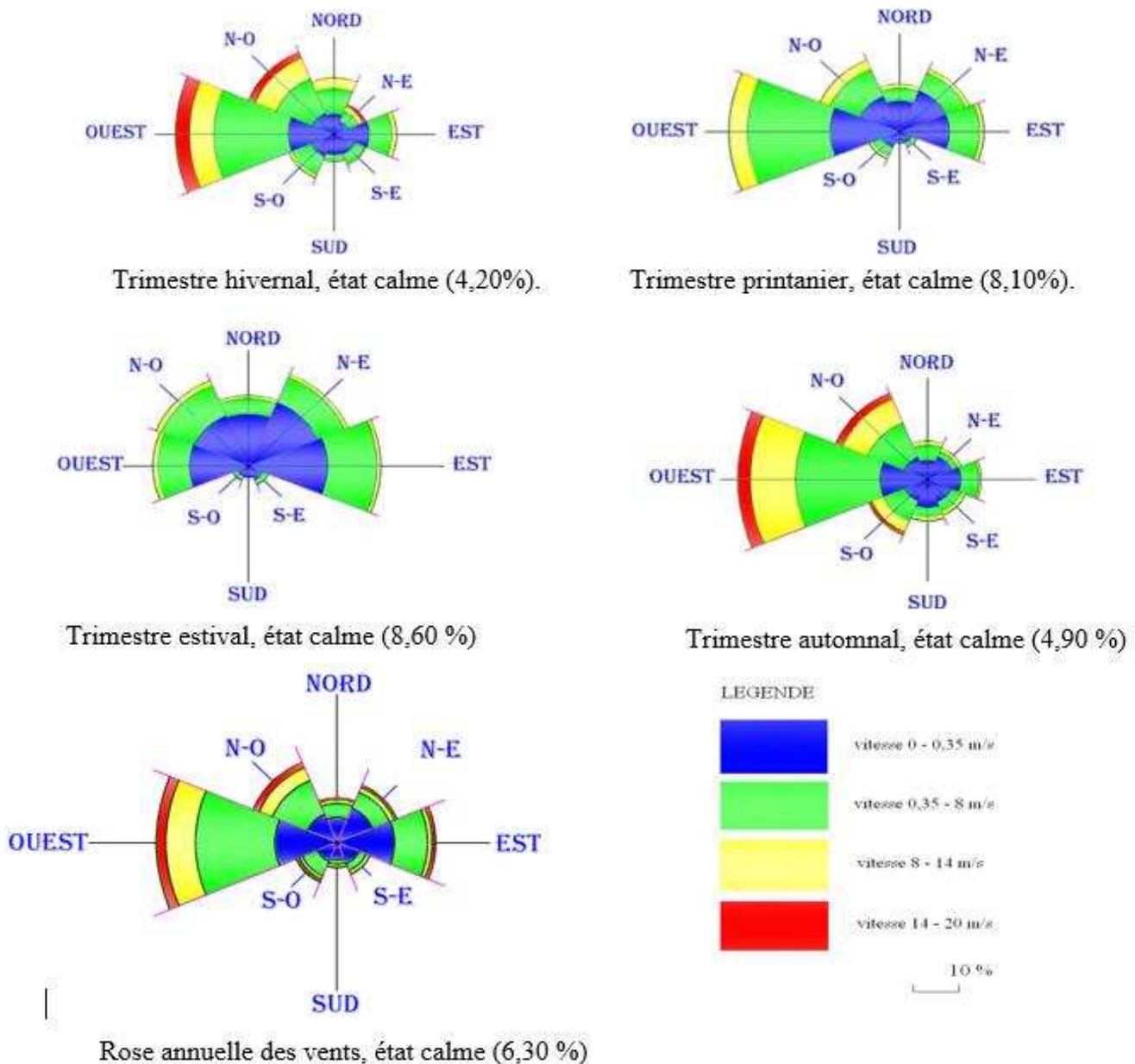


Fig.n°22 : Roses trimestrielles et annuelle des vents au large des côtes de Béjaïa (LEM, 1998)

6.2. Les facteurs hydrodynamiques :

6.2.1. Les houles :

6.2.1.1. La houle au large :

Les données de la houle au large sont celles de « SUMMARY OF SYNOPTIC METEOROLOGICAL OBSERVATION » (S.S.M.O, zone Annaba) .Ces Données s'étalent sur une période de 8 ans (1963-1970).

Une analyse statistique de ces données de base permet de définir les secteurs prédominants de la houle et leurs amplitudes respectives (**Tab.6**) et de dresser les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes Est-algériennes (**Fig.23**).

Tableau N°6 : Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions :

Mois	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
Janvier	11,50	7,20	16,4	30,80	14,00
Février	8,40	6,00	12,40	39,60	14,50
Mars	8,50	5,50	12,90	35,50	20,40
Avril	6,40	8,80	15,20	39,40	18,60
Mai	8,60	15,90	17,30	31,70	13,10
Juin	10,10	15,30	19,50	30,10	14,60
Juillet	12,30	19,80	22,50	20,10	17,10
Août	12,40	19,90	24,90	18,50	16,90
Septembre	12,00	14,20	29,20	17,70	15,80
Octobre	8,20	11,00	19,00	30,40	11,10
Novembre	4,20	3,60	7,90	40,1	19,60
Décembre	6,70	4,50	6,00	38,60	19,20

Source : S.S.M.O, Période : (1963 – 1970).

- Les houles de l'Ouest, de l'Est et du Nord-Ouest sont les plus fréquemment observées avec des fréquences de 40,1% ; 29,20% et 20,40% respectivement ;
- Sur une phase annuelle, les houles d'Ouest sont prédominantes avec une fréquence de 40,1% ;
- Les houles des secteurs Nord et Nord-Est sont les moins observées avec des fréquences de 4,20% et 3,60% respectivement.

Tableau N°7 : L'état de la mer. Source : S.S.M.O, Période : (1963 – 1970).

Degré	Amplitudes en mer	Etat de la mer
Calme	< 0,25	Ridée ou belle
0	0,25-0,75	Ridée ou belle
1	0,75-1,75	Modérée
2	1,75-2,75	Agitée
3	2,75-3,75	Forte
4	>3,75	Très forte ou supérieure

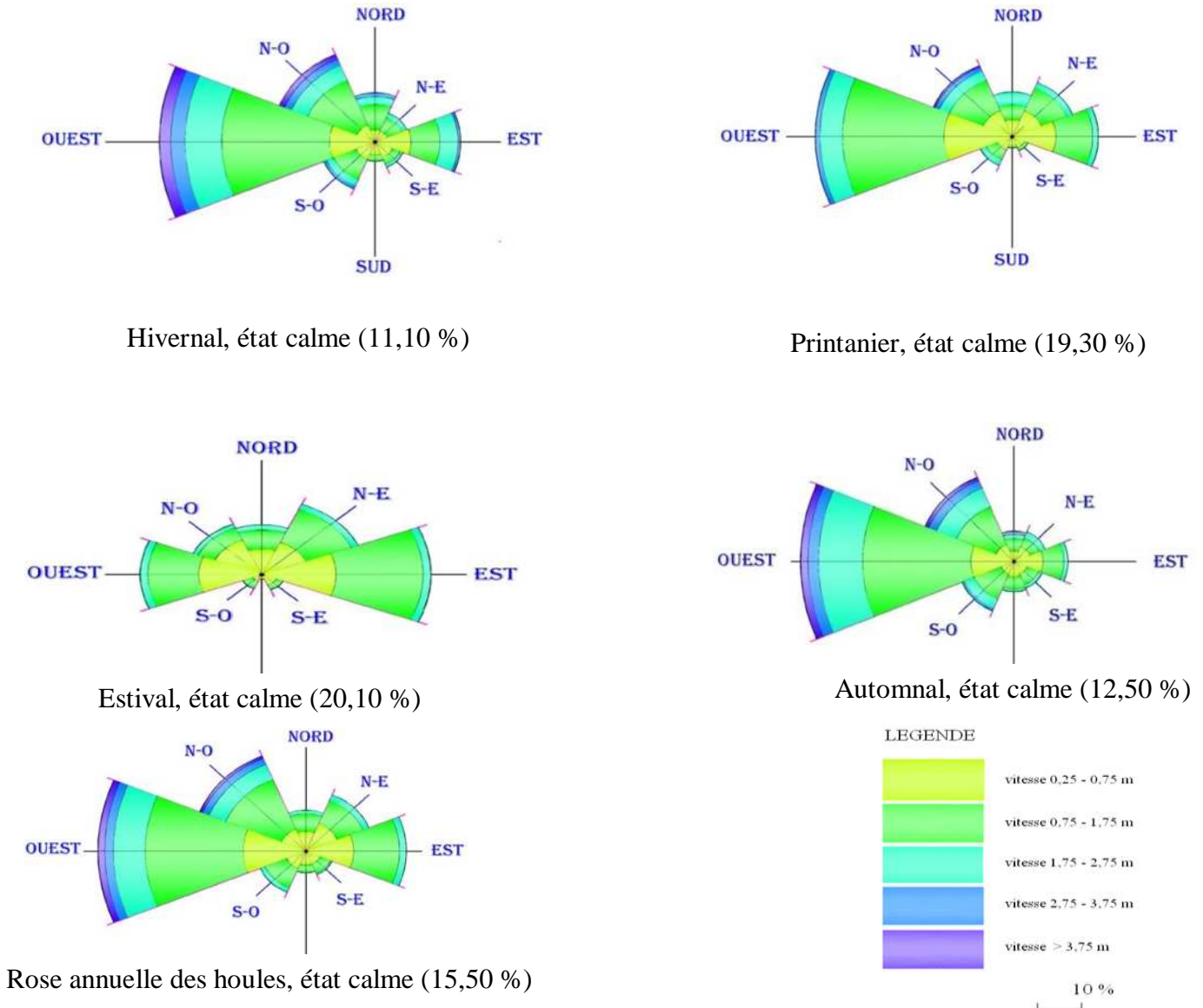


Fig.23 : Roses trimestrielle et annuelle de la houle, (L.E.M, 1998)

En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest / Nord-Ouest pour plus de 80 % avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10 secondes peuvent atteindre 13s sont relevées lors de grandes tempêtes.

Les longueurs d'onde des houles d'Hiver les plus fréquentes sont de 150 m à 170 m avec une célérité de 14 m/s. Par « gros temps », les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ce cas, la profondeur de déferlement peut-être estimée entre 6 et 9 m. Les houles d'été de direction Nord / Nord-Est se caractérise par une amplitude de 0.5m à 1.5 m, 50% de ces houles ont une période de 6 à 9 s et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude. L'amplitude moyenne est de 2 à 3m, des amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. La longueur d'onde des houles d'Eté de 6 s est de 130 m et la célérité de 10 m/s.

6.2.1.2. La houle à la côte :

6.2.1.2.1. Cap Carbon – Cap Aokas

L'analyse de la réfraction des houles de périodes 6, 8 et 10 secondes issues des secteurs N360°, N45° et N330° révèle que le coefficient de réfraction K_r et la direction de la houle, mesurés à une profondeur de 15 m environ, varient comme suit (**Tab.8**).

Tableau N°8 : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle :

Direction en degrés	Période (s)	Coefficient de réfraction (K_r) à -15m	Direction de la houle (α) à -15m
N 360°	6	0,89	N 005°
N 360°	8	0,89	N 001°
N 360°	10	0,91	N 010°
N 045°	6	0,89	N 045°
N 045°	8	0,96	N 046°
N 045°	10	0,96	N 046°
N 330°	6	0,80	N 342°
N 330°	8	0,67	N 350°
N 330°	10	0,63	N 357°

Source : L.E.M 1998.

Il ressort donc que les houles des différents secteurs considérés arrivent à la côte avec une énergie légèrement atténuée, le coefficient de réfraction K_r varie entre 0,63 et 0,96. Les houles qui ont donc le plus d'impact sont celles du secteur Nord Est.

6.2.1.2.2. Caractéristiques de la houle à la côte :

L'analyse des houles issues des secteurs N360°, N45° et N330°, en tenant compte de leurs fréquences d'apparition, indique que les hauteurs de ces premières, varient comme suit (Tab.n°9).

Tableau N°9 : Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes :

fréquence	Période de retour (ans)	360° Nord	45° Nord	330° Nord
Biennale	02	4,56 m	3,49 m	3,84 m
Quinquennale	05	5,43 m	4,09 m	4,41 m
Décennale	10	6,09 m	4,53 m	4,84 m
Vingtennale	20	6,75 m	4,98 m	5,27 m
Cinquantennale	50	7,63 m	4,57 m	5,84 m
Centennale	100	8,28 m	6,01 m	6,26 m

Source: L.E.M 1998.

Il ressort du tableau que la hauteur des houles qui atteignent la côte est inversement proportionnelle aux fréquences d'apparition de celles-ci.

6.2.2. Les courants :

6.2.2.1. Les courants généraux :

Le régime climatique du bassin méditerranéen, chaud et sec, provoque une évaporation très élevée et constitue le moteur de la circulation thermo-haline. La configuration du détroit de Gibraltar, d'une profondeur de 320 m, ne permet que l'entrée d'eaux superficielles à l'intérieur du bassin méditerranéen. Ces eaux qui pénètrent de l'atlantique forment le courant algérien, qui s'écoule d'ouest en est le long des côtes.

Dans sa progression, le courant algérien est affecté par des tourbillons cycloniques et anticycloniques de 50 à 200 km de diamètre et qui atteignent 500 à 2000 mètres de profondeur (Millot et al, 1986 ; Maillot, 1987 ; Taupier-Letage, 1988) créant ainsi dans la plupart des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest.

Au niveau de la baie de Béjaïa, les courants de l'atlantique n'affectent pas la frange côtière, seuls les courants locaux sont à prendre en compte dans l'hydrodynamisme côtier.

6.2.2.2. Les courants côtiers :

Les phénomènes hydrodynamiques qui régissent les transferts sédimentaires sur la plage sous-marine et dans la zone de ressac sont nombreux et parfois très complexes.

La dynamique de sables le long des rivages est fonction de l'action de la dérive littorale, elle-même liée aux paramètres physiques de la houle.

Au contact de la remontée du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui, en provoquant la mise en suspension des particules, favorisent leur déplacement.

Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude et de l'incidence de la houle par rapport à la côte, mais également de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

6.2.2.3. Le courant de retour :

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour du courant existant à partir du lieu de déferlement de la houle.

Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage et ils sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

6.2.2.4. Le courant de dérive littorale :

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

La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale, cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

Dans le cas général des houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans la zone de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et graviers de la frange littorale (fond à -10 m). Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre, pour les houles de fortes amplitudes, elles pourraient agir en fonction de l'amplitude jusqu'à des fonds atteignant 40 à 60 m de profondeur.

6.2.3. La marée :

D'une façon générale, la marée sur la côte algérienne est faible (de l'ordre de 20 cm environ). Le rythme fondamental est imposé par la marée astronomique de faible amplitude comme sur toute la côte algérienne. En plus de la marée astronomique, le niveau d'eau peut changer en fonction d'autres phénomènes tels que la pression atmosphérique et le vent ; mais le niveau ne dépasse guère les 50 cm.

7. Occupation des sols et anthropisation de la côte :

7.1. Occupation du sol :

Le littoral Est de la région de Béjaïa est caractérisé par une forte densité en termes d'occupation du sol. Cela se traduit par la présence de plusieurs domaines d'activité, qui sont les aires urbaines, industrielles et agricoles.

7.1.1. Occupation urbaine :

Avec trois grandes agglomérations ; celle de Béjaïa ville qui a une densité supérieure à 1320 hab/km², et celle de Tichy et d'Aokas avec une densité de 439,17 hab/km².

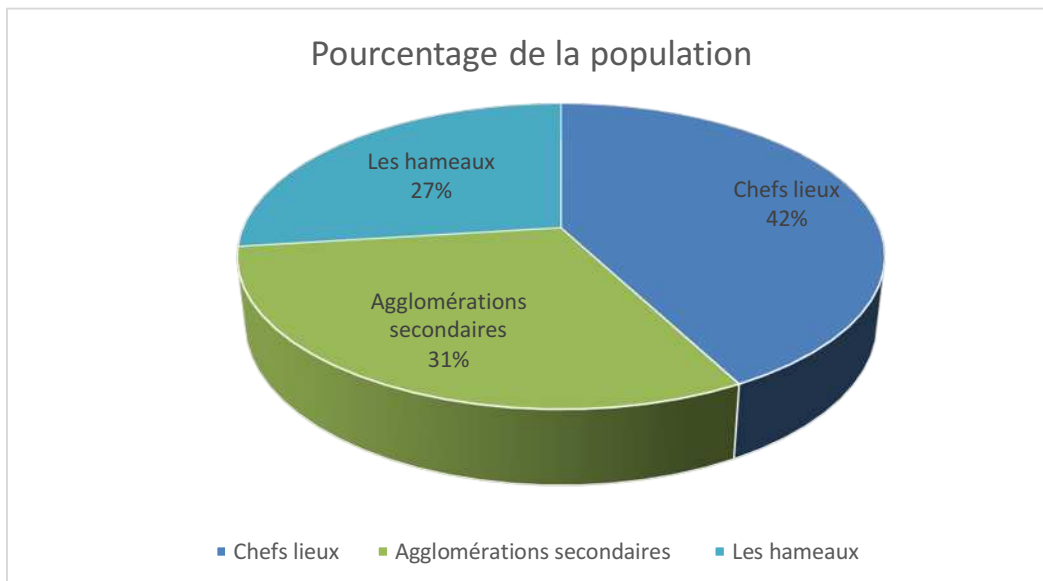


Fig.n°24 : Diagramme de la répartition territoriale de la population de la wilaya de Béjaïa (2007)

L'absence d'infrastructures dans les zones éparses a poussé la population à l'exode vers les centres urbains, où elle s'est installée le long des voies de communications donnant naissance à des villages linéaires où les repères territoriaux sont inexistantes.

Le tissu des agglomérations urbaines du domaine littoral est en général organisé autour des anciennes villes coloniales, qui constituent le noyau central à partir duquel une extension anarchique et désordonnée s'est développée.

7.1.2. Occupation agricole et forestière :

La zone d'étude dispose de certaines potentialités en terres agricoles (la vallée de la Soummam, les plaines côtières), et d'une végétation de type arbustive avec quelques oliviers, l'arbusier et philaria.

On dénombre plusieurs forêts tout le long du littoral de la wilaya, notamment le Parc National de Gouraya (P.N.G), un site naturel d'intérêts écologique et stratégique. Il s'étend sur une superficie estimée à 2080 ha, avec un linéaire côtier de 11.5 km caractérisé par des corniches et des falaises. Ce parc est classé comme site protégé par le décret n° 84-327 du 03 Novembre 1984.

7.1.3. Occupation industrielle et touristique :

Béjaïa jouit de la présence de plusieurs infrastructures industrielles et touristiques, la plus part de ces sites se situent dans les plaines côtières à titre d'exemple le village touristique de Capritour, le port international de Béjaïa, ...etc.

7.2. Anthropisation de la côte:

La surface totale des communes côtières est de 750 Km², elle représente 23% de la superficie totale de la wilaya ; la plus grande partie de la population y est concentré avec 225 556 habitants, soit 26% de la population totale de la wilaya, et une densité de 146 hab/Km.

Les données relatives au domaine littoral sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau N° 10: Les caractéristiques du domaine littoral de la wilaya de Béjaïa :

Communes	Surface de la commune	Surface du domaine littoral (km ²)	Pourcentage du domaine littoral/surface de la commune (%)	Linéaire côtier en km	Surface de la zone de servitude km ²
Béjaïa	120.22	90.64	75,39	32.45	9.90
Boukhelifa	116.38	72.58	62,36	6.85	2.69
Tichy	56.66	22.37	39,48	6.80	2.13
Aokas	27.87	15.53	55,72	7.11	1.83

De nos jours, les zones côtières Algériennes « fréquentent » le phénomène de bétonisation soit en construisant au bord de la mer ou bien par suite à la mise en place de certaines infrastructures qui sont les ouvrages de protections.

L'espace littoral construit croît d'année en année, où plusieurs activités à vocation touristique et industrielle ont été implantées. L'attrait de la ville et de la mer est si fort que le linéaire côtier construit représente 29,4%, soit 35,270 km. De ce fait, la densité de la population littorale est importante. (Voir Annexes figure 25)

Conclusion :

De ce second chapitre, consacré à la présentation du littoral Est de Béjaïa, nous pouvons retenir ce qui suit :

L'analyse du bâti géologique et structural dénote la présence de corps sédimentaires d'âge mio-plio-quadernaire, caractérisés par une lithologie variée et peu résistante. Les différentes phases tectoniques qu'a connues la région ont généré une topographie de montagnes entrecoupées à des endroits précis par des vallées.

Le volet hydrodynamique permet de retenir une zone où sévissent courant, houles et vent. Les vents de la région sont influencés par les reliefs environnants (vent de la Soummam). À la côte, les houles arrivent avec une énergie légèrement atténuée, avec les houles du Nord Est qui ont le plus d'impact.

Les différents agents morfo-dynamiques ont façonné la côte en de larges et belles plages entrecoupées à plusieurs reprises par les embouchures des oueds et la falaise du cap Tichy.

Chapitre III :
ÉTUDE GRANULOMÉTRIQUE DE
LA PARTIE AÉRIENNE

Introduction :

Dans ce chapitre nous étudions la répartition granulométrique des différents grains de sédiments de la partie aérienne de notre zone d'étude, de Cap Carbon à Cap Aokas. La campagne sédimentologique a eu lieu le 07 Mai 2014. Le nombre d'échantillons prélevés est 48, répartis sur 16 transects qui recouvrent entièrement la zone d'étude (Figure 30). De la plage de Tabelout (Transect 1), dans la commune d'Aokas, jusqu'à l'embouchure de Oued Soummam (Transect 16).



Fig. n°26: « Schéma illustrant les différents points de prélèvement des échantillons de sable des plages de la partie Est du littoral de Béjaia »

★ Lieu du prélèvement
 — Transect
 ★—★ 22 Ft

1. Le prélèvement des sédiments :

Le prélèvement des sédiments a été réalisé par la méthode directe, c'est-à-dire qu'on prélève avec la main. Et pour le conditionnement des sachets de congélation étiquetés suffisent.



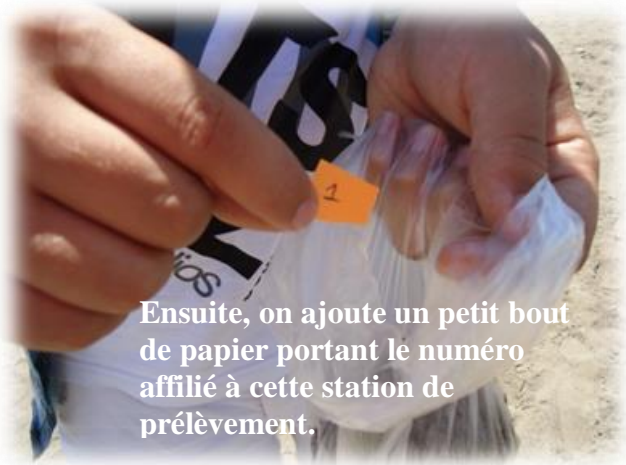
À l'aide d'un sac de congélation et d'un gobelet en plastique...

Photo n°11 : Matériel utilisé lors des prélèvements



On a pu remplir (2) deux à (3) trois fois et verser à l'intérieur du sachet

Photo n°12 : Prélèvement de sable



Ensuite, on ajoute un petit bout de papier portant le numéro affilié à cette station de prélèvement.



Enfin, on ferme soigneusement le sachet, qui a pour destination le LGA (Laboratoire de Géologie et de l'Aménagement) comme destination

Photos n° 13 et 14 : Conditionnement et étiquetage des échantillons

Une fois tous les échantillons récoltés, ces derniers sont classés et traités au laboratoire, déposés dans des boîtes de pétri étiquetées.

2. Travaux au laboratoire :

2.1. L'étude granulométrique :

L'analyse granulométrique des sédiments meubles a pour but de connaître la répartition quantitative pour chaque classe dimensionnelle des particules élémentaires constituant l'échantillon.

2.2. Principe de la méthode :

Ce procédé consiste à faire passer l'échantillon à travers une série de tamis disposés dans un ordre décroissant et récupérer le refus de chaque tamis et le peser.

Il existe de très nombreuses de normes de tamisage, dans lesquelles les mailles varient selon une progression géométrique décroissante permettant un espacement régulier des abscisses dans l'échelle logarithmique, ainsi qu'une représentation étendue sur un graphique.

Pour l'opération de tamisage, nous avons utilisé une série de tamis dont l'écartement des tailles se fait selon la norme AFNOR. L'ordre des tamis par ordre de diamètre décroissant est le suivant : 2000 μm , 1600 μm , 1400 μm , 1000 μm , 800 μm , 630 μm , 500 μm , 400 μm , 315 μm , 250 μm , 200 μm , 180 μm , 160 μm , 140 μm , 125 μm , 100 μm , 80 μm , 63 μm , 50 μm et 40 μm .

2.3. Mode opératoire:

- Une fois arrivés au laboratoire, les échantillons sont disposés sur la paillasse selon leur ordre de prélèvement. Puis nous passons à la préparation et à l'étiquetage des

boîtes de Pétri, où seront verser les 200 g de sédiment. Ensuite placer tous les échantillons à l'étuve pour un premier séchage pendant 24 h à une température de 105 °C.

- Une fois les 24 h sont passées, nous prélevons de chaque échantillon une quantité de 150 g, ensuite nous les faisons passer sous un filet d'eau à l'aide d'un tamis de 40 µm. le but de cette opération est de débarrasser le sédiment des pélites. Les échantillons remis dans les boites de Pétri subiront un autre séchage à l'étuve pendant 24 h à 105 °C.
- Après avoir retiré les échantillons de l'étuve, ils vont être pesés une seconde fois, ainsi la différence de poids entre le poids initial et le deuxième poids représente le taux de la fraction pélitique.
- La seconde étape de l'analyse granulométrique est le tamisage. Cette opération s'est faite à l'aide d'une table vibrante sur laquelle nous disposons la colonne de tamis, dans un ordre décroissant, mais la série de tamis est divisée en deux colonnes vue que la capacité de la tamiseuse est limitée. On utilise un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer le refus. La durée d'un tamisage est de 10 minutes pour une fréquence de 100 Hz.
- Nous arrivons à présent à la dernière du tamisage, le sédiment être trié selon la taille des grains qui le compose. Ainsi chaque refus de tamis est alors versé délicatement dans une boîte de Pétri pour la pesée à l'aide d'une balance de précision. Un grand soin doit être apporté lorsque l'on enlève les derniers grains qui restent dans le tamis. On utilise généralement un pinceau.

2.4. 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.

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.

a. Les quantiles :

- Q_{25} : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.
- Q_{50} (D_{50}) : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.

- Q_{75} : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.
- D_{10} : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- D_{90} : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

b. Le mode granulométrique :

Le mode granulométrique (M_o) 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.

2. Les indices granulométriques :

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.

- Le sorting de Trask : $S_0 = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2}$
- Folk et Ward : $\phi = [(\phi_{84} - \phi_{16}) / 4] + [(\phi_{95} - \phi_5) / 6,6]$

Tableau n°11 : 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

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.

- Le Skewness de Trask: $Sk = (Q_{25} * Q_{75}) / (D_{50})^2$
- Folk et Ward : $Sk = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{95} + \phi_5))$

Tableau n°12: les valeurs adoptées de Sk pour l'asymétrie.

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

2.5. Résultats et discussion :

2.5.1. Analyse de la fraction fine :

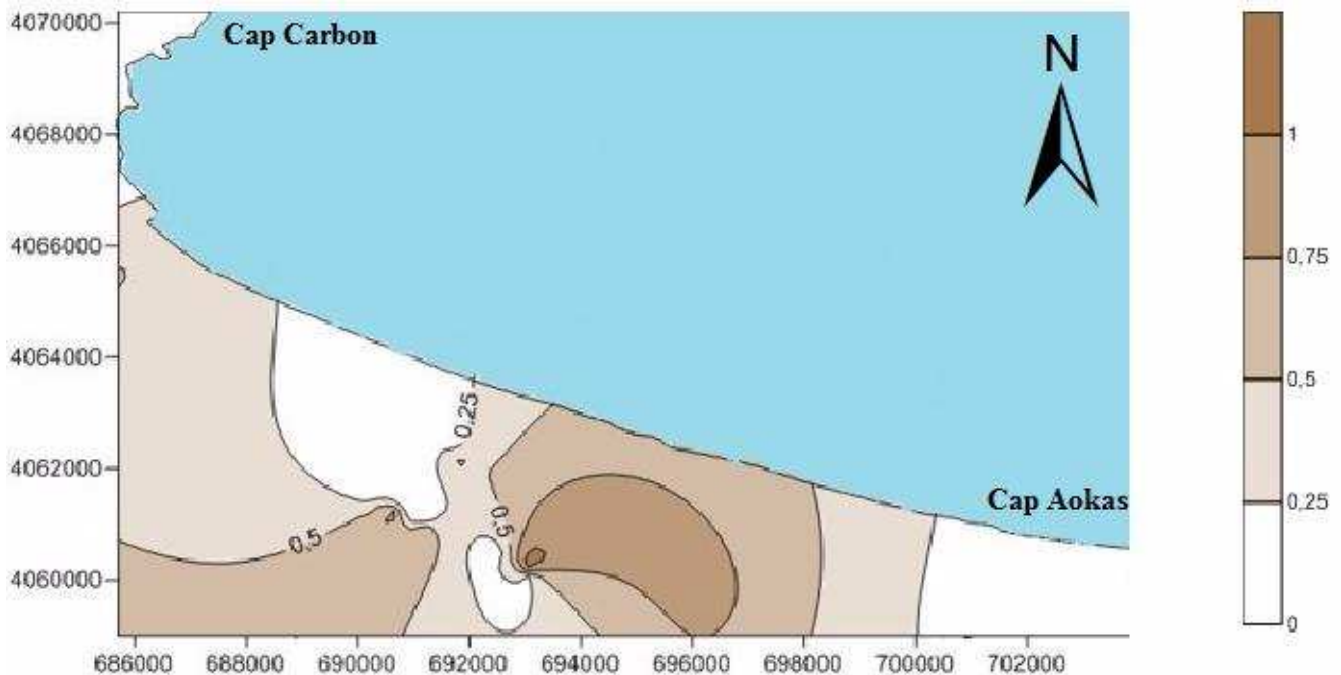


Fig. n°27 : Carte de la répartition des pélites

La carte d'isopélites, de la partie aérienne du littoral Est de Béjaia, montre une répartition spatiale des pélites qui augmente de Cap Aokas à Tichy et diminue de Tichy vers la commune de Béjaia. Les teneurs en pélites sont faibles, et dépassent à peine le 1% à Tichy.

2.5.2. Analyse de la fraction grossière :

2.5.2.1. Les courbes granulométriques :

- **Aspect général des courbes cumulatives :**

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées, preuve de l'homogénéité du sédiment des plages de Béjaia.

- Courbes unimodales :

Indique la présence d'un seul stock sédimentaire, représenté par un seul mode granulométrique.

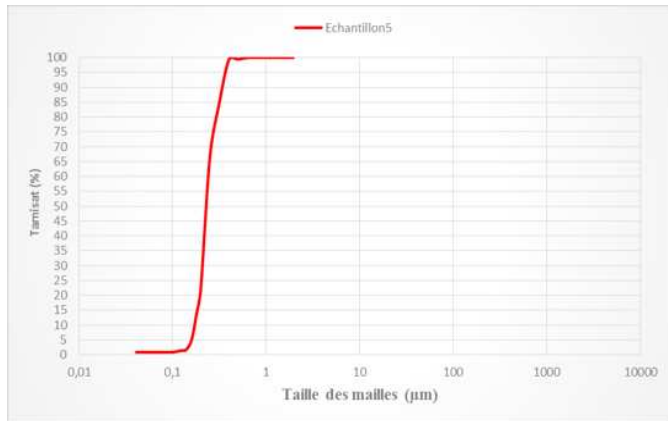


Fig.n° 28 : Courbe unimodale

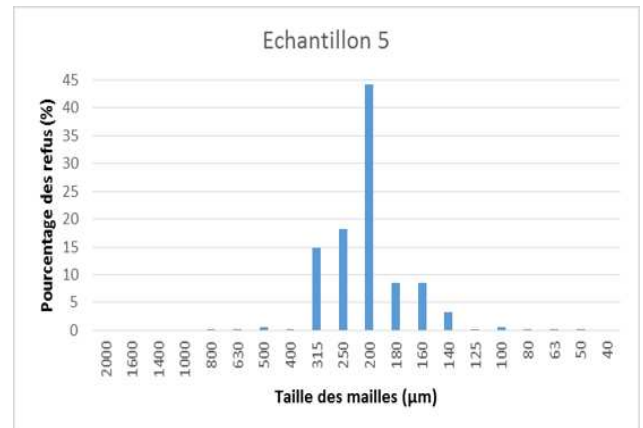


Fig.n° 29: Histogramme unimodal

- Courbes bimodales :

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

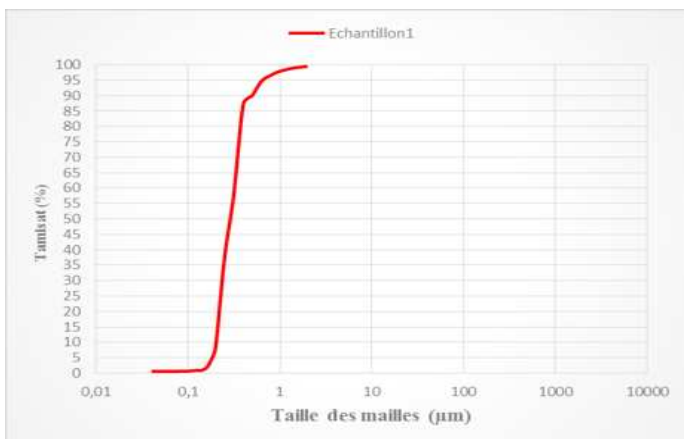


Fig.n° 30: Courbe bimodale

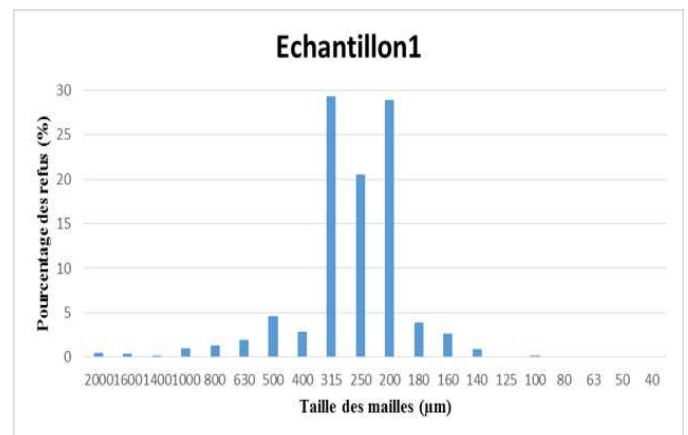


Fig.n° 31: Histogramme bimodal

- Courbes plurimodales :

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques.

