

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
طنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en sciences de la mer et de l'aménagement du littoral

OPTION: AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

Etude des écosystèmes dunaires algérois : étude comparative entre les deux ensembles dunaires du Mazafran et d'El Kadous.

Présenté par :

- **BOUNOUA Nabila**
- **KACI Salima**

Soutenues le **12 Juillet 2017** à 13h, devant le jury suivant :

Mr MEZOUAR K.	MCA - ENSSMAL	Président
Mr OTMANIH.	MAA - ENSSMAL	Promoteur
Mme KHELIL N.	Doctorante - ENSSMAL	Co- promotrice
Mme SOUKANE MOKHBI D.	MCB - ENSSMAL	Examineur
Mr AIT AMIR H.	Chercheur - HMI	Examineur

Promotion : 2016 - 2017

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir donné la patience d'achever ce mémoire et la capacité de le présenter devant vous en vue d'obtenir le titre d'ingénieur.

Nos premiers remerciements, et sans doute les plus vifs, s'adressent tout particulièrement à notre promoteur Monsieur OTMANI.H, pour l'intérêt incessant qu'il a porté au suivi de ce mémoire, en dépit de ses occupations et malgré la difficulté rencontrée tout le long de cette étude. Nous le remercions aussi d'avoir été compréhensif et patient, d'avoir été exigeant tout en nous accordant une grande autonomie et surtout, d'avoir partagé ses connaissances et sa passion avec nous, dès la quatrième année. Son soutien constant, ses conseils et ses critiques, toujours très constructifs, nous ont énormément apporté. Nous le remercions encore de nous avoir fait confiance tout au long de ce mémoire et de nous avoir motivé à dépasser nos propres limites. Qu'il trouve dans ces mots l'expression indéniable de notre respect.

Notre reconnaissance va aussi à notre co-promotrice, Madame KHELIL.N, qui, malgré son emploi du temps plus que chargé, a pu trouver un moment pour nous aider et surtout nous encourager.

Nous tenons aussi à remercier les personnes qui ont accepté de participer à ce jury de thèse:

- Nous exprimons tous nos remerciements à Monsieur MEZOUAR.K qui nous a fait l'honneur d'accepté de présider ce jury.
- Nos vifs remerciements vont à Monsieur AIT EMIR.H d'avoir accepté notre invitation pour être présent ici aujourd'hui comme examinateur, invité d'honneur.
- Madame SOUKANE MOKHBI.D pour nous avoir fait l'honneur d'être examinatrice et de participer à ce jury de thèse.

Par ailleurs, la réalisation d'une partie de ce mémoire a nécessité de passer sur le terrain. Nous tenons donc à remercier, Monsieur DJERARI.N qui nous a précieusement aidé en acceptant de nous accompagner lors de nos sorties sur terrain. A l'heure des remerciements, nous tenons à accorder une pensée à Madame BENGOUFA.S.

Nous adressons ensuite nos sincères remerciements à l'équipe de l'APPL en particulier Madame SAHRAOUI.

Merci à toutes et à tous.

« On dédie ce modeste travail à nos chères parents, à nos frères et sœurs, à toutes nos familles et à tous nos amis ».

« Nabila et Salima ».

SOMMAIRE

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations et des acronymes

Introduction générale.....15

CHAPITRE I : GENERALITES

1. Zone Ouest : Cordon dunaire de Mazafran	18
1.1. Contexte géographique	18
1.2. Contexte géologique et sédimentologique	19
1.2.1. Cadre géologique	19
1.2.2. Cadre sédimentologique	19
1.3. Contexte hydrographique et climatologique	21
1.3.1. Cadre hydrographique	21
1.3.2. Cadre climatologique	21
1.3.2.1. Le climat	22
1.3.2.2. Les températures	22
1.3.2.3. Les précipitations	23
1.3.2.4. Les vents	24
1.4. Contexte océanographique	25
1.4.1. Les houles	25
1.4.2. Les courants	28
1.4.3. La marée	28
2. Zone Ouest : Cordon dunaire d'El Kadous	29
2.1. Contexte géographique	29
2.2. Contexte géologique et sédimentologique	30
2.2.1. Cadre géologique	30
2.2.1.1. Le Sahel	30
2.3. Contexte hydrographiques et climatologiques	31
2.3.1. Cadre hydrographique	31
2.3.2. Cadre climatologique	33
2.3.2.1. Le climat	33
2.3.2.2. Les températures	34
2.3.2.3. Les précipitations	35
2.3.2.4. Les vents	35
2.4. Contexte océanographique	37
2.4.1. Les houles	37
2.4.2. Les courants	37

CHAPITRE II : Evolution surfacique des dunes

1. Caractères naturels généraux d'un écosystème dunaire	40
1.1. Définition des dunes	40
1.2. Processus de formation des dunes	40
1.3. Facteurs gouvernants la morphologie d'un système dunaire côtier	41
1.4. Organisation spatiale du système dunaire	42
1.5. Rôles des dunes	43
1.6. Les différents types de dunes	43
1.7. Fragilité des dunes	45
1.8. Gestion des dunes	45
2. Caractérisation des deux écosystèmes dunaires du Mazafran et d'El Kadous	45
2.1. Le site d'El Kadous	46
2.2. Le site de Mazafran	47
2.3. Les différentes caractéristiques de nos zones d'étude	48
3. Méthodologies et mises en œuvre	51
3.1. État des lieux des connaissances existantes (action 1)	52
3.1.1. Approche méthodologique : photo-interprétation	52
3.1.2. Démarche d'évaluation et phase de sélection des indicateurs	53
3.1.3. Outils et méthodes de traitement	54
3.2. Structuration du SIG et mise en forme des données (action 2)	55
3.2.1. Outils et méthodes de traitement	55
3.2.1.1. ArcGis 10.2	55
3.2.1.2. Géoréférencement des images et système de référence	56
3.2.1.3. Cartographie et calcul des surfaces dunaires de la côte	56
3.2.2. Présentation et interprétation des résultats	56
3.2.2.1. Zone Est	57
3.2.2.2. Zone Ouest	63
3.2.2.3. Résultat et discussions.....	68
3.3. Etat initial – acquisition de données de terrain (action 3).....	69

CHAPITRE III : Evolution planimétrique des dunes

1. Introduction.....	74
2. Types de données	74
3. Objectifs.....	75
4. Acquisition des données	78
5. Méthodes mise en œuvre.....	78
5.1. Réalisation des MNT.....	78
5.2. Calcul des volumes	80

1. Conclusion	88
Conclusion générale.....	90
Bibliographie	
Annexes	

Liste des figures

Figure 1.1 : Situation géographique de la zone d'étude.....18

Figure 1.2 : Photos du cordon dunaire de Mazafran (Avril 2017).....18

Figure 1.3 : Carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja (PNE, 2010).....19

Figure 1.4 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).....20

Figure 1.5: Bassin versant et réseau hydrologique de la zone d'étude.....21

Figure 1.6: Températures moyennes en °C (ONM, 2004-2014).....23

Figure 1.7: Les taux mensuels des précipitations (ONM, 2004-2014).....23

Figure 1.8 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).....24

Figure 1.9 : Rose annuelle des vents (MEDATLAS, 1994-2004).....25

Figure 1.10: Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver-été (HMI, 2011 in Nadir, 2016).....26

Figure 1.11 : Rose de la fréquence moyenne hivernale et estivale des houles par direction (AHFIR et MEZIANE, 2016) carte modifiée.....27

Figure 1.12 : Formation d'une flèche littorale par les courants dominants à l'embouchure de l'oued de Mazafran (Google Earth, Juin 2015).....28

Figure 1.13 : Situation géographique de la zone d'étude.....29

Figure 1.14 : Photo du cordon dunaire d'El Kadous (2015, 2017).....29

Figure 1.15 : Carte morpho-géologique du bassin de la Mitidja et ses environs (données topographiques SRTM-3 et carte géologique d'Algérie au 1/500000, 2012).....31

Figure 1.16 : Bassin versant et réseau hydrologique de la zone d'étude.....32

Figure 1.17 : Réseau hydrographique de la zone d'étude (CHENIT, 2012).....33

Figure 1.18 : températures moyennes en °C (ONM, 2004-2014).....34

Figure 1.19 : Les taux mensuels des précipitations (ONM, 2004-2014).....35

Figure 1.20 : Roses trimestrielles et annuelles des vents (MEDATLAS 1994-2004).....36

Figure 1.21 : Rose annuelle des houles (MEDATLAS 1994-2004).....37

Figure 1.22 : Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude décrit selon LCHF 1970 (BENGOUFA, 2016).....38

Figure 2.1 : Processus de formation d'un cordon dunaire (GOURY, 1822).....41

Figure 2.2 : Profil théorique d'organisation spatiale du système dunaire représentant la succession des différents types d'habitats (Source : ONF, 2008).*En rouge, la Localisation des habitats concernés par notre étude*.....42

Figure 2.3 : Organisation spatiale du système dunaire (AFG).....	43
Figure 2.4 : Localisation des deux zones d'études du Mazafran et d'El Kadous (2016).....	46
Figure 2.5 : Détails du cordon dunaire d'El Kadous (Mars 2017).....	47
Figure 2.6 : Détails du cordon dunaire du Mazafran (Mars 2017).....	48
Figure 2.7 : Ripple marks formées par les courants marins (1) et l'action éolienne (2) (Mazafran, Mars 2017).....	48
Figure 2.8: Schématisation des actions envisagées pour l'évolution surfaciques des deux cordons dunaire.....	51
Figure 2.9 : Enregistrement des images satellitaires sous historique de Google Earth Pro.....	55
Figure 2.10 : Histogramme des différentes surfaces du cordon dunaire d'El Kadous (2006-2016).....	58
Figure 2.11 : La forte fréquentation au niveau du cordon dunaire d'El Kadous (Août 2015).....	59
Figure 2.13 : Formation d'une microfalaise dans la zone d'El Kadous (Octobre, 2015).....	60
Figure 2.14 : Evolution surfacique du cordon dunaire d'El Kadous entre 2006 et 2012.....	61
Figure 2.15 : Evolution surfacique du cordon dunaire d'El Kadous entre 2006 et 2016.....	62
Figure 2.16 : Histogramme des différentes surfaces du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016).....	63
Figure 2.17 : Histogramme des pourcentages de perte du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016).....	66
Figure 2.18 : Evolution surfacique du cordon dunaire de Mazafran entre 2004 et 2013.....	66
Figure 2.19 : Evolution surfacique du cordon dunaire de Mazafran entre 2004 et 2016.....	67
Figure 2.20 : Les formes géomorphologiques du cordon dunaire d'El Kadous (1) et de Mazafran (2).....	68
Figure 2.21 : Formes d'érosion éolienne au niveau de la zone de Mazafran (Mars 2017).....	69
Figure 2.22 : Un large couloir de déflation au niveau des dunes d'El Kadous (Avril 2017).....	70
Figure 2.23 : Formes de la déflation éolienne au niveau des dunes de Mazafran (Mars 2017).....	70
Figure 2.24 : Pâturage anarchique (El Kadous 2016).....	71
Figure 2.25 : Extraction abusive de sable (1) et les traces de carrosseries (2) (Mazafran et El Kadous, 2017).....	71
Figure 2.26 : Les traces de piétinement (1) et les diverssement (2) (El Kadous et Mazafran ,2017).....	72
Figure 2.27 : Urbanisation au niveau de la zone de Mazafran (2017).....	72
Figure 2.28 : Point géodésique de la station DGPS (Mazafran, 2017).....	76

Figure 2.29 : Les points levés sur la ligne de crête des dunes de Mazafran.....76

Figure 2.30 : Les points levés des dunes sous forme de transects.....77

Figure 2.31 : Les points levés du contour des dunes de Mazafran.....77

Figure 2.32 : Les points levés des limites de la végétation des dunes de Mazafran.....78