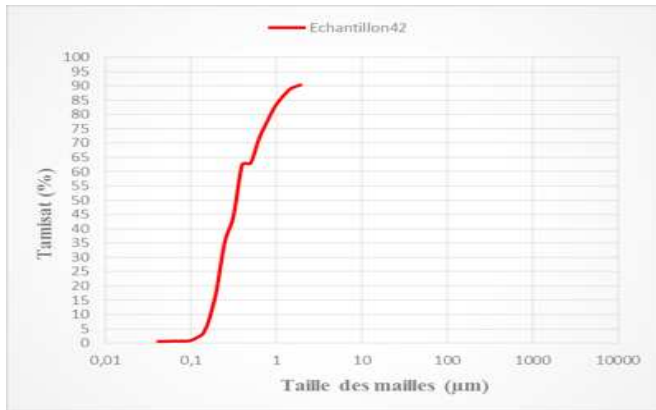


Fig. n° 32: Courbe plurimodale

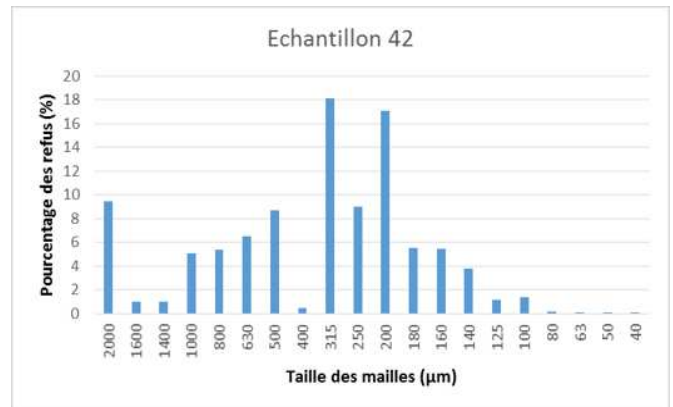


Fig. n° 33 : Histogramme plurimodal

2.5.2.2. Les quantiles :

a. Le décile inférieur (D10) :

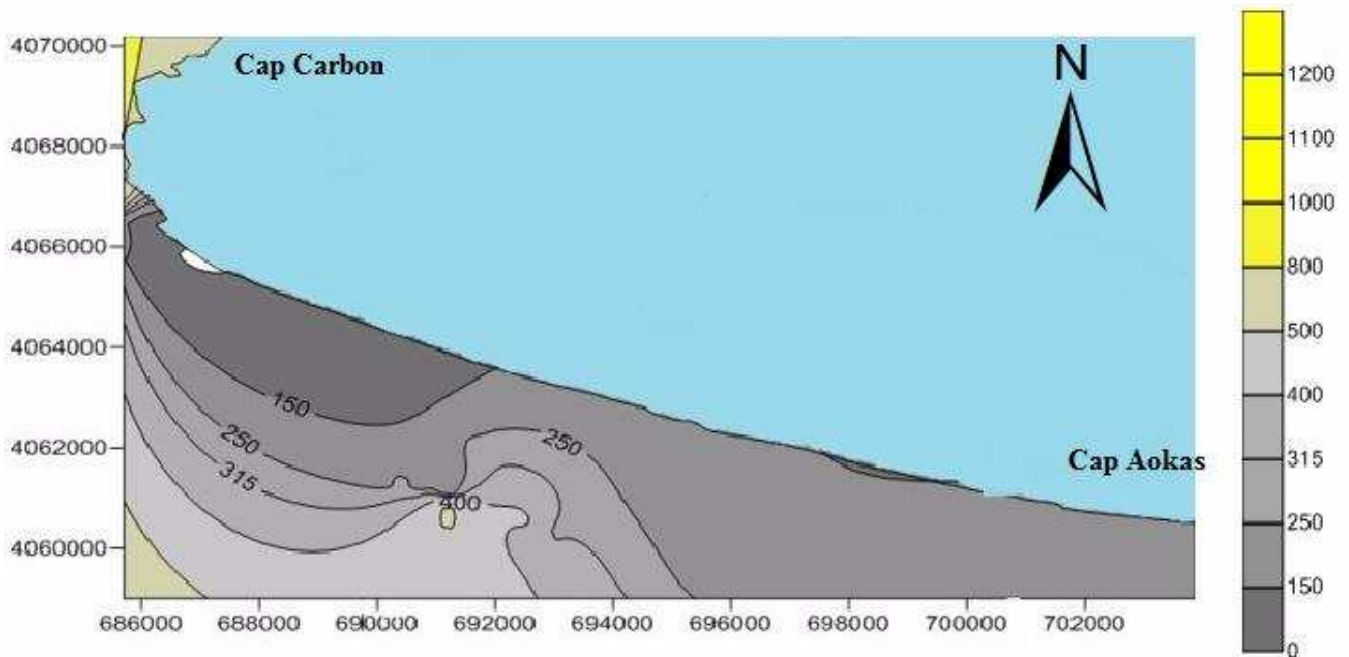


Fig. n° 34 : Carte de la répartition du décile inférieur (D10)

La répartition du décile inférieur dégage trois faciès différents. Le premier faciès apparaît au niveau de la commune d'Aokas, avec une forte dominance des diamètres inférieurs à 250 µm. Dans la commune de Tichy, les diamètres des sédiments varient entre 250 et 400 µm, les diamètres augmentent du rivage vers la dune. De même pour la commune de Boukhelifa, avec une forte proportion pour le diamètre de 150 µm. Les sédiments les plus grossiers sont localisés sur les plages de la commune de Béjaia, leur diamètre dépasse les 800 µm.

b. Le quartile inférieur (Q25) :

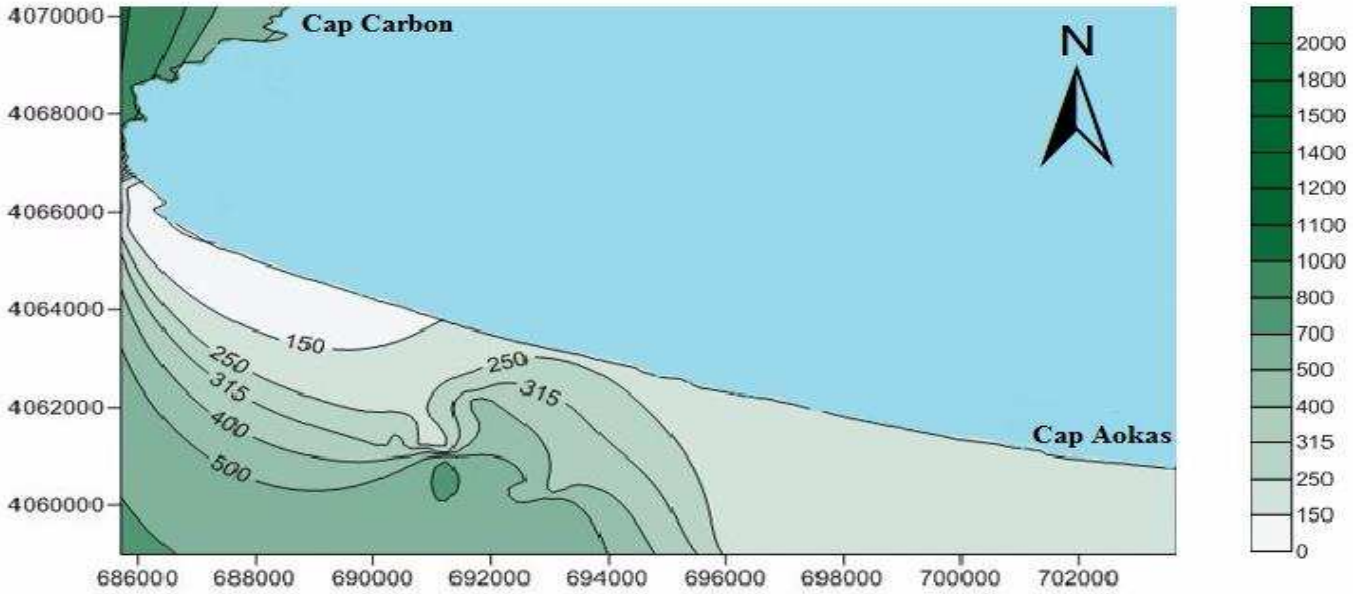


Fig. n°35: Carte de la répartition du quartile inférieur (Q25)

La distribution du quartile inférieur (Q25) est semblable à celle du décile inférieur (D10). Un premier faciès est localisé sur les plages de la commune d'Aokas, les diamètres varient entre 150 et 250 μm . Pour les plages de Tichy, les diamètres varient de 250 à 500 μm , ça augmente en remontant vers les dunes. Idem pour la commune de Boukhelifa, avec toujours une proportion de particules inférieures à 150 μm près de la ligne de côte. Et au niveau de la quatrième commune côtière que couvre notre zone d'étude, c'est-à-dire Béjaia, la taille des sédiments est beaucoup plus importante, supérieure à 800 μm .

c. La médiane (Q50) :

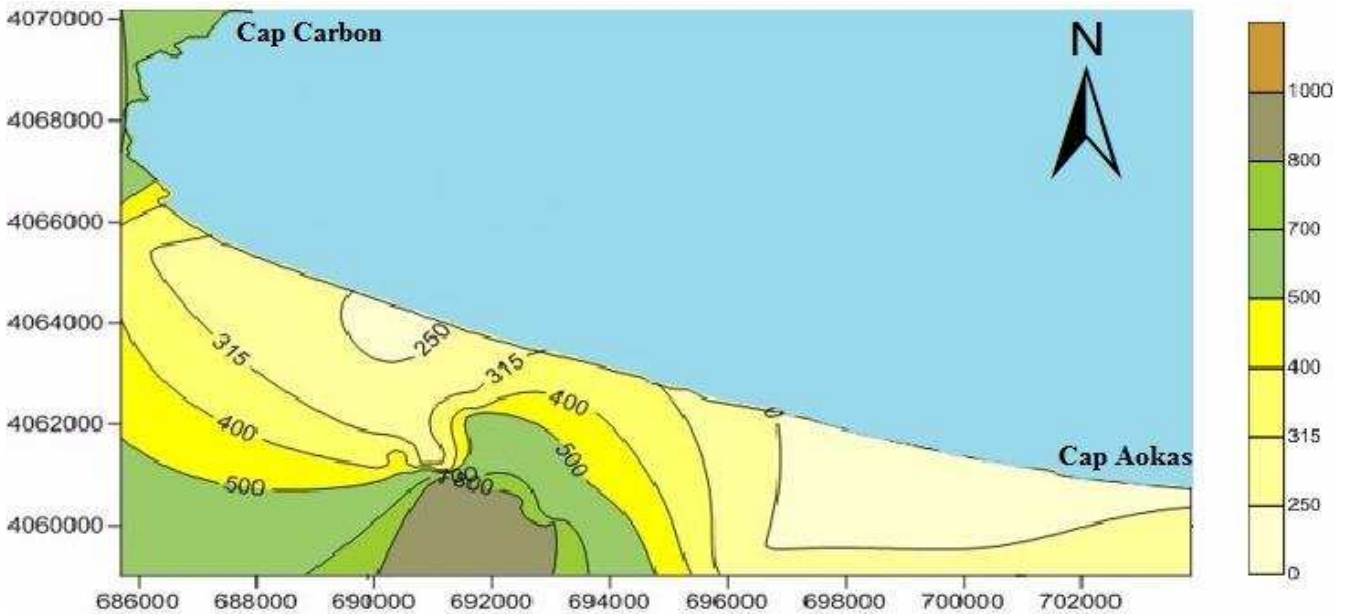


Fig. n°36 : Carte de la répartition de la médiane (D50)

A partir de la carte de répartition de la médiane tout au long de la partie Ouest de la baie de Béjaia, c'est-à-dire de Cap Carbon à Cap Aokas, nous pouvons départager la zone en trois parties : la partie Est de la baie, commune d'Aokas, où le grain médian se situe entre 150 et 315 μm , la partie centre où le diamètre médian est compris entre 250 et 800 μm . Enfin la dernière partie, la plus à l'Ouest près de l'oued Soummam, le grain médian est entre 500 et 700 μm .

d. Le quartile supérieur (Q75) :

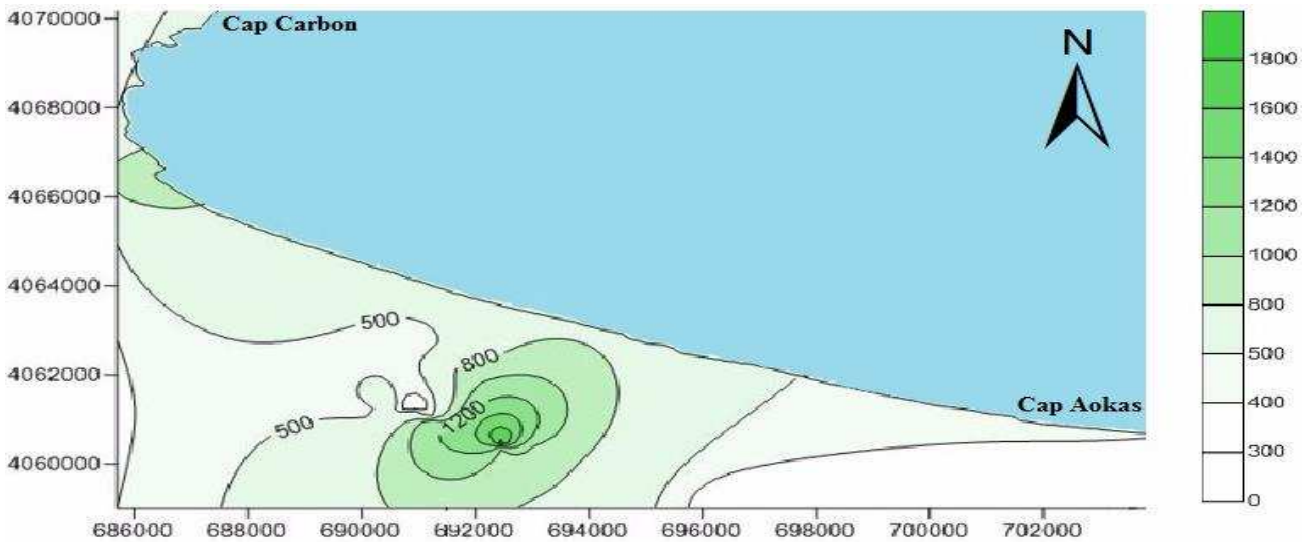


Fig. n°37 : Carte de la répartition du quartile supérieur (Q75)

La distribution des diamètres dégage trois faciès distingués : un premier entre 0 et 500 μm , qui se distribue tout au long de la zone d'étude, le second faciès entre 800 et 1600 μm au niveau des plages de Tichy. Et le dernier faciès entre 800 et 100 μm , qui se localise sur la plage de Sidi Ali Lebhar près de l'embouchure de l'Oued Soummam.

e. Le décile supérieur (D90) :

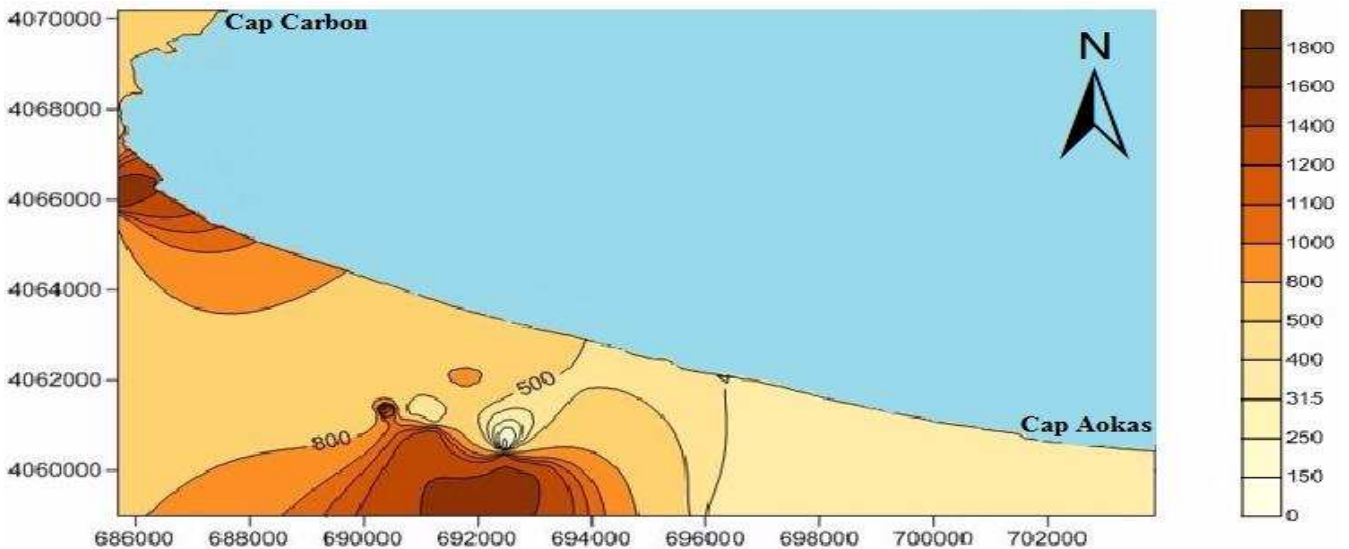


Fig.n°38 : Carte de la répartition du décile supérieur (D90)

La distribution du décile supérieur à le même aspect que la distribution du quartile supérieur, et dégage trois faciès distincts : le premier entre 315 et 500 μm vers la partie Est, le second au centre (Boukhelifa) et à l'extrême Ouest, avec des diamètres entre 500 et 800 μm . Le troisième faciès se distingue à deux endroits : sur la l'espace dunaire de Tichy et Boukhelifa, et sur les plages de Béjaia, vers la rive droite de Oued Soummam, les diamètres vont de 800 à 1600 μm .

2.5.2.3. Les indices granulométriques :

a. Indice de classement :

Les valeurs de S_0 obtenus dans la partie Ouest de la baie de Béjaia varient entre 1 et 2,5. Donc les sédiments de la région sont bien classés.

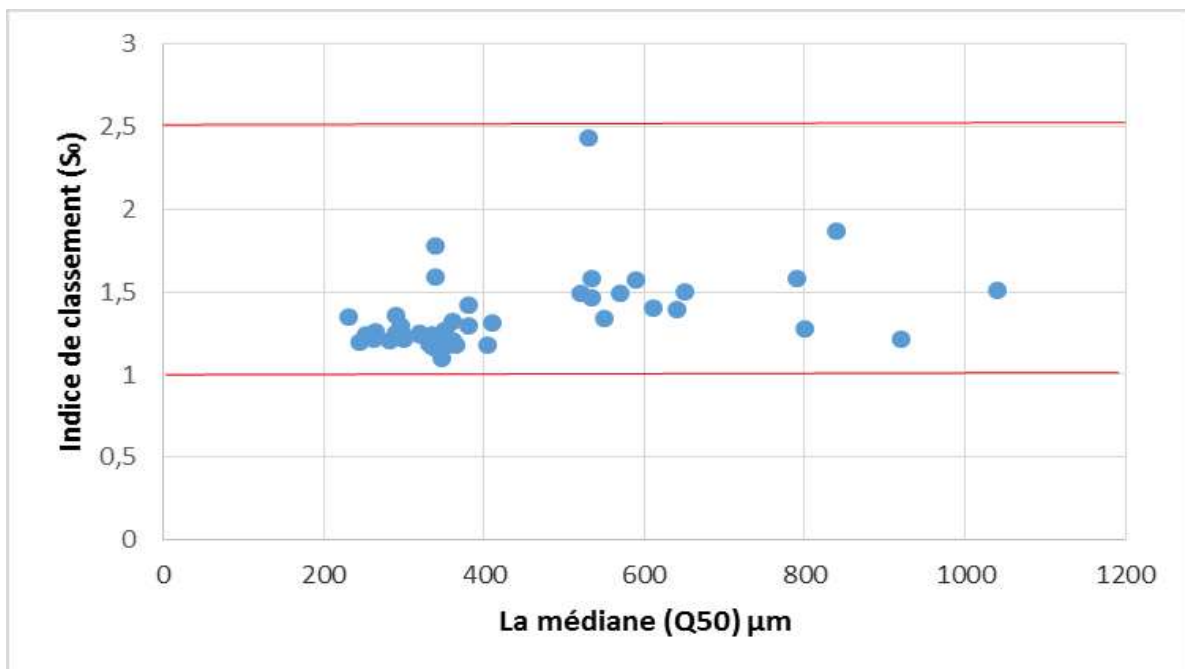


Fig. n° 39: Relation entre l'indice de classement et la médiane

b. Le coefficient d'asymétrie :

Les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons prélevés varient autour de 1, une moitié avec des valeurs inférieures à 1 et l'autre moitié supérieures à 1. Donc cela traduit un tri maximum vers les fines dans certaines zones et dans d'autres zone le tri est maximum vers les grossiers.

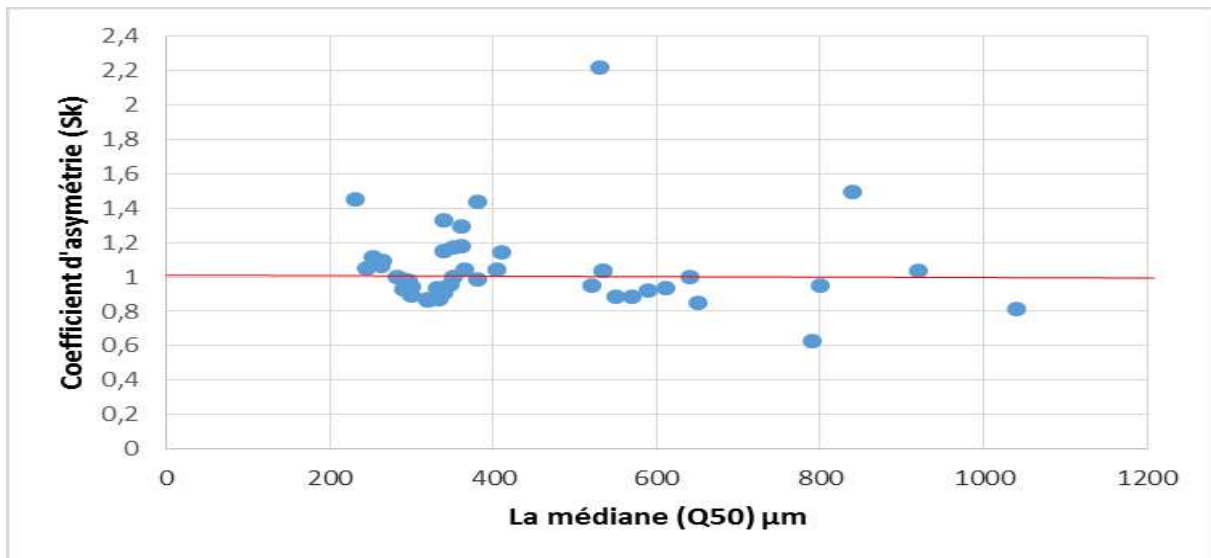


Fig. n°40 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et la médiane

2.5.2.4. L'analyse modale :

La couverture sédimentaire de la région est caractérisée par la présence d'un seul faciès granulométrique. Le mode est de 315 μm cela correspond à du sable moyen. L'histogramme qui suit illustre les fréquences de répartition des modes.

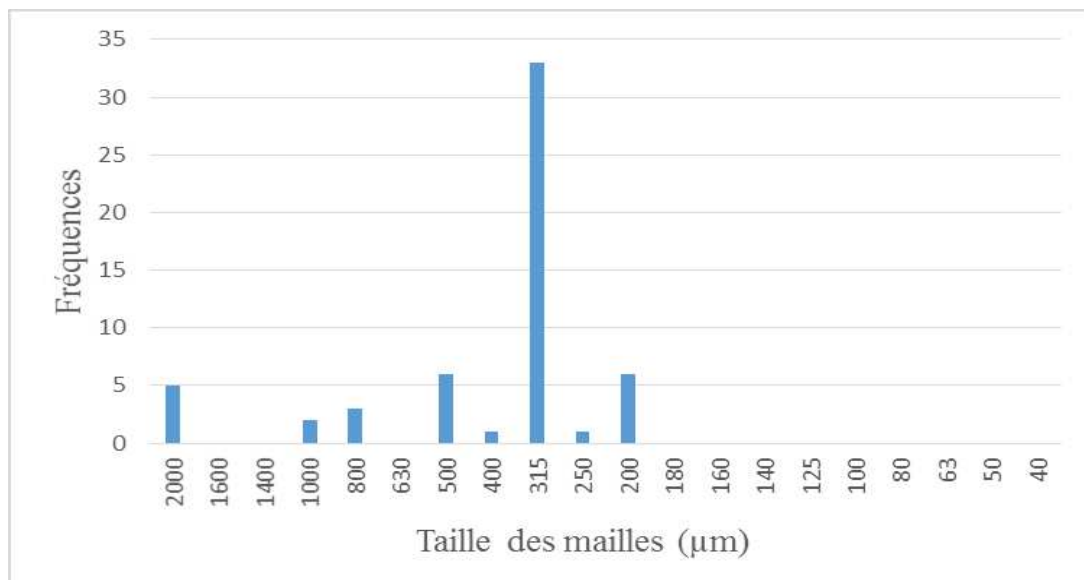


Fig. n°41 : Fréquences d'apparition des modes

Le mode 315 μm est le plus largement représenté dans la zone d'étude, il se concentre à l'Est et au centre de la zone d'étude. Dans la région de Tichy et Béjaia les fréquences d'apparition du mode sont faibles, elles ne dépassent pas les 30 %.

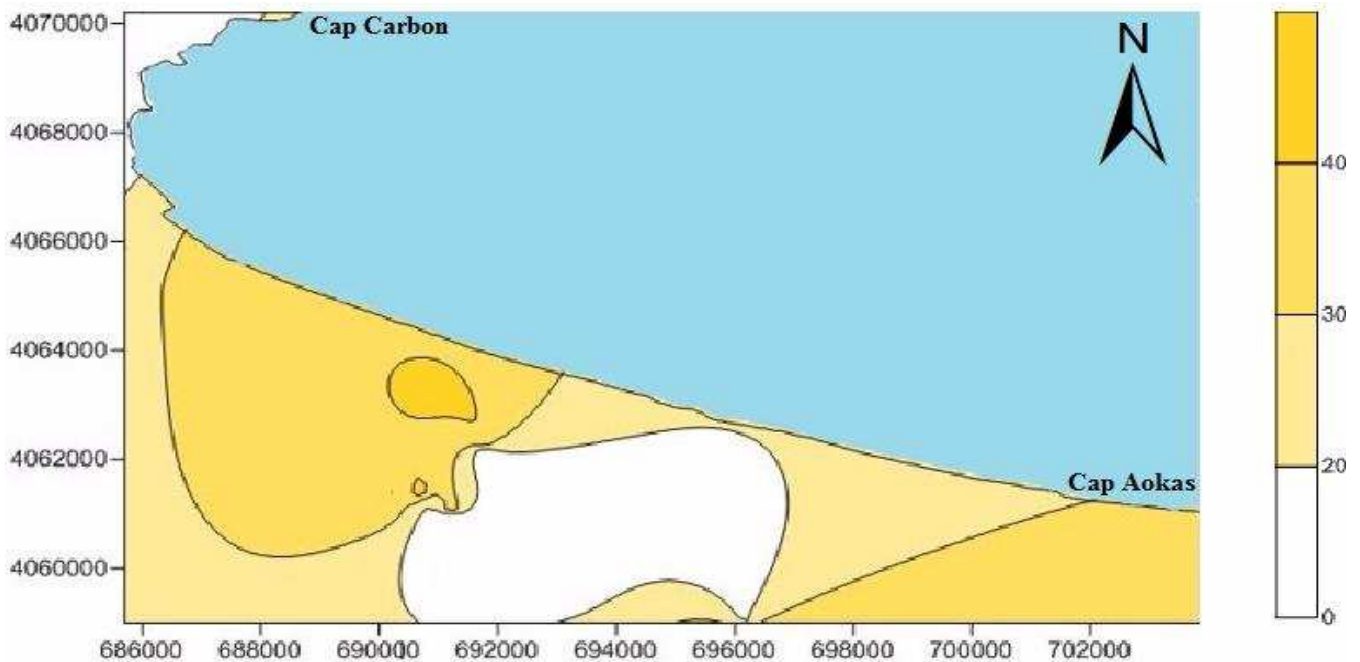


Fig. n°42 : Carte de la répartition du mode (315 μm)

Conclusion :

Nous concluons à partir de l'analyse granulométrique de la partie aérienne du littoral Est de la wilaya de Béjaia, que les teneurs en fraction fine sont très faibles, dépassent à peine le 1 %.

L'étude des autres paramètres (D10, Q25, Q50, Q75 et D90) fait apparaître un granoclassement de la ligne de côte (sable fin) vers la dune (sable moyen à grossier), ainsi qu'à l'embouchure de Oued Soummam où le sédiment est du sable grossier.

L'analyse modale et l'aspect des courbes granulométriques, qui sont pour la plupart unimodales, indique la dominance d'un seul stock sédimentaire, du sable moyen de 315 μm .

Chapitre IV :
**MORPHODYNAMIQUE CÔTIÈRE Ā UNE
MACRO ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE**

Introduction :

Les conditions climatiques excellentes de Béjaïa et la stabilité économique et sociale du pays, ont généré une affluence massive des touristes qui désirent profiter de la culture, du paysage et des plages Boujiotes. À l'instar de ce qui est arrivé autrefois dans d'autres pays, la pression touristique a donné lieu à la construction de tout un ensemble d'infrastructures sur le littoral (ports de plaisance, hôtels...) qui ont modifié la dynamique naturelle du littoral et produit de graves problèmes d'érosion tout au long de la côte.

L'expansion touristique et une prise de conscience collective ont fait de la compréhension de l'évolution du littoral une priorité en termes d'aménagement côtier. Une protection efficace des plages contre l'érosion marine nécessite une compréhension des processus physiques qui interagissent dans la zone littorale, et des différentes échelles spatio-temporelles correspondantes.

Ces dernières décennies, de nombreuses approches ont été développées pour améliorer notre compréhension et tenter de prédire l'évolution morphodynamique des plages sableuses, parmi elles nous abordons une approche incluant les SIG et l'imagerie satellitaire dont l'objet de ce chapitre qui sera présenté en deux parties : la première partie consiste en l'évolution historique du trait de côte entre la période 1956 et 2013 du littoral Est de Béjaïa et la seconde va porter sur l'évaluation de sa vulnérabilité.

1. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU TRAIT DE CÔTE:

1.1. Echelle spatio-temporelle de l'évolution morphologique des systèmes côtiers :

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement morphodynamique d'un système côtier peut être très variable. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu. Dans le cas d'un système côtier, l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales du système et l'échelle temporelle associée peut être supposée (De Vriend, 1991 in Djouder et Smaoun, 2011). Il découle de cette relation une hiérarchisation spatio-temporelle (Kroon, 1994, in Djouder et Smaoun, 2011) des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière .

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

La micro-échelle ou échelle des processus qui concerne les processus physiques, constitutifs de la houle, des courants ou du transport sédimentaire, et agissant à une échelle plus courte que celle du comportement morphodynamique correspondant.

La méso-échelle ou échelle dynamique qui concerne le comportement morphodynamique dû à l'interaction entre les processus physiques et la topographie. Elle permet de dater, entre autre, la propagation de corps sédimentaires ou encore la migration des barres.

La macro-échelle ou échelle de tendance qui concerne les tendances ayant lieu à une échelle de temps plus longue que celle des comportements morphodynamiques primaires. Ces tendances

peuvent être dues aux variations saisonnières de comportement ou à l'évolution progressive des forçages extérieurs (évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

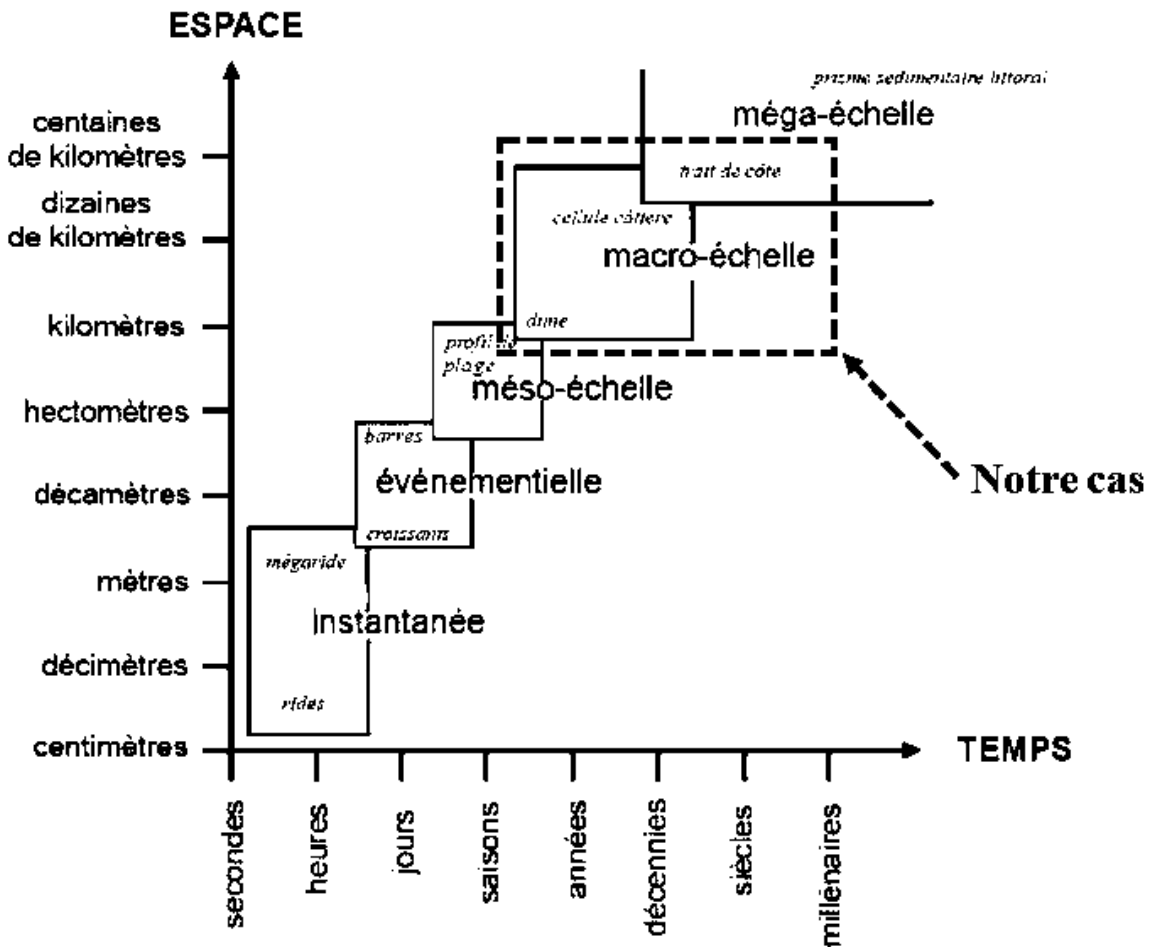


Fig.n°43 : Relations spatio-temporelles en morphodynamique côtière, d'après Stepanian

1.2. Récolte des données :

Nous avons pu avoir 03 cartes cartographiques et une image satellitaire, qui nous a été fournies par l'Institut National de Cartographie et de Télédétection (INCT), sur une période allant de 1956 jusqu'à 2003.

La cinquième, c'est une carte extraite à partir de Google Earth enregistrée en 2013.

D'après la hiérarchisation spatio-temporelle représentée dans le schéma ci-dessus, il s'agira bien d'une macro-échelle ; une dizaine d'années (57 ans) et une dizaine de kilomètres (31Km).

1.3. Moyens et procédure :

Pour étudier l'évolution du trait de côte du littoral Est de Béjaïa, nous avons utilisé le logiciel SIG, qui est ArcGis 9.2.

1.3.1. Aperçu du logiciel ArcGis 9.2 :

ArcGIS est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales.

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. (SOUDANI K., 2006 In ASBAI 2013).

Le logiciel ArcGIS 9.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

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 est vivement conseillé d'utiliser ArcCatalog pour effacer les fichiers car ces fichiers sont accompagnés d'autres fichiers que l'explorateur de Windows, s'il est utilisé, ne permet pas de les effacer automatiquement. ArcCatalog permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration des différents thèmes qui les constituent.

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.

ArcToolbox : est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection.

1.3.2. Procédure et discussion :

Sous ArcCatalog, nous avons créé quatre (05) couches "layers" pour chaque année puis, nous les avons géoréférencées sous le système de coordonnées horizontales projetées: Nord_Sahara_1959_ UTM_Zone_31N.

A l'aide d'ArcMap, nous avons pu digitaliser les traits de côte des cinq cartes (1956, 1962,1985, 2003 et 2013).

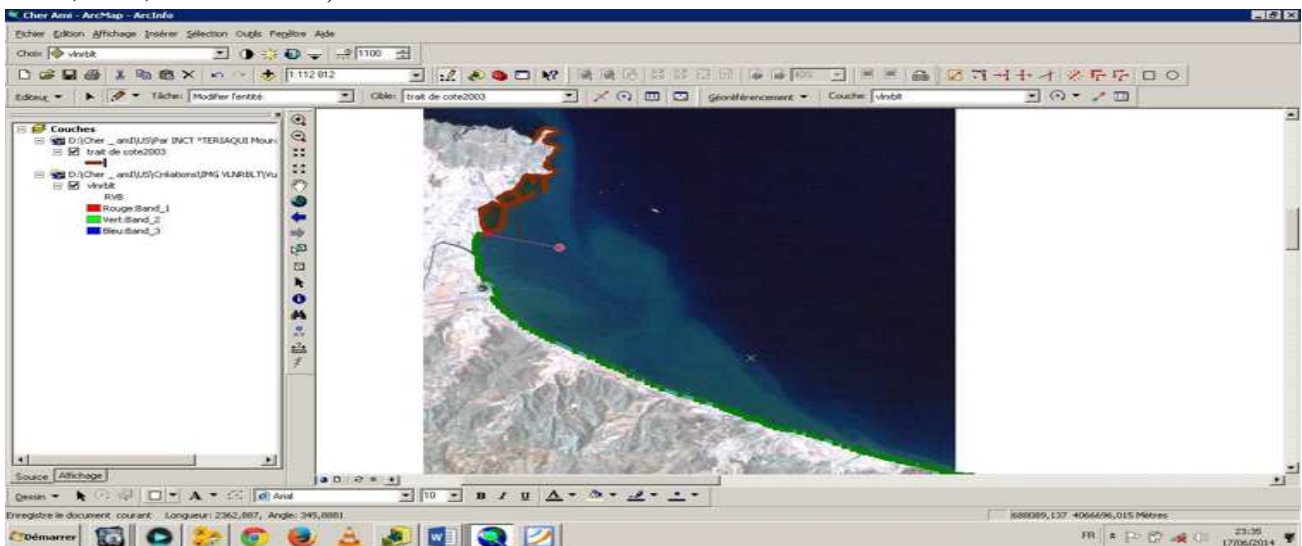


Fig.n°44 : Digitalisation du trait de côte sous ArcMap 9.2

Une autre couche, sous le nom "*évolution.shp*", a été créé dans le but de réunir et superposer les cinq traits de côte issus de la digitalisation.

Afin d'obtenir les taux d'érosion et d'accrétion, nous avons rajouté des transects (au nombre de 45) ayant 3000 m de longueur, équidistants de 500 m et perpendiculaires par rapport à la ligne de base, qui est parallèle au tracé de 2013 et la distance entre les deux et de 200 m (Fig.n°45).

À l'aide de la règle numérique, nous avons obtenu les différentes surfaces des polygones, représentant les surfaces d'érosion et d'accumulation, issues lors de la superposition des cinq traits de côte. Les résultats sont portés sur le tableau ci-dessous :

Tableau n°13 : Bilan des taux d'érosion et d'accumulation du littoral Est de Béjaïa entre 1956 et 2013.

Les périodes	Taux d'érosion (m ²)	Taux d'accrétion (m ²)	Bilan (m ²)	Taux d'érosion par an (m ² /an)
1956-1962	32751,242	0	(-) 32751,242	5458,540333
1962-1985	1108476,834	19466,128	(-) 1089010,706	47348,29157
1985-2003	182537,231	0	(-) 182537,231	10140,95728
2003-2013	98915,471	0	(-) 98915,471	9891,5471

D'après le tableau ci-dessus, le bilan général de l'état d'évolution des surfaces est estimé à une perte de 1 400 321,465 m², durant une période de 57 ans.

Le diagramme ci-dessous exprime les différents taux d'érosion annuels estimés, dont le taux minimum est de (5458,540333 m²/an) durant une période de six ans (1956-1962) d'une part. D'autre part le taux maximum (47348,29157 m²/an) s'étale sur une période de vingt-trois ans (1962-1985). À partir de 1985 les taux d'érosion restent quasiment stables, tournant autour des (10000 m²/an).