Figure 2.33 : Modèle numérique de terrain (MNT) du cordon dunaire de Mazafran, 2017.....79

Figure 2.34 : Modèle numérique de terrain (MNT) du cordon dunaire d’El Kadous, 2017.....79

Figure 2.35 : Organigramme de la création des MNT du cordon dunaire d’El Kadous pour les deux périodes 2014 et 2017.....80

Figure 2.36 : Représentation 3D du cordon dunaire d’El Kadous (2014, 2017).....81

Figure 2.37 : Chaîne d’opérations et étapes à suivre pour une estimation minimale du volume du cordon dunaire82

Tableau 1.1 : Températures mensuelles moyennes (ONM, 2004/2014).....	22
Tableau 1.2 : Fréquence mensuelle de la houle au large de la baie de Bou-Ismaïl par direction.....	27
Tableau 1.3 : Températures mensuelles moyennes (ONM, 2004/2014).....	34
Tableau 2.1 : Indicateurs (ou descripteurs) de la typologie des dunes (YVES PETIT BERGHEM, 2012).....	44
Tableau 2.2: Bilan annuel des différentes surfaces du cordon dunaire d'El Kadous (2006 - 2016).....	52
Tableau 2.3 : Bilan annuel des taux d'évolution du cordon dunaire d'El Kadous.....	54
Tableau 2.4 : Le bilan annuel des différentes surfaces du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016).....	59
Tableau 2.5 : Bilan annuel des taux d'évolution du cordon dunaire de Mazafran.....	60
Tableau 2.6 : Types de données de la zone de Mazafran.....	74
Tableau 2.7 : Type de données de la zone d'El Kadous.....	74
Tableau 2.8 : Bilan sédimentaire du cordon dunaire d'El Kadous entre 2014 et 2017.....	82
Tableau 3.1 : Types de données de la zone d'El Kadous.....	91
Tableau 3.2 : Types de données de zone de Mazafran.....	91
Tableau 4.1 : Présentation des variables retenues pour le calcul du CVI socio-économique.....	113
Tableau 4.2 : Les différentes classes de la vulnérabilité côtière socio-économique.....	129
Tableau 4.3 : Présentation des résultats du traitement statistique du CVI socio-économique pour la zone d'El Kadous.....	130
Tableau 4.4 : Présentation des résultats du traitement statistique du CVI socio-économique pour la zone d'El Kadous.....	132
Tableau 5.1 : Fiche technique du DGPS.....	140
Tableau5.2 : Fiche technique des images satellitaires.....	140
Tableau 5.3 : Fiche techniques sur les photographies aériennes verticales.....	140
Tableau 5.4 : Calendrier des sorties sur terrain.....	141
Tableau 5.5 : Les plages Est de la Wilaya d'Alger.....	153
Tableau 5.6 : Les plages Ouest de la Wilaya d'Alger.....	153
Tableau 5.7 : Scores de vulnérabilité côtière socio-économique pour la zone d'El Kadous.....	154
Tableau 5.8 : Scores de vulnérabilité côtière socio-économique de la zone de Mazafran.....	155

ACC : Alliance pour la Conscience Citoyenne

AFG : Association Française de Gestion

APPL : Agence de Promotion et de Protection du Littoral

BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière

CIFOR : Centre de recherche forestière internationale

CNL : Commissariat National du Littoral

CRP : Centre Régional de Phytosociologie

CVI : Indice de Vulnérabilité Côtière

DGPS : Differential Global Positioning System

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

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

EPR : End Point Rate

ETC/ACM : European Topic Centre on Air and Climate Change

GIEC : Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières

GPS : Global Positioning System

HMI : Hydro Marine Ingénierie.

IUCN : International Union for Conservation of Nature

LCHF : Laboratoire Centrale d'Hydraulique de France

LEM : Laboratoire des Analyses Maritimes.

LRR : Linear Régression Rate-of-change

ME : Ministère de l'Environnement

MNT : Modèle Numérique de Terrain.

NSM : Net Shoreline Movement.

ONF : Office National des Forêt.

ONM : Office National de la Météorologie.

ONS : Office National des Statistiques.

PAC: Programme d'Aménagement de Réghaia.

PCR: Plan Côtier de Réghaia.

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

PDAU : Plan Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme.

PPK: Post Processing Kinematic

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

RTK : Real Time Kinematic

SDAAM : Schéma Directeurs d'aménagement des Aires Métropolitaines.

SIG : Système d'information Géographique

SN : Stratégie nationale.

SRTM : Shuttle Radar Topography Mission

WGS 84: World Geodetic System 1984 (système géodésique mondial revision de 1984).

Les dunes constituent un habitat naturel primordial pour la protection des zones côtières. Elles constituent un système multifonctionnel de très grande valeur environnementale. Du point de vue géomorphologique, elles stockent le sable dans la zone littorale active et tamponnent ainsi l'action érosive de la mer, elles protègent les terres et les infrastructures humaines. Du point de vue naturaliste, elles représentent aussi l'habitat pour de nombreuses espèces végétales et animales. De plus, du point de vue paysager, celles-ci diversifient et valorisent le paysage des côtes sablonneuses.

Comme d'autres habitats côtiers, les systèmes dunaires sont très fragiles ; leurs formations et développements nécessitent des conditions écologiques bien précises, ainsi que pour le maintien de leurs fonctions de bases et de leurs dynamiques sédimentaires

Néanmoins, ces systèmes subissent de nombreuses pressions, les études réalisées jusqu'à présent ont mis en évidence que les mécanismes responsables de la forte dégradation et de l'érosion des dunes sont principalement liés au degré d'anthropisation.

Le littoral algérois ne fait pas exception à cette tendance, c'est un système vulnérable aux risques d'érosion et de submersion (Bouhamadouche, 1993). Deux sites représentatifs ont été sélectionnés dans la zone algéroise : le cordon dunaire de Mazafran (commune de Zeralda) et celui d'El Kadous (commune de Heraoua). Sur ces sites, de l'urbanisation, de l'érosion côtière et de l'exploitation touristique incontrôlée y sont perçus comme des contraintes fortes, car elles induisent d'importants phénomènes de dégradation.

Ce modeste travail constitue une contribution à un thème de recherche orienté vers l'évaluation et la prédiction de la vulnérabilité, du système littoral algérois, en vue d'une gestion des risques. L'objectif principal, vise principalement à :

- 1- la compréhension des processus d'évolution du système dunaire ;
- 2- l'étude des dynamiques d'évolutions.

Ces deux éléments sont indispensables pour orienter leurs aménagements, leurs protections ainsi que leurs mises en valeur.

Notre démarche vise à mettre à la disposition des gestionnaires du littoral des éléments de compréhension de la vulnérabilité et cela en suivant des méthodologies pertinentes avec des données récentes, et des techniques de haute résolution pour :

- Effectuer un suivi de l'évolution surfacique des deux cordons dunaires d'El Kadous et Mazafran.
- Effectuer un suivi de l'évolution planimétrique des dunes pour renseigner sur les tendances d'érosion/accrétion.

- Elaborer un model numérique de terrain (MNT), qui illustre à la fois les différents profils des deux cordons dunaire
- Aboutir à un diagnostic de l'état de vulnérabilité des deux zones d'étude.

Pour mener à terme ces objectifs, la démarche et les structurations adoptées s'appuient sur plusieurs approches réparties sur trois chapitres :

Chapitre I : correspond à l'approche générale, qui est réservé à la présentation des zones choisies pour la réalisation de ce mémoire. Chaque zone d'étude sera ensuite replacé dans son contexte géographique, géologique, géomorphologique, hydrologique, climatologique et enfin hydrodynamique.

Chapitre II : destiné à l'étude de l'évolution surfacique à long terme des deux grands ensembles dunaires: le cordon dunaire de Mazafran (commune de Zéralda) et celui d'El Kadous (commune de Heraoua).

Chapitre III : se penche sur l'étude planimétrique des deux cordons dunaires, avec une approche pratique, en élaborant des mesures in-situ de haute résolution à l'aide d'un instrument topographique, le DGPS, dans le but de parvenir à l'identification et la description des taux nets d'érosion et d'accrétion tout le long de cette côte.

1. Zone Ouest : Cordon dunaire de Mazafran

1.1. Contexte géographique

Le cordon dunaire de Mazafran se trouve dans la côte Ouest algéroise, située à 50Km de l'est d'Alger. Notre travail se base sur une partie d'un linéaire côtier d'environ 1800 m qui s'étend tout au long de deux(2) plages (plage Kheloufi 2 et Familiale 1).

Cette zone est délimitée par l'embouchure de l'oued de Mazafran (Commune de Douaouda) à l'ouest, le complexe touristique de Zeralda à l'est, Sidi Menif au Sud et la mer Méditerranée au Nord.



Figure 1.1 : Situation géographique de la zone d'étude.



Figure 1.2 : Photos du cordon dunaire de Mazafran (Avril 2017).

1.2. Contexte géologique et sédimentologique

1.2.1. Cadre géologique

La Mitidja est constituée de deux(2) systèmes aquifères qui sont les grès de l'Astien et les alluvions du Quaternaire. L'Aquifère de l'Astien est constitué par des grès astiens qui reposent sur les marnes bleues du Plaisancien. Ils affleurent largement dans le Sahel notamment sur les collines. L'aquifère Astien est très peu sollicité, sauf dans les zones où les alluvions du Quaternaire sont absentes, ou représentées uniquement par d'importantes couches argileuses (figure 1.3). La profondeur des forages captant l'Astien est comprise entre 200 et 300 m, et les débits sont peu importants (entre 15 l/s à 20 l/s en moyenne). Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m, mais à l'est notamment vers Réghaia, elle n'est que de 40 mètres. D'ailleurs, dans ces régions la nappe alluviale est inexistante et l'Astien qui a tendance à se redresser constitue la seule nappe en exploitation (SN GIZC, 2012).

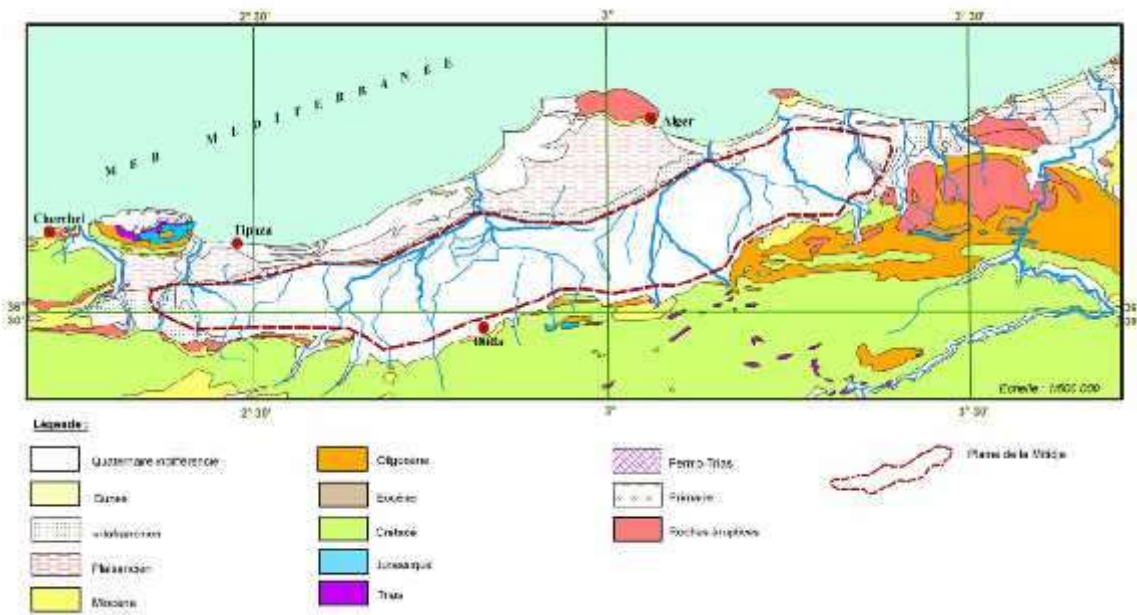


Figure 1.3 : Carte géologique simplifiée de la plaine de la Mitidja (PNE, 2010).