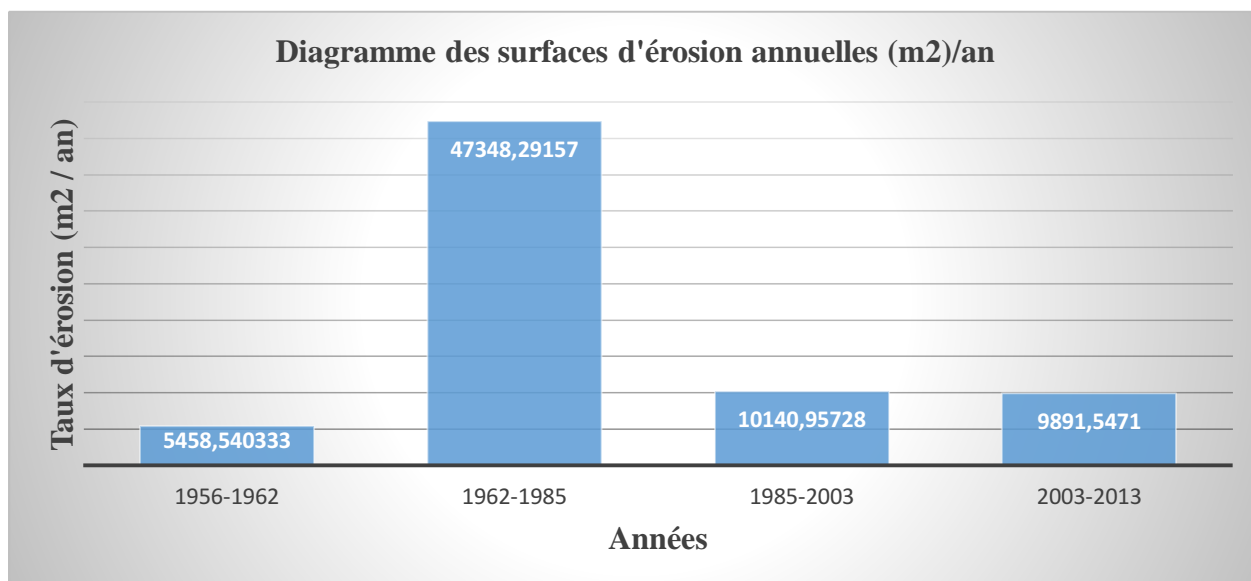


Fig. n°45 : Diagramme des surfaces d'érosion annuelles (m²/an)

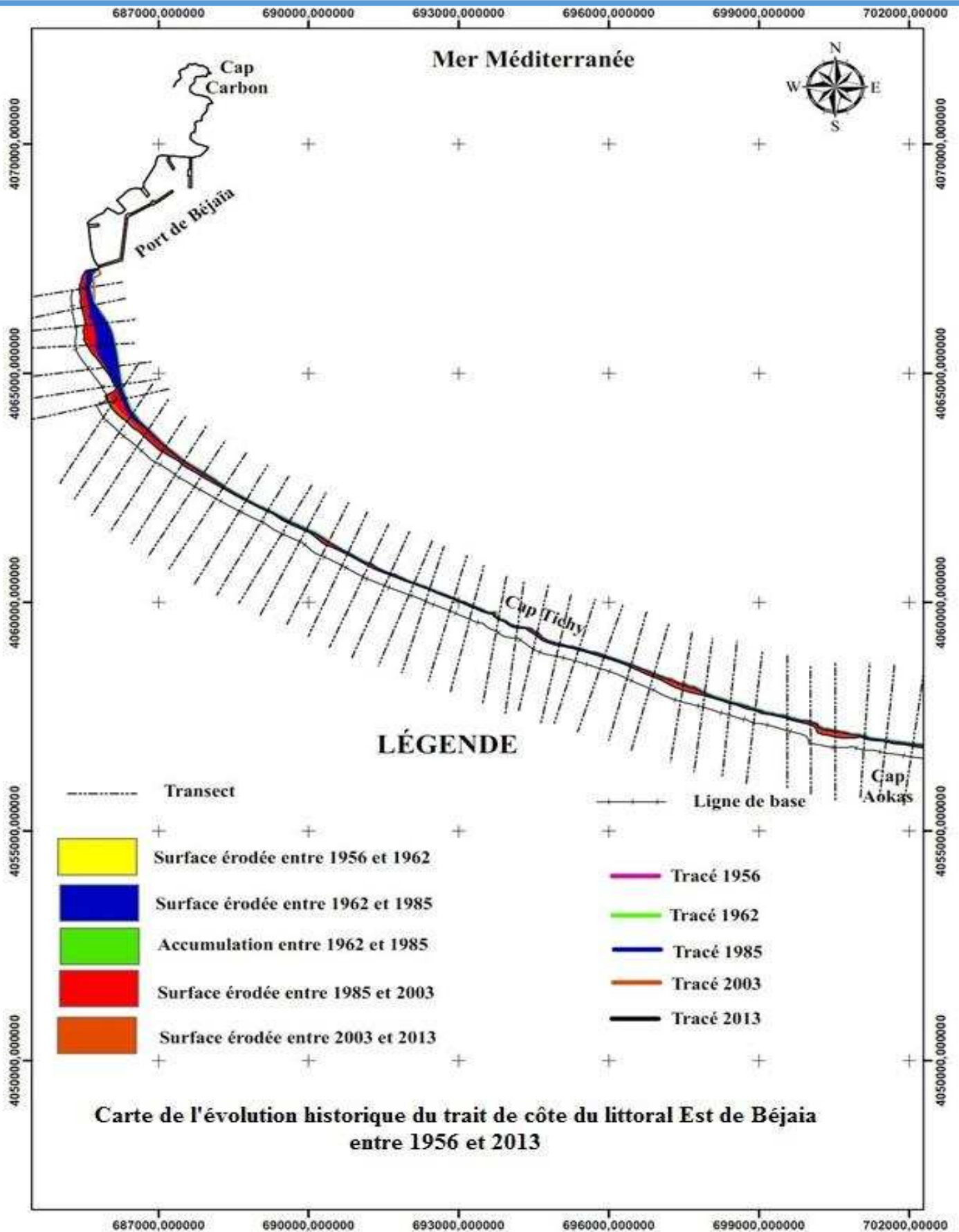


Fig. n° 46 : Carte de l'évolution historique du trait de côte du littoral Est de Béjaïa entre 1956 et 2013 (AOUDJ et BOUAZIZ, 2014).

L'analyse du tableau et de l'histogramme précédents montre d'une façon synthétique que, dans notre zone d'étude, l'érosion a pris l'avantage sur l'engraissement.

En effet, toutes les plages du littoral Est de Béjaïa présentent une récession nettement supérieure comparée à l'accrétion.

Conclusion sur l'évolution du trait de côte:

En effet, l'évolution du trait de côte dans la partie Est du littoral de Béjaïa est marquée par une érosion très intense notamment au niveau du bout de piste de l'Aéroport, de l'embouchure de l'oued Soummam et du Cap Aokas. Ceci pourrait bien être expliqué par des facteurs régissant la dynamique sédimentaire de la zone et les facteurs anthropiques.

2. ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITE LITTORALE :

La vulnérabilité est la probabilité que la zone côtière se dégrade suite à plusieurs phénomènes, naturels ou anthropiques.

La variabilité des phénomènes naturels auquel est soumise la côte Est du littoral de Béjaïa, la diversité des activités humaines qui s'y développent (touristiques, pêcheries, industries, commerce...), lui confèrent une vulnérabilité d'un niveau et d'une nature spécifiques.

Pour mener à bien l'évaluation de cette vulnérabilité littorale concernant notre zone d'étude, on s'est référé au travail de (DJOUDER & SEMAOUNE, 2010) concernant la fiabilité et la pertinence des résultats de certains paramètres qui nous ont été très utiles, tout en réalisant deux principales évaluations qui sont :

- Évaluation de la vulnérabilité des plages (en calculant les deux indices : B.V.I et B.T.L).
- Évaluation de la vulnérabilité côtière (en calculant l'indice C.V.I).

La représentation cartographique de ces trois indices (C.V.I, B.V.I et B.T.L) nécessite un découpage de la côte béjaouie, afin de déterminer les tendances locales de la vulnérabilité. Notre zone d'étude comprend seize (16) plages, réparties sur quatre (04) communes (Béjaïa, Boukhelifa, Tichy et Aokas). C'est pour cela que on a fractionné la côte de la partie Est du littoral de Béjaïa en plages portant le nom des communes pour lesquelles elles appartiennent. Il est question d'Aokas plage, Tichy plage, Boukhelifa plage et du secteur de Sidi Ali Lebhar qu'on a préféré à celui de Béjaïa.

2.1. Evaluation de la vulnérabilité des plages :

2.1.1. L'indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) :

Deux paramètres importants sont pris en considération lors du calcul du B.V.I : il s'agit de la largeur moyenne de la plage et la valeur moyenne du taux net de recul de la ligne de rivage. Il est calculé en employant la formule suivante :

B.V.I = la régression linéaire de la plage / la largeur moyenne de la plage.

Tableau n°14 : Indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) et ses valeurs de risque.

Classes de B.V.I		
1	< 0,002	Très bas
2	0,002-0,005	Bas
3	0,005-0,01	Moyen à bas
4	0,01-0,02	Moyen
5	0,02-0,04	moyen à haut
6	0,04 - 1	Haut

www.usgs.com

Résultats et interprétation

Tableau n°15 : Les valeurs de B.V.I de la partie Est du littoral de Béjaïa, entre cap Carbon et cap Aokas.

Classes de B.V.I			Nom de la plage et sa valeur de risque	Couleur
1	< 0,002	Très bas		Bleu turquoise
2	0,002-0,005	Bas	Tichy (0,0042)	Bleu
3	0,005-0,01	Moyen à bas	Boukhelifa (0,01)	Vert
4	0,01-0,02	Moyen	Aokas (0,0122) Sidi Ali Lebher (0,015)	Violet
5	0,02-0,04	moyen à haut		Orange
6	0,04 - 1	Haut		Marron

La représentation cartographique de l'indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) (Fig. n°47) fait ressortir trois classes de plages le long la partie Est du littoral de Béjaïa.

La première classe : concerne la plage de Tichy. Cette plage affiche une valeur de B.V.I qui équivaut à 0,0042 et présente un degré de vulnérabilité bas à l'élévation du niveau marin.

De cette analyse, on peut distinguer une plage de la commune de Tichy qui semble être la plus apte à surmonter une élévation prochaine du niveau des eaux marines méditerranéennes.

La deuxième classe : elle est représentée par la plage de Boukhelifa qui présente une valeur de B.V.I de 0,01. Donc, le risque d'inondation sur cette plage reste moyen à bas avec un degré de vulnérabilité moyen à bas face à l'élévation du niveau de la mer Méditerranée.

La troisième classe : les plages d'Aokas et de Sidi Ali Lebhar figurent dans cette classe avec des valeurs de B.V.I de 0,0122 et 0,015 respectivement. Par conséquent, le risque d'inondation

sur ces deux plages est moyen avec un degré de vulnérabilité moyen à l'élévation des eaux méditerranéennes.

2.1.2. L'indice de perte de la plage au cours du temps (B.T.L) :

Pour calculer le B.T.L, nous avons pris en considération deux paramètres : la largeur moyenne de la plage et le taux moyen net de recul du trait de côte (L.R.R).

$$\text{B.T.L} = \text{largeur moyenne de la plage} / \text{L.R.R}$$

Tableau n°16 : Classement du B.T.L et ses valeurs de risque selon l'U.S.G.S.

Classes de B.T.L			Couleur
1	Super à 500	Très bas	Bleu turquoise
2	500-200	Bas	Rose
3	200-100	Moyen à bas	Bleu
4	100-50	Moyen	Vert
5	50-25	Moyen à Haut	Orange
6	<25	Haut	Marron

Résultats et interprétation

Tableau n°17 : Les valeurs du B.T.L des plages de la partie Est du littoral de Béjaïa.

Classes de B.T.L			Nom de la plage et sa valeur de risque	Couleur
1	>500	Très bas		Bleu Turquoise
2	500-200	Bas		Rose
3	200-100	Moyen à Bas	Tichy (118,15)	Bleu
4	100-50	Moyen	Aokas (81,66) Boukhelifa (99,2)	Vert
5	50-25	Moyen à Haut	Sidi Ali Lebhar (50)	Bleu
6	< 25	Haut		Marron

L'analyse des résultats obtenus (Tableau n°17) et représentés dans la figure n°48, nous a permis de regrouper les plages de la partie Est du littoral de Béjaïa en trois classes distinctes de vulnérabilité.

La classe 1 : elle renferme la plage de Tichy. Cette dernière présente une valeur de B.T.L de 118,15 affichant ainsi un degré de risque moyen à bas.

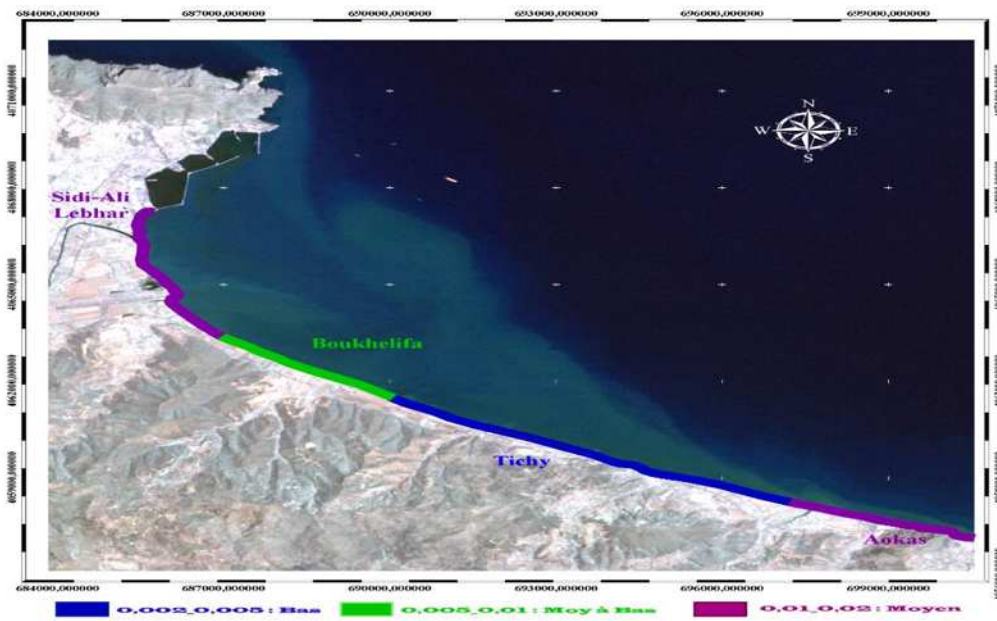


Fig. n°47 : Carte de l'indice de vulnérabilité des plages (B.V.I) du littoral Est de Béjaïa.

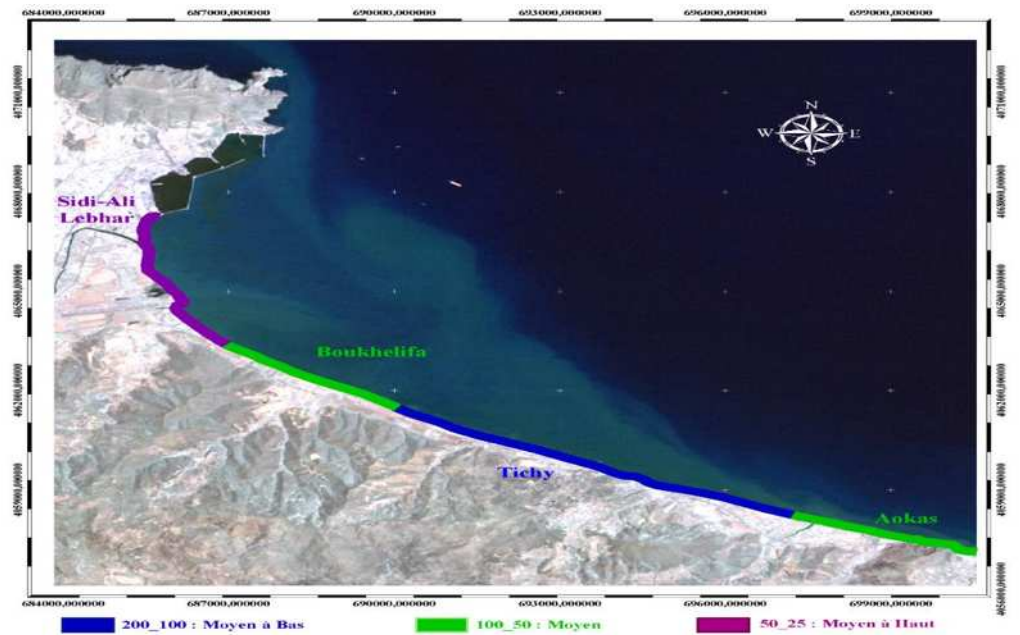


Fig. n°48 : Carte des pertes de la plage au cours du temps (B.T.L) du littoral Est de Béjaïa.



Fig. n°49 : Carte des facteurs de risque relatifs à la variable géomorphologie du littoral Est de Béjaïa.

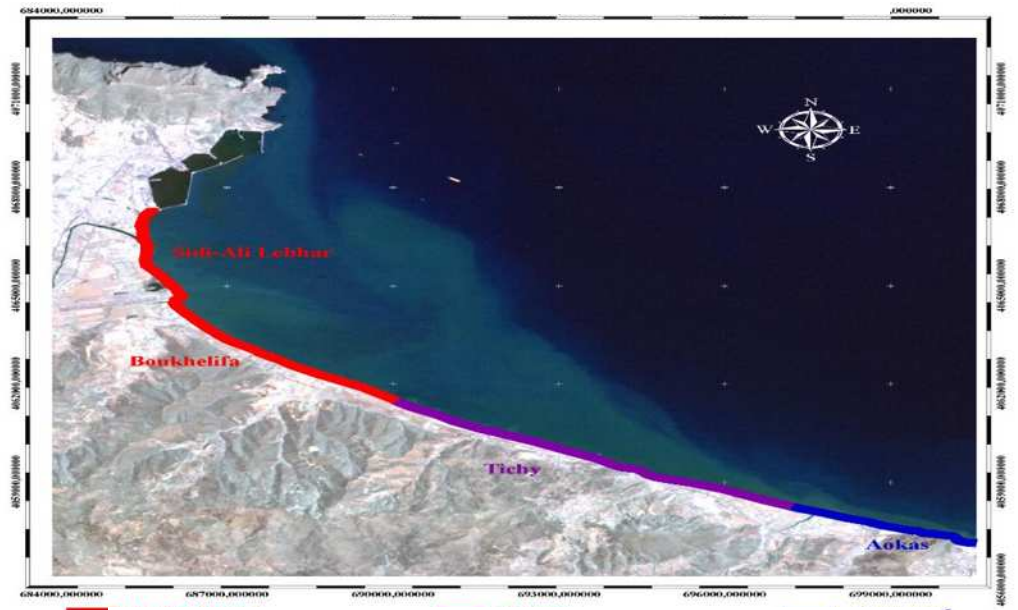


Fig.n°50 : Carte des facteurs de risque relatifs à la pente du littoral Est de Béjaïa

La classe 2 : les plages d'Aokas et de Boukhlifa figurent dans cette classe avec des valeurs de B.T.L de 81,66 et 99,2 respectivement. Cela dénote d'un degré de risque moyen.

La classe 3 : elle est représentée par la plage de Sidi Ali Lebhar qui affiche une valeur de B.T.L de 50 et un degré de risque moyen à haut.

2.2. Évaluation de la vulnérabilité côtière :

2.2.1. Aperçu sur la méthode :

L'indice de vulnérabilité de la côte (C.V.I), peut être employé pour identifier les secteurs à risque et ceux les plus exposés à une élévation du niveau des eaux marines. Six (06) variables physiques, relatives aux risques, sélectionnées en raison de leur utilisation dans la mesure du risque pour le littoral et contenues dans la base de données, peuvent être employées pour formuler cet indice, il s'agit de : la Géomorphologie, la pente côtière, la remontée relative du niveau de la mer, taux (érosion/accrétion) du trait de côte, l'amplitude moyenne de la marée et la hauteur moyenne de la houle significative.

Chacune des variables est dotée d'une valeur relative de risque, basée sur l'importance potentielle de sa contribution aux changements physiques sur la côte. Elles sont classées selon une échelle linéaire de 1 à 5 et suivant un ordre de vulnérabilité croissant dû à la montée du niveau de la mer, la valeur 1 correspondrait à un risque très faible et 5 au plus élevé (HAMMAR – KLOSE & THIELER, 2001, in Djouder et Smaoun, 2011) (Tableau n°18).

Tableau n°18 : Les six variables physiques utilisées pour la détermination de l'index côtier de vulnérabilité (d'après THIELER & HAMMAR-KLOSE, 2001).

Variables	Classe de l'indice côtier de vulnérabilité (C.V.I)				
	Très Bas	Bas	Modéré	Elevé	Très Elevé
	1	2	3	4	5
Géomorphologie.	Falaise et côte rocheuse	Falaise moyenne et baie	Falaise basse, dépôt glaciaire, plaine alluviale	Plage à galets, estuaire, lagune	Flèche, plage sableuse, marais, dépôt vaseux, delta, récifs à coraux et mangroves.
Pente côtière (%)	>12	12 - 9	9 - 6	6 - 3	<3
Remontée relative du niveau de la mer (mm/an).	<1,8	1,8 – 2,5	2,5 – 3,0	3,0 – 3,4	>3,4
Recul/Avancée du trait de côte (m/an).	> (+2,0)	(+1,0)-(+2,0)	(-1,0) – (+1,0)	(-2,0) – (-1,0)	< (-2,0)
Amplitude moyenne de la marée.	>6,0	4,0 – 6,0	2,0 – 4,0	1,0 – 2,0	<1,0
Hs (m)	<0,55	0,55 – 0,8	0,85 – 1,05	1,05 – 1,25	>1,25

L'indice de vulnérabilité de la côte est la racine carrée du produit des six variables, précédemment citées, divisées par leur nombre total suivant la formule :

$$CVI = \sqrt{\frac{a \times b \times c \times d \times e \times f}{6}}$$

Avec :

a : Géomorphologie ;

b : Pente de la côte ;

c : Taux relatif de l'élévation du niveau de la mer ;

d : Taux (érosion/accrétion) du trait de côte ;

e : Amplitude moyenne de la marée ;

f : Hauteur moyenne de la houle significative.

Ainsi 04 classes de risque sont déterminées :

- *Indice bas* : faible risque, les valeurs de risque sont inférieures à 10 ;
- *Indice modéré* : risque modéré, les valeurs sont comprises entre 10 et 20 ;
- *Indice élevé* : risque élevé, les valeurs varient entre 20 et 30 ;
- *Indice très élevé* : risque très élevé, les valeurs de risque sont supérieures à 30.

Pour la représentation cartographique des zones à risque, une couleur est attribuée pour chaque classe de vulnérabilité : vert pour la vulnérabilité très faible, jaune pour la vulnérabilité faible, violet pour la vulnérabilité modérée, bleu pour la vulnérabilité élevée et rouge pour celle très élevée.

2.2.2. Résultats et interprétation

Le long de tout le littoral de la partie Est du littoral de Béjaïa, entre cap Carbon et cap Aokas, chaque segment côtier ou chaque rivage aura une responsabilité à répondre défavorablement à un risque, c'est le degré de vulnérabilité à une remontée future du niveau marin. Il est défini par l'indice côtier de vulnérabilité « I.V.C » (HAMMAR-KLOSE et THIELER, 2001, in Djouder et Smaoun, 2011).

Les segments du littoral avec des valeurs d'indice élevées auront des reliefs bas, un substrat facilement érodable, un recul du trait de côte important et sont exposés à des énergies élevées de vagues (Gornitz et al, 1994, in Djouder et Smaoun, 2011).

L'indice utilisé permet aux six variables physiques d'être reliées d'une façon quantifiable et exprime alors la vulnérabilité relative de la côte aux changements physiques, particulièrement l'érosion côtière et l'inondation, dû à l'élévation du niveau de la mer.

En effet, sur le littoral de la partie Est du littoral de Béjaïa, toutes les caractéristiques physiques sont influentes dans la détermination du degré de vulnérabilité :

2.2.2.1. La Géomorphologie :

Il n'y a pas une grande variation sur le littoral étudié puisqu'il est formé des plages sableuses, de Tichy, de Boukhlifa et de Sidi Ali Lebhar. Ces plages sont séparées par les falaises rocheuses des Cap Aokas et Cap Tichy.

Selon HAMMAR-KLOSE & THIELER (2001) (in Djouder et Smaoun, 2011), les facteurs de risque d'érosion côtière, en réponse à une remontée du niveau marin, dans ce cas reste très élevé pour les accumulations sableuses et très bas pour les falaises des caps Aokas et Tichy (voir Fig. n°53 en annexes).

2.2.2.2. La pente côtière

Elle permet une évaluation non seulement du risque relatif à la rapidité potentielle du recul du trait de côte, mais également du risque d'inondation car les régions côtières à pente faible devraient régresser plus rapidement que les zones à déclivité plus raide (Pickey et Davis, 1987 in Djouder et Smaoun, 2011).

Pour ce qui est de la côte béjaouie, la pente a été calculée en utilisant le modèle numérique de terrain (M.N.T) généré à partir de l'orthophotoplan de l'année 1989. Elle varie entre 6 et 9 % à Aokas présentant ainsi un risque modéré, entre 3 et 6 % à Tichy traduisant ainsi une valeur élevée du risque et elle est inférieure à 3 % au niveau des plages de Boukhlifa et de Sidi Ali Lebhar justifiant ainsi un risque très élevé (Fig. n°54 voir annexes) .

En effet, dans la partie Est du littoral de Béjaïa, 1,11% de la côte présentent un risque modéré, 36,11% un risque élevé et 62,78% de la côte affichent un risque très élevé pour la pente côtière.

2.2.2.3. Le taux d'érosion/accrétion de la côte :

Les taux moyens d'érosion/accrétion de la partie Est du littoral de Béjaïa ont été calculés à partir de l'analyse des photographies des missions aériennes de 1973 et 1989 et à partir de l'image SPOT de 2001. Donc elle s'est faite sur une période de 28 ans.

Les résultats obtenus montrent une érosion généralisée le long de cette zone côtière, avec une variation spatiale des taux de recul. En conséquence, les facteurs de risque relatifs aux retraits notés, restent modérés à Tichy, élevés à Aokas et très élevés à Boukhlifa et Sidi Ali Lebhar (Fig.n°55 voir annexes).

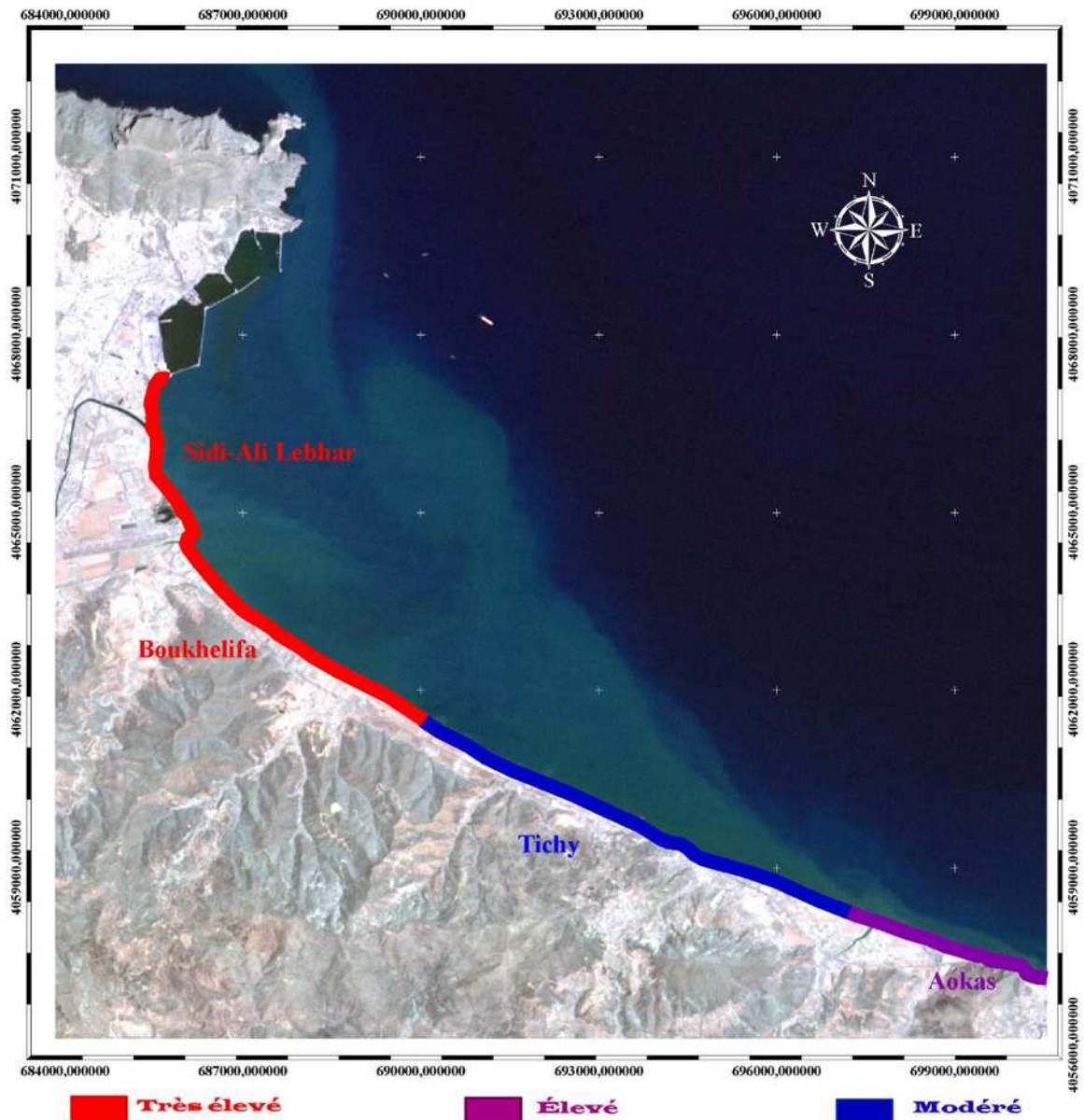


Fig. n°51 : Carte des facteurs de risque relatifs à la variable érosion / accrétion du trait de côte.

En effet, sur la frange littorale s'étalant entre Cap Carbon et Cap Aokas, 36,11% des plages de cette côte sont classées à risque modéré, 11,11% à risque élevé et 52,77% présentent un risque très élevé.

2.2.2.4. La hauteur moyenne de la houle significative :

Le long de cette portion littorale, l'amplitude moyenne de la houle est d'environ 1,74 m d'où un facteur de risque très élevé.

La combinaison de toutes ces variables physiques a permis de déterminer l'indice côtier de vulnérabilité selon la formule proposée par HAMMAR – KLOSE & THIELER (2001). Il révèle

alors une vue d'ensemble sur les régions où il serait possible que les changements physiques, relatifs à l'érosion côtière et aux inondations, se produisent suite à la montée future du niveau marin.

Tableau n°19 : Les valeurs de l'I.V.C au niveau de la partie Est du littoral de Béjaïa, entre cap Carbon et cap Aokas.

Plages	Aokas	Tichy	Boukhelifa	Sidi Ali Lebhar
C.V.I	2,04	2,04	2,16	2,16
Valeur de risque	25	25	28	28
Degré de risque	3	3	3	3

Ainsi, les valeurs de cet index varient entre 2,04 et 2,16 (Tableau n°19) avec une valeur moyenne de 2,1.

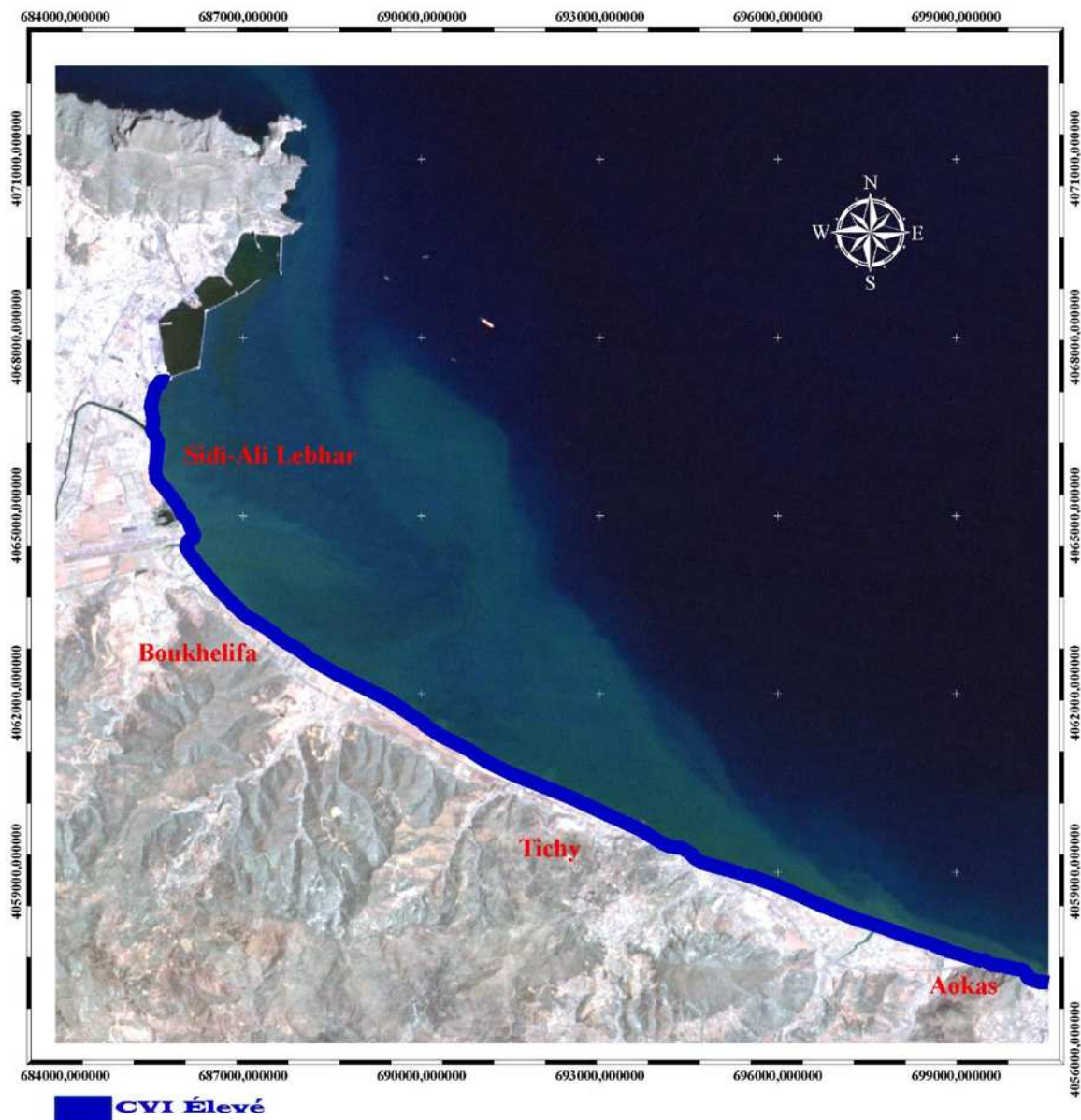


Fig. n°52 : Carte de l'Indice de Vulnérabilité côtière du littoral Est de Béjaïa

La traduction graphique des valeurs de l'index de vulnérabilité côtière (Figure n°56) indique que toute la portion littorale béjaouie, entre Cap Carbon et Cap Aokas, est soumise à un risque élevé vis-à-vis de l'élévation du niveau de la mer Méditerranée.

En effet, le graphe sur la figure, confirme que la zone côtière Est du littoral de Béjaïa présente entièrement une vulnérabilité élevée à l'élévation du niveau marin. La vulnérabilité se fait déjà sentir vue l'état actuel de dégradation des plages. Les plages d'Aokas, de Boukhlifa et de Sidi Ali Lebhar présentent des taux nets de recul conséquents, voir alarmants pour Sidi Ali Lebhar. La plage de Tichy malgré une alternance d'avancée et de recul de la ligne de rivage, affiche elle aussi une vulnérabilité élevée à cette élévation du niveau marin.

Conclusion :

L'utilisation de l'indice côtier de vulnérabilité (C.V.I) s'est révélé être :

- Une approche prospective qui combine la susceptibilité d'un système côtier aux changements avec sa capacité normale de s'adapter aux nouvelles conditions environnementales. Elle reflète ainsi une mesure relative de la vulnérabilité des écosystèmes aux effets de l'élévation du niveau de la mer.
- Une technique objective pour l'évaluation des risques et pour une planification plus adéquate à long terme par les décideurs.

La détermination de l'indice côtier de vulnérabilité physique, selon HAMMAR – KLOSE & THIELER (2001), a montré une vulnérabilité élevée, à l'élévation du niveau des eaux méditerranéennes, dans toutes les plages constituant de la partie Est du littoral de Béjaïa allant de Cap Carbon à Cap Aokas vers l'Est.

Ainsi, l'évaluation des impacts à l'élévation du niveau marin, prévue suite aux changements du climat, montre que de futures modifications sont à attendre sur le littoral. Une forte vulnérabilité physique résultante pourrait être attendue dans la région de Béjaïa, étant donné la morphologie de cette région, le développement socio-économique prévu et les scénarios de la hausse du niveau des eaux marines.

Toutefois, avec les projets de développement socio-économique prévus sur cette côte, le rythme des changements physiques qui affecteraient ce littoral et l'incertitude de l'intensité de la hausse du niveau de la mer, il est certes difficile de prévoir avec certitude la vulnérabilité de ce littoral aux phénomènes paroxysmiques. Par cette étude, nous avons cherché à présenter les tendances et non pas les grandes précisions.

Chapitre V :
ÉTUDE BATHY-SÉDIMENTAIRE

Introduction :

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques, qui entraîne des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux. L'évolution des fonds est le résultat des échanges transversaux et longitudinaux entre les différentes unités morphologiques de la côte.

L'objectif de ce chapitre est d'étudier la morphologie du fond de la zone comprise entre Cap Carbon et Cap Aokas, et ce en effectuant une étude bathymétrique et une analyse topographique des profils de plage. Cette étude sera accompagnée d'une étude sédimentologique.

1. Etude bathymétrique :

1.1. Le levé bathymétrique :

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

Afin d'obtenir le levé bathymétrique de notre zone d'étude, nous avons effectué une campagne de mesure le 03 Juin 2014, à bord de la *Pilotine El Marsa BJ44*, qui nous a été affrétée gracieusement par l'entreprise portuaire de Béjaia (EPB). L'embarcation était munie d'un échosondeur de la marque FURONO et d'un GPS.



Photo n°20: Echosondeur de marque FURONO de la Pilotine El Marsa BJ44

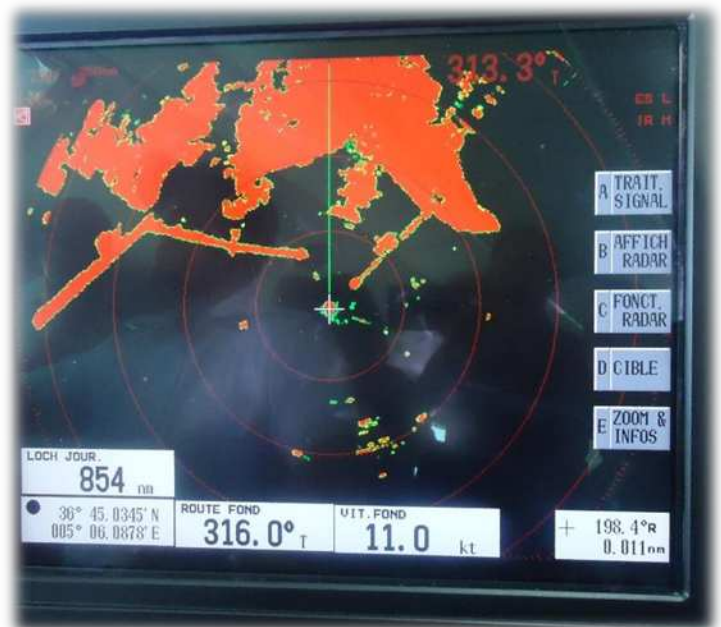


Photo n°21 : RADAR de la Pilotine El Marsa BJ44

Lors de notre sortie, nous avons accompagné en rade deux agents de contrôle de qualité des marchandises (matériaux de construction,...) qui arrivent de l'étranger à l'intérieur de grands navires. Ces derniers attendent en rade le feu vert des autorités afin d'amarrer dans le port de Béjaia et décharger leurs marchandises.

La sortie s'était déroulée la matinée, entre 10h15 min et 12h15 min. Les conditions climatiques n'étaient pas clémentes, le ciel était dégagé, la mer était peu agitée à agiter, le vent soufflait avec une vitesse de 19 km/h, de direction Sud-Ouest.

1.2. La carte bathymétrique :

La carte bathymétrique constitue un document de base nécessaire pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine.

La profondeur maximale de la baie de Béjaia est d'environ 1000 m. Elle se singularise par un plateau peu étendu d'une largeur moyenne de 1.5 km et un glacis continental festonné par d'imposantes criques (Aokas, Béni Segual) d'où partent des vallées sous-marines. (Mazouz et Hamana, 1994 in Djouder et Smaoun, 2011).

Les résultats obtenus lors de notre levé bathymétrique, nous ont permis de réaliser une carte bathymétrique de la baie à l'aide du logiciel Surfer.

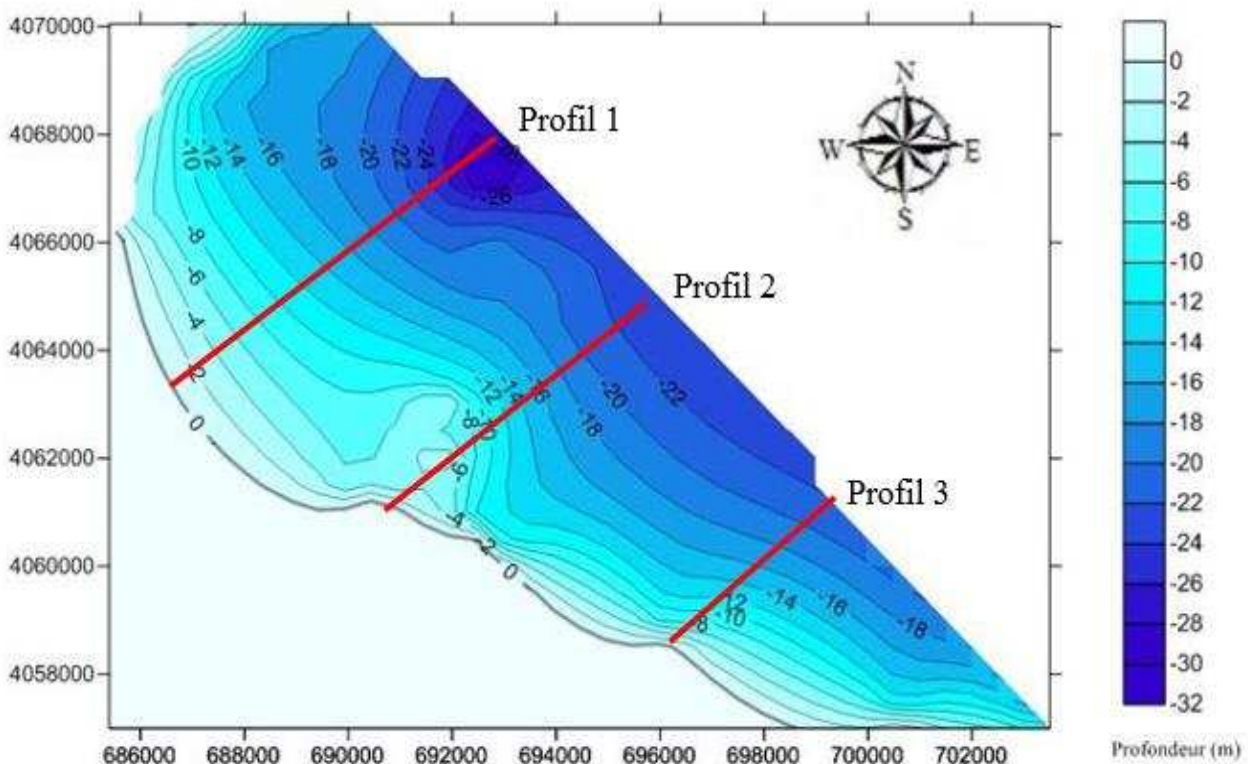


Fig. n°57 : Carte bathymétrique du littoral Est de Béjaia, (AOUDJ et BOUAZIZ, 2014)

Au premier abord, la carte bathymétrique obtenue montre des isobathes plus ou moins régulières et parallèles à la côte. Les courbes bathymétriques, dans la partie sous-marine des communes littorales d'Aokas et Tichy, sont très rapprochées, ce qui traduit une pente abrupte. Par contre, du côté ouest les courbes sont un plus espacées.

1.3. Réalisation des profils topographiques :

Partant de Cap Carbon à Cap Aokas, des profils perpendiculaires à la côte ont été tracés afin de cerner la morphologie sous-marine de la zone.

- Profil 1 :

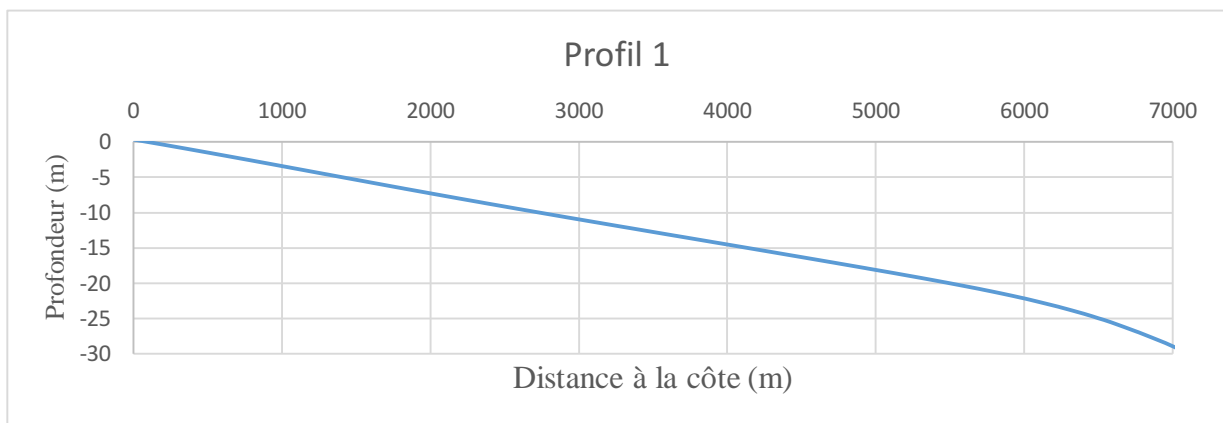


Fig.n°58 : Profil bathymétrique n°1

- Profil 2 :

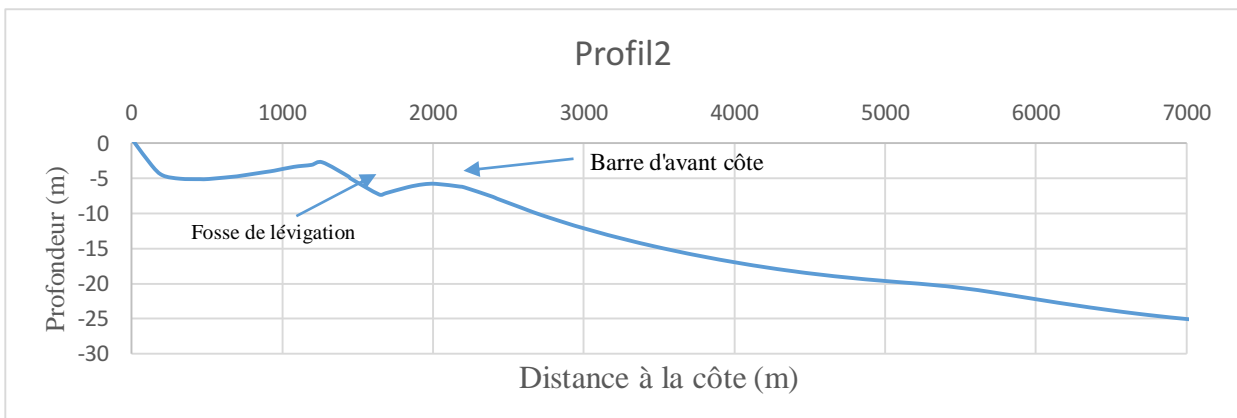


Fig.n°59 : Profil bathymétrique n°2

- Profil 3 :

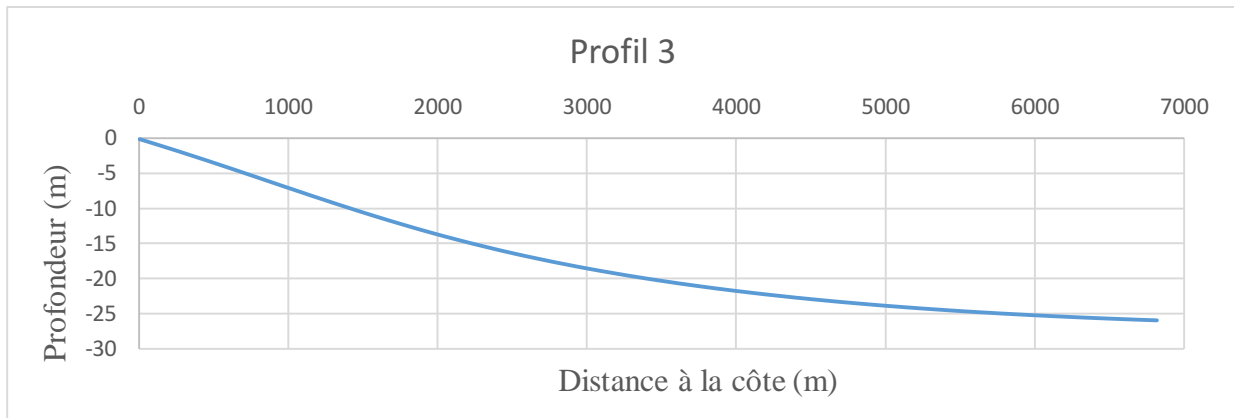


Fig.n°60: Profil bathymétrique n°3

Interprétation des profils :

Profil n°1 : Le profil descend en pente douce jusqu'à 30 m de profondeur, le tracé est linéaire et régulier, ne présente aucune morphologie de type fosse ou barre sous-marines.

Profil n°2 : Le profil descend en pente raide jusqu'à une rupture de pente à une profondeur de -5 m, puis la pente disparaît sur une longueur de 700 m où nous remarquons la présence d'une fosse de lévigation. Ensuite vers -6 m de profondeur, la pente redevient abrupte.

Profil n°3 : Le tracé de ce troisième profil est totalement opposé à celui du premier. Le profil descend en pente abrupte jusqu'à -25 m de profondeur, puis en pente douce.

2. Étude sédimentologique:

D'après Leclair (1972), la couverture sédimentaire dans la baie de Béjaia est de nature essentiellement siliceuse et argileuse.

La distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. En outre, elle est caractérisée par trois principaux types de faciès :

- Sables et sablons siliceux rencontrés aux faibles profondeurs (0 – 20 m) et ce à partir de la ville de Béjaia jusqu'à la rive Est de l'oued Agrtoun, de plus une extension vers le large (40 m) de ce faciès est observé particulièrement entre les embouchures des oueds Soummam et Djemââ.
- Le faciès de boues silico-argileuses est au niveau de toute la baie, dominant entre 40 et 80 m de profondeur ;
- A partir de 100 m de profondeur et plus les boues silico-argileuses et argilo-siliceuses sont retrouvées.

2.1. La répartition spatiale des dépôts sédimentaires :

Une étude sédimentaire d'un système littoral donné, nécessite d'effectuer une campagne sédimentologique afin de récolter des échantillons à analyser au laboratoire, et par la suite déduire la répartition spatiale et dynamique de ces mêmes dépôts sédimentaires.

Mais malheureusement dans notre cas, nous n'avons pas pu réaliser cette partie du travail, indépendamment de notre volonté, faute de moyens.

Et pour y remédier, nous exploiterons les résultats d'une étude réalisée par le Laboratoire d'Etude Maritime (L.E.M) en 1998, couvrant notre zone d'étude, de Cap Carbon à Cap Aokas.

Les résultats de l'analyse des dépôts sédimentaires de la partie Ouest de la baie de Béjaia, obtenus par le L.E.M, montrent que les sédiments superficiels sont essentiellement du sable fin.

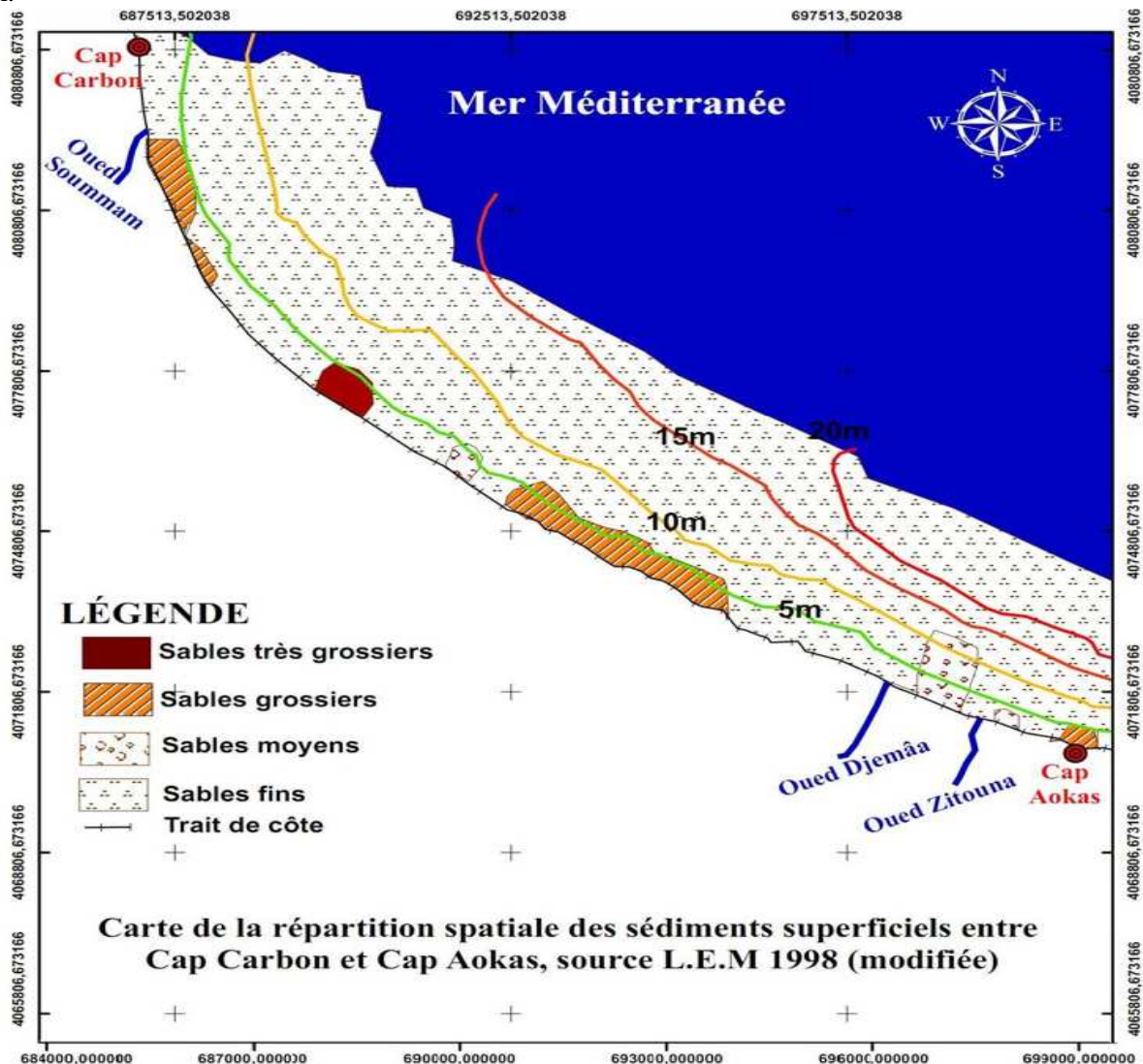


Fig. n°61 : Carte de la répartition spatiale des sédiments superficiels entre Cap Carbon et Cap Aokas.

2.1.1. Répartition des pélites :

La répartition des pélites dans la baie de Béjaia, suit un schéma classique généralement admis, à savoir une augmentation graduelle des teneurs en pélites de la côte vers le large.

Dans la frange côtière comprise entre 0 et 10 m de profondeur, les teneurs en pélites varient entre 0 et 10%, puis vont en augmentant vers le large pour atteindre des valeurs supérieures à 50%. A l'entrée du port et à l'embouchure de l'Oued Soummam, dès l'isobathe 10 m, les teneurs excèdent les 50%. Ce taux élevé est dû aux grandes quantités de particules fines transportées par l'oued Soummam et l'oued Seghir, ces particules sont transportées par les courants de retour, et peuvent à court terme se déposer dans des zones calmes.

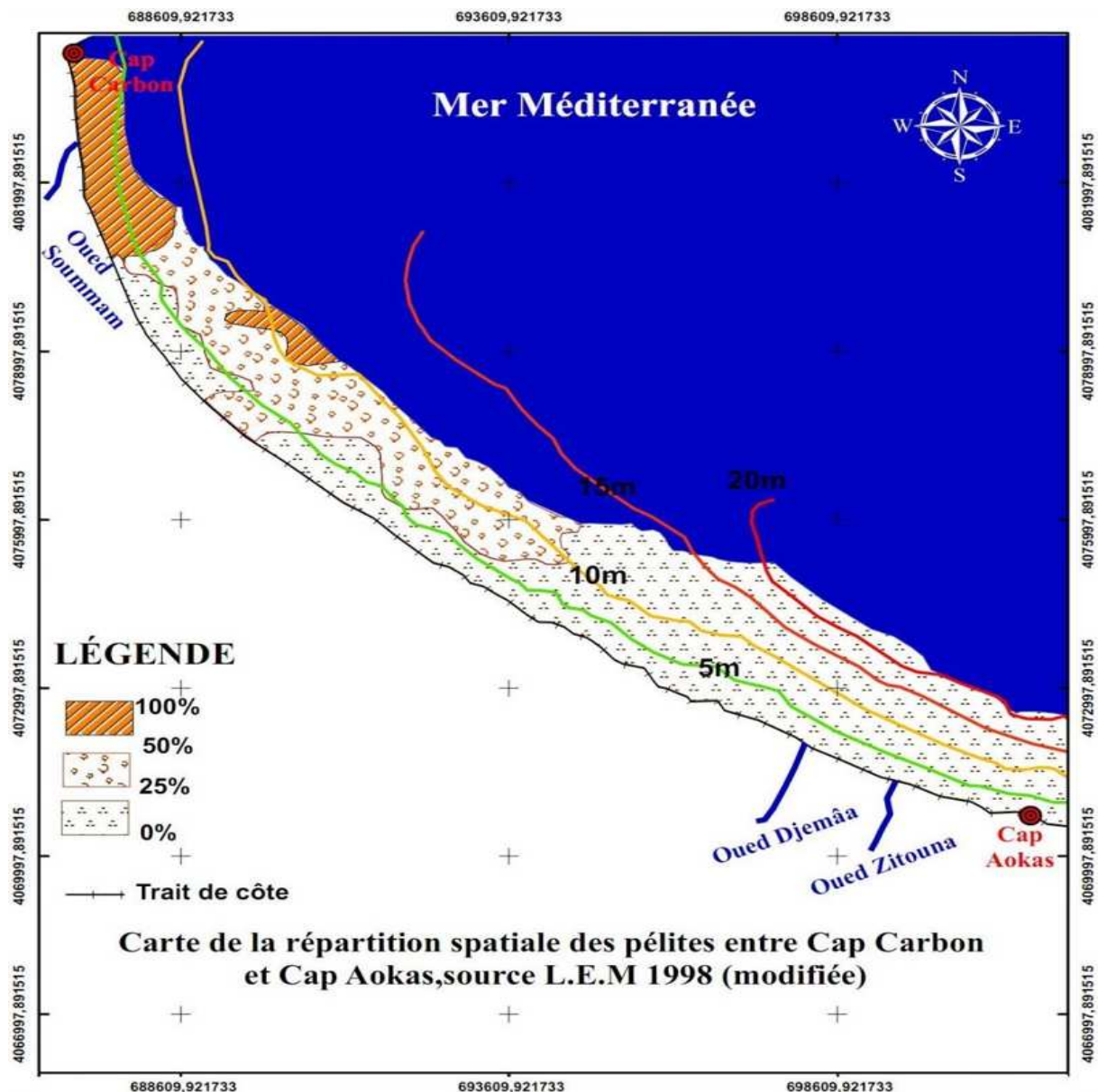


Fig. n°62 : Carte de la répartition spatiale des pélites entre Cap Carbon et Cap Aokas.

2.1.2. La médiane granulométrique :

Entre Cap Carbon et Cap Aokas, la distribution spatiale du grain moyen est en décroissance graduelle de la côte vers le large. La taille des particules sur la frange côtière jusqu'à -5 m de profondeur, varie entre 200 et 500 μm . Vers le large la médiane est aux alentours de 100 μm .

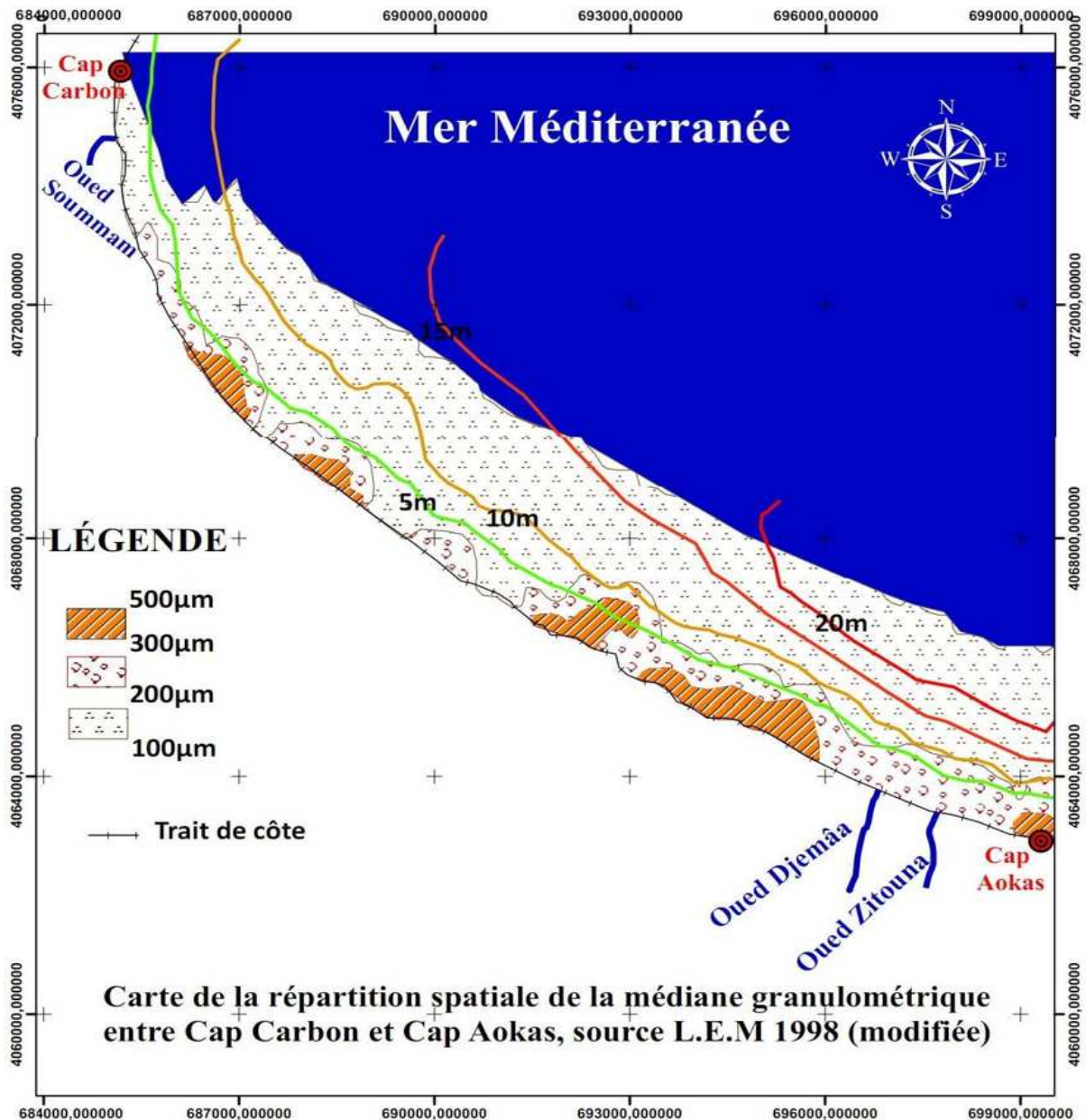


Fig. n°63 : Carte de la répartition spatiale de la médiane granulométrique entre Cap Carbon et Cap Aokas.

3. La dynamique sédimentaire dans la baie de Béjaïa:

La répartition des sédiments dans la baie de Béjaïa est conditionnée par l'action des houles des secteurs Nord-Ouest, Nord-Est ainsi que par celles du secteur Nord (L.E.M).

Les houles de l'Ouest dominantes en période hivernale abordent la côte avec une incidence oblique, créant un courant de dérive littorale, assurant le transit des sédiments dans la même direction.

Quant aux houles dominantes de l'Est en période estivale abordent également la côte avec une incidence oblique créant un courant de dérive littorale assurant la dissémination des sédiments dans le même sens.

Les houles du Nord par contre, régulières durant toute l'année, arrivent à la côte avec une incidence frontale, créant un courant de retour assurant la répartition des sédiments dans le profil.

Les houles de l'Ouest dominantes en période estivale abordent la côte avec une incidence oblique, créant un courant de dérive littorale assurant le transit des sédiments dans la même direction.

Les houles de l'Est dominantes en période hivernale abordent la côte avec une incidence oblique, créant un courant de dérive littorale assurant la dissémination des sédiments dans le même sens.

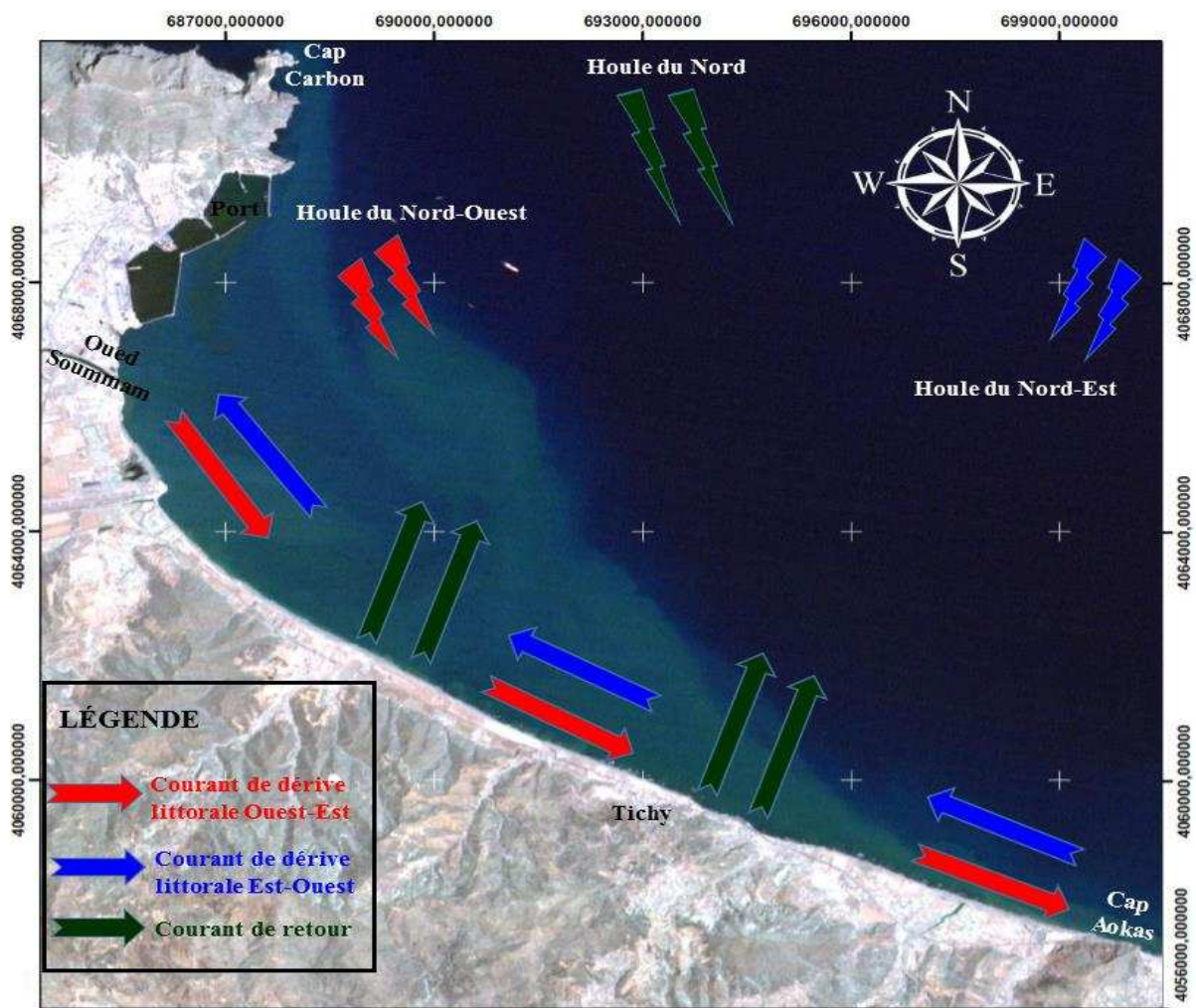


Fig. n°64 : Schéma probable de la dynamique sédimentaire entre Cap Carbon et Cap Aokas.

3.1. Analyse de la dynamique sédimentaire de la plage de Sidi Ali Lebhar avec le modèle Mc Laren / Gao et Collins :

La zone de l'estran joue un rôle très important sur la stabilité et sur l'évolution de la zone côtière. Les processus hydro-sédimentaires dans ce milieu littoral sont assez complexes et difficiles à traiter. Les houles, la marée, les courants et le transport sédimentaires sont mutuellement dépendants et interagissent pour façonner la plage à des échelles de temps et d'espace variées. Sous l'action des vagues et des courants, le sable est arraché du fond, transporté par l'écoulement puis déposé en permanence. Soumis à cette forte activité hydrodynamique, la plage change régulièrement de texture et de morphologie.

Notre analyse de la dynamique sédimentaire ne couvre pas toute notre zone d'étude, faute de données, mais juste une petite portion. Pour ce faire, nous avons exploité des résultats qui nous ont été fournies par un doctorant qui travaille sur la même thématique que la nôtre.

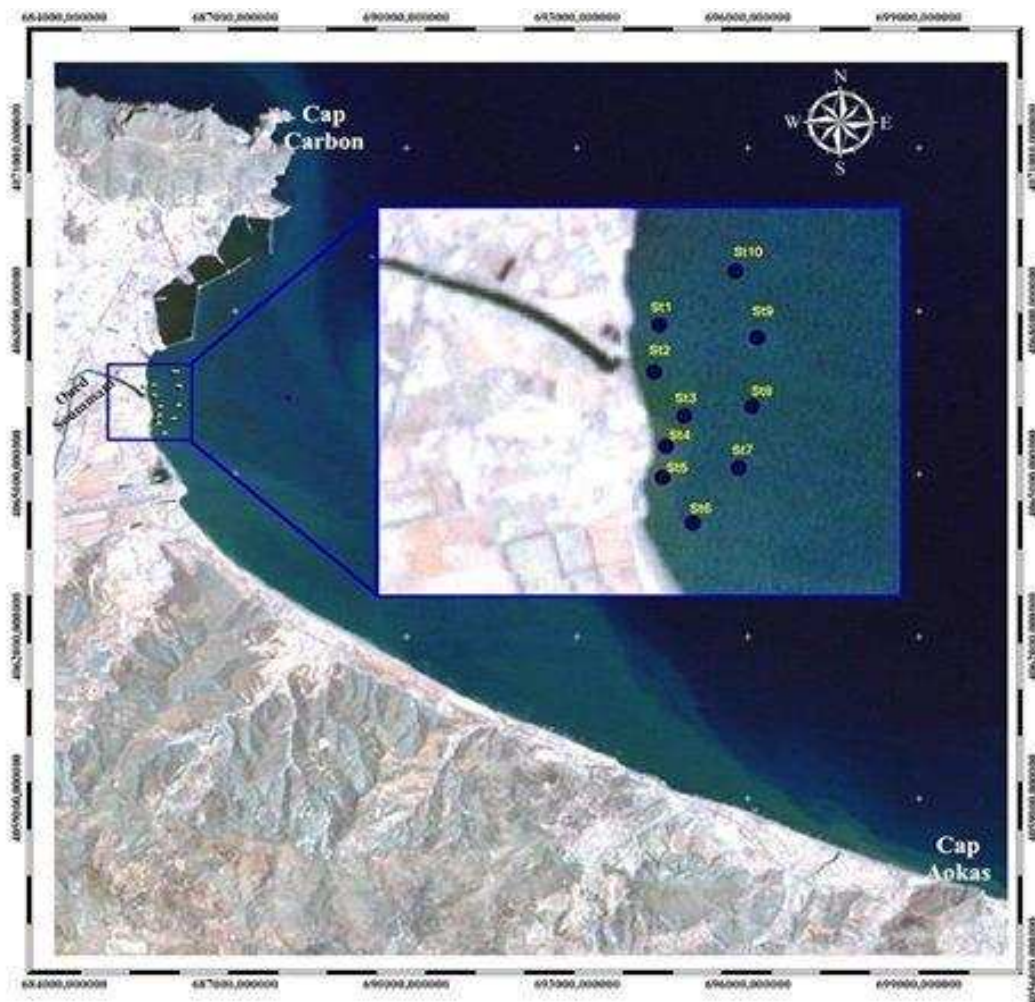


Fig. n° 65 : Localisation des stations de prélèvement au niveau de la plage de Sidi Ali Lebhar.

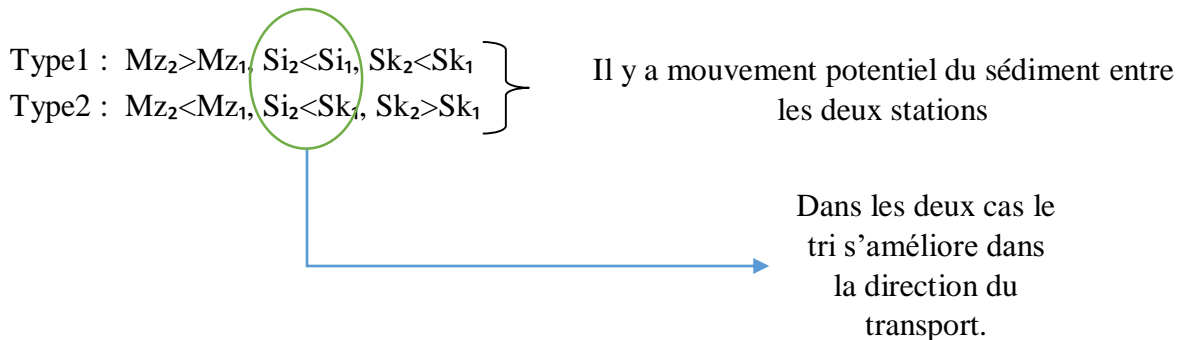
3.1.1. Principe du modèle :

Le modèle développé par McLaren (1981, 1985) est basé sur le principe suivant : les variations dans la répartition granulométrique d'un sédiment depuis sa source jusqu'au moment du dépôt dépendant de la dynamique hydrosédimentaire. Cette dynamique (érosion, transport, tri et dépôt sélectif) peut traduire les directions du transport résiduel. Ce modèle repose sur la comparaison entre les échantillons des trois paramètres sédimentologiques, le grain moyen (Mz), l'indice de classement (Si) et l'indice d'asymétrie (Sk) entre deux prélèvements.

Par comparaison de (n) paramètres, 2^n cas possibles peuvent apparaître entre deux échantillons. Théoriquement, les cas possible sont au nombre de huit (McLaren et Bowles, 1985) :

Cas :	Définition des cas en unité phi		
1	$\mu_1 \geq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
2	$\mu_1 \leq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
3	$\mu_1 \geq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
4	$\mu_1 \leq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
5	$\mu_1 \geq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
6	$\mu_1 \leq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
7	$\mu_1 \geq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$
8	$\mu_1 \leq \mu_2$	$Si_1 \geq Si_2$	$Sk_1 \geq Sk_2$

- Procéder à la comparaison des paramètres texturaux pour déterminer dans quel cas nous nous trouvons :



Quant aux autres types : 3, 4, 5, 6, 7 et 8 : le sédiment n'est pas en mouvement.

- Choisir la distance critique (Dcr) :

La distance critique notée Dcr est définie comme étant la distance séparant une station de sa voisine, ou bien c'est la distance en deçà de laquelle tout échantillon est compris dans ce périmètre. Le choix de la Dcr se base sur le principe que chaque échantillon doit avoir plusieurs voisins, et qu'il n'y ait pas d'échantillon se trouvant en dehors de ce périmètre.

Le sens du transport sédimentaire est déterminé par le tri, les sédiments se déplacent vers la station où le tri est meilleur, c'est-à-dire le tri le plus faible.

- L'étape suivante consiste à tracer les vecteurs de transport et faire une somme vectorielle.