1.2.2. Cadre sédimentologique

La baie de Bou-Ismaïl se caractérise par une texture sédimentologique disparate dont huit(8) faciès peuvent être identifiés (figure 1.4): les sables fins, les sables fins envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux.

Les vases pures et les graviers envasés sont les faciès dominants de la baie de Bou-Ismaïl. Les vases sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés le sont dans la région Est (PAC, 2004).

Le faciès des sables grossiers et des fins graviers ne sont présents que dans la région orientale tandis que les sables graveleux se limitent au secteur oriental.

D'après la carte sédimentologique (figure 1.4) on distingue plusieurs fractions granulométriques:

- Sables fins infralittoraux : forment une bande tout au long de la frange côtière sans dépasser les 30m de profondeur.
- Sables envasés : occupent les fonds entre (-25) et (-50) m.
- Sables vaseux-sableux : inexistantes dans le secteur Est de la baie.
- Vases : sont quasiment absentes dans la baie d'El Djamila. Elles apparaissent au large de la presqu'île de Sidi Fredj et forment une bande qui s'étale progressivement entre Zéralda et Bou-Ismaïl.
- Sables grossiers et graviers fins : sont localisés essentiellement en face du Ras Acrata par 25 m de profondeur.
- Sables Graveleux : localisés dans la partie Est de la baie d'El Djamila, ils occupent les fonds compris entre 10 et 35 m de profondeur.
- Graviers envasés : localisé au large de Ras Acrata sur un fond de (-40) m à (-90) m ainsi qu'au niveau de l'embouchure de l'oued Béni Messous et s'étend vers l'ouest de Bou-Ismaïl (RABEHI et RAHAL, 2011).

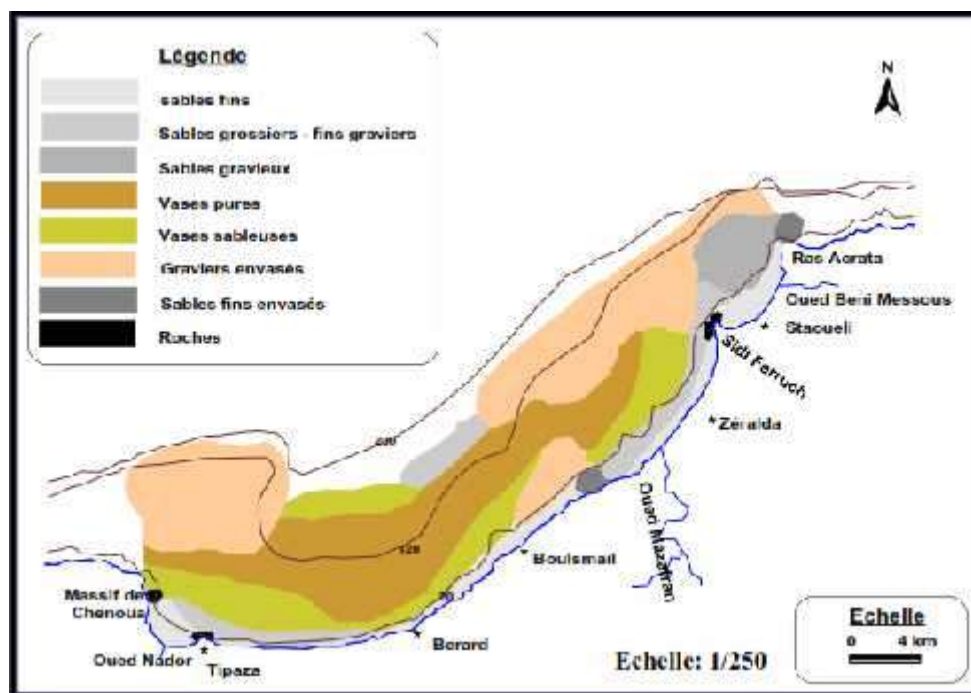


Figure 1.4 : Sédimentologie de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).

1.3. Contexte hydrographique et climatologique

1.3.1. Cadre hydrographique

Le principal cours d'eau qui alimente la plage est l'oued de Mazafran. Cet oued tire son nom de la couleur de ses eaux : El Ma Es safran (eau jaune), constitue un des principaux cours d'eau de la Mitidja et le plus important débouchant dans la baie de Bou-Ismaïl.

Il est formé principalement par la confluence de trois(3) oueds secondaires qui sont : oued Djer, oued Bouroumi et oued Chiffa (figure 1.5).

L'oued Mazafran constitue la limite Sud-ouest de la commune de Douaouda, c'est de loin le plus important des oueds. Il draine les eaux territoriales des wilayas de Tipaza, Blida, Ain Defla, Médéa et une partie de celles de la wilaya d'Alger (BERKENNOU, 2012).

En tenant compte de ses caractéristiques, l'oued Mazafran peut avoir une influence sur la dynamique hydro-sédimentaire de la côte Ouest algéroise. Son bassin versant assez vaste, est de l'ordre de 1 850 km², dont 1 100 km² en montagne. Ce bassin versant est situé dans des terrains d'âge et de facies différents (BENSALAH, 2016).

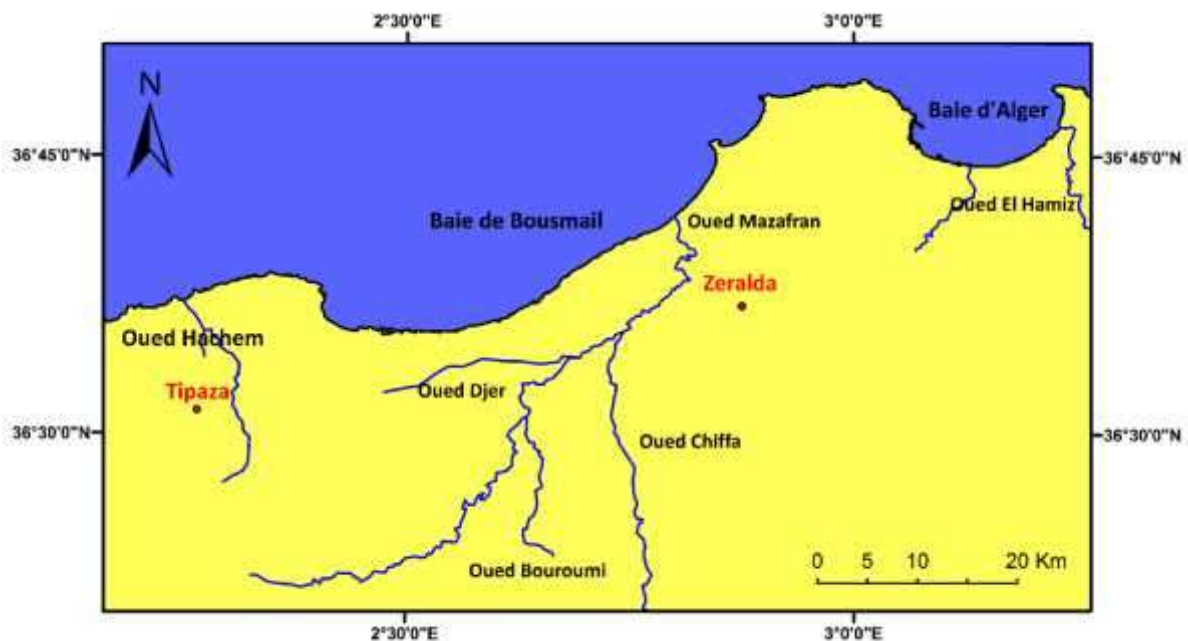


Figure 1.5 : Bassin versant et réseau hydrographique de la zone d'étude.

1.3.2. Cadre climatologique

Les données météorologiques et climatiques présentent une grande importance pour les travaux maritimes. Certains mouvements de la mer, notamment les houles, dépendent

exclusivement des vents, car ils sont générateurs des vagues et des courants superficiels, leurs impacts augmentent avec leur vitesse (MOULIN et al., 1978).

Aussi, pour une étude du site, le régime des vents doit être une donnée locale que l'on définit par sa fréquence, son intensité et sa direction à partir de l'exploitation des données d'observation étalées sur une assez grande période (LARID, 1992).

1.3.2.1. Le climat

Le nord de l'Algérie, dont Bou-Ismaïl fait partie, est régi par un climat méditerranéen caractérisé par la prédominance des deux(2) saisons nettement contrastées. Pour caractériser le climat d'une région on procède à une synthèse des principaux facteurs climatiques.

1.3.2.2. Les températures

La zone de Mazafran est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés doux et humides.

L'analyse de la moyenne mensuelle des températures (figure 1.6) montre que le mois d'Aout est le mois le plus chaud avec une moyenne de 26,40°C alors que le mois de Février est le mois le plus froid ou les températures moyennes n'excèdent pas 12,38°C.

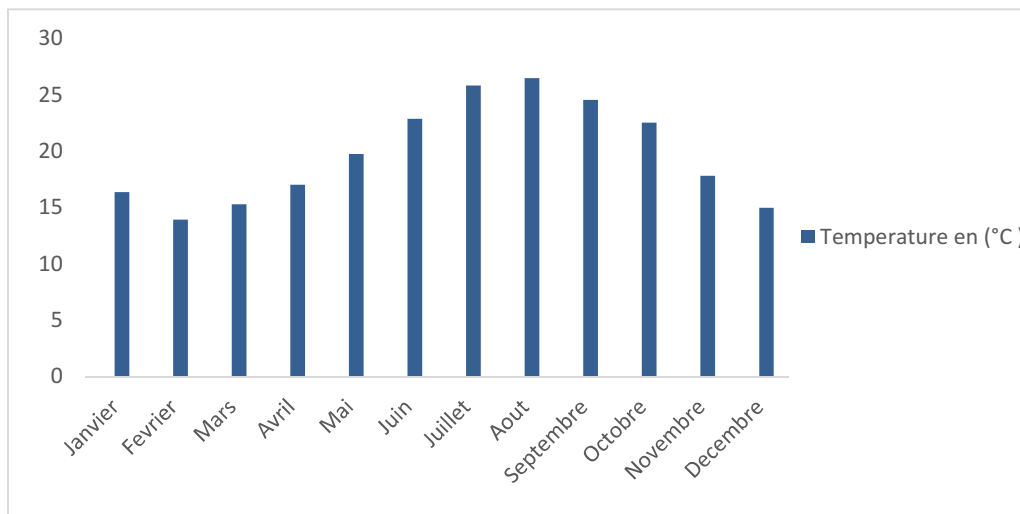


Figure1.6: Températures moyennes en °C (ONM, 2004-2014).

1.3.2.3. Les précipitations

Le régime des pluies de la région de Mazafran obéit au cycle Méditerranéen, caractérisé par son irrégularité et l'alternance de deux(2) saisons distinctes, il reçoit des précipitations annuelles variantes de 600 à 800 mm/an (BENSALAH, 2016).

La répartition mensuelle des précipitations et des pluies maximales, calculée sur une période de 10 ans, est représentée dans le tableau et l'histogramme de la Figure1.7.