3.1.2. Procédure analytique :

L'application du GSTA (Grain Size Trend Analysis) passe par plusieurs étapes :

a. Préparation des données d'entrée :

La grille d'entrée est formée de 6 colonnes :

- Sur la première colonne (A), on porte les numéros des stations de prélèvement, où leur nombre total est reporté sur la première case.
- Les deux colonnes qui suivent (B et C), contiennent les coordonnées géographiques des stations. Et sur la première case de chaque colonne, sont portées, un coefficient qui dépend du type de coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques on prend le numéro 1. Dans la seconde case se trouve la distance critique (Dcr).
- Enfin, pour les colonnes D et E, on porte les indices granulométriques pour chaque station, Mz, Si et Sk (avec l'échelle de phi).

Détermination des paramètres granulométriques pour chaque station: Mz, Si et Sk (avec l'échelle de Phi)

$$Mz = (\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}) / 3$$

$$Si = ((\phi_{84} + \phi_{16}) / 4) + ((\phi_{95} + \phi_5) / 3)$$

$$Sk = ((\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{84} + \phi_{16})) + ((\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}) / 2 (\phi_{95} + \phi_5))$$

b. Application du GSTA :

Le logiciel GSTA est un programme destiné à l'analyse du transport sédimentaire. Son application est facile, il suffit d'introduire un fichier input contenant le nombre de stations, les coordonnées géographiques et les indices granulométriques. Ce fichier est sous format (*.dat), il est obtenu à l'aide du logiciel SURFER. Le fichier output qu'on obtient, contient les coordonnées des stations avec les directions de transport sédimentaire.

c. Exploitation des données de sortie :

Les résultats doivent être traités avec Excel, puis exploités avec le logiciel Surfer, à l'aide de la fonction Vecteur map, qui permet de dessiner une carte des vecteurs modélisant le transport sédimentaire.

Les résultats de la modélisation :

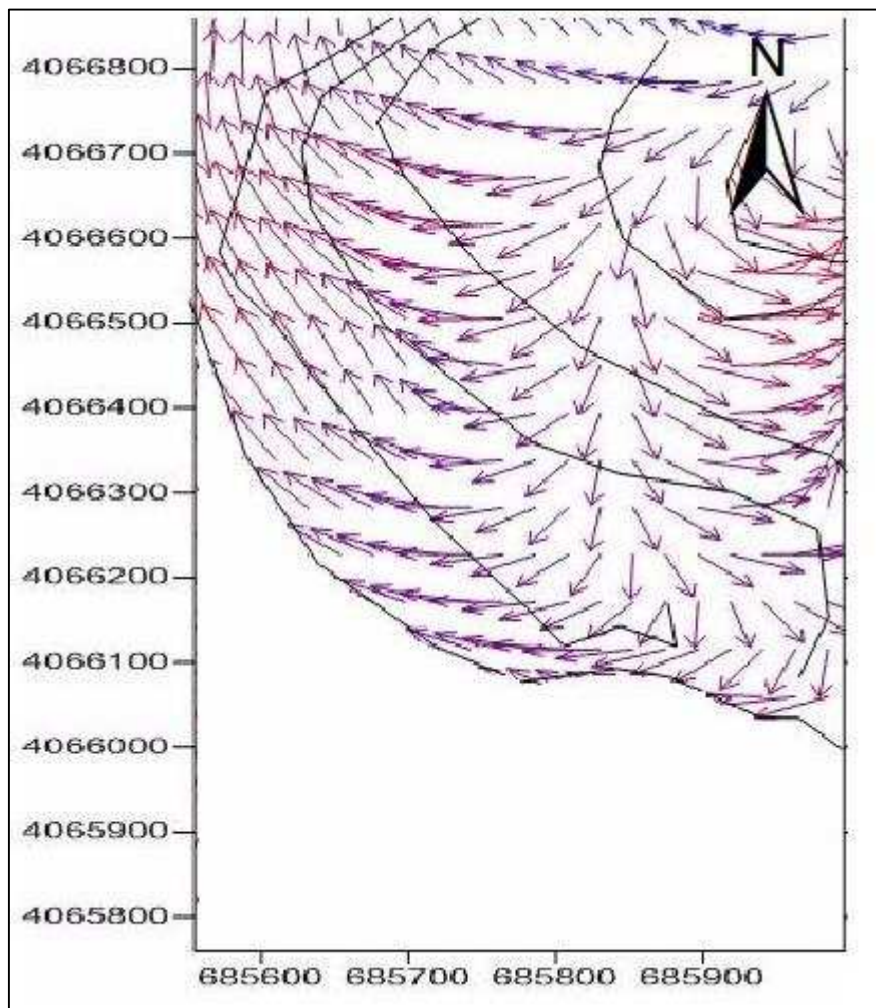


Fig. n°66 : Modélisation du transport sédimentaire dans la zone de Sidi Ali Lebhar

Interprétation des résultats :

La fiabilité des résultats dépend de la taille des vecteurs, plus le module est grand plus le résultat est fiable.

A partir des résultats obtenus de la modélisation du transport sédimentaire avec le modèle de McLaren / Gao et Collins, nous déduisons qu'il y a une tendance de perte de sédiments vers le large au niveau de la plage de Sidi Ali Lebhar.

Les houles provenant des directions Nord-Est et Est atteignent le site de façon plus ou moins frontale, engendrant la formation d'une dérive littorale dans la direction Est – Ouest, qui assure la dissémination des sédiments dans le même sens.

Conclusion :

Au terme de ce chapitre, consacré à l'étude bathymétrique et sédimentaire du littoral Est de Béjaïa, nous pouvons retenir ce qui suit :

La topographie sous-marine de la partie Ouest de la baie de Béjaïa est régulière, et descend en pente douce vers le large. La pente moyenne générale est de l'ordre de 1 %.

La cartographie des stocks sédimentaires, nous permet de reconnaître une province occidentale de la baie de Béjaïa nettement dominée par du sable fin. Ce cas de figure s'expliquerait par la configuration géographique de la baie ainsi que la présence du port, qui protège notre zone d'étude des houles du secteur Nord - Ouest qui sont significatives en fréquence et en amplitude.

Chapitre VI :
MÉTHODES DE PROTECTION
CONTRE L'ÉROSION

Introduction :

L'équilibre sédimentaire d'un littoral est très sensible à toutes les modifications qui peuvent intervenir dans son environnement, que ces modifications soient dues à des causes naturelles ou à des interventions humaines.

Houles, clapots, vents, marées, courants et variation du niveau moyen des eaux vont s'associer pour modeler un rivage et lui donner un tracé qui lui est propre mais qui n'est pas immuable et peut se modifier au cours du temps si l'un des paramètres naturels vient à être perturbé.

Dans ce littoral vivant, en équilibre précaire ou en lente évolution, l'homme doit réaliser des ouvrages maritimes tels que des ports de pêche ou de commerce, effectuer des prélèvements de matériaux pour la construction, plus simplement, l'établissement d'une protection des plages ou des installations balnéaires.

Le littoral algérien connaît un recul très important de son linéaire côtier ces dernières années, dû essentiellement à l'urbanisation qui s'est concentrée et amplifiée autour des grandes villes littorales, ce qui explique une anthropisation accentuée qui déforme et dégrade la côte par rapport à ce qu'elle était avant.

1. Érosion du système littoral béjaoui :

L'érosion marine est importante au niveau de la partie Est de la côte, elle s'observe essentiellement au niveau des plages de la commune de Béjaia, la plage de Bougie essentiellement, la plage de Sidi Ali Lebhar et la piste de l'aéroport. Au niveau de la commune de Boukhelifa, la plage Club Hippique a totalement disparu, ainsi que la plage Thassifith dans la commune de Tichy.

Le cas de Bougie plage est unique en son genre. Depuis 1983, cette côte a connu une surexploitation de son sable, ce qui a provoqué un recul de 120 m entre 1996 et 1998, soit 60 m/an en moyenne, et de 200 m dans le secteur Est de cette plage, soit 100 m/an (Benkortbi, 1999).

A Bougie plage, les courants littoraux ont toujours été canalisés et orientés par la digue de fermeture du port de Béjaia, pour reprendre leur direction subitement vers l'Est, ce qui a toujours engendré l'orientation de l'embouchure de l'oued Soummam vers l'Est.

Au niveau de l'embouchure, le recul de la ligne de rivage est spectaculaire, cela ne pourrait être dû qu'au manque d'apports solides provenant du continent, qui sont exploités de manière abusive pour les besoins des constructions.

La côte sableuse de la partie Ouest de la baie de Béjaia a enregistré une érosion presque généralisée et modérée. Ce recul peut être justifié par des phénomènes naturels tels que les effets, répétés et cumulés, tempétueux du climat. L'empreinte humaine a également accéléré la cadence de ce recul.

Le tableau ci-dessus résume l'évolution des surfaces des plages de la partie Ouest de la baie en termes d'érosion et d'accumulation, pour une période qui va de 1973 jusqu'à 2001.

Tableau n°20: Bilan de l'évolution des surfaces des plages entre Cap Carbon et Cap Aokas (1973-2001), (Boutiba et al, 2005 in Djouder et Smaoun, 2011).

Plages :	Erosion (m ²)	Accrétion (m ²)	Bilan (m ²)
Aokas	95 635,88	0	-95 635,88
Tichy	184 230,37	28 307	-155 923,37
Boukhelifa	561 069,31	11 464,55	-549 604,76
Sidi Ali Lebhar	182 297,88	0	-182 297,88



Photo n°22 : Etat d'érosion de la plage de Sidi Ali Lebhar



Photo n°23: Erosion de la plage Thassifith

2. Impacts anthropiques sur le littoral :

La dégradation du littoral est due essentiellement au problème anthropique, ceci a abouti à des conséquences catastrophiques, comme le déchaussement des structures de bases des grands ouvrages et l'affouillement des ouvrages côtiers.

2.1. Exploitation des matériaux de construction :

A cause de la demande grandissante en sable et gravier pour les besoin de la construction, l'homme est contraint de recourir non seulement aux réserves des lits des cours d'eau, mais aussi à celles du littoral facilement accessible, même si la présence du sel présente un inconvénient.

2.1.1. L'exploitation du sable des plages :

Les côtes évoluent par érosion et sédimentation. L'homme est le facteur principal de la surexploitation du sable marin, en s'appuyant sur des moyens techniques de plus en plus performant, est devenu volontairement un agent essentiel de l'évolution de beaucoup de rivages marins.

2.1.2. L'exploitation du sable des oueds :

La surexploitation du sable au niveau des oueds a réduit considérablement le rôle de pourvoyeur des côtes en matériaux solides.

La multiplication des barrages qui se trouvent à l'amont de ces oueds représentent des pièges aux sédiments essentiellement des sables et des galets qui sont justement les constituants des plages. Dans le cas de l'oued Soummam, en plus de la surexploitation du sable fluvial, les barrages bloquent les sédiments à l'amont.

2.2. Les conséquences de la surexploitation des sédiments :

2.2.1. Le recul du trait de côte :

Le recul rapide du trait de côte s'est plus manifesté à Bougie plage, qui contrairement aux autres plages connaît un phénomène sans précédent.

La mer a ravagé presque toutes les terres agricoles existantes dans la région. Ces terres s'affaissent par coulées vers la mer, suite à la nappe de retrait après humidification.

Cette rapide avancée de la mer est telle que certaines habitations dans la région ont disparues, les eucalyptus sont aussi noyés dans la mer. Egalement un puits d'irrigation qui se trouvait à 500 m du rivage, sur les plaines en 1990, se retrouve en 1998 complètement immergé.



Photo n°24 : Destruction de la forêt d'eucalyptus



Photo n°25 : Puits d'un terrain agricole submergé par la mer

2.2.2. Déchaussement des grands ouvrages maritimes :

De nombreux ouvrages sont sujets à des déchaussements, dus essentiellement à l'effet érosif des houles.

A l'Est de Béjaïa, Cap Aokas, le meilleur exemple de déchaussement est la route nationale numéro 9, reliant la wilaya de Béjaïa à la wilaya de Sétif. Cette route a été construite entre 1955 et 1961 par une coulée de béton et un mur en pierrage gabionné afin de servir de

protection à la route contre les agressions de la mer. Malheureusement, en Septembre 1992, il y a eu destruction du mur par les actions marines.



Photo n°26 : Effondrement des structures côtières de protection, Bougie plage

2.2.3. Affouillement des structures de base des ponts :

A Bougie plage, un phénomène spectaculaire est apparu après 1996. Il s'agit des fondations de base du pont de l'oued Soummam qui sont sérieusement endommagées, puisque ces fondations sont mises à nu.

Ce phénomène est apparu suite au grand déficit des apports en matériaux fins qui n'arrivent pas à alimenter cette partie de fondation.

3. Les stratégies d'adaptation :

3.1. Les types de stratégies d'adaptation :

L'adaptation est la capacité d'un système à s'ajuster au changement climatique (incluant la variabilité climatique et les extrêmes), à des dommages potentiels modérés et à faire face aux conséquences.

Trois catégories sont classiquement envisagées (retrait, accommodation et protection) dans la plus part des études de vulnérabilité (G.I.E.C, 1990).

3.1.1. Le retrait : Au lieu de tenter de protéger les terres contre l'empiétement de la mer, la stratégie consiste à abandonner les terres menacées lorsque les conditions deviennent intolérables, à déplacer et reloger les populations.

3.1.2. L'accommodation : Consiste à poursuivre l'occupation des terres côtières tout en apportant des réajustements aux activités humaines et aux infrastructures afin d'atténuer les impacts de l'élévation du niveau de la mer. Elle représente une action intermédiaire entre la protection et le retrait.

Les stratégies d'accommodation peuvent inclure :

- Le réaménagement des structures existantes dans le but de minimiser les répercussions.
- L'adoption d'une réglementation qui viserait à encourager l'utilisation et la mise en valeur judicieuse des terres avec un usage approprié et une baisse de l'investissement sur les propriétés vulnérables.

L'accommodation pourrait aussi exiger l'accroissement de la résilience naturelle en restaurant les dunes et les terres humides en milieu côtier, en rénovant des terres marécageuses et en remplaçant les chaussées par des ponts.

Le passage d'une agriculture traditionnelle à des cultures résistantes au sel, le contrôle ou l'interdiction du prélèvement des sédiments des plages et la mise en place de systèmes d'alerte, en cas d'élévation extrême du niveau de la mer, d'inondation ou d'érosion, sont également des stratégies d'accommodation.

3.1.3. La protection : C'est tenter de prévenir les effets de la mer sur la terre en utilisant des structures de défense appropriées (douces et/ou en dur). C'est une réponse à l'érosion qui touche les propriétés ou les infrastructures côtières.

- La méthode dite « dure » ou « passive » consiste en un aménagement statique basé sur la construction d'ouvrages lourds en mer ou sur le rivage. Les ouvrages demandent un investissement plus élevé que les solutions qui composent avec le milieu, mais leur coût d'entretien est plus faible.
- La méthode « douce » ou « active » correspond à un aménagement dynamique, utilisant et agissant sur les matériaux naturels. Ces techniques sont utilisées de préférence à des ouvrages massifs, car d'une part leurs impacts sur l'environnement sont sans comparaison avec les ouvrages massifs, et d'autre part, ils sont moins onéreux à l'investissement mais coûtent plus cher à l'entretien.

Sur la base des résultats obtenus, qui mettent en évidence la menace que fait peser le recul du trait de côte et les risques d'inondation sur le littoral de la partie Ouest de la baie de Béjaïa, des mesures d'adaptation et de protection doivent être présentées tout en proposant des mesures d'accompagnement sans lesquelles la mise en œuvre de la stratégie ne pourrait être efficace.

3.2. Cas de la côte de la partie Ouest de la baie de Béjaïa :

3.2.1. A court et moyen terme :

Dans notre cas, le retrait n'est pas une solution envisageable vu les installations humaines présentes. Il faudrait donc songer à des stratégies d'adaptation et de protection. Sur le plan technique, la stratégie de protection devrait combiner les méthodes dure et douce, bien que les avantages de cette dernière soient beaucoup plus admis.

En effet, les mesures de protection souples peuvent accroître la résilience naturelle des zones côtières et sont généralement moins coûteuses que les mesures de protection dures. Celles-ci peuvent avoir des effets indésirables sur les régimes d'érosion et de sédimentation si elles sont mal conçues.

Il faut donc ajouter des structures à mesure que s'élève le niveau de la mer et ce pour les ouvrages déjà présents à Aokas, à Tichy, au niveau de la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaïa et à l'embouchure de l'oued Soummam, de telle sorte que ces murs d'enrochement puissent absorber l'énergie supplémentaire des vagues. Il en serait de même pour les jetées des ports ; les mesures à apporter consisteraient entre autre à surélever progressivement la crête des digues jusqu'à une valeur légèrement supérieure au niveau d'inondation maximum.

Le rechargement artificiel en sable pour réhabiliter les plages érodées, vu la présence de nombreux complexes touristiques à proximité de la mer le long de tout le linéaire côtier. La seule alternative pour éviter la disparition des plages au cours du prochain siècle, serait leur alimentation artificielle.

Les dragages périodiques du port de Béjaïa assurerait la restitution des sédiments aux zones érodées, dans le but d'assurer un bon rechargement des plages et de maintenir une largeur suffisante de celles-ci. De telles initiatives permettraient d'assurer alors leur stabilité, d'atténuer par conséquent l'intensité des impacts d'une élévation accélérée du niveau des eaux méditerranéennes et les effets conjugués à ceux des houles des tempêtes épisodiques.

La gestion du stock de sédiment fait que l'on recharge les plages mais aussi que l'on laisse aux dunes suffisamment de souplesse pour accompagner les mouvements de la mer. Malgré un meilleur amortissement des houles, qui limiteraient l'érosion du trait de côte, les rechargements en sable doivent être renouvelés périodiquement. D'après les études faites aux Etats-Unis (Leatherman, 1989), la couche de sable, régulièrement déposée, devrait avoir une épaisseur au moins égale à l'élévation du niveau de la mer considérée.

Ceci soulève évidemment le problème de la disponibilité du sable ; les sédiments dragués ne peuvent pas à eux seuls assurer l'alimentation des plages en recul, d'autres sites doivent être explorés d'où la recherche de dragage de zones sableuses en off-shore sous réserve, bien sûr, de la préservation des ressources halieutiques de la zone.

En effet, les méthodes de rechargement doivent répondre à des contraintes techniques et environnementales : choix des sites d'emprunt de sable, impact sur les herbiers et la communauté benthique du fait de l'extraction des matériaux ...etc.

Une fois les plages qui ont tendance à reculer sont diagnostiquées, il serait primordial de présenter une assistance sédimentaire à ces plages qui, à travers elles le tourisme se développe. De nouvelles techniques douces dites d'ECOUPAGE et de STABIPLAGE ont été employées dans de nombreuses plages mondiales à fin de limiter le transport de sable et donc lutter contre l'érosion.

Le principe de l'ECOUPAGE :

Il consiste à drainer la plage dans la zone du jet de rive pour diminuer le transport des sédiments par la nappe de retrait. Ce procédé d'origine danoise a été installé en France en avril 1999.

Il consiste à enterrer sous la plage un système de drains parallèles au trait de côte à un niveau défini en fonction des conditions hydrodynamiques spécifiques du site. Ces drains sont

reliés à un collecteur lui-même couplé à une station de pompage ; l'eau chargée en grains de sable apportés par la vague s'écoule par percolation, tandis que le sable est retenu sur la plage. Une fois infiltrée, l'eau de mer est ensuite aspirée par la pompe.

Une canalisation de refoulement restituée à la mer l'eau libérée des sédiments, où peut être réutilisée (piscine, pisciculture..) et l'engraissement de la plage est alors favorisé. Ce procédé permet de combattre et de maîtriser l'érosion des plages d'un littoral sans impact négatif sur l'environnement. Il a l'avantage d'être invisible et totalement silencieux, de ne provoquer aucun impact sur la faune ou la flore et de ne modifier ni les courants, ni le transit sédimentaire parallèle au rivage.

Le procédé de STABIPLAGE :

C'est une technique qui consiste à mettre en œuvre des ouvrages de géo-composites qui, une fois implantés, captent le sable naturellement transporté par les houles, les courants, et les marées, pour reconstituer la plage et l'aider à retrouver un équilibre sédimentaire dynamique. Les ouvrages dits freineurs de transit littoral sont eux posés perpendiculairement au trait de côte ; un volume important de matériel sédimentaire est bloqué en amont de la dérive.

Les propriétés de souplesse et de perméabilité de la réalisation permettent de ne pas faire barrage au sable comme le ferait une digue, mais plutôt de gérer les flux de sédiments.

L'utilisation de telles techniques sur ce littoral ne serait que bénéfiques pour les plages à risque. En effet, les actions à entreprendre dans ce cadre permettront de réhabiliter cet écosystème dégradé ; de rendre aux plages leurs fonctions environnementales et leurs bénéfices balnéaires. Engraisser les plages de cette côte doit être couplé à d'autres actions telles que la fixation des dunes, technique à développer car c'est très important et pas trop cher. Celles-ci joueraient un rôle tampon à toute invasion marine.

3.2.2. A long terme :

3.2.2.1. L'élaboration d'un plan de gestion des zones côtières (G.I.Z.C) :

Les stratégies de réponse aux changements climatiques ne pourront être efficaces que dans le cadre plus global d'une gestion intégrée des zones côtières qui représente un outil incontournable pour le développement durable des littoraux algériens en général et celui de Béjaïa en particulier.

L'élaboration et la mise en œuvre des stratégies d'adaptation dans le cadre d'un plan de G.I.Z.C nécessitent une bonne connaissance du fonctionnement organique du système côtier en question. Celle-ci est conditionnée par la disponibilité des données.

L'absence de données océanographiques est un grand handicap dans l'estimation des impacts physiques. Il devient donc indispensable d'installer sur la côte de Béjaïa des instruments de mesure en continu de la houle et de la marée et de suivre l'évolution des plages afin de disposer de longues séries de données qui permettraient de dégager des tendances d'évolution.

1. Le renforcement juridique :

Si actuellement le littoral de la partie Ouest de baie de Béjaïa est fortement dégradé, c'est en majeure partie à cause de l'absence d'une réglementation sur l'occupation de son espace et l'utilisation de ces ressources, il est donc urgent que les textes de lois relatifs à l'extraction de sable soient rigoureusement appliqués. La construction ou l'aménagement de structures en béton ou autres infrastructures –même les routes- doivent être interdites tout près des oueds et des zones côtières les plus dynamiques.

2. Le renforcement institutionnel :

Sur le plan institutionnel, il est important de renforcer et/ou mettre en place des mécanismes de coordination entre les différents acteurs opérant dans la zone côtière et entre le pouvoir central et les collectivités locales. Ceci permettrait d'impliquer tous les représentants des différents secteurs dès la phase de réflexion sur le choix des options d'adaptation.

Parmi les stratégies d'adaptation possibles pour toute zone vulnérable à l'élévation du niveau de la mer, telles qu'elles sont recensées et examinées dans la littérature, figurent la reconnaissance et la surveillance des dangers d'où la nécessité de créer un outil de concurrence et de suivi : l'observatoire du littoral.

Conclusion

L'enjeu de la défense contre la mer sera de plus en plus important dans les prochaines décennies avec l'élévation prévisible du niveau marin, liée à un réchauffement climatique planétaire désormais incontesté. Les mesures peuvent avoir différentes formes telles que protection des littoraux, ajustement des côtes, retrait et abandon des zones menacées.

Ces différentes interventions ne seront pas toujours faciles, ni même possibles parfois, d'où tout l'intérêt à accorder à la question de l'élévation du niveau de la mer dans les prochaines décisions en matière d'aménagement des milieux côtiers.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Au terme de ce travail qui nous a été confié, qui a pour objectif principal, l'étude du fonctionnement et la dynamique morpho-sédimentaire de la frange littorale allant de Cap Carbon à Cap Aokas, nous avons essayé de répondre à cette problématique et cela en la départageant en trois volets : partie aérienne, et la partie sous-marine et entre les deux la zone transitoire entre qui est le trait de côte.

Commençant par la première partie consacrée à l'étude granulométrique de la plage aérienne du littoral Est de Béjaïa. Les résultats obtenus indiquent que les sédiments sont répartis de telle sorte que, les fins se localisent au niveau du haut de plage, quant aux sable plus grossier se trouve sur la dune et à l'embouchure de l'oued Soummam.

Concernant l'évolution de la ligne de rivage, à une macro échelle spatio-temporelle, vu qu'on a étudié son évolution sur une période de 57 ans, la superposition des traits de côte relevés des images satellitaires a mis en évidence les zones en érosion et celles en accrétion.

En effet, le suivi de l'évolution du littoral Est béjaoui a fait ressortir que la récession des plages est un phénomène ancien, il met en évidence une action néfaste et successive de faits météorologiques, hydrodynamiques et humains. Cette érosion ne s'est pas atténuée au fil du temps, bien au contraire, elle a continué à sévir enfonçant encore plus le littoral dans une déroute automatiquement incontrôlable.

L'étude bathy-sédimentaire de la zone d'étude révèle une topographie sous-marine régulière descendant en pente douce. Et pour le contexte sédimentologie, le stock dominant est du sable fin.

La modélisation du transport sédimentaire par le GSTA au niveau de la plage de Sidi Ali Lebhar donne des résultats satisfaisants et en concordance avec les données qu'on a pu récolter qui traitent du transit sédimentaire de toute la baie de bougie. En effet, les houles provenant du Nord-Est et Est attaque la côte frontalement et engendre la formation d'une dérive littorale qui transporte les sédiments vers l'Ouest. Ce résultat est confirmé par l'état d'érosion intense que connaît cette plage.

Le littoral Est de Béjaïa est un site particulièrement intéressant et remarquable tant pour son contexte géographique, que pour la pression anthropique qui y règne, exprimée à travers un ensemble d'aménagements divers de complexes touristiques et industriels et de bungalows balnéaires.

A travers le dernier chapitre, nous exposons des solutions envisageables pour mettre un frein à la régression que connaissent les côtes de Béjaïa. La solution proposée comme moyen de protection est la méthode douce.

Les solutions et les efforts nécessaires à la préservation de ce littoral doivent être fournis conjointement par les services de la commune, les scientifiques et la population.

Ce projet de fin d'étude a donné lieu à une plate-forme de base de données récente qui pourra être utile lors de la conception des ouvrages ou bien pour une étude future de la zone.

L'élaboration de ce travail nous a permis, d'une part, approfondir nos connaissances et le savoir-faire acquis durant les cinq ans années de notre formation à l'ENSSMAL, et d'autre part, de préparer notre intégration à la recherche scientifique dans le domaine de l'aménagement du littoral.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1) **ASBAI R. (2013).** *Les étapes de la conception et la modélisation d'une base de données SIG sur le littoral, cas du littoral centre.* Mémoire d'Ingénieur, ENSSMAL, Alger.
- 2) **ASSASSI C., OTMANI H. (2010).** *Etude de protection de la zone de Club des Pins.* Mémoire d'Ingénieur, ENSSMAL, Alger.
- 3) **BENKORTBI C. (1998).** *Evolution du trait de côte à Bougie plage.* Mémoire d'Ingénieur, ISMAL, Alger.
- 4) **BENSLAMA L. (1997).** *La sédimentation actuelle en baie de Béjaia : rôle de l'oued Soummam.* Thèse de Magistère, USTHB, Alger.
- 5) **BRIERE C. (2009).** *Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet.* Thèse de Doctorat, Université de Pau et des Pays de l'Adour, France.
- 6) **CASTELLE B. (2004).** *Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire au-dessus des barres sableuses soumises à l'action de la houle : Application à la côte Aquitaine.* Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux I, France.
- 7) **CAUCHAT J. (2006).** *Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens.* Thèse de Doctorat, Université de Basse – Normandie, France.
- 8) **CHAIBI M. (2003).** *Dynamique sédimentaire et morphogénèse actuelle du littoral d'El Jadida (Maroc).* Thèse de Doctorat, Université d'Aix-Marseille I, France.
- 9) **DAVIDSON - ARNOTT R. (2010).** *Introduction to coastal processes and geomorphology.* Cambridge University Press, England.
- 10) **DEHOUCK A. (2008).** *Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère).* Thèse de Doctorat, France.
- 11) **DJOUDE F., SMAOUN A. (2010).** *Variation historique de la ligne de rivage et érosion côtière dans la partie Ouest du golfe de Béjaia.* Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger.
- 12) **DJOUDE F., SMAOUN A. (2011).** *Evaluation de la vulnérabilité à l'élévation du niveau de la mer dans la partie Ouest du golfe de Béjaia, entre Cap Carbon et Cap Aokas.* Mémoire de Master, USTHB, Alger.
- 13) **FERHAT N., KADDOUR S. (2011).** *Etude d'impact sur l'environnement de l'extension d'un terre-plein du port de Béjaia.* Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger.
- 14) **GHANEM T., OUARET N. (2010).** *Bassin versant de l'oued Amizour : étude de stabilité de terrain.* Mémoire d'ingénieur, USTHB, Alger.
- 15) **GRASSO F. (2009).** *Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages.* Thèse de Doctorat, Université Joseph Fournier, Grenoble I, France.
- 16) **HAMMOUDI Z. (2009).** *Contribution à la stratégie de développement durable d'une zone portuaire. Le port polyvalent de Béjaia.* Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL, Alger.
- 17) **HAOUAM H., KHALEM K. (2001).** *Protection du littoral de la région de Béjaia (piste de l'aéroport).* Mémoire d'Ingénieur, USTHB, Alger.

- 18) **KECIR M. (2013).** *Evaluation de l'état de mise en œuvre de la loi 02-02 du 5 Février 2002 relative à la protection et à la valorisation littorale dans la wilaya de Béjaïa.* Mémoire de Master, ENSSMAL, Alger.
- 19) **LECLAIRE (1972).** *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien).* Muséum national d'histoire naturelle de Paris, France.
- 20) **MEZOUAR K. (2009).** *Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain.* Thèse de Doctorat, Université Technique de construction de Bucarest, Roumanie.
- 21) **Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement (2010).** *La gestion du trait de côte.* Edition Quae, France.
- 22) **MOUZOURI M., IZRI Z. (2011).** *Evaluation et morphodynamique de la plaine de Saidia (littoral méditerranéen du Nord-Est du Maroc) durant la période 1958 – 2006.* Bulletin de l'Institut Scientifique, section Science de la terre, n°33, Rabat, Maroc.
- 23) **PASKOFF R. (1998).** *Côtes en danger.* Edition L'Harmattan, Paris, France.
- 24) **PINOT J-P. (1998).** *La gestion du littoral, Tome 1 : Littoraux tempérés : côtes rocheuses et sableuses.* Institut océanographique, Paris, France.
- 25) **RIVIERE A. (1977).** *Méthodes granulométriques, technique et interprétation. Technique et méthode de sédimentologie.* Edition Masson. France.
- 26) **ROSSI A. (2010).** *Analyse spatio-temporelle de la variabilité hydrologique du bassin versant du Mississippi : rôle des fluctuations climatiques et déduction de l'impact des modifications du milieu physique.* Thèse de Doctorat, Université de Rouen, France.
- 27) **SABATIER F. (2001).** *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral du delta du Rhône.* Thèse de Doctorat. Université d'Aix-Marseille III, France.
- 28) **STEPANIAN A. (2002).** *Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres : Omaha Beach (Normandie).* Thèse de Doctorat, Université de Caen, France.
- 29) **VALDAS B. (2011).** *Géomorphologie dynamique.* Edition Armand Colin. France.

ANNEXES



Fig.n°25 : Carte synthèse du domaine littoral de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013).

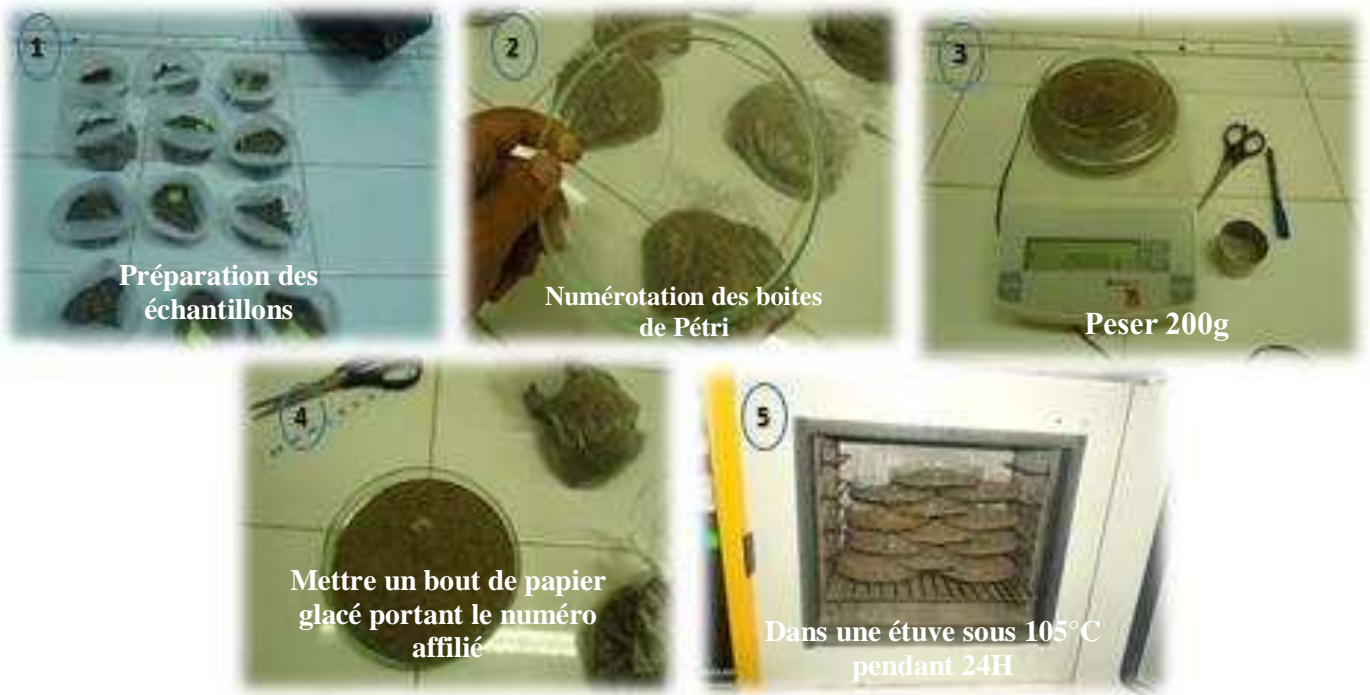


Photo 15 : Préparations et séchage des échantillons



Photo 16 : Pesée et lavage des sédiments



Photo n°17 : Déduire le poids des pérites

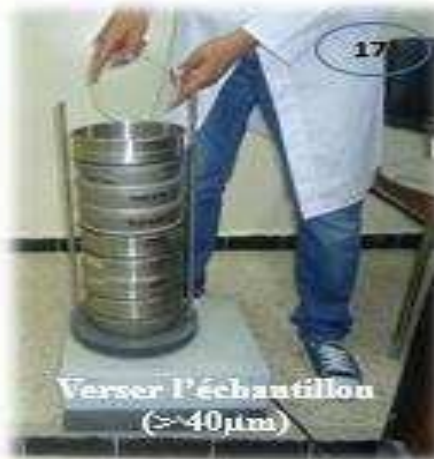


Photo n°18 : Opération de tamisage



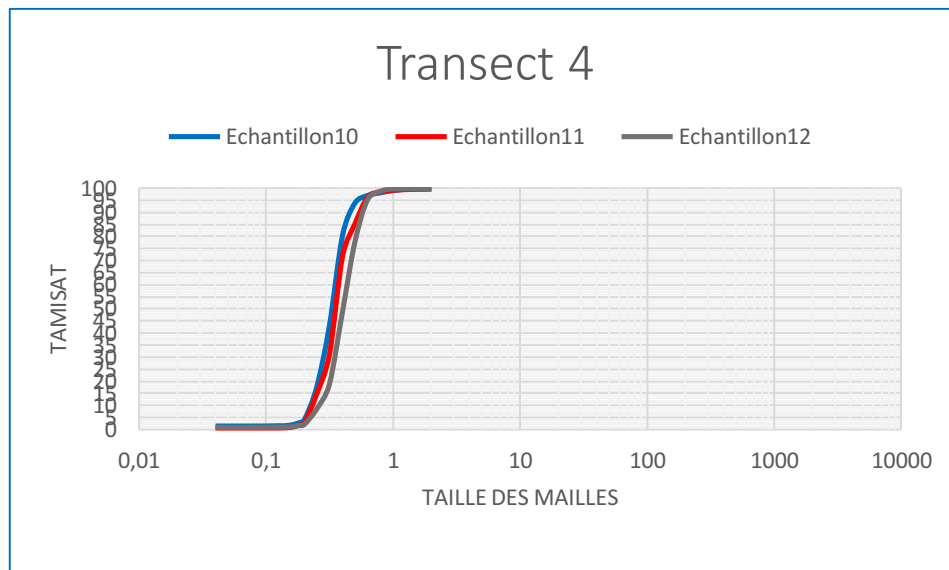
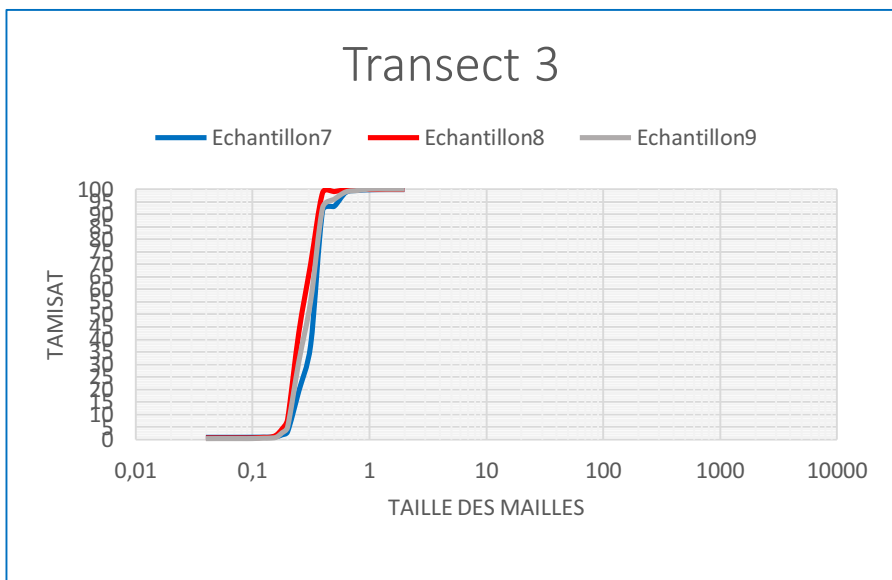
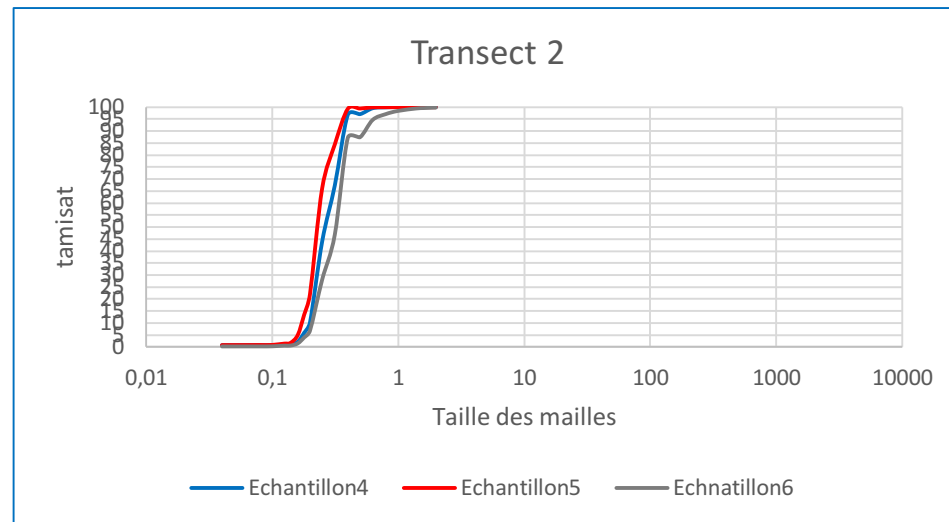
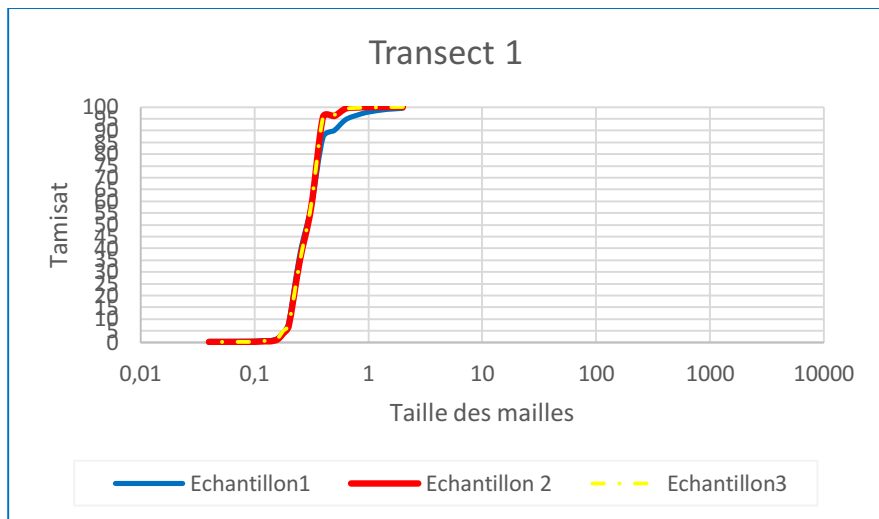
Photo 19 : Pesée des refus de tamis