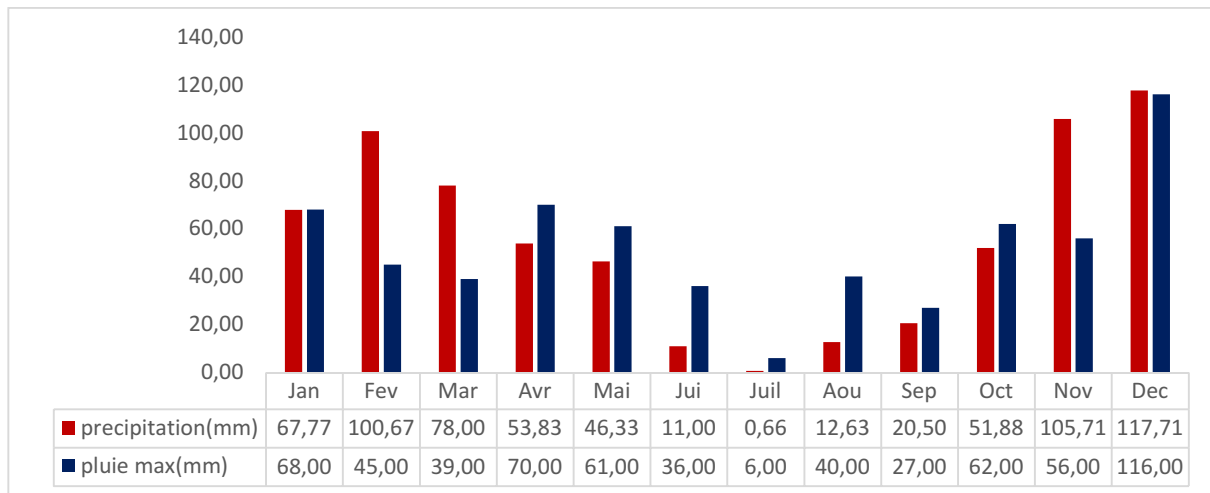


Figure1.7: Les taux mensuels des précipitations (ONM, 2004-2014).

L'analyse de ces dernières données met en évidence:

- Une période pluvieuse allant d'Octobre à Mai avec des valeurs mensuelles comprises entre 56.2 et 149.0 mm. Globalement, les mois les plus pluvieux sont Décembre et Novembre avec des cumuls mensuels de l'ordre de 122.55 et 149.00 mm. Ces pluies hivernales sont le plus souvent courtes et intenses.
- Une période sèche s'étalant sur le reste de l'année, c'est-à-dire du mois de Juin au mois de Septembre où les précipitations sont rares.

1.3.2.4. Les vents

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents est une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (MOULIN, 1978 in AHFIR et MEZIANE, 2016).

Les mesures issues de l'Office National de la Météorologie (ONM), indiquent que les vents soufflent environ 53.70 % du temps dans la région, les plus dominants sont de secteur Ouest qui souffle pendant 14 % du temps (Figure1.8).

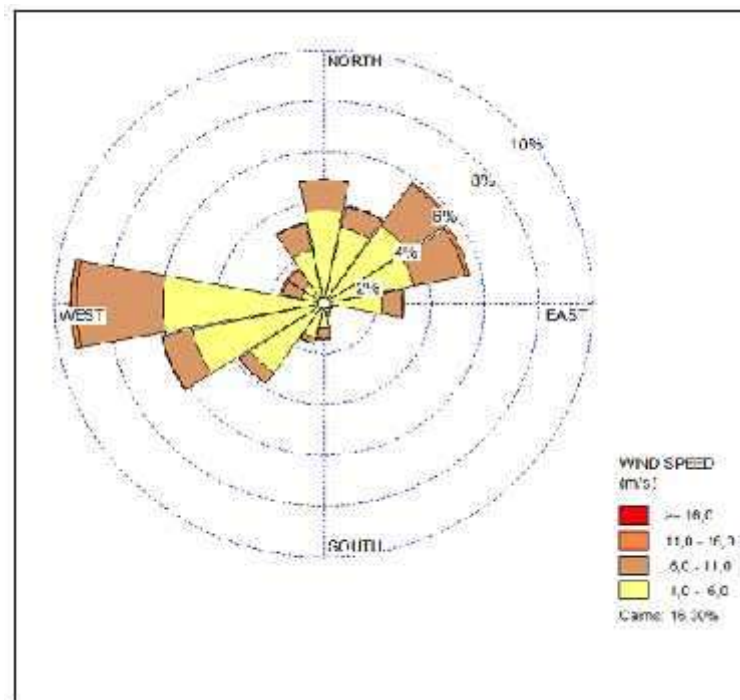


Figure1.8 : Répartition annuelle des vents en % (ONM, Dar-El-Beida, 1995-2015).

Sur toute l'année:

- Les vents de l'est sont les plus fréquents avec une fréquence d'apparition qui frôle les 21,97%. Ces vents sont généralement faibles à moyens, leurs vitesses moyennes comprises entre 3 et 6 m/s. Les vents forts à vitesse supérieure à 12 m/s sont moins fréquents avec 2,24%.
- Les vents issus de la direction Nord-est représentent 17,5% des vents annuels leurs vitesses varient entre 3 et 9m/s. Les vents de tempêtes avec des vitesses supérieures à12 m/s, sont moins fréquents et proviennent essentiellement du secteur Ouest et leur fréquence d'apparition annuelle avoisine 1,53%.

1.4. Contexte océanographique

Les caractéristiques des vents, de la houle et des courants doivent être connues avec autant de détail que possible (LARID, 1992).

1.4.1. Les houles

La houle est une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau, celle-ci étant générée initialement par le vent. Elle se propage plus ou moins régulièrement jusqu'à l'approche des côtes où elle subit des modifications par réfraction, diffraction et déferlement (GUILCHER, 1979).

Les statistiques des houles dans la côte algérienne, font apparaître deux régimes (Figure1.9) :

- Les houles plus fortes sont hivernales, de direction Ouest dominante avec les plus grandes amplitudes (entre 1 et 3m).
- En été, les directions dominantes sont issues du secteur Nord-est avec des amplitudes plus faibles et leur propagation est pratiquement parallèle à la côte (OUKAZI, 1993).

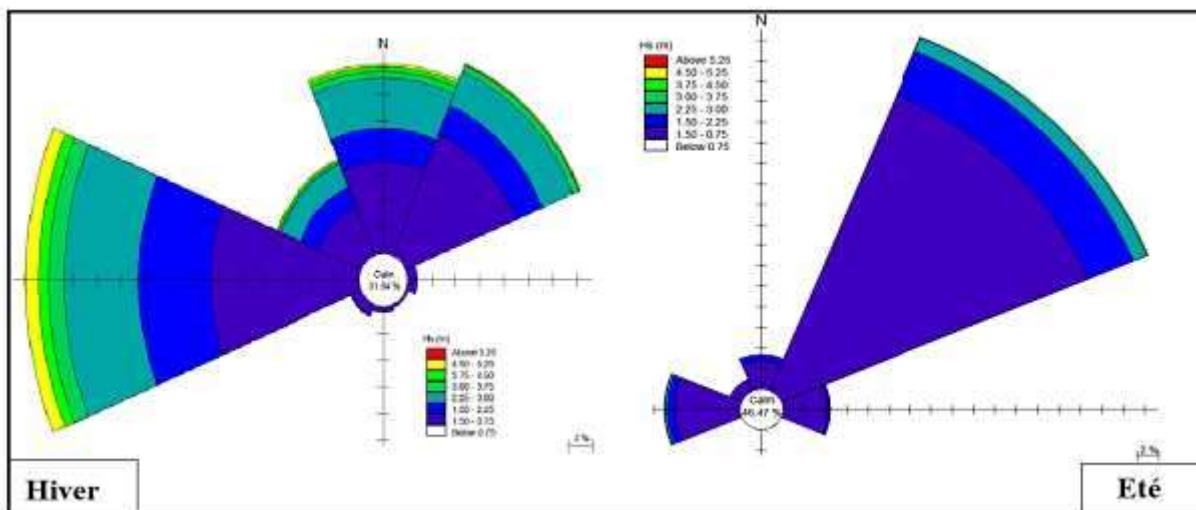


Figure1.10: Rose des vagues au large de la côte Algérienne Hiver – été (HMI, 2011 in NADIR, 2016).

La baie de Bou-Ismaïl est une baie ouverte au large, face à toutes les directions de la houle ; ces houles n'ont pas le même effet sur la côte. Pour étudier les houles qui agissent sur la zone d'étude, nous avons utilisé des données reprises du « Summary of synoptic météorologique observation » (S.S.M.O tome 2. Zone Algiers in DERGALI, 1998) et s'étalant sur la période de 8 ans (1963 – 1970).

Les houles les plus importantes et les plus violentes en période hivernale (Octobre-Mars), viennent de l'ouest (vent dominant), avec des amplitudes de 2 à 2,5 m. Les amplitudes maximales sont de l'ordre de 4 à 6 m, ces houles arrivent perpendiculairement à la côte vers le large (KADRI, 1994 in DERGALI, 1998).

En période estivale (Avril-Septembre), l'agitation est moins importante et les houles les plus fréquentes sont, celles de secteurs Est à Nord-est (vent dominant), avec des amplitudes généralement plus faibles de 0,5 à 1 m (BRAIK, 1987) et seulement 6% ont une amplitude supérieure à 1 m.

L'orientation de ces houles est tangentielle par rapport à la côte (KADRI, 1994 in DERGALI, 1998). Les houles des directions Sud et Sud-est n'ont aucun effet érosif le long de la côte de notre secteur d'étude.

Le sens de la dérive littorale dans notre zone d'étude est de l'est vers l'ouest (Figure1.10), on remarque une formation d'une flèche littorale par l'accumulation des sédiments provenant de l'oued de Mazafran, la déviation de l'embouchure vers l'est par la dominance de ce courant (Figure1.11).

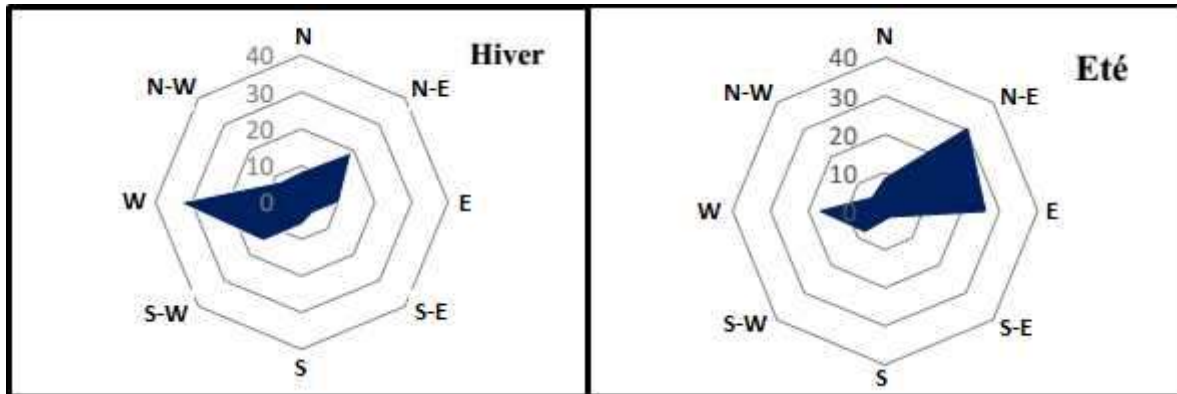


Figure1.10 : Rose de la fréquence moyenne hivernale et estivale des houles par direction (AHFIR et MEZIANE, 2016) modifiée.



Figure1.11 : Formation d'une flèche littorale par les courants dominants à l'embouchure de l'oued de Mazafran (Google Earth, Juin 2015).

1.4.2. Les courants

Le courant algérien, dont les caractéristiques sont spécifiques (MILLOT, 1989), est un courant côtier initialement (près 0° de longitude) d'une dizaine de Km de largeur et entre 100 à 200 Km d'épaisseur.