Tableau : Valeurs des paramètres granulométrique :

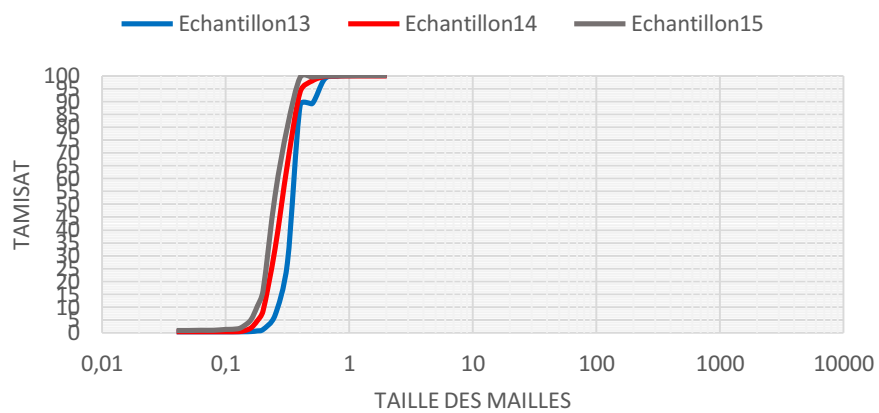
N° station	Grain moyen (µm)	Grain moyen (mm)	Grain moyen (Phi)	Skewness (Sk)	Sorting (So)	Q25	Q75	D10	D90
1	290	0,29	1,785875195	0,984542212	1,251086484	230	360	200	420
2	300	0,3	1,736965594	0,894444444	1,233587909	230	350	210	380
3	290	0,29	1,785875195	0,978002378	1,220394077	235	350	210	380
4	265	0,265	1,915935735	1,096475614	1,261312448	220	350	200	372
5	230	0,23	2,120294234	1,453213611	1,352504452	205	375	175	340
6	320	0,32	1,64385619	0,8671875	1,241638702	240	370	210	425
7	335	0,335	1,577766999	0,890175986	1,170628195	270	370	250	392
8	262	0,262	1,932361283	1,067245499	1,219215521	222	330	208	366
9	300	0,3	1,736965594	0,946666667	1,21620996	240	355	210	390
10	332	0,332	1,590744853	0,935730875	1,189459884	270	382	227	450
11	351	0,351	1,510457064	1,00323861	1,171893055	300	412	235	550
12	405	0,405	1,304006187	1,045572321	1,183215957	350	490	260	580
13	348	0,348	1,522840789	0,954799181	1,096916499	310	373	262	402
14	283	0,283	1,821126042	0,997640125	1,202833534	235	340	205	385
15	245	0,245	2,029146346	1,049562682	1,195228609	210	300	180	350
16	800	0,8	0,321928095	0,953125	1,280368799	610	1000	360	1300
17	610	0,61	0,713118852	0,936844934	1,405770421	420	830	340	1010
18	535	0,535	0,902389203	1,034151454	1,470429244	370	800	290	1120
19	790	0,79	0,340075442	0,626582278	1,583139007	395	990	330	1250
20	1040	1,04	-0,056583528	0,81397929	1,513381175	620	1420	340	1840
21	840	0,84	0,251538767	1,496598639	1,868397466	550	1920	440	0
22	550	0,55	0,862496476	0,884545455	1,343575381	385	695	325	870
23	410	0,41	1,286304185	1,1458953	1,310121334	335	575	262	750
24	335	0,335	1,577766999	0,926709735	1,240347346	260	400	212	552
25	535	0,535	0,902389203	1,036597083	1,578845662	345	860	290	1920
26	333	0,333	1,586405918	0,87384682	1,220735876	255	380	212	590

N° station	Grain moyen (µm)	Grain moyen (mm)	Grain moyen (Phi)	Skewness (Sk)	Sorting (So)	Q25	Q75	D10	D90
27	380	0,38	1,395928676	1,440443213	1,425219281	320	650	240	960
28	920	0,92	0,120294234	1,037098299	1,216765993	770	1140	510	1330
29	530	0,53	0,915935735	2,221431114	2,430574481	325	1920	229	0
30	320	0,32	1,64385619	0,87421875	1,24666221	240	373	210	430
31	295	0,295	1,76121314	0,9824763	1,299572579	225	380	197	610
32	252	0,252	1,988504361	1,117252457	1,238904242	215	330	180	380
33	340	0,34	1,556393349	0,908304498	1,157275125	280	375	222	430
34	365	0,365	1,454031631	1,040345281	1,181873681	315	440	250	565
35	350	0,35	1,514573173	1,175510204	1,264911064	300	480	225	620
36	380	0,38	1,395928676	0,984072022	1,299867367	290	490	220	620
37	640	0,64	0,64385619	0,999511719	1,390964632	460	890	310	1100
38	520	0,52	0,943416472	0,94933432	1,490163828	340	755	260	1030
39	360	0,36	1,473931188	1,291666667	1,319824035	310	540	230	670
40	340	0,34	1,556393349	1,153979239	1,587998467	230	580	190	850
41	290	0,29	1,785875195	0,92627824	1,361491291	205	380	160	640
42	340	0,34	1,556393349	1,332179931	1,78376517	220	700	170	1500
43	590	0,59	0,76121314	0,920425165	1,572330189	360	890	320	1300
44	360	0,36	1,473931188	1,178626543	1,202561369	325	470	260	620
45	650	0,65	0,621488377	0,852071006	1,5	400	900	340	1230
46	900	0,9	0,152003093	0	0	1800	0	1460	0
47	1000	1	0	0	0	2000	0	1600	0
48	570	0,57	0,810966176	0,886426593	1,490711985	360	800	320	1160

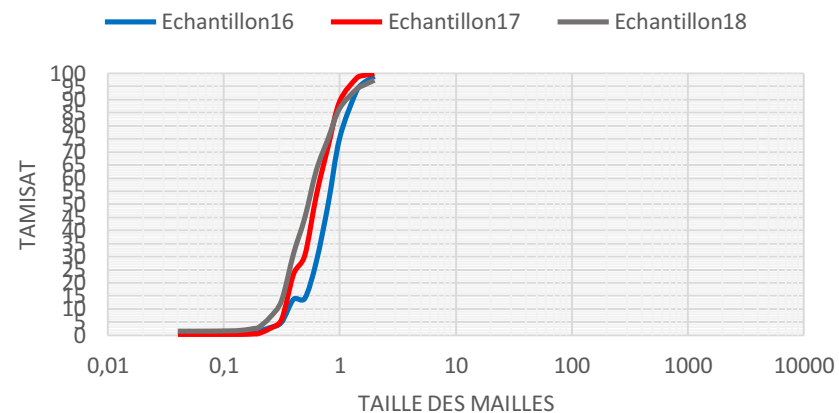
Courbes cumulatives :



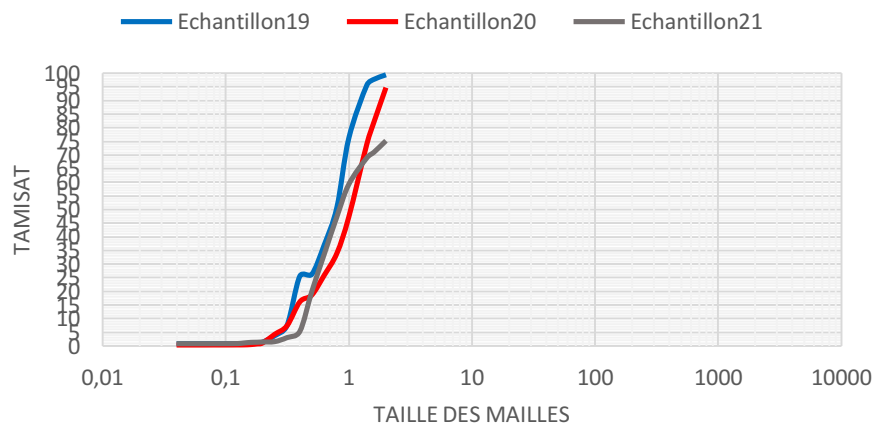
Transect 5



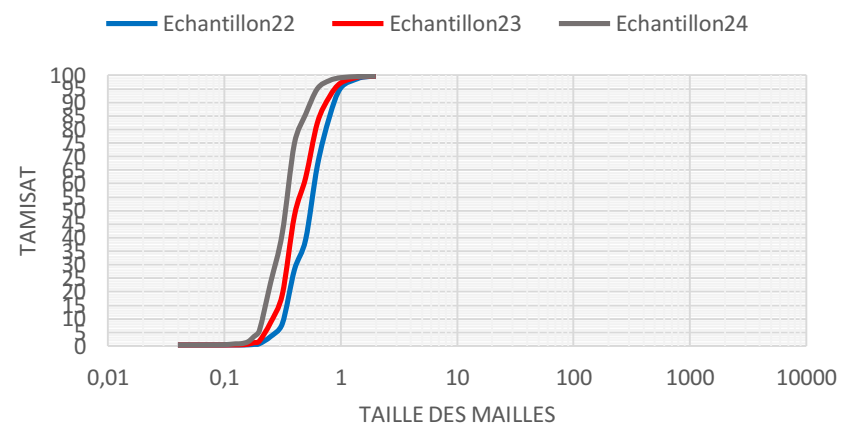
Transect 6

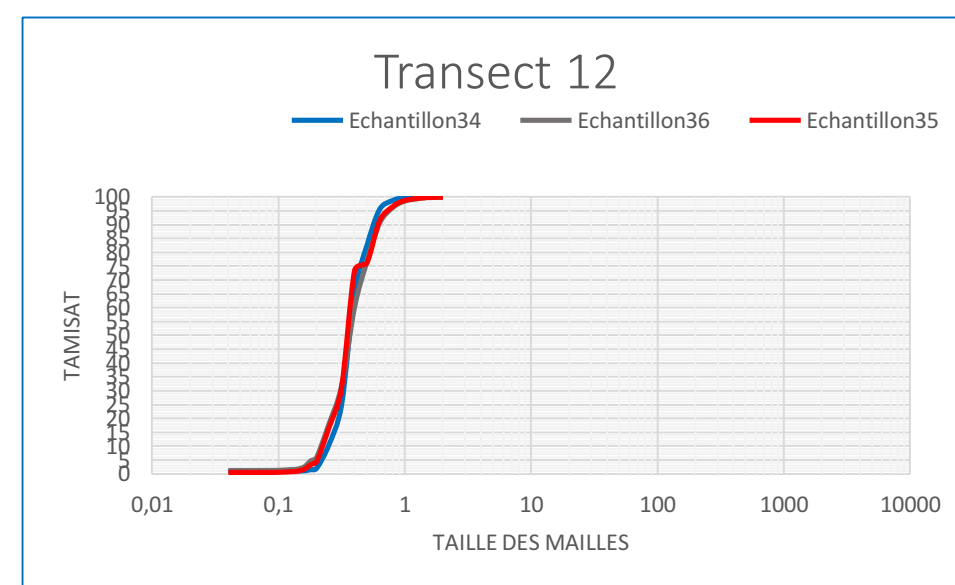
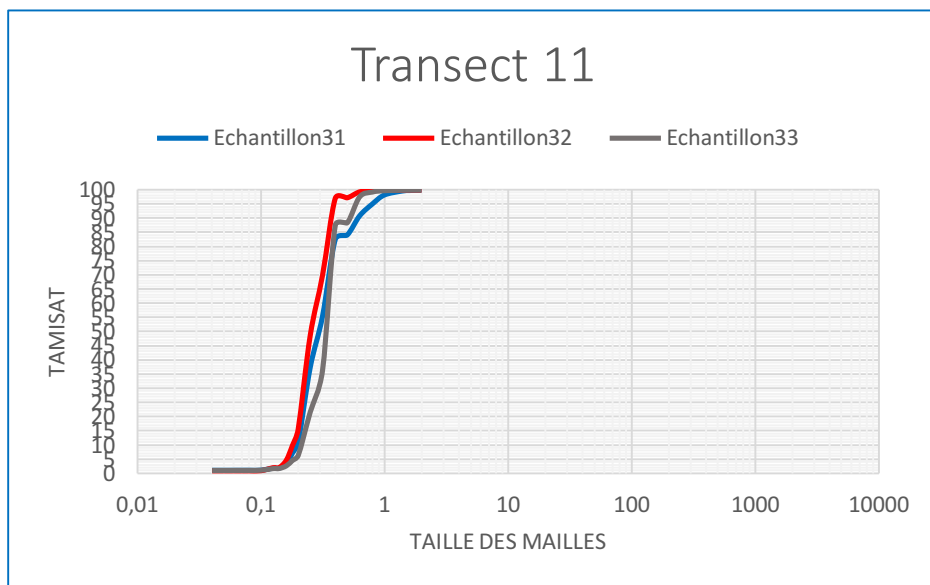
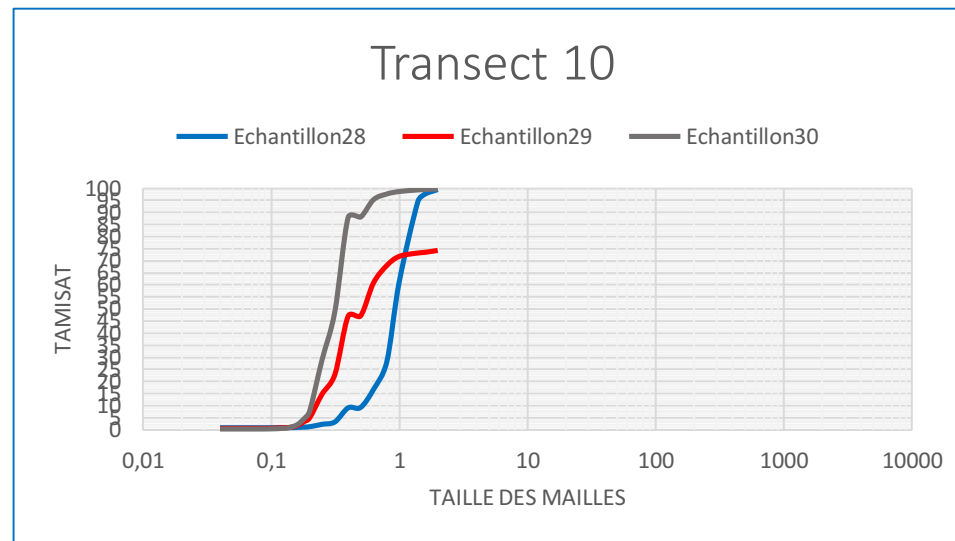
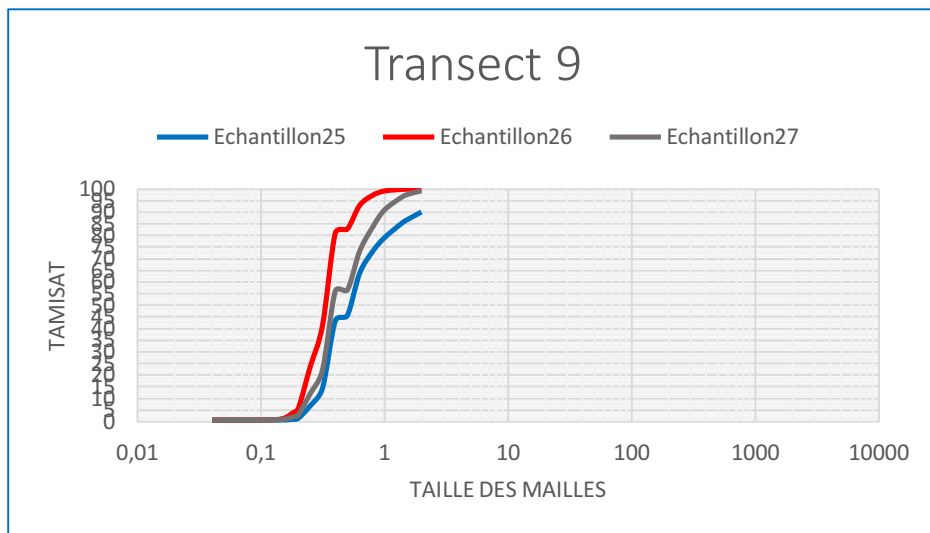


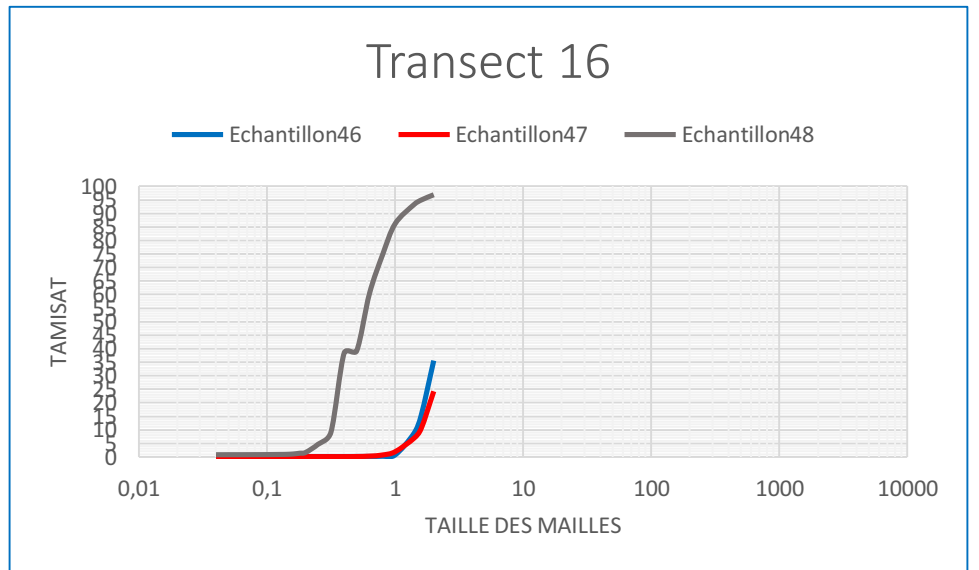
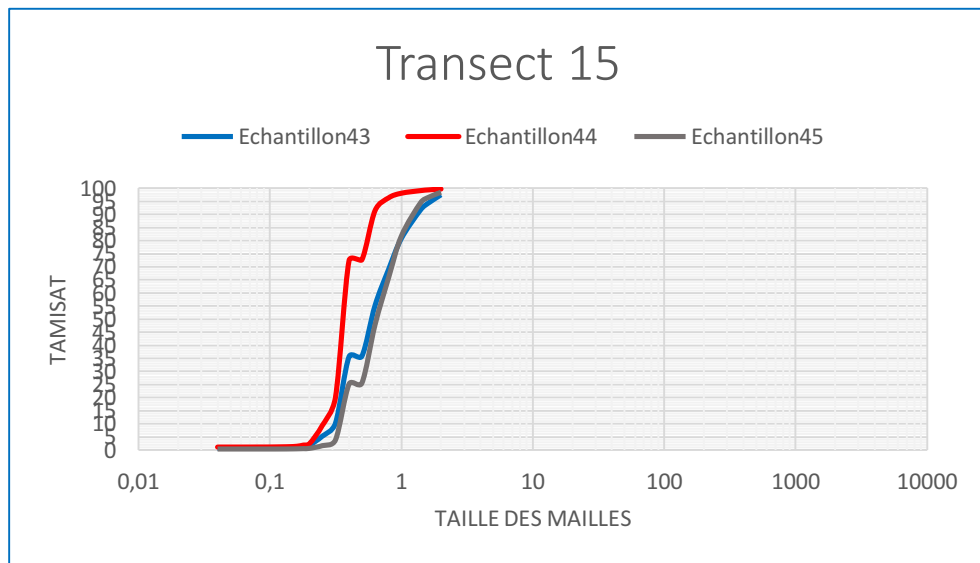
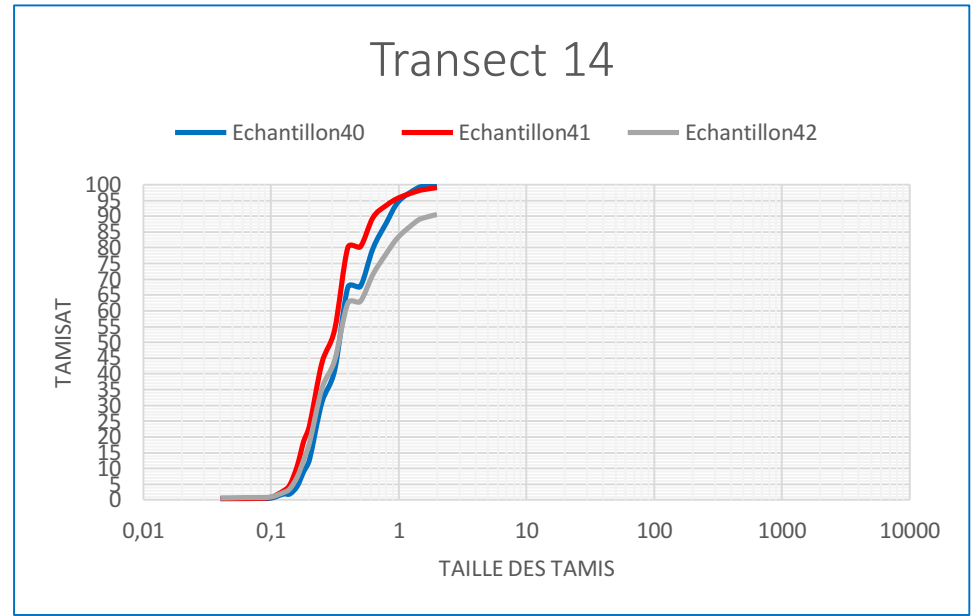
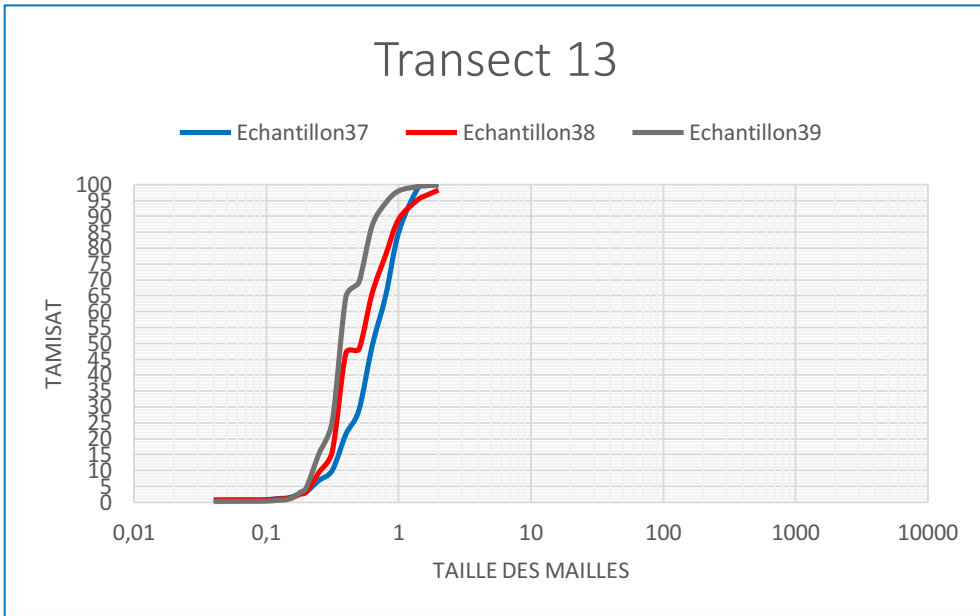
Transect 7



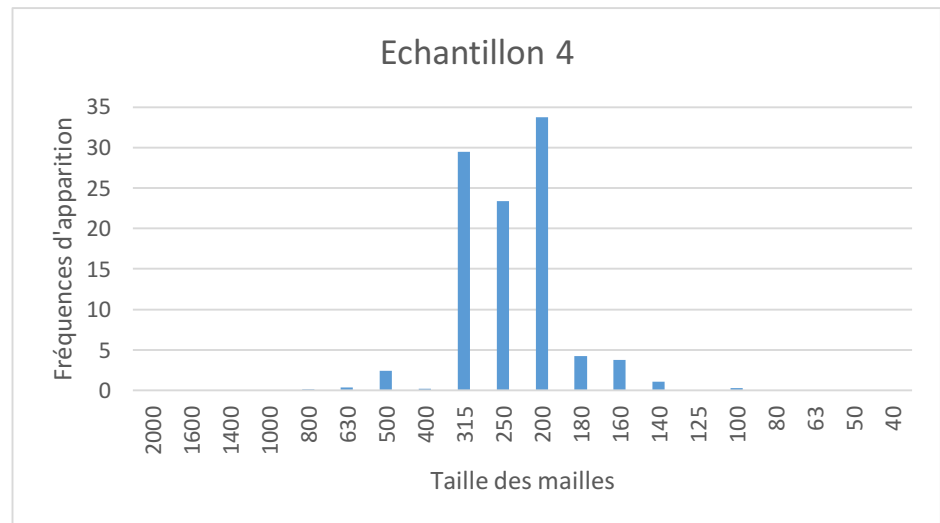
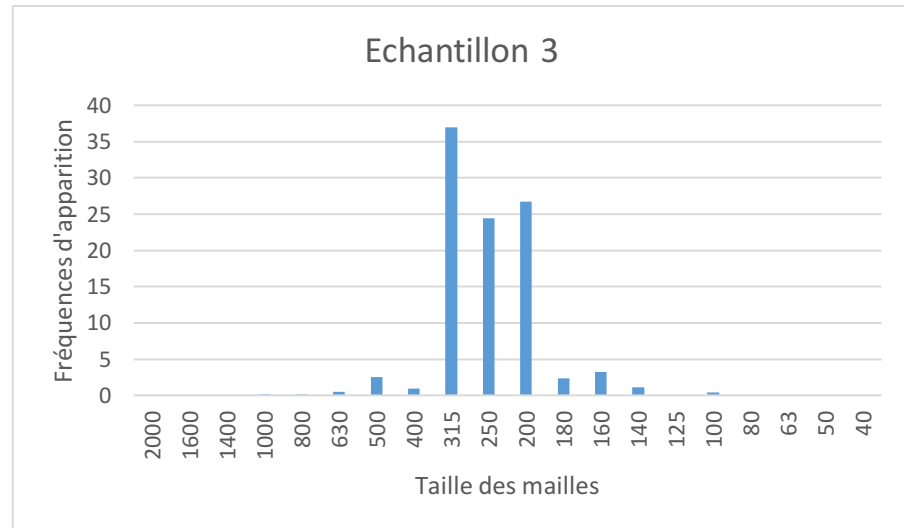
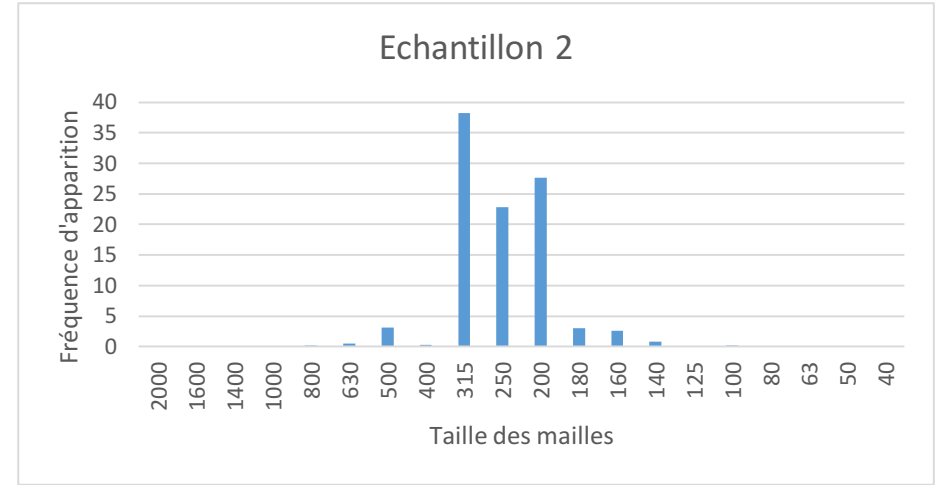
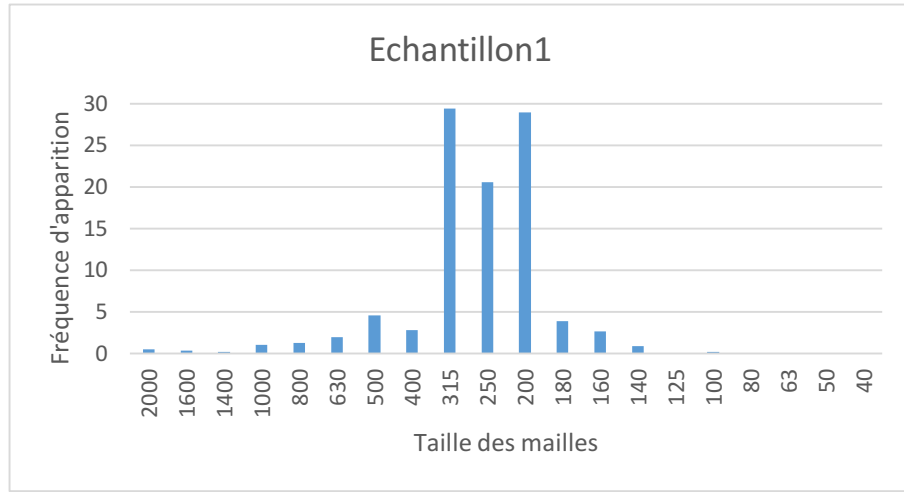
Transect 8

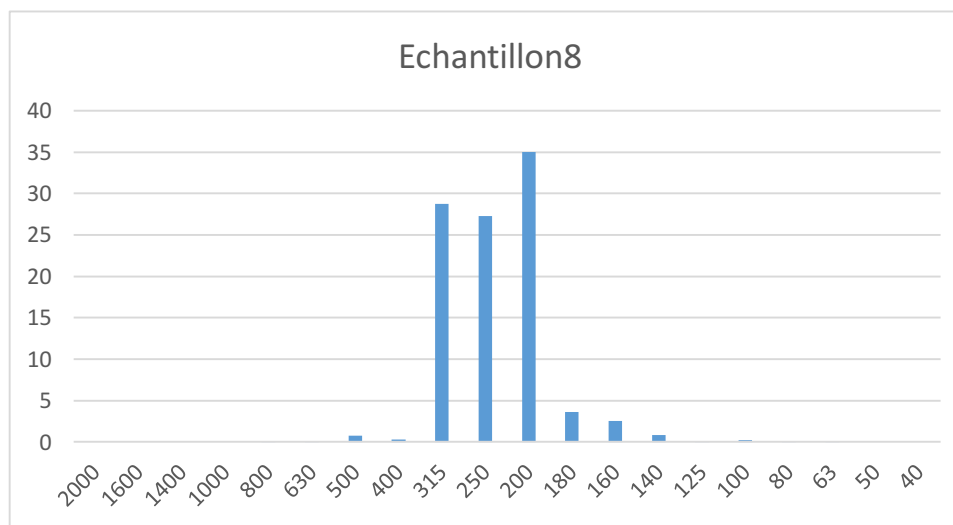
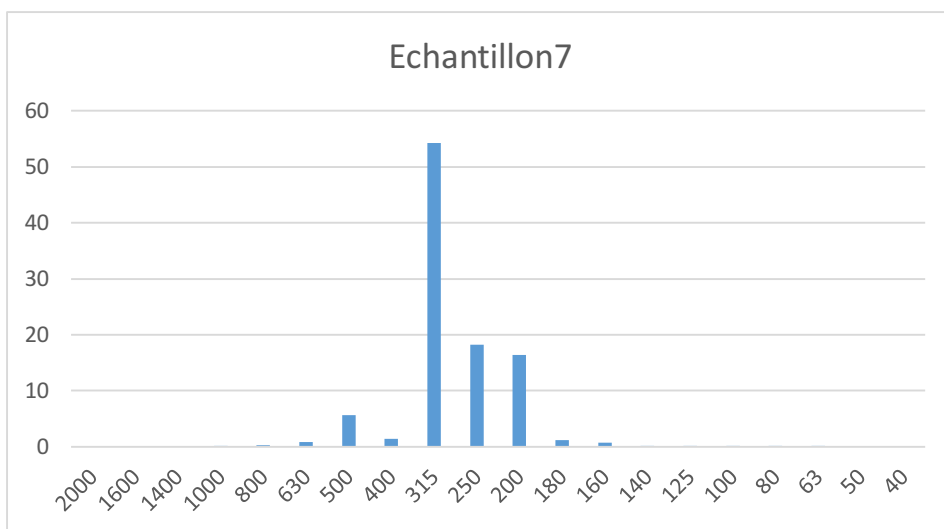
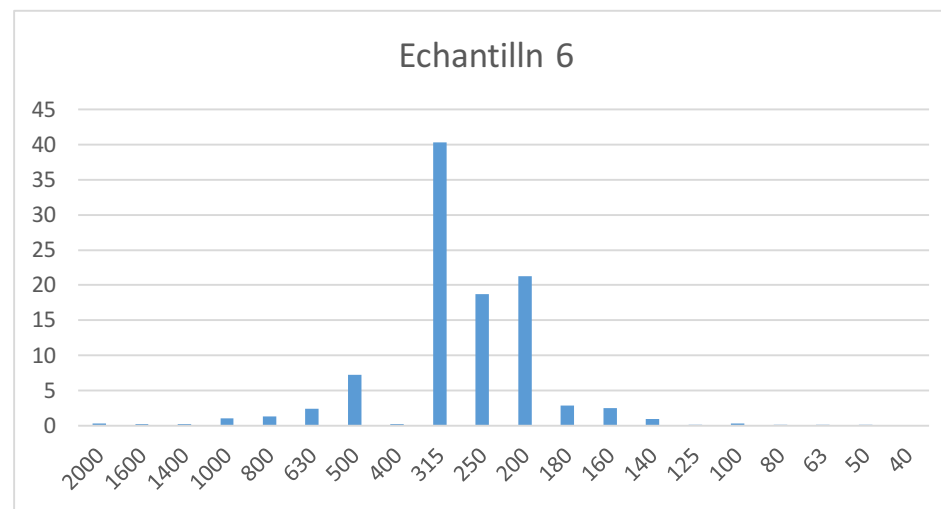
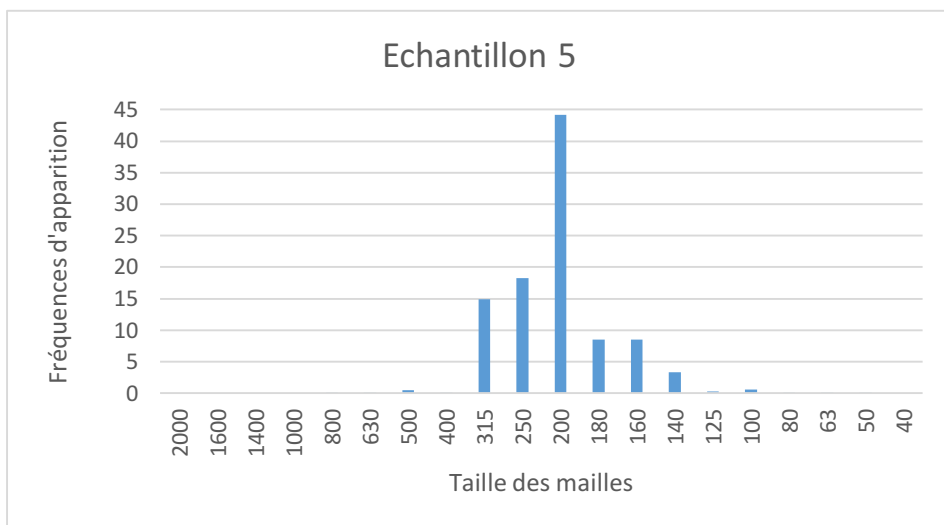