Dans la baie de Bou-Ismaïl l'orientation des courants côtiers résulte de l'effet combiné des houles dominantes et de l'orientation de la côte. Ces paramètres permettent d'identifier l'hydrodynamisme côtier dans la zone d'étude.

1.4.3. La marée

L'amplitude de la marée est généralement faible en Méditerranée ; elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et le plus souvent masquée par la surélévation ou l'abaissement du niveau de l'eau engendré par des variations de conditions climatologiques. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm. D'autres phénomènes astronomiques peuvent se superposer à cet effet tel que la pression atmosphérique. De forts vents marins locaux peuvent aussi agir, par action directe sur la surface de la mer et entraîner au rivage un gonflement du plan d'eau. Le niveau marin pourrait ainsi atteindre une surélévation maximale de 1m environ, du fait des phénomènes ci-dessus (LEM, 2014)

2. Zone Ouest : Cordon dunaire d'El Kadous

2.1. Contexte géographique

Le cordon dunaire d'El Kadous fait partie d'un système sablonneux d'une superficie de 881Ha, situé entre le lac Réghaia à l'est et les falaises de Surcouf (Ain taya) à l'ouest, faisant partie du territoire communal de Heraoua qui dépend de la circonscription de Rouiba, la zone se situe à 30Km d'Alger à l'Est, et à 14km de Boumerdes (Figure1.13), elle est comprise entre :

- Les longitudes 3° 18' 30'' et 3° 21' 30'' Est,
- Les latitudes 36° 45' et 36° 48' Nord.



Figure1.12 : Situation géographique de la zone d'étude.



Figure1.13 : Photos du cordon dunaire d'El Kadous (2015, 2017).

2.2. Contexte géologique et sédimentologique

2.2.1. Cadre géologique

Nous distinguons plusieurs entités morpho-structurales qui portent sur les massifs d'Alger et du Chenoua, et le Sahel. La description est extraite des travaux réalisés par BOUDIAF 1996 et GUEMACHE 2010.

2.2.1.1. Le Sahel

Les séries affleurant dans le sahel sont rapportées à du Miocène, du Pliocène, du Villafranchien et du Quaternaire (Figure1.14).

Le Miocène

Dans la cluse de l'oued Mazafran, le Miocène est composé de bas en haut, des marnes gréseuses du Burdigalien (~ 350 m), surmontées par un banc de grès repère marquant le passage au Miocène supérieur, puis des marnes légèrement gypseuses (~ 250 m) et enfin des marnes intercalées de bancs minces ou de lentilles de grès (~ 300 m).

Le Pliocène

Il est représenté dans le secteur de la Mitidja par le Plaisancien et l'Astien. Il repose en discordance sur les formations antérieures, notamment celles du Miocène.

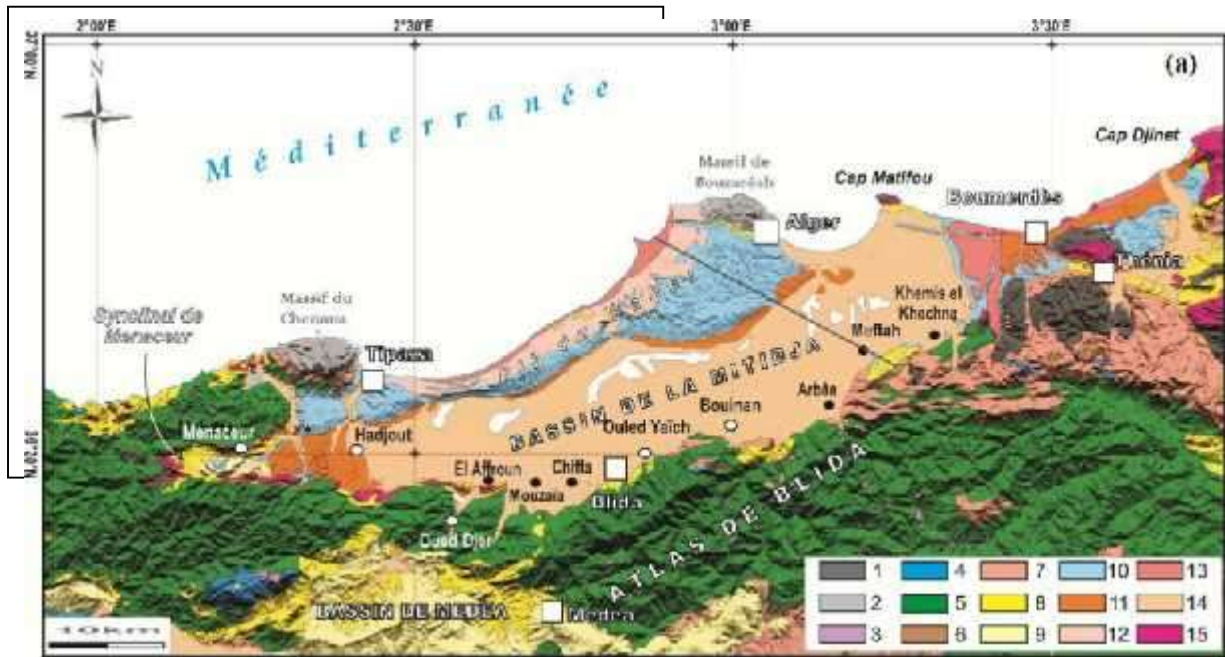
- Le Plaisancien (~ 1000 m) : Il est représenté par une série uniforme de marnes argileuses de couleurs grise et bleue devenant jaune ocre lorsque la roche est altérée, pouvant inclure localement des bancs de grès faiblement glauconieux.
- L'Astien (~ 200 m) : L'Astien affleure essentiellement dans le massif d'Alger et le long du flanc Sud du pli du Sahel, jusqu'au Chenoua. Il correspond à une sédimentation en eau peu profonde (plate-forme) essentiellement gréseuse et carbonatée. La série astienne débute par un niveau repère à glauconie de couleur vert sombre.
- Cette série astienne se manifeste sous quatre(4) principaux faciès :
 - un faciès marno-sableux, à fossiles abondants quand le terme sableux domine ;
 - un faciès calcaréo-gréseux, sous forme de dalles massives à grands bivalves (Pecten, Ostrea, Cardium, Venus...) mais rares gastéropodes ;
 - un faciès molassique récifal à subrécifal, localisé autour d'Alger et du Chenoua, à bivalves abondants, oursins et lithothamniées ;
 - un faciès gréseux et sableux, à sables et galets à éléments de l'Atlas.

Le Villafranchien

Ce niveau repose en discordance sur les niveaux gréseux de l'Astien. Il est formé par une succession de niveaux décimétriques de conglomérats et sables non consolidés.

Le Quaternaire

Il correspond aux dépôts alluviaux de la plaine de la Mitidja dont l'épaisseur est inconnue. Le Quaternaire est également représenté par des terrasses marines du Pléistocène en gradins localisées sur le flanc nord du Sahel. Ces terrasses sont représentées par des dalles calcaires à calcaro-gréseuses comportant du Calabrien (160 m à 200 m), le Sicilien (160 m à 60 m) et le Tyrrhénien (30 m à 10 m) (LELE ISSA HALIDOU, 2012).



1 : Terrains métamorphiques ; 2 : Socle primaire ; 3 : Trias ; 4 : Jurassique ; 5 : Crétacé ; 6 : Éocène ; 7:Oligocène ; 8 : Miocène anté-nappes ; 9 : Miocène post-nappes ; 10 : Pliocène ; 11 :Villafranchien ; 12 : Calabrien ; 13 : Quaternaire marin ; 14 : Quaternaire continental ; 15 :Magmatisme indifférencié.

Figure1.14 : Carte morpho-géologique du bassin de la Mitidja et ses environs (données topographiques SRTM-3 et carte géologique d'Algérie au 1/500000,2012).

2.3. Contexte hydrographiques et climatologiques

2.3.1. Cadre hydrographique

Le réseau hydrographique comporte deux(2) principaux oueds (Figure1.15) :

- l'oued El Hamiz
- l'oued Réghaia

Et deux(2) autres oueds de moindre importance, mais jouent un rôle dans le fonctionnement du système d'assainissement (eaux usées et eaux pluviales): l'oued Boureah, qui reçoit les eaux usées d'un part conséquente de la commune de Rouiba (secteurs HaouchRouiba et Ben Choubane, Ouest de la zone industrielle) et l'oued El Biar, alimenté par les eaux usées et les eaux pluviales du secteur Est de la zone industrielle de Rouiba Réghaia (Figure1.15).

- L'oued el Biar: sa longueur est de 4075 mètres et son bassin versant de 20 km².

Cet oued prend naissance aux environs de la zone industrielle Rouiba-Réghaia en traversant une grande partie des champs.

- L'oued Boueah : c'est un affluent d'oued el Hamiz qui draine les eaux de ruissellement des terres agricoles de la Mitidja Nord-est. La superficie de son bassin versant est de 20km² (Mezhoud, 2011).

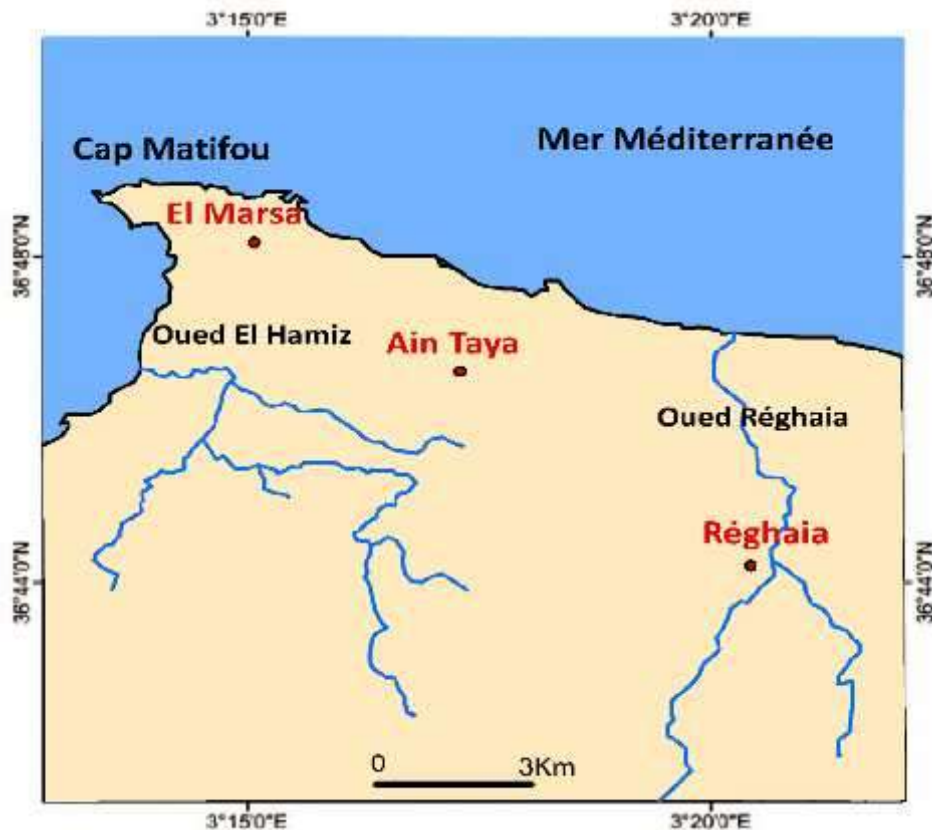


Figure 1.15 : Bassin versant et réseau hydrologique de la zone d'étude.

2.3.2. Cadre climatologique

Les apports liquides apportés à la mer par les différents oueds qui débouchent dans la grande baie de Zemmouri, sont conditionnés par les précipitations sur leurs bassins versants. Les apports détritiques d'origine terrestre sont repris, transportés et déposés sur le plateau continental par les différents agents hydrodynamiques (BOUAKLINE, 2009).

L'augmentation des températures pendant la journée provoque un assèchement des sédiments sur le haut de plage. Ce phénomène facilite le transport éolien des sédiments sur cette partie de la plage. Les sédiments ainsi mobilisés sont accumulés au niveau de l'arrière dune ou au niveau de la dune bordière.

2.3.2.1. Le climat

La région côtière de l'est algérois est caractérisée par un étage bioclimatique subhumide à hiver doux et relativement pluvieux. Le climat de cette région est de type méditerranéen caractérisé par une saison humide de huit(8) mois et une période sèche de quatre(4) mois correspondant à la saison estivale. Cette synthèse sera confirmée par l'analyse des deux(2) paramètres les plus déterminants à savoir : les températures et les précipitations (BOUAKLINE, 2009).

2.3.2.2. Les températures

L'analyse des températures moyennes mensuelles relevées par l'ONM entre 2004 et 2014 sont représentées dans l'histogramme suivant (Figure1.17).

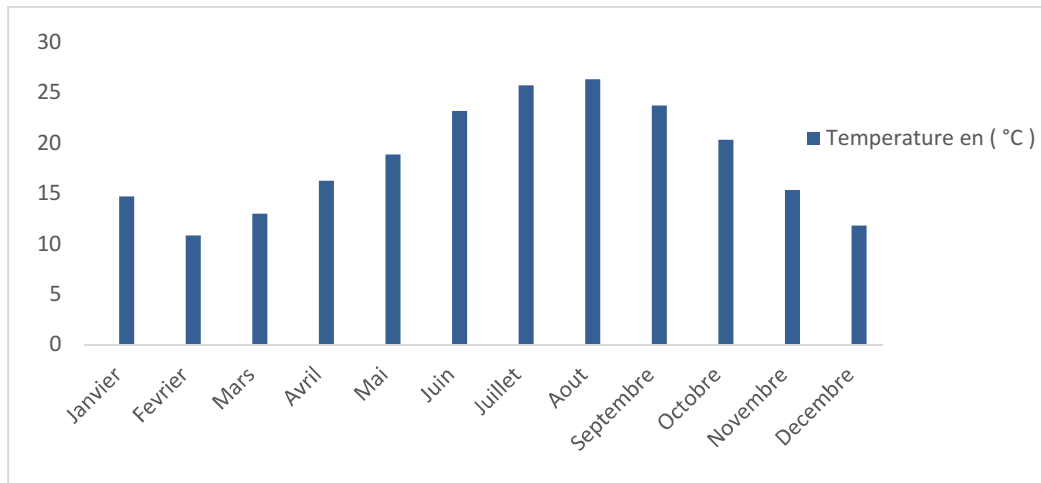


Figure1.17 températures moyennes en °C (ONM, 2004-2014).

L'analyse de l'histogramme des températures fait ressortir les constatations suivantes :

- Les températures sont très élevées pendant la saison estivale (Juin - Octobre), elles atteignent le maximum au mois d'Août 26.34°C, elles sont faibles à modérées durant la période allant du mois de Novembre à Mai.
- La température moyenne minimale est enregistrée au mois de Février 10.83°C.

2.3.2.3. Les précipitations

Au même titre que les températures, les données de précipitation sont obtenues à la même station et sur la même période 2004-2014 (Figure1.18).

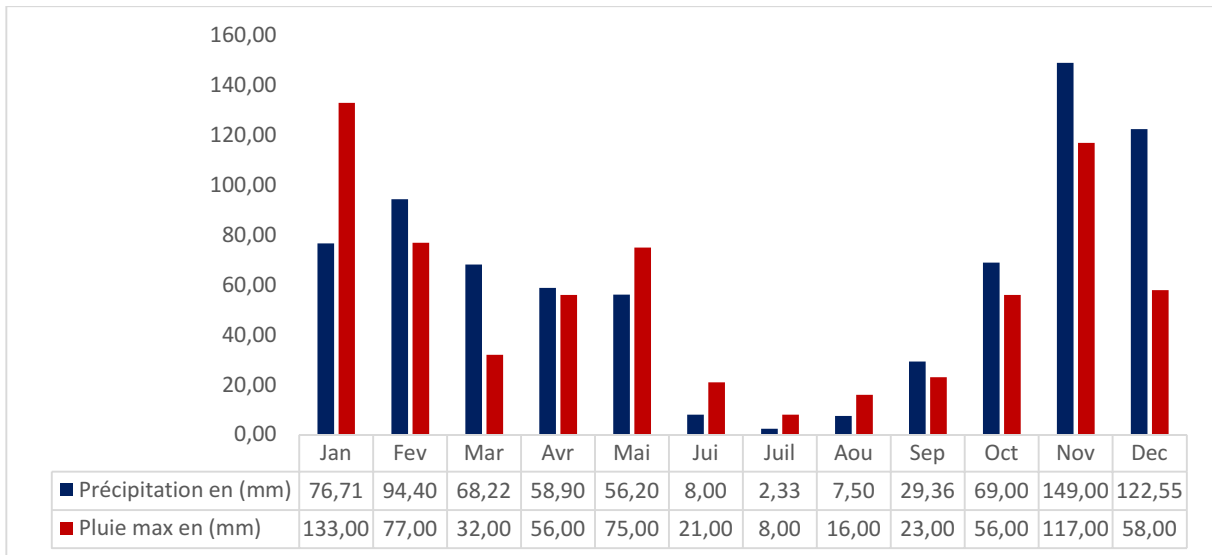


Figure1.18: Les taux mensuels des précipitations (ONM, 2004-2014).

D'après cette figure nous constatons :

- Une augmentation significative de la pluviosité de Septembre à Décembre, puis une diminution de Janvier à Août.
- Les pluies sont importantes en automne mais surtout en hiver souvent avec des régimes orageux. La période pluvieuse s'étale du mois de Octobre jusqu'au mois d'Avril avec une moyenne maximale de 117.71mm au mois de Décembre alors que la période d'été est pratiquement sèche avec une moyenne minimale de 0.66 mm au mois de Juillet où les précipitations se font très rares.

2.3.2.4. Les vents

Les vents jouent un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec et d'autre part dans l'évolution des forçages hydro-météorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (BOUTIBA, 2006).

L'analyse des régimes de vents, dans notre zone d'étude, a été effectuée à partir des données publiées dans le « WIND AND WAVES ATLAS OF THE MEDITERRANEAN SEA » en Avril 2004 à la fin du projet européen « MEDATLAS » développé durant la période 1999- 2004.

Ces résultats d'analyses statistiques ont été faites sur des observations effectuées au large des côtes algéroises, plus précisément au point ayant les coordonnées géographiques : 37° N et 3° E, sur une période de 10ans allant de 1994 à 2004.

Le calcul de la fréquence d'apparition des vents par classe de vitesses et par direction pour toute l'année a permis de tracer les roses trimestrielles des vents (Figure1.18).

- Durant les deux premiers trimestres de l'année (hiver et printemps) : les vents issus de directions Ouest et Sud-ouest dominant avec des fréquences respectives dont 26,77% et 21,68% ; les vents provenant des directions Est et Nord-est sont présents mais avec des fréquences moins élevées 22,87% et 18,02%. Pendant l'hiver les vents sont forts avec des vitesses supérieures à 12m/s représentent plus de 2.5% et proviennent essentiellement de la direction Ouest.
- Durant les deux autres trimestres (été et automne) : les vents issus des directions Est et Nord-est dominant avec des fréquences respectives de 33,7% et 29,41%. Les vitesses enregistrées sont faibles et n'accèdent pas les 9 m/s, les vents forts avec des vitesses supérieures à 12 m/s sont rares.

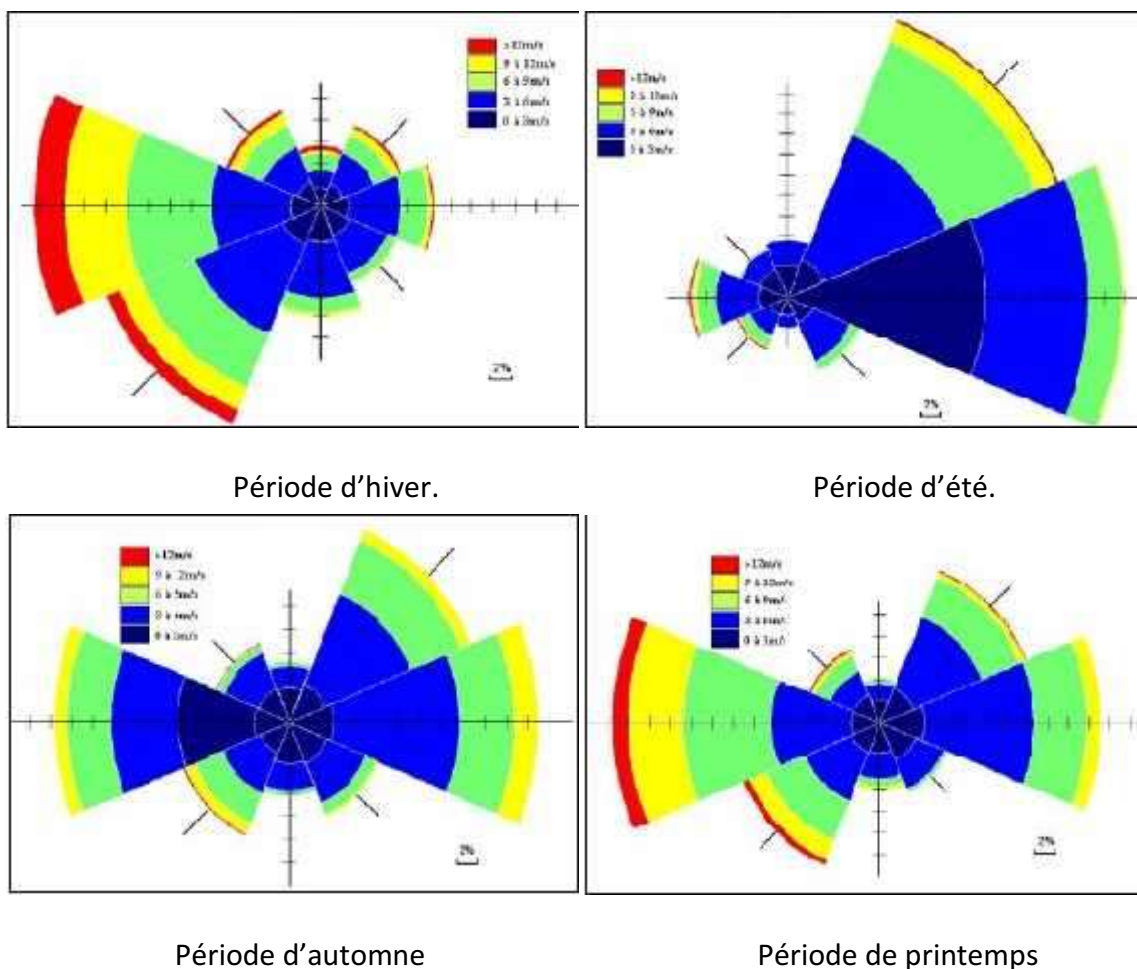


Figure1.18 : Roses trimestrielles et annuelles des vents (MEDATLAS 1994-2004).

2.4. Contexte océanographique

2.4.1. Les houles

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds. La direction de propagation de la houle est liée à celle du vent et longueur d'onde de la houle (BONEFILLE, 1976).

Au large des côtes algéroises, les observations des houles sont très peu nombreuses, voire inexistantes. L'analyse des régimes de houles au large des côtes de notre site d'étude, est effectuée à partir des résultats de l'analyse statistique des données de houles, regroupées dans « MEDATLAS ».

Ces données couvrent une période de 10 ans allant de 1994 à 2004, leur exploitation nous a permis de tracer la rose des fréquences d'apparition des houles annuelle en fonction des directions et des amplitudes (Figure1.19).

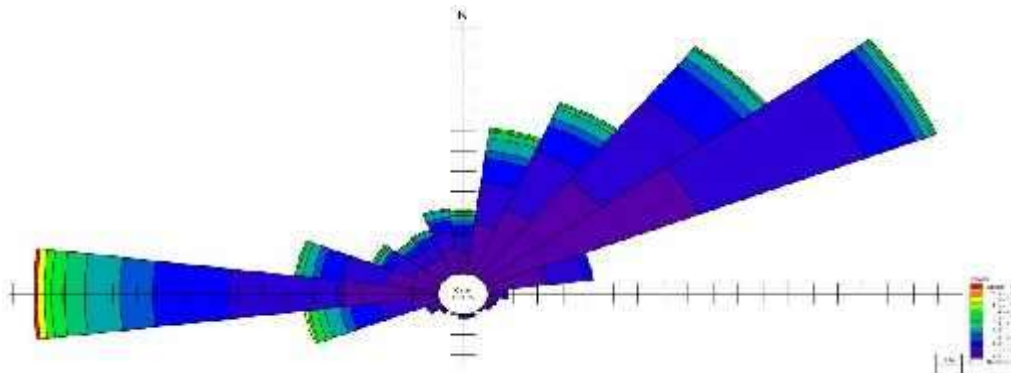


Figure1.19 : Rose annuelle des houles (MEDATLAS1994-2004).

Au large des côtes, la rose annuelle des houles, montre que les agitations qui touchent la côte proviennent des secteurs Ouest, Nord-ouest, Nord et Nord-est. Les houles les plus fréquentes sont issues des secteurs Ouest (N270°) et Nord-est (N60°) avec des fréquences respectives de 12% et 19.8% et des amplitudes maximales inférieures à 1.5m. Les fortes agitations avec des amplitudes supérieures à 3m sont moins fréquentes et proviennent essentiellement des secteurs Ouest et Nord-ouest (BOUAKLINE, 2009).

2.4.2. Les courants

Sur les côtes algériennes, les courants induits par la houle sont les plus importants. "Ils sont les seuls à agir de façon active sur la sédimentation actuelle. (CAULET, 1972)

Dans cette zone d'étude, les directions des divers courants liées au vent sont comme suit (Figure1.20) :

- Les vents du Nord-est génèrent des courants de direction Ouest.
- Les vents du secteur Nord et Ouest génèrent les courants de direction Est. (LCHF, 1970)

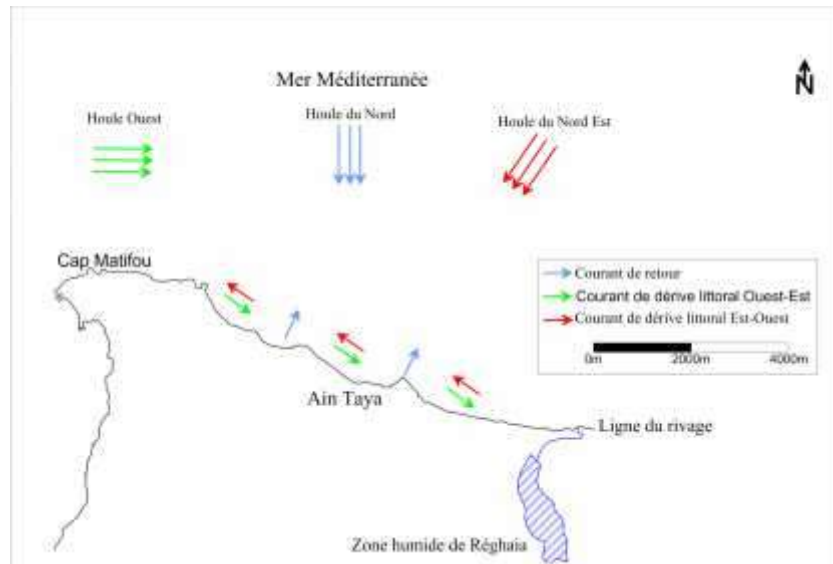


Figure1.20 : Schéma probable de l'hydrodynamisme dans la zone d'étude décrit selon LCHF 1970 (BENGOUFA, 2016).

1. Caractères naturels généraux d'un écosystème dunaire

1.1. Définition des dunes

Les dunes littorales sont des monticules de sable créés par les dynamiques éoliennes et marines. La mer apporte des sédiments sur la côte qui sont ensuite remobilisés par le vent (PINOT, 1998). Autrement dit, c'est un milieu dynamique sujet à des échanges sédimentaires permanents avec la plage. Elle résulte de l'accumulation par le vent de sable apporté par la mer, constituant un bourrelet rectiligne parallèle au rivage (PASKOFF, 2010).

Ces structures littorales sont aussi définies comme des écosystèmes terrestres situés dans la transition entre le milieu continental et marin, qui répondent à un certain nombre de fonctions uniques telles que la protection du littoral grâce à leur capacité d'amortissement face aux tempêtes, leur rôle de prévention des risques d'inondation et le contrôle du secteur riverain (IUCN, 2012).

Constituant une barrière naturelle entre la plage et la dépression vaseuse d'arrière dune, sa vulnérabilité face à la déflation dépend beaucoup de sa couverture végétale et de l'orientation du vent (SUANEZ et PROVANSAL, 1993).

Selon la loi littorale 02-02, relative à la protection et à la valorisation du littoral et en référence à l'article 2, une distinction est faite entre le cordon dunaire et la dune. Le cordon dunaire est défini comme une langue de sable formée (dans un golfe ou une baie) de débris déposés par un courant côtier et sur laquelle peut se développer une végétation spécifique.

1.2. Processus de formation des dunes

Le démantèlement des dunes côtières lié à la houle incidente s'observe seulement au cours de brèves périodes de temps (heures ou jours), alors que leur reconstruction peut nécessiter de longues périodes (mois ou années) (POSIDuNE, 2007).

Le développement des dunes requiert une plage suffisamment large ainsi qu'une couverture végétale. La végétation réduit le taux de transport éolien dirigé vers la terre ce qui permet l'accumulation de sable entre le pied et la crête du relief (Figure 2.1). Pour cette raison la caractérisation des cordons dunaires est d'une importance fondamentale et représente pour les administrations publiques un point de départ fondamental qui doit considérer la caractérisation physique et biologique de ces environnements (POSIDuNE, 2007).

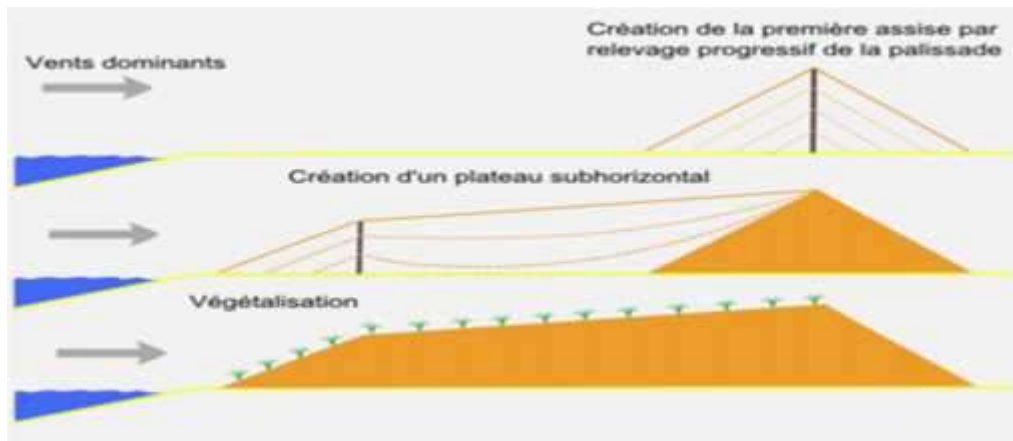


Figure 2.1 : Processus de formation d'un cordon dunaire (GOURY, 1822).

1.3. Facteurs gouvernants la morphologie d'un système dunaire côtier

Selon le guide de l'IUCN de 2012, les facteurs qui déterminent le type, l'organisation, la taille et l'espacement des dunes sont les suivants :

- **Nature des sables, notamment taille et classement** : la granulométrie des dunes est souvent semblable à celle de la plage, généralement avec une plus forte proportion des fractions fines du fait que le vent sélectionne les grains plus fins.
- **Régime de vents et orientation de la plage par rapport à ceux-ci** : les vents dominants exercent une influence plus marquée sur l'emplacement du sédiment dans les champs dunaires, leur efficacité est maximale lorsque la direction du flux résultant est perpendiculaire à la limite plage-dune. En outre, chaque composante du vent, en fonction de son intensité et direction, a tendance à générer une typologie géométrique de dune déterminée.
- **Apports de sable au système dunaire** : la disponibilité d'un volume sableux excédentaire le long de la côte et plus particulièrement sur la plage est une condition indispensable pour la formation d'un champ dunaire.
- **Couvert végétal** : la présence de végétation réduit le transport sédimentaire du fait qu'elle augmente la rugosité de la surface, ce qui réduit le flux de vent sur celle-ci. Elle intercepte les grains en saltation et agit comme une surface molle qui absorbe une grande quantité d'énergie, favorisant ainsi la sédimentation.
- **Topographie de la zone terrestre adjacente à la plage** : il est nécessaire que la surface d'arrière-plage soit suffisamment large pour permettre l'existence des dunes.
- **Niveau de la nappe phréatique** : Le niveau de la nappe phréatique, qui a tendance à se situer à faible profondeur dans ces zones, conditionne la fixation du sédiment sableux et sa participation au développement de certains types de dunes.

1.4. Organisation spatiale du système dunaire

On distingue successivement le haut de plage, l'avant-dune, la dune blanche, la dune semi-fixée, la dune grise, les fourrés et la dune boisée (Figure2.2).

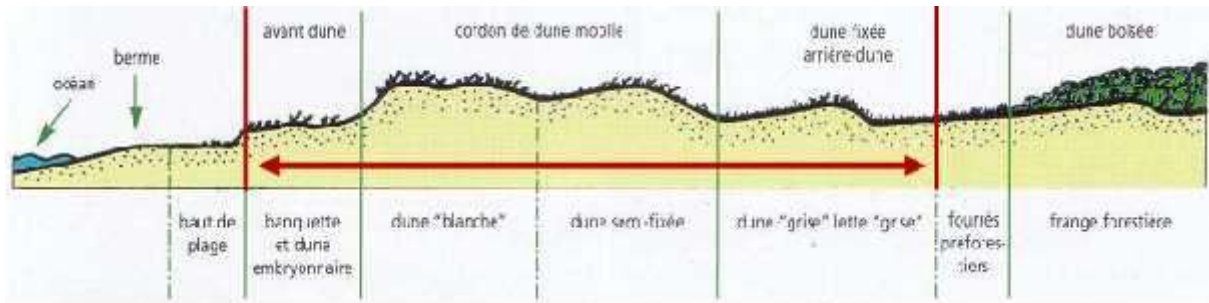


Figure2.2 : Profil théorique d'organisation spatiale du système dunaire représentant la succession des différents types d'habitats (Source : ONF, 2008). En rouge, la Localisation des habitats concernés par notre étude.

Pendant les tempêtes, la dune blanche recule vers l'intérieur et pendant les accalmies, les végétaux de la dune grise progressent vers la côte.

De la plage vers l'intérieur, les types de végétaux évoluent avec la force du vent, la décroissance de la salinité et la quantité de sable déplacé (ONF, 2012).