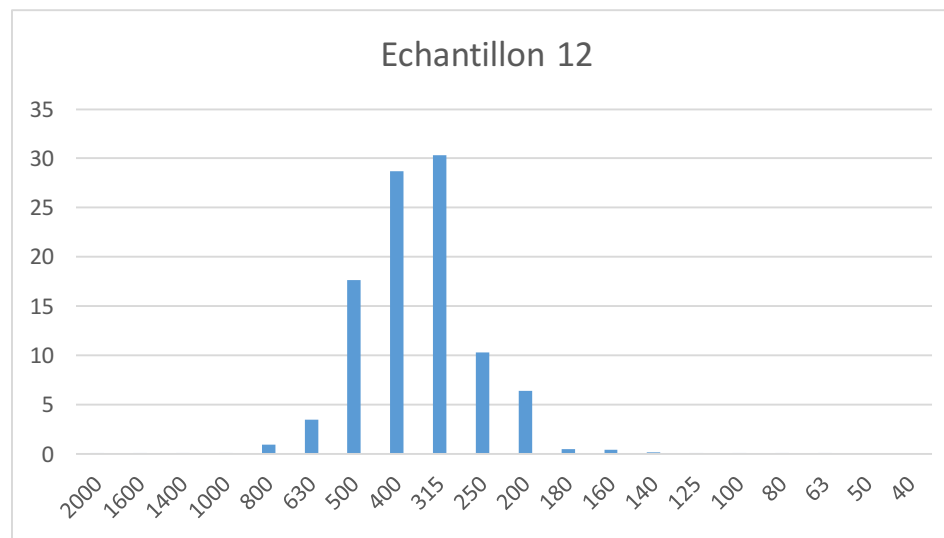
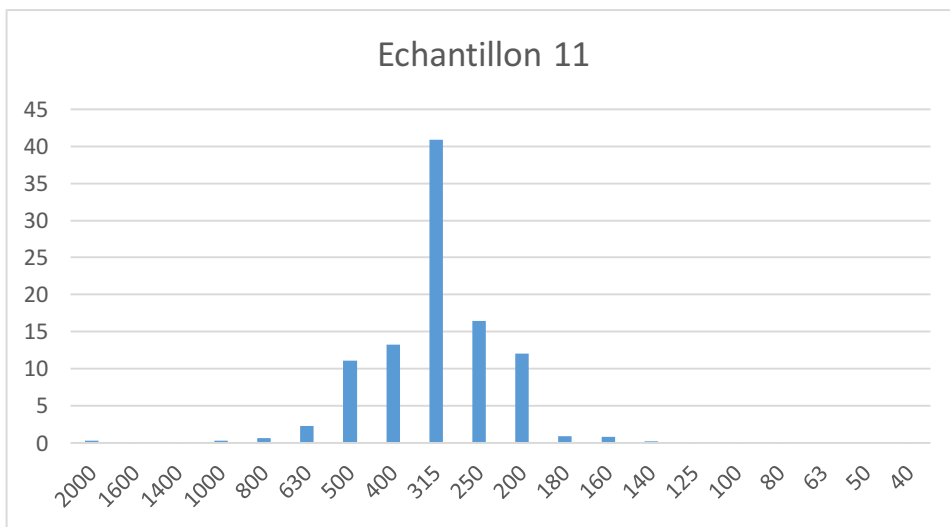
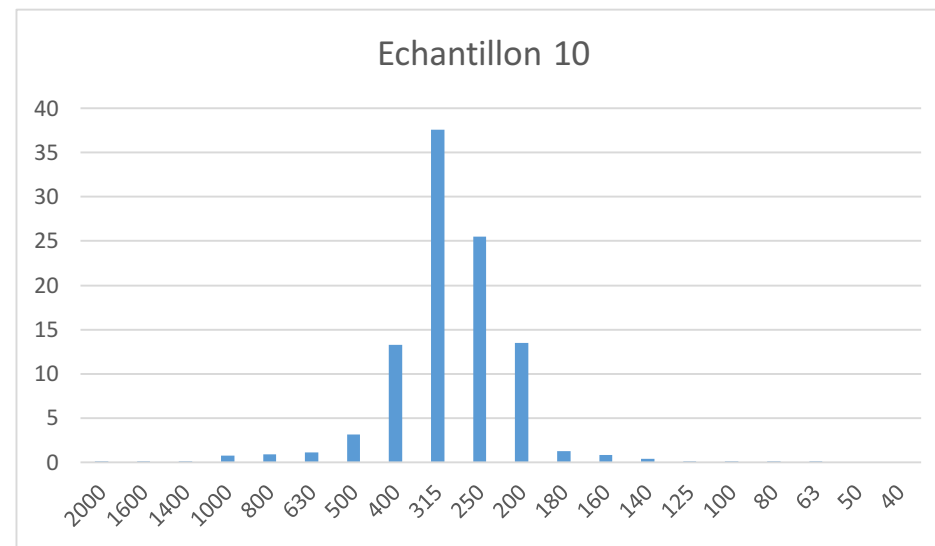
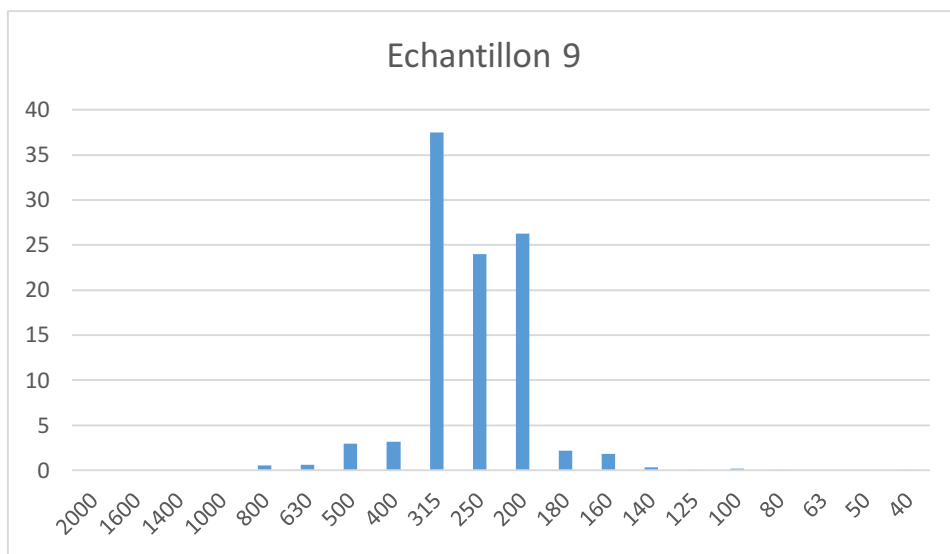


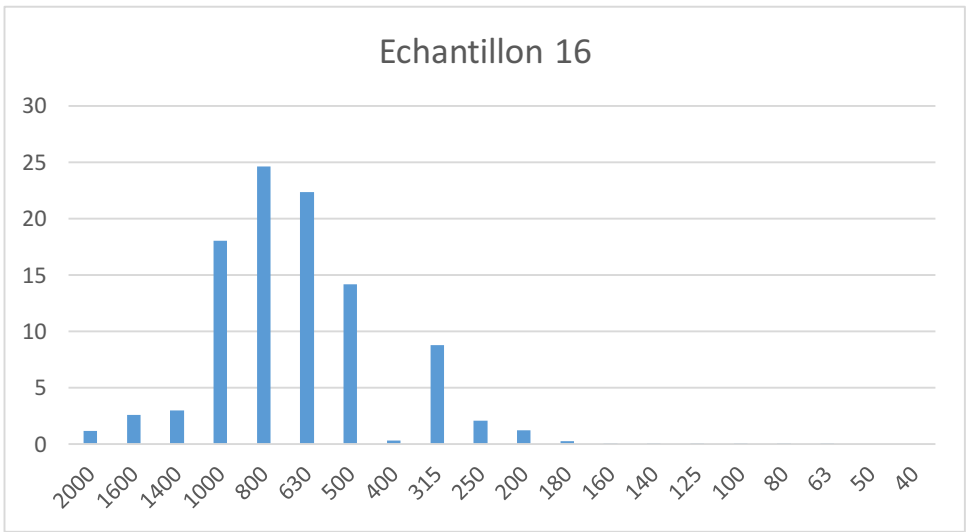
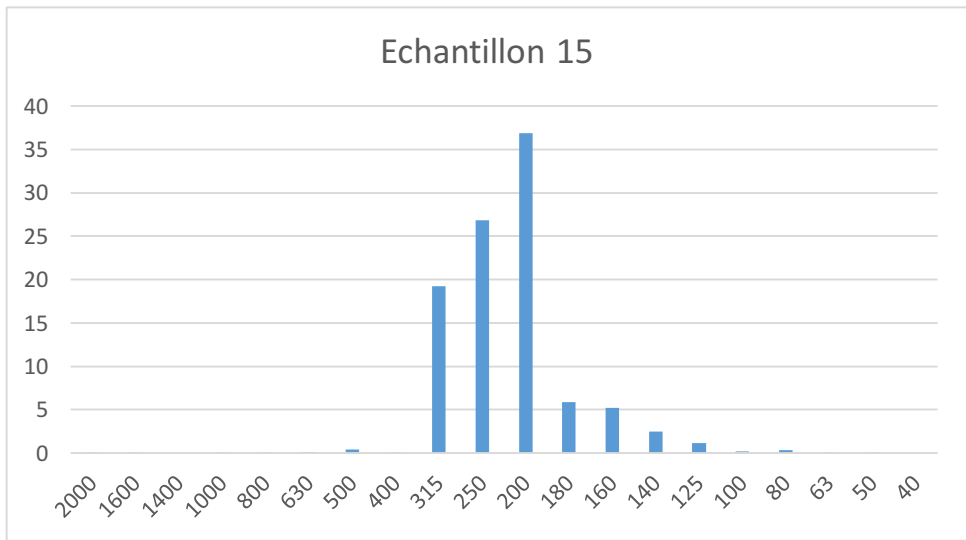
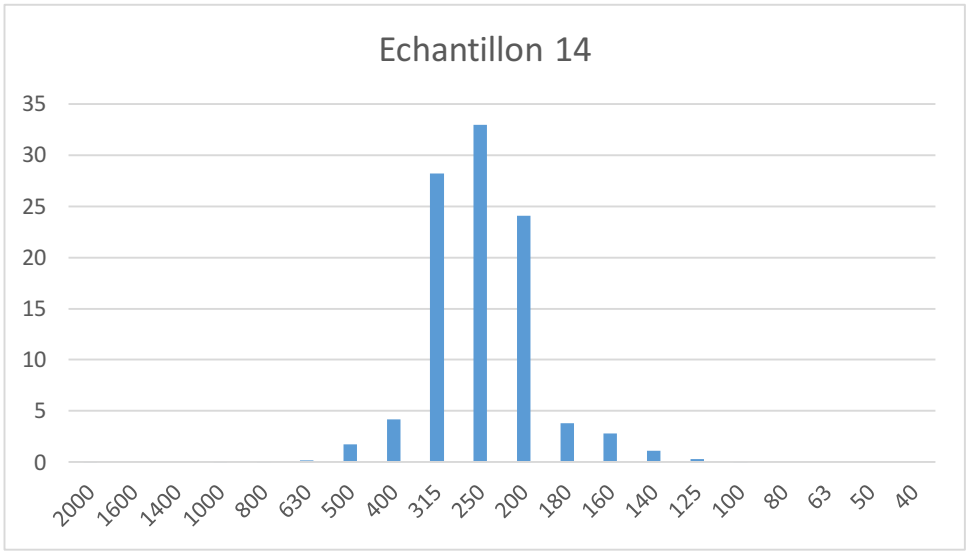
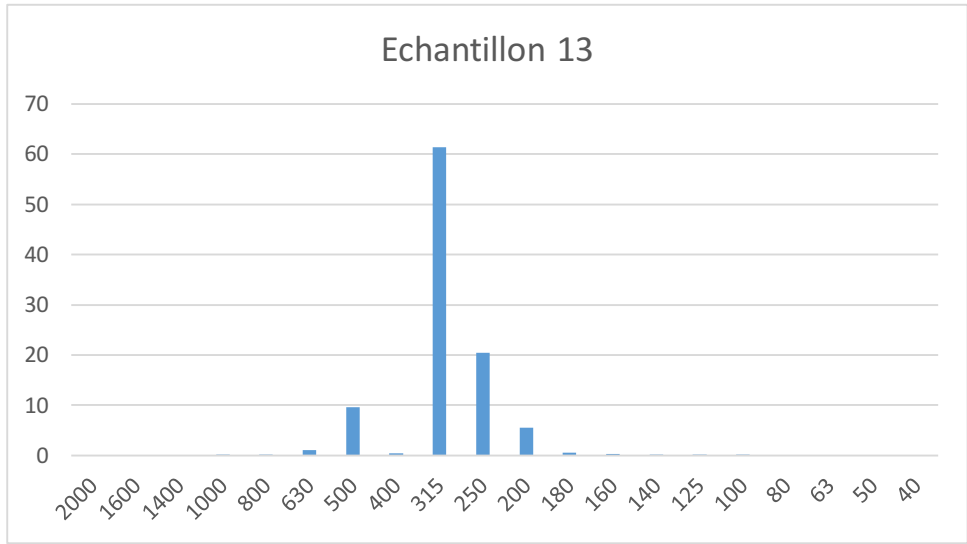


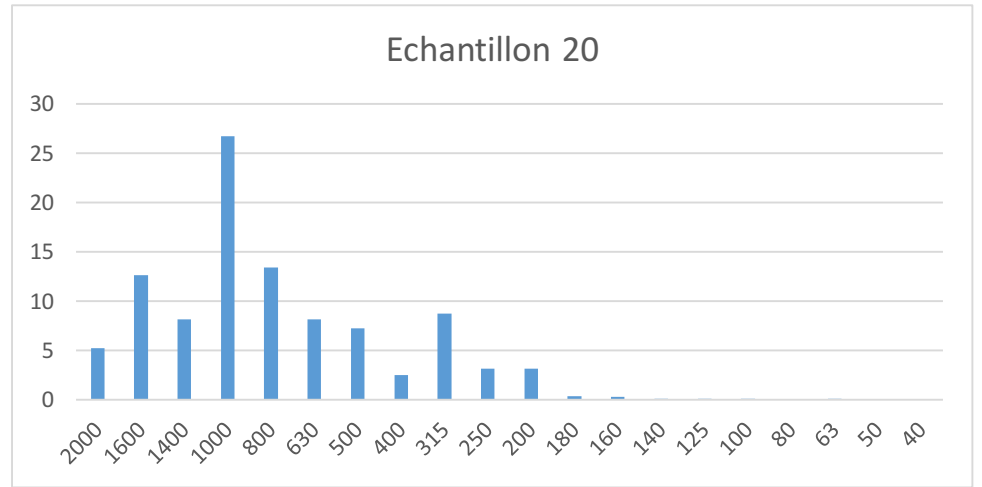
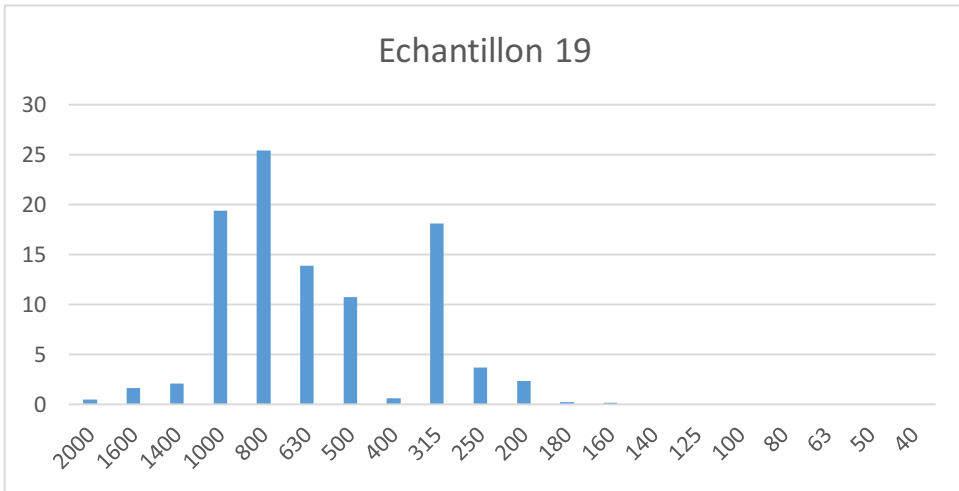
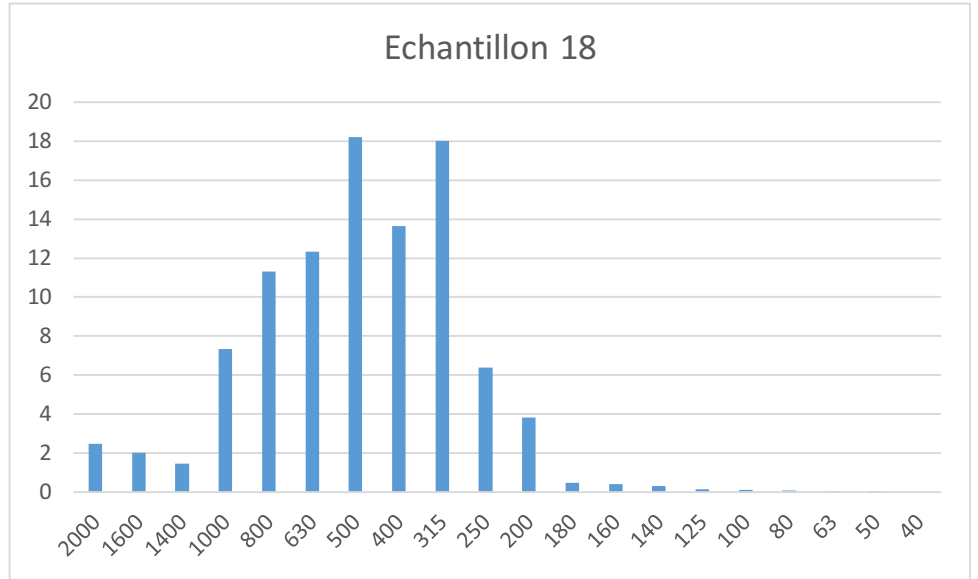
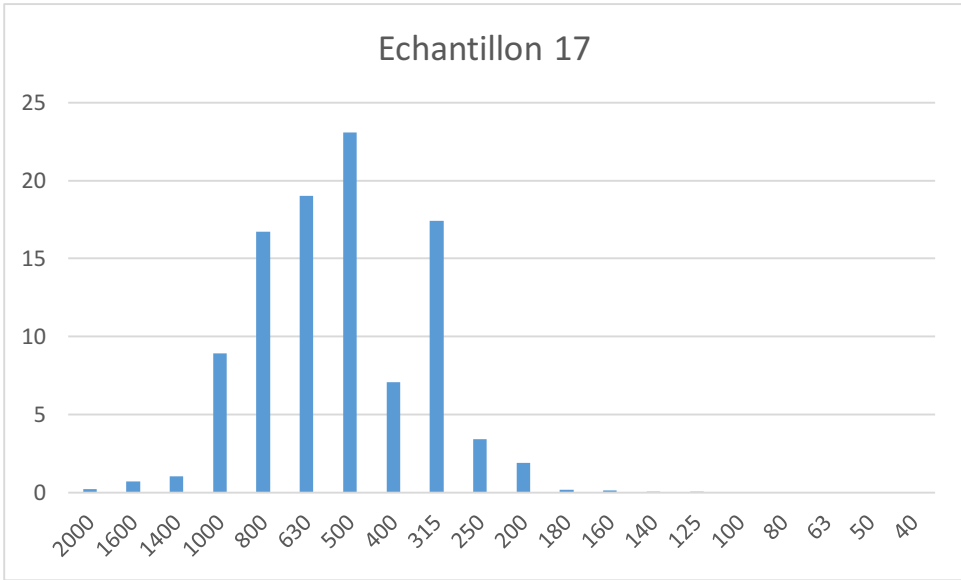
Analyse modale :

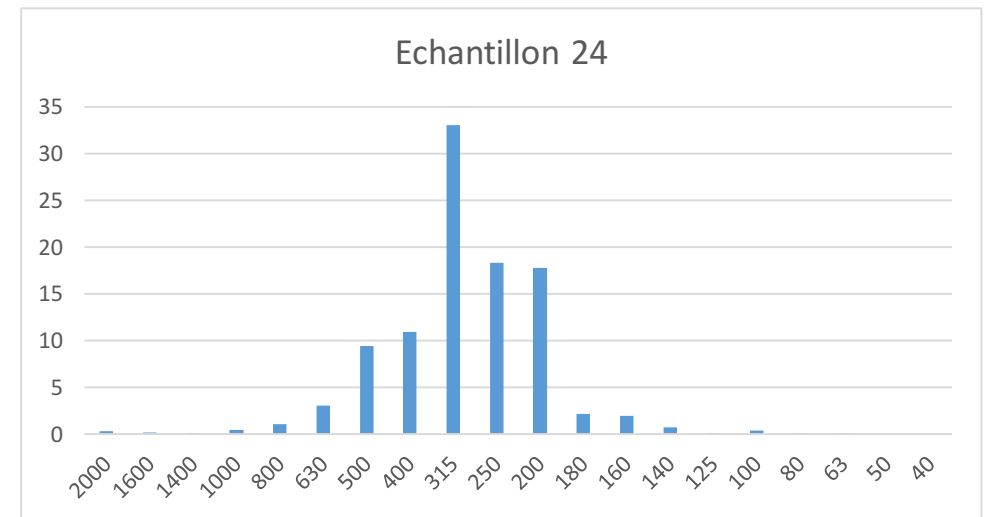
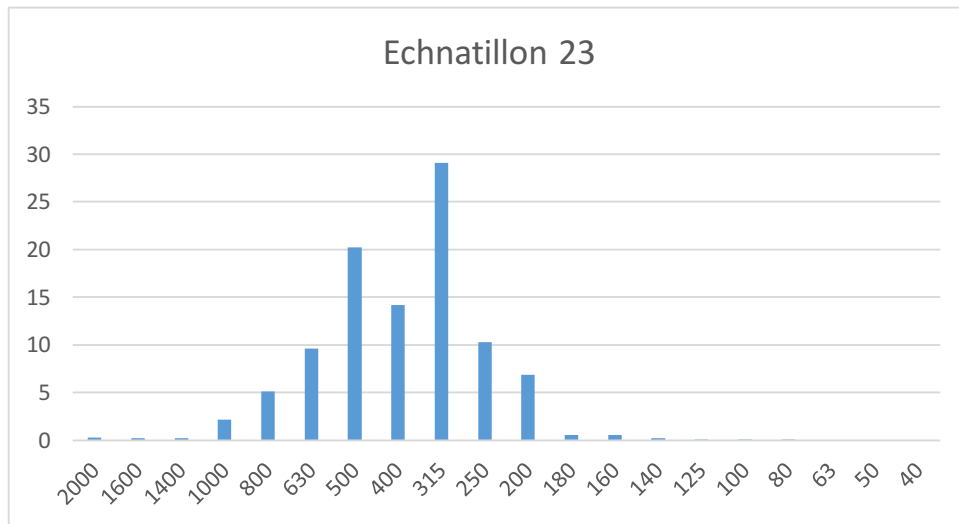
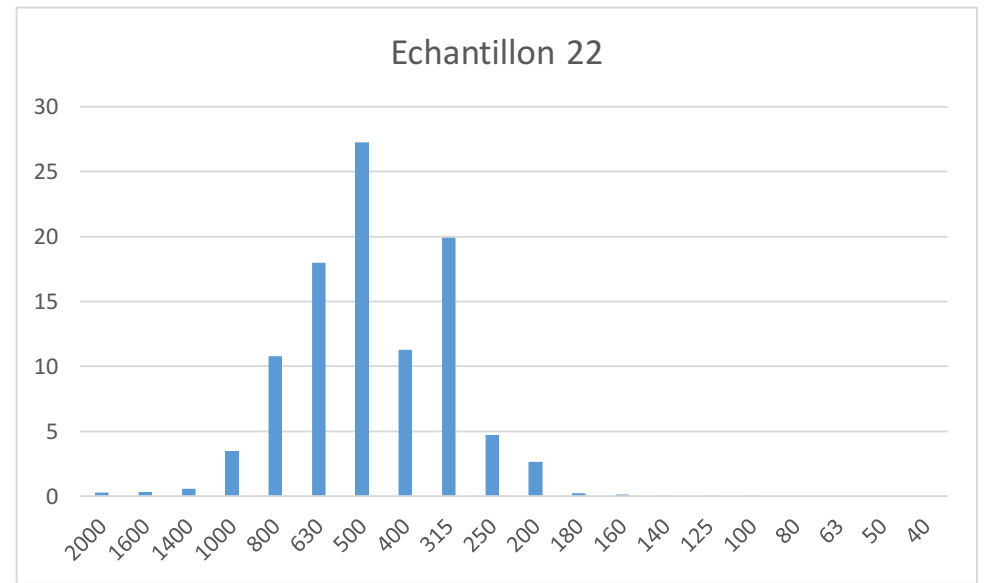
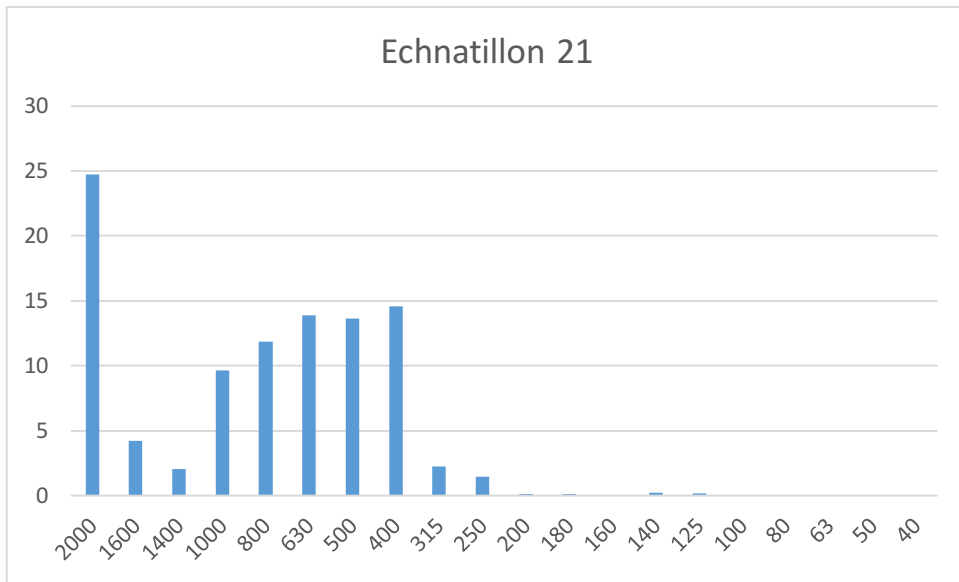


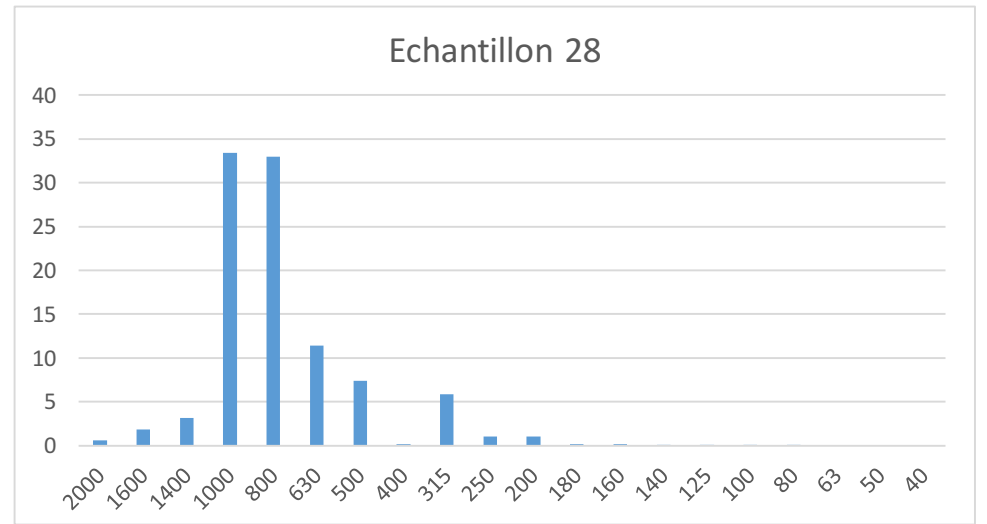
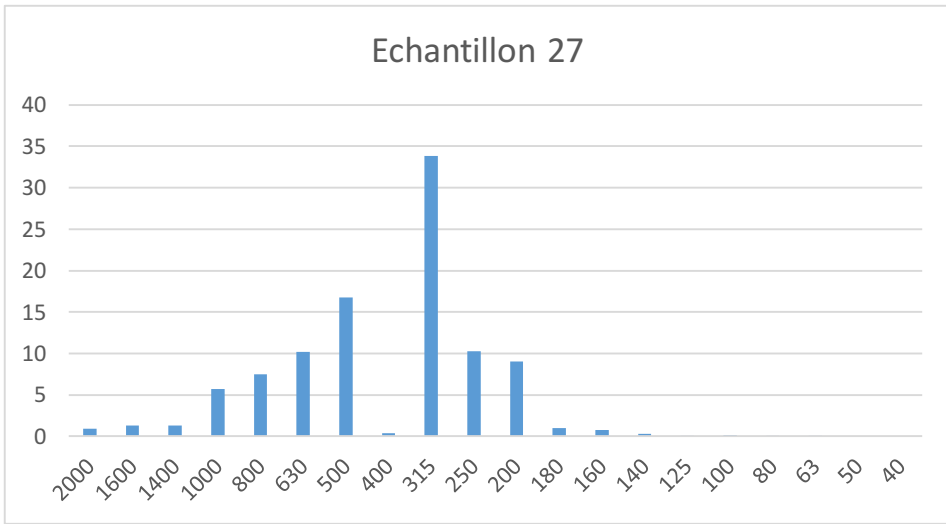
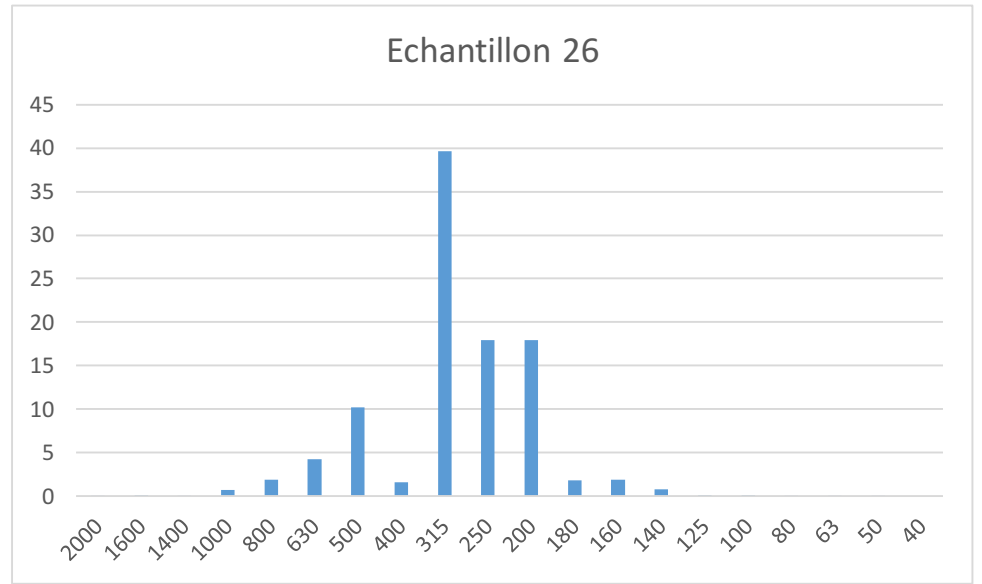
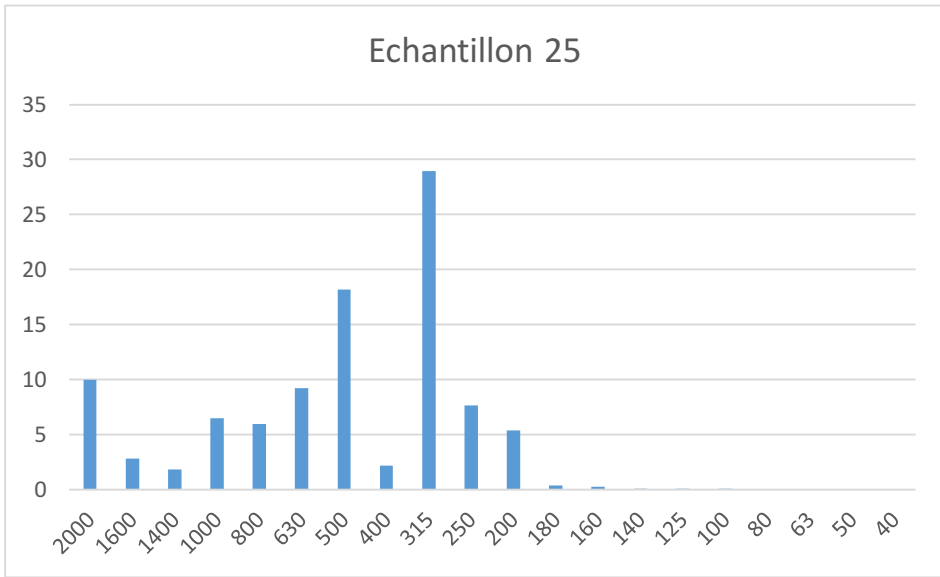


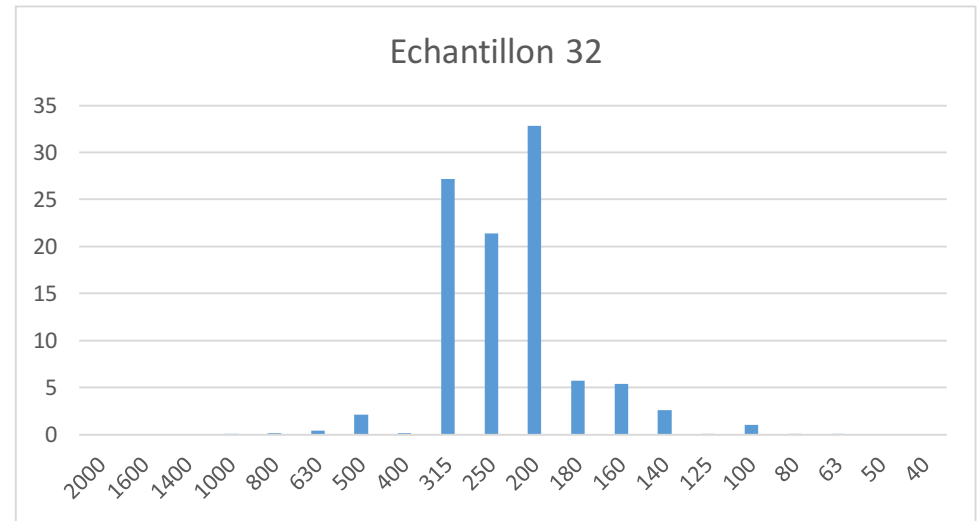
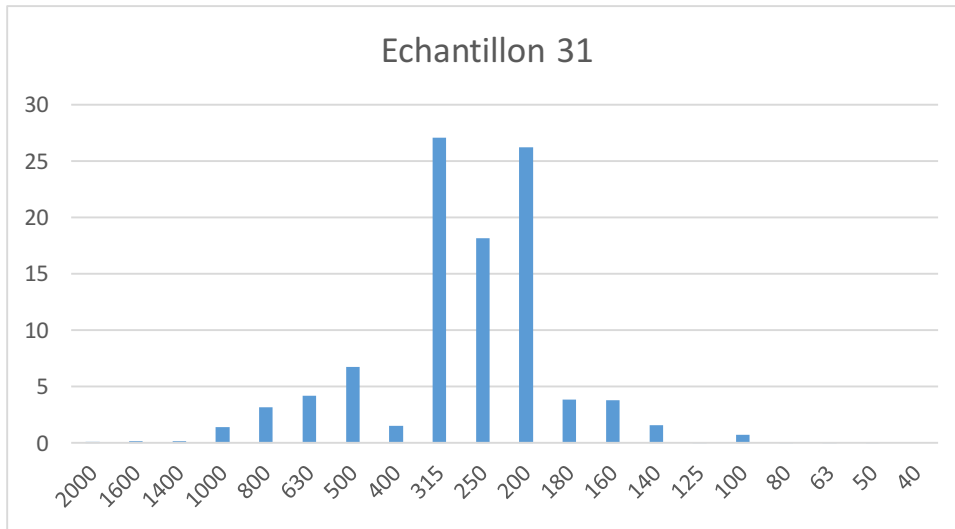
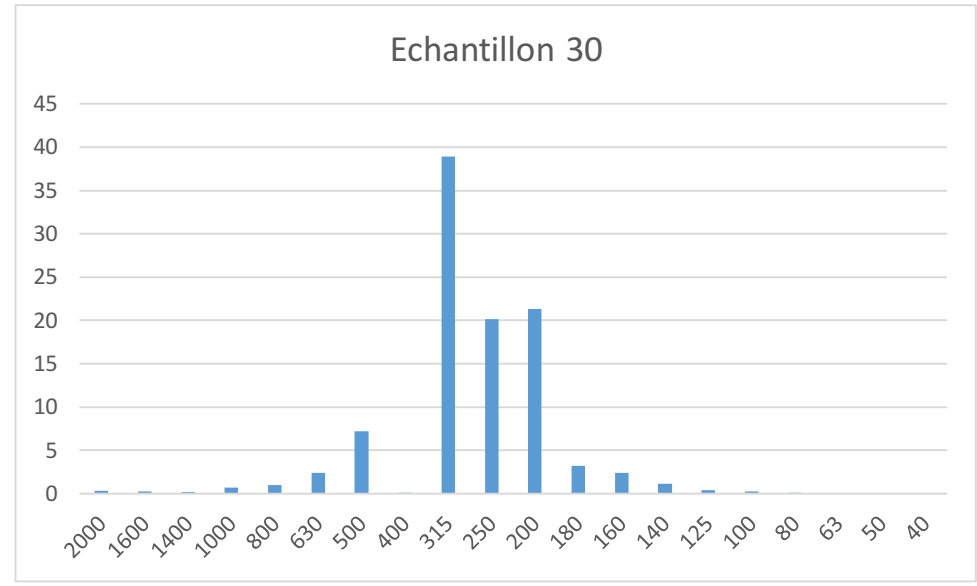
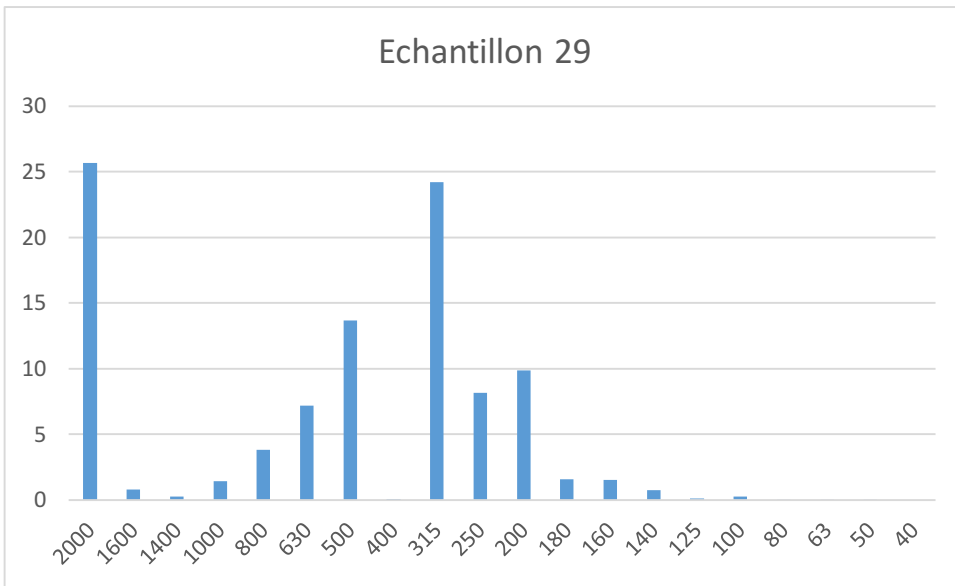