Différents types de végétations se succèdent selon des bandes plus ou moins parallèles au rivage, pouvant aller de plusieurs dizaines à quelques centaines de mètres; le système dunaire peut être décomposé en plusieurs habitats, caractérisés chacun par des conditions écologiques particulières (Figure2.3) :

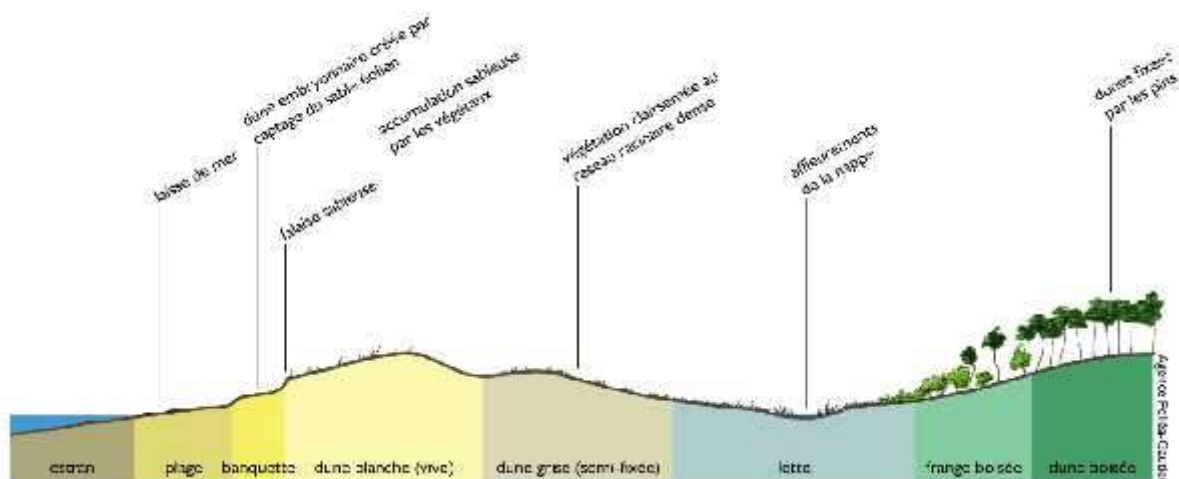


Figure2.3 : Organisation spatiale du système dunaire (AFG).

- la dune embryonnaire (ou avant-dune) : cet habitat se place entre la laisse de haute mer et le pied de dune ;
- la dune blanche (dune non fixée) : elle correspond à un bourrelet dunaire où les sables sont mis en mouvement par l'action éolienne ;
- la dune de transition (dune semi-fixée) : elle se développe à l'abri du cordon de la dune blanche où les phénomènes d'accumulation et de transit sont atténués. Cette dune est caractérisée par la présence conjointe d'espèces de dune blanche et de dune grise ;
- la dune grise (dune fixée) : bosselée ou plane, cette arrière dune est située entre la dune de transition et la forêt. On parle de dune fixée, car la dynamique éolienne est moins forte et le milieu plus stable.

1.5. Rôles des dunes

Les dunes constituent un habitat naturel primordial pour la protection des zones côtières. Développées par accrétion, elles permettent de stocker le sable dans la zone littorale active, qui pourra être ensuite rendu au système. Elles tamponnent ainsi l'action érosive de la mer (MOULIS et BARBEL, 1999).

En plus de leur fonction paysagère et de leur fonction d'habitat pour de nombreuses espèces végétales et animales (arthropodes, gastéropodes, reptiles...), les formations dunaires permettent également de protéger les terres et les infrastructures humaines (PASKOFF, 1998).

Erigées rapidement à l'échelle des temps géologiques mais fragiles et instables, les dunes littorales ont une valeur écologique et esthétique indéniable qu'on leur reconnaît souvent. Elles jouent un rôle protecteur essentiel pour certaines communautés côtières puisqu'elles constituent une barrière naturelle à la pénétration marine, limitant ainsi l'inondation lors des tempêtes et des grandes marées (ME, 1985).

Enfin, elles présentent un rôle esthétique, spirituel et récréatif, et sont liées à un lieu de repos. La conservation des systèmes de plage-dunes reste essentielle pour le maintien des activités socio-économiques liées au secteur touristique.

1.6. Les différents types de dunes

Les différents types de dunes sont classés selon plusieurs indicateurs caractérisés par une coloration avec un taux de saturation (clair, moyen, foncé) proportionnel à l'intensité de l'action (ou du processus). Ces types sont résumés dans le tableau suivant.

Tableau n°2.1 : Indicateurs (ou descripteurs) de la typologie des dunes (YVES PETIT BERGHEM,2012).

Type	Indicateurs						
	Position	Dimension	Action de la mer	Action du vent	Couvert végétal	Interférence humaine	Dynamique évolutive
Dune pionnière	Plage	Métrique	Importante, surtout en hiver et lors des tempêtes ou des marées de vives eaux	Importante	Faible, plantes pionnières halomicrophiles	Epis, nettoyage des plages	Forte, stabilité précaire
Avant-dune	Haut de plage, bourrelet parallèle au rivage	Déca à hectométrique	Variable	Moyenne, les touffes de végétation forment des obstacles à la déflation	Espèces pionnières psammophiles	Piétinement, enrochement, palissades	Moyenne, extension si large estran et budget sédimentaire positif des plages
Falaise dunaire	En arrière de la plage car forme de remaniement d'une dune ancienne	Métrique à décimétrique	Importante car à l'origine de l'escarpement	Moyenne à forte car plantes pouvant être déchaussées	Couvert non continu pouvant contenir une flore variée (végétation d'avant dune, de pelouse sous laquelle un sol a pu se développer)	piétinement	Forte, recul rapide de son pied sous l'action de la mer, glissements sous l'action de l'eau pluviale ou du piétinement, éolisation par période de beau temps
Dune perchée	Au sommet d'un escarpement sableux	Déca à hectométrique	Faible, plus forte si démantèlement de la falaise	Forte, entraînement de sable à partir de l'estran et au sommet de l'escarpement sableux	Plantes très variées adaptées au saupoudrage de sable	Piétinement, déchaussement (piétons, VTT, Quad)	Moyenne, liée à la stabilité de la falaise qui la précède et de la continuité du couvert végétal
Cordon dunaire artificiel	En arrière de la plage	Décimétrique (dune recalibrée)	Moyenne à forte action brutale car profil de la dune « contre nature » et inadapté à la dynamique littorale	Forte prise au vent, action moyenne à forte si absence d'entretien et de végétalisation	Couvert végétal plus ou moins continu lié à des opérations de génie écologiques	Forte dès l'origine	Forte, disparition pouvant être rapide (moins de 20 ans) en cas de manque d'entretien ou de budget sédimentaire des plages négatif, fragilité intrinsèque liée à son caractère artificiel
Dune mobile libre	Dune transversale en arrière du rivage (absence de contact avec la plage)	Déca à hectométrique	Faible sauf si démantèlement du système dunaire (incursion de la mer)	Moyenne à forte, en relation avec la continuité du couvert végétal et l'intensité de la fréquentation	Couvert végétal discontinu principalement herbacé	Forte, liée à la fréquentation (cheminement, brèches)	Forte, en raison de son caractère mobile
Dune mobile entravée	Dune transversale à l'arrière du rivage (pouvant être en contact avec des terres de culture ou des marais)	Déca à hectométrique	Faible sauf si démantèlement du système dunaire (incursion de la mer)	Faible à moyenne, en relation avec la continuité du couvert végétal, sa hauteur et sa densité	Dune couverte par des plantes herbacées et / ou ligneuses (arbustes, arbres)	Faible, à moyenne (couvert végétal parfois impénétrable)	Faible, en l'absence d'interventions anthropiques
Dépression dunaire humide ou asséchée	En arrière du rivage	Déca à hectométrique	Faible à moyenne	Faible à moyenne reprise éolienne possible si couvert végétal dégradé	Plantes des milieux humides, variété floristique liée à un gradient d'humidité dynamique arbustive sur le pourtour	Faible, à moyenne Fauche, débroussaillage lorsque des fourrés s'installe	Moyenne, fermeture possible avec assèchement

1.7. Fragilité des dunes

Les multiples fonctions des systèmes dunaires montrent clairement qu'une attention particulière doit être accordée à leur fragilité, due aux processus d'érosion d'origine naturelle ou anthropique.

La hausse dramatique du niveau marin dans certaines régions du globe contribue à accélérer la dégradation de certains massifs dunaires (ORME, 1988).

Par ailleurs, la pression anthropique favorise et amplifie cette dégradation. Quelques études ont montré que l'urbanisation et l'industrialisation des agglomérations côtières, de même que l'intensification de la fréquentation touristique des massifs dunaires, contribuent à accélérer les processus d'érosion des dunes (BACCUS et HORTON, 1980 ; GARES, 1983 ; NORDSTROM et Mc CLUSKEY 1985 ; NORDSTROM, 1994).

Comme d'autres habitats côtiers, les systèmes de plage-dunes sont très fragiles à la fois en ce qui concerne leur formation et leur développement, et pour le maintien de leurs fonctions de base et de leurs dynamiques sédimentaires.

De nos jours, la plupart des écosystèmes de dunes côtières sont dégradés en raison de la pression humaine, principalement par le biais du tourisme et de l'urbanisation du littoral (UICN, 2012).

1.8. Gestion des dunes

Les dunes sont gérées par l'Homme; l'origine de la gestion provient de la nécessité de fixer ces cordons qui progressaient dangereusement vers l'arrière-pays au XIXe siècle, menaçant ainsi des villages construits dans les environs (PRAT, 1996).

L'objectif de cette gestion est de permettre à la dune de répondre aux fonctions que l'Homme en attend. « Gérer les dunes, c'est assurer la pérennité des services que peut rendre à la société un milieu original, mais fragile » (PINOT, 1998).

2. Caractérisation des deux écosystèmes dunaires du Mazafran et d'El Kadous

Le long de la côte de la Wilaya d'Alger, les systèmes dunaires sont confrontés à une grande urbanisation, aux constructions incontrôlées des structures de plage et à l'extraction de sable. Dans quelques décennies, Dans le cas où ces mêmes facteurs restent incontrôlés, ils mèneront à la détérioration complète du segment des systèmes dunaires qui reste actuellement, surtout au niveau de Zéralda et Réghaia (Figure2.4).



Figure 2.4 : Localisation des deux zones d'études du Mazafran et d'El Kadous (2016).

L'érosion côtière qui est un phénomène omniprésent, peut provoquer la dégradation et la disparition partielle ou totale des cordons dunaires. Le cas de la wilaya d'Alger est édifiant à cet effet, notamment en ce qui concerne le cordon de Zeralda qui est en voie de disparition (GIZC, 2015).

2.1. Le site d'El Kadous

La plage littorale d'El Kadous représentait, il y a quelques années, un site de groupements assez représentatifs de cordons dunaires. Les aménagements initiés par la commune d'Aïn Taya n'ont fait que réduire et détruire les paysages spécifiques des dunes littorales.

Ces dunes sont perturbées par des actions d'extraction de sable et/ou par un piétinement intensif qui entraînent une modification des paysages (Figure 2.5).



Figure2.5 : Détails du cordon dunaire d'El Kadous (Mars 2017).

2.2. Le site de Mazafran

Les dunes de la zone d'étude constituent le prolongement oriental d'un cordon dunaire qui prend naissance à Douaouda marine à l'ouest de l'embouchure de Mazafran et se poursuit jusqu'à l'est de l'oued Beni Messous(BENSALAH, 2016).

Le secteur dunaire est caractérisé par un tracé parallèle à la plage dû à la direction du vent (Figure2.6).



Figure 2.6 : Détails du cordon dunaire du Mazafran (Mars 2017).

2.3. Les différentes caractéristiques de nos zones d'étude

- **Les rides (Ripple-marks)**

Sur le haut de plage se développent de petites rides centimétriques parallèles entre elles, identiques et symétriques. Ces rides, appelées «ripple-marks