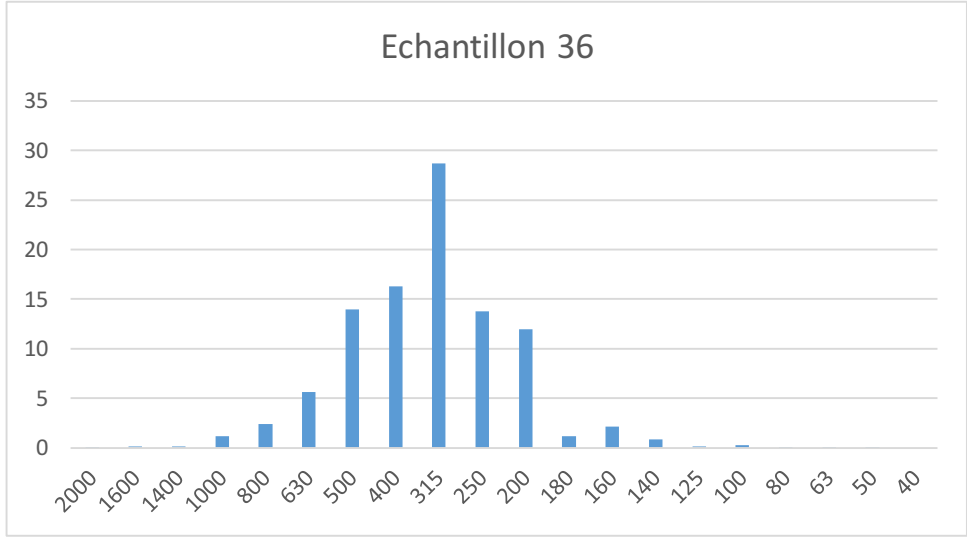
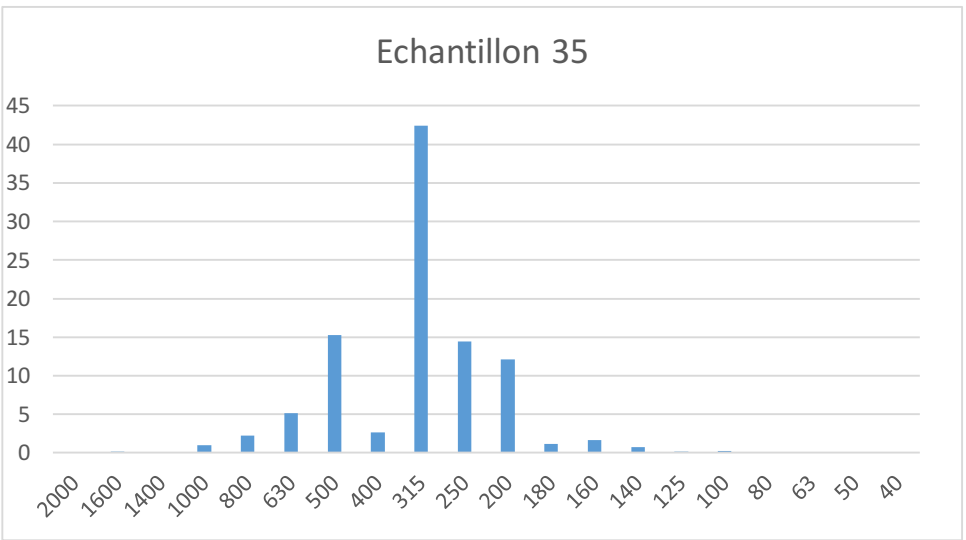
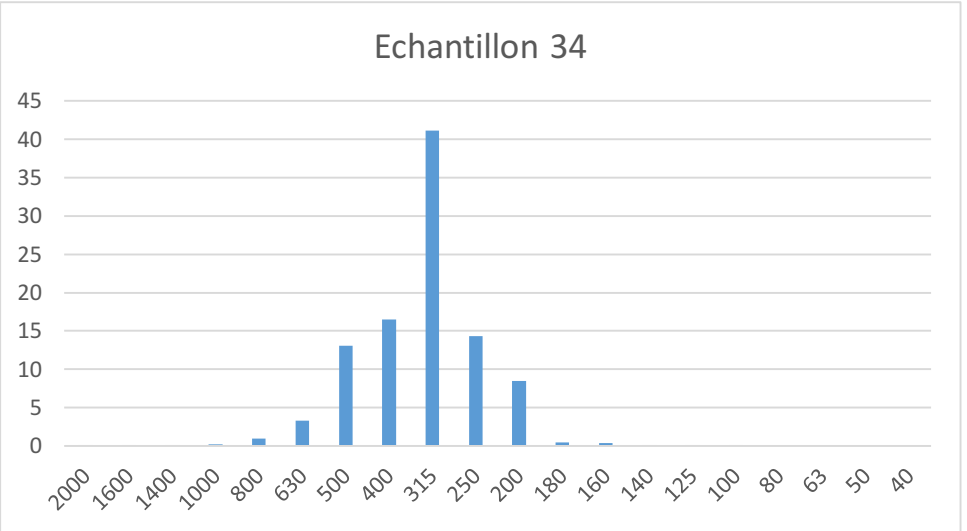
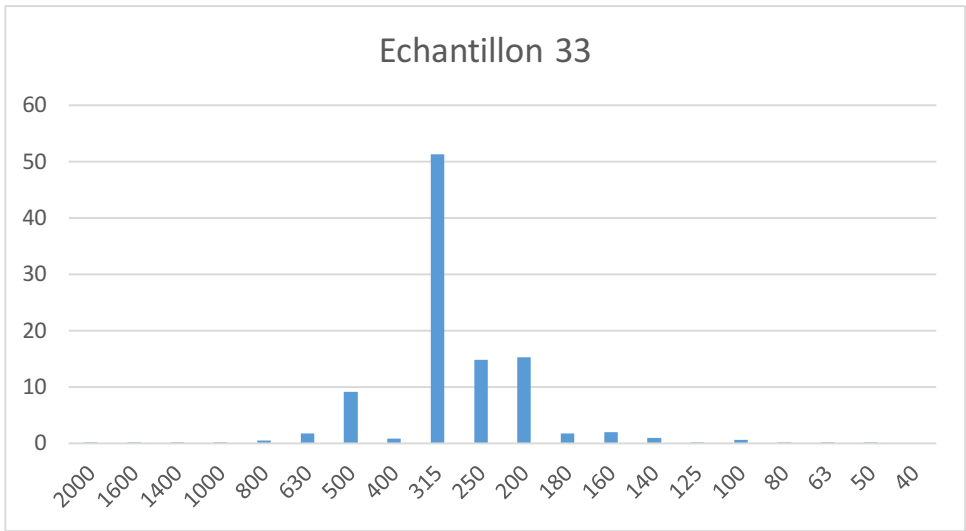


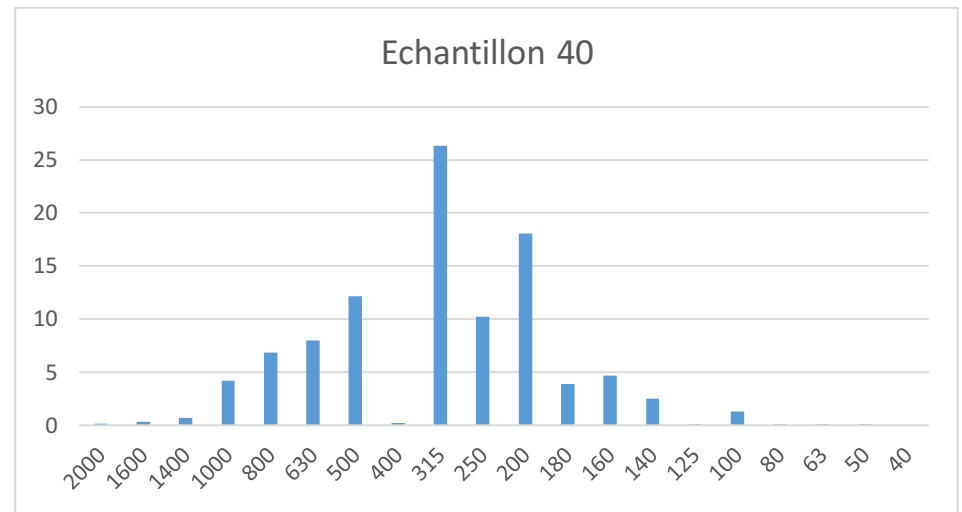
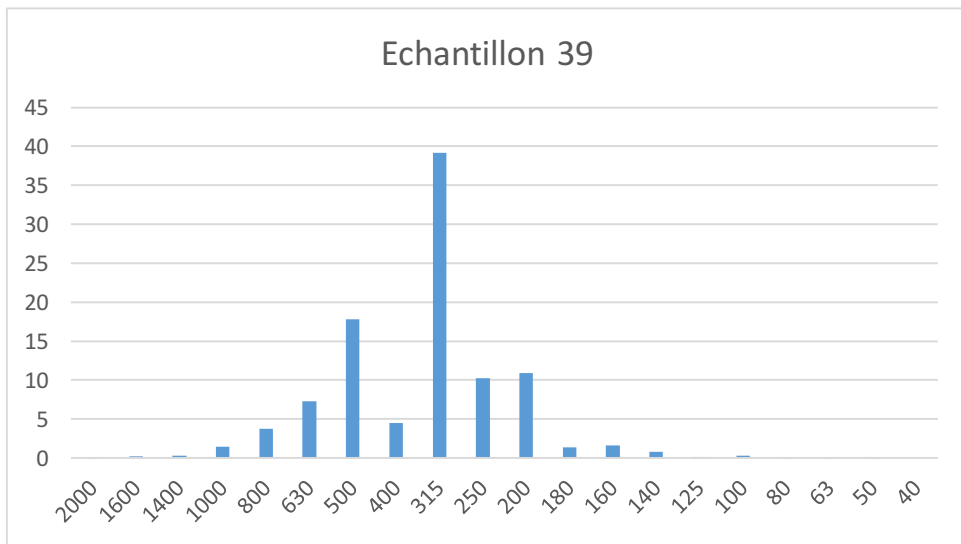
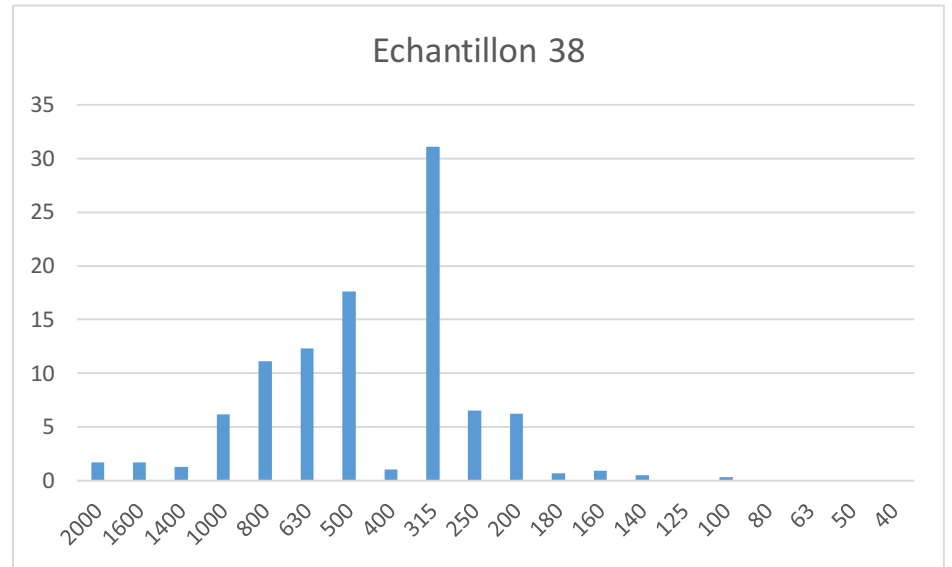
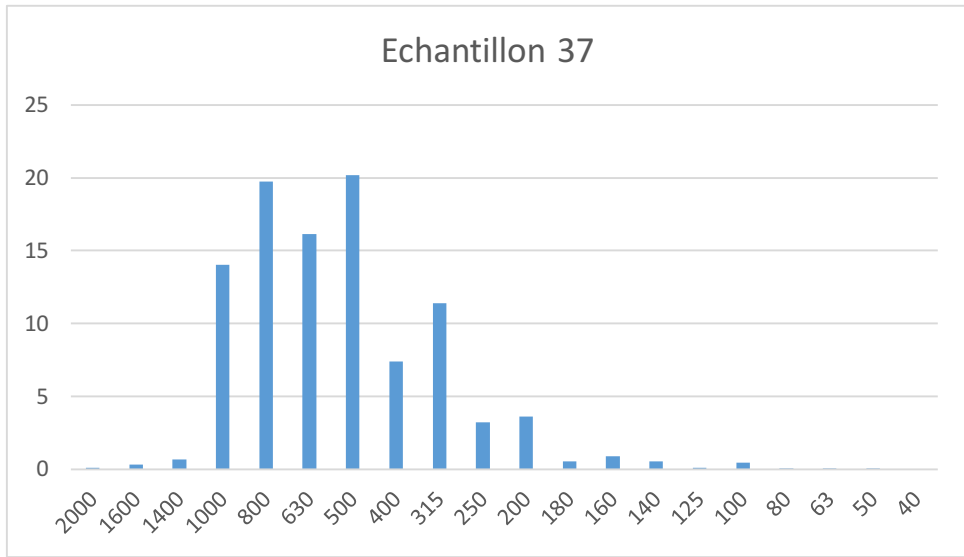


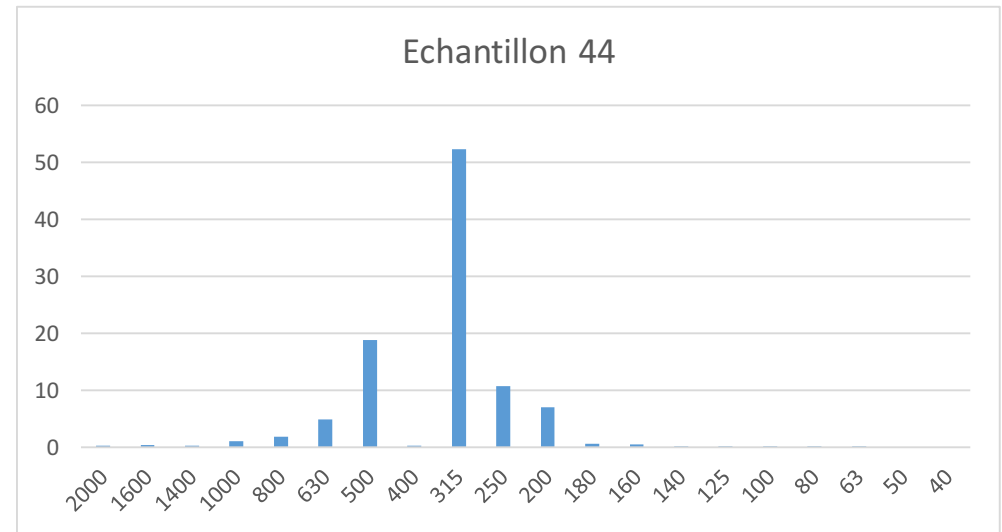
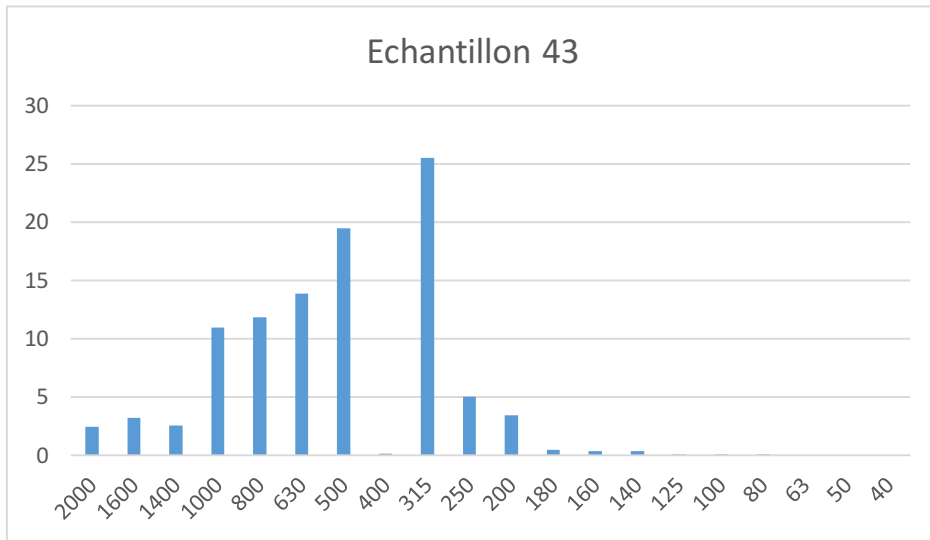
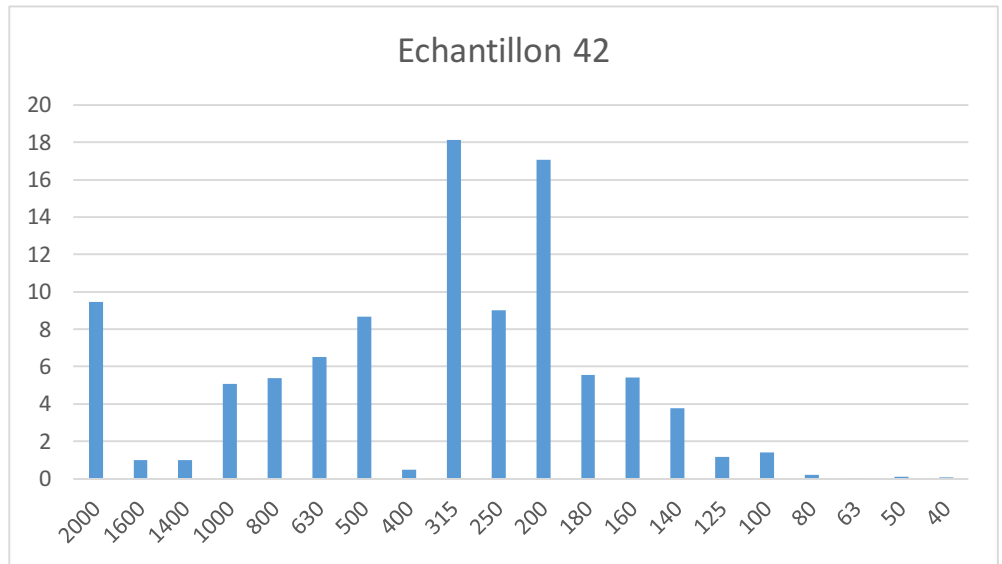
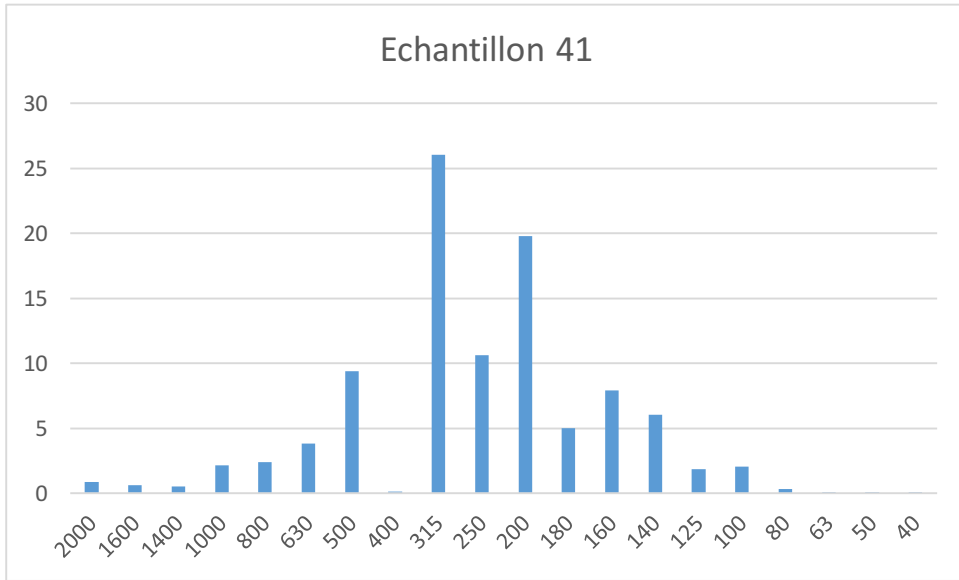


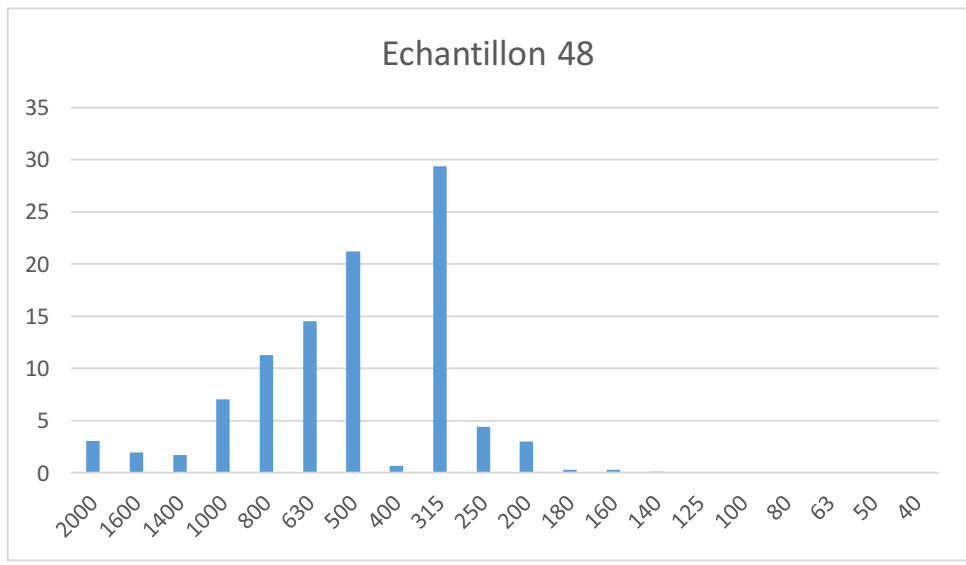
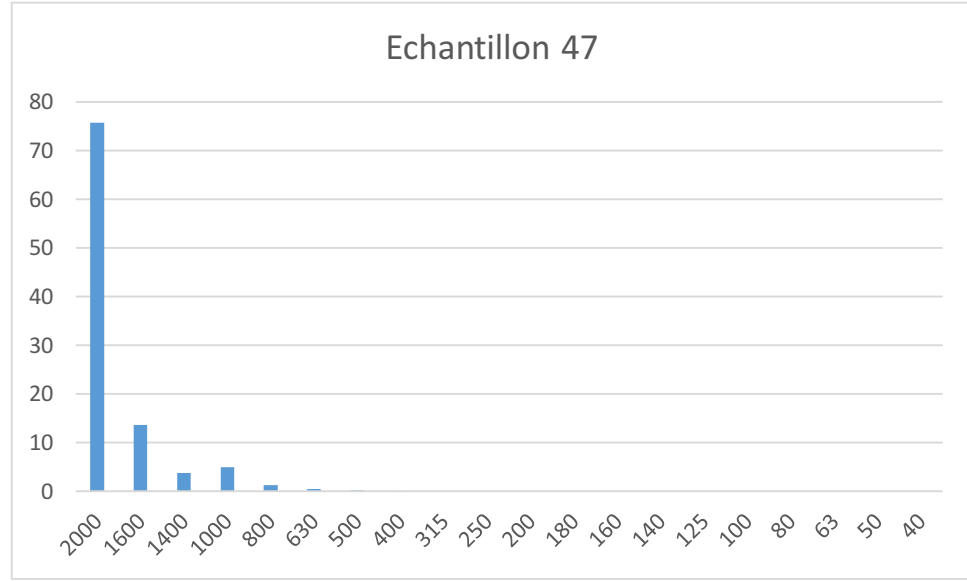
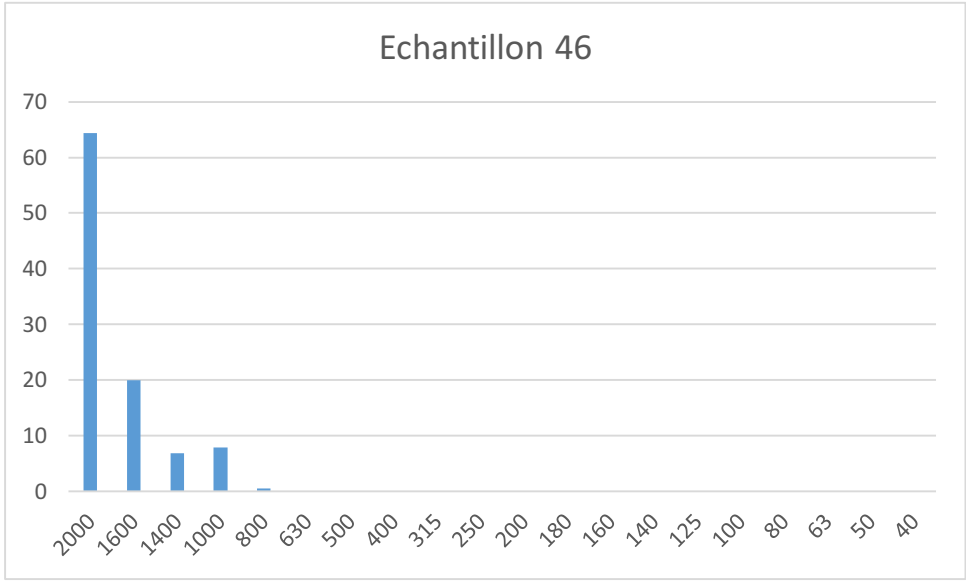
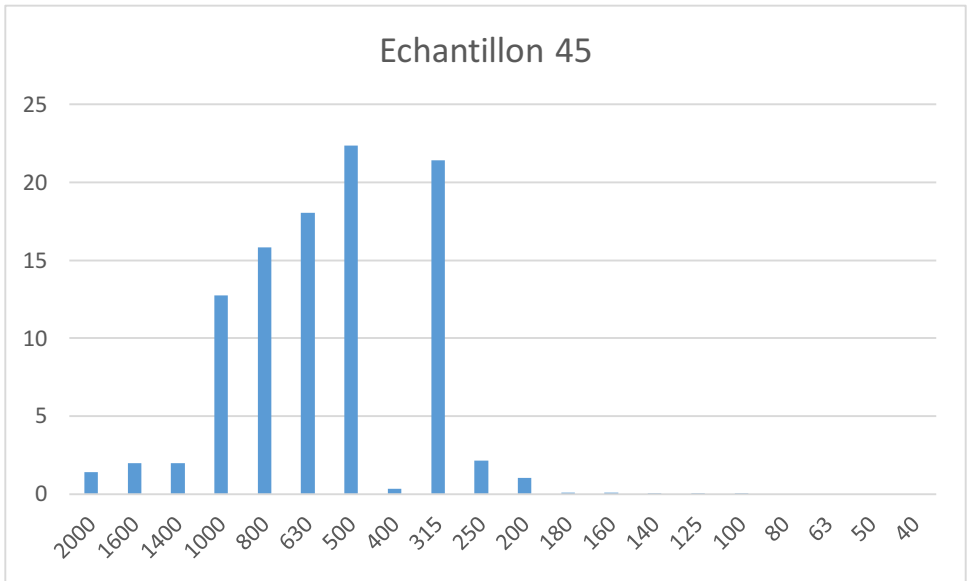












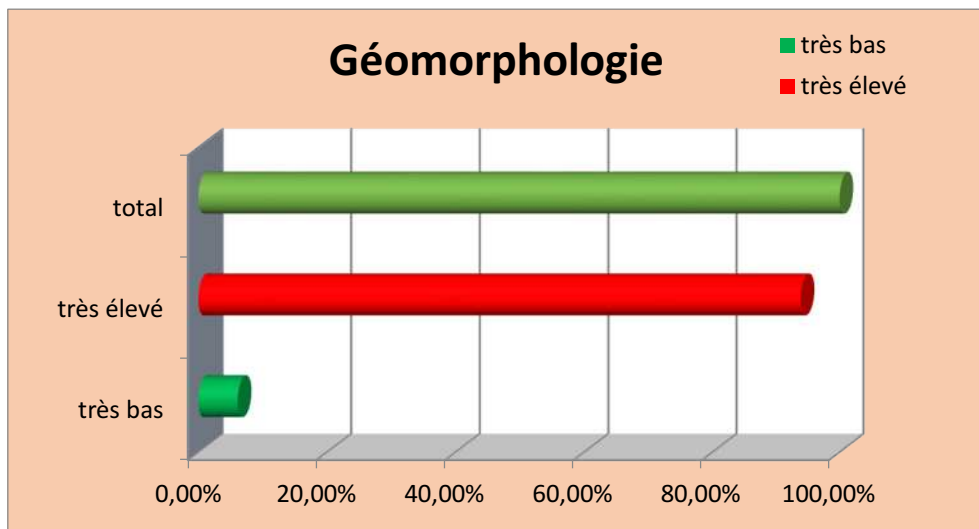


Fig. n°53 : Diagramme du pourcentage du littoral de la partie Est du littoral de Béjaïa pour les facteurs de risque relatifs à la variable géomorphologie.

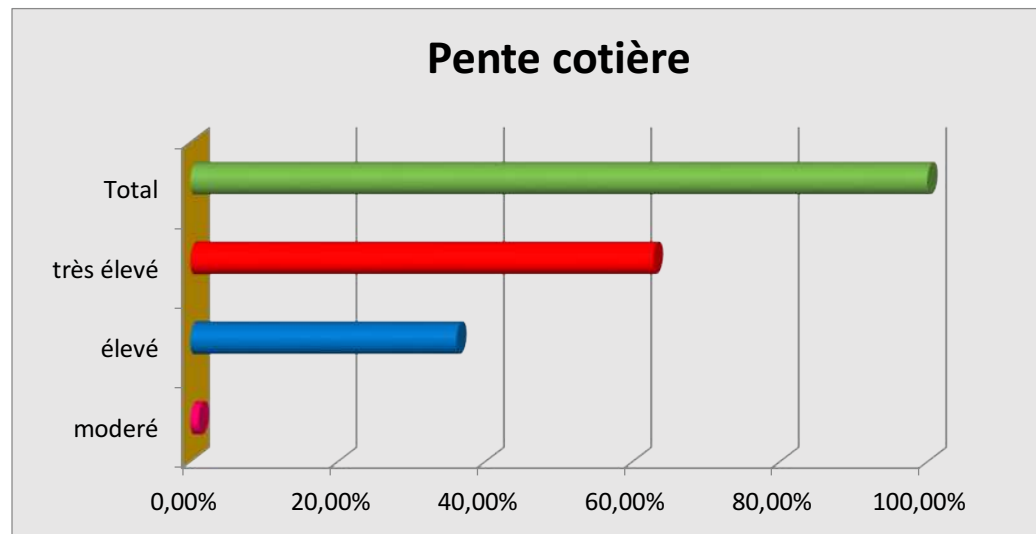


Fig. n°54 : Pourcentage du littoral de la partie Est du littoral de Béjaïa pour les facteurs de risque relatifs à la pente côtière.

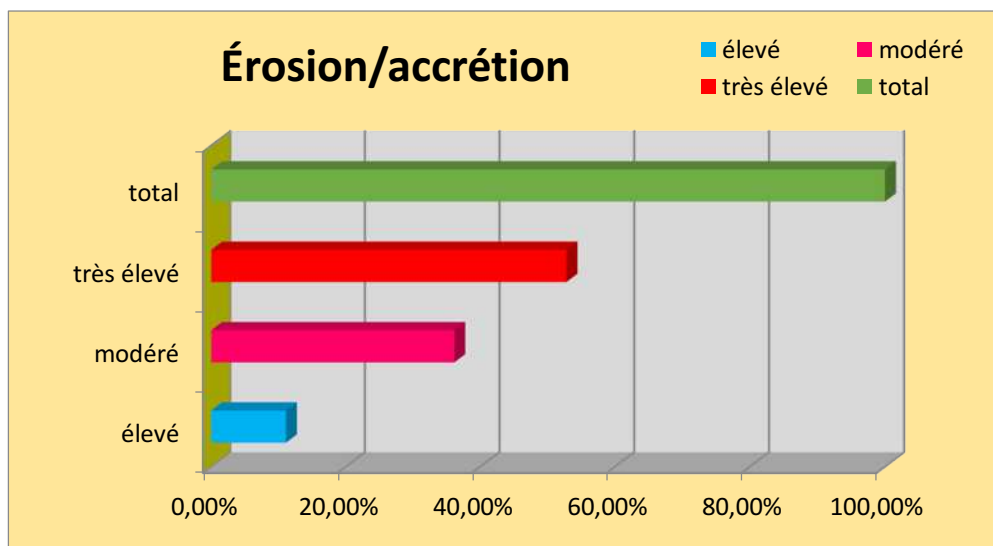


Fig. n°55 : Pourcentage des facteurs de risque relatifs à la variable érosion/accrétion du trait de côte.

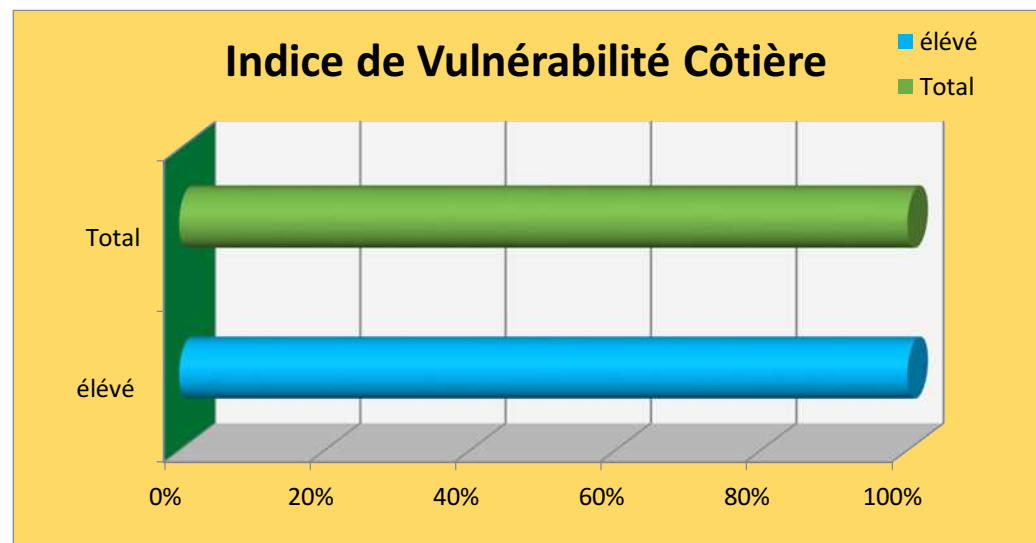


Fig. n°56 : Pourcentage du littoral Est de Béjaïa pour le degré de vulnérabilité physique à l'élévation du niveau de la mer

AOUDJ Cherif

BOUAZIZ Thinhinane

Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral-Est de Béjaïa

150 pages, 66 figures, 26 photos et 20 tableaux

Résumé :

Le littoral Est de Béjaïa est un milieu fragile où des enjeux industriels (CEVITAL) et économiques (activités portuaires et tourisme balnéaire) accompagnent une concentration démographique importante. Cet environnement côtier fortement anthropisé est confronté depuis plusieurs décennies à un double problème. Les plages présentent une tendance continue à s'éroder voire disparition (Club hippique et Thassifh), par ailleurs, la route N°9 (passant par Cap Aokas) se dégrade.

De nombreux aménagements côtiers ont été réalisés par le passé afin de lutter contre ces deux phénomènes mais ne se révèlent que partiellement efficaces. Dans ce contexte, les travaux au cours de ce mémoire ont permis d'améliorer l'état de connaissances du comportement hydro-sédimentaire des plages de côte Est de Béjaïa et de l'embouchure de l'Oued Soummam par l'observation et la mise au point du SIG (Système d'information Géographique)...

L'analyse des impacts physiques a montré que deux types principaux d'effets potentiels affecteraient cet espace côtier :

Une accélération de l'érosion côtière. Certaines plages ont fortement reculé (Aokas plage et Boukhelifa plage), d'autres semblent bien tenir le coup (Tichy plage) et d'autres risqueraient de disparaître (plage de Sidi Ali Lebhar) au cours des prochaines décennies.

36,33% de la totalité des plages présenteraient un risque de submersions bas, 39,66% moyen à bas et 15,77% présenteraient un risque moyen.

Tous ces impacts auront probablement des incidences sur la biodiversité et les nombreux écosystèmes de ce littoral, ainsi que sur les activités socio-économiques de la région.

Mots-clés :

– Béjaïa – Granulométrie – Trait de côte – Vulnérabilité littorale – Littoral Est de Béjaïa – SIG – Bathymétrie – Sédimentologie – Érosion – Plages sableuses – Protection.

Rubrique de classement:

Aménagement du littoral.

JURY:

Président : M .le Professeur GUERFI.S.

Examineurs : M .le Professeur LARID.M.

M .le Professeur BELKESSA.R.

Promoteur : M .le Maître-Assistant B MEZOUAR.K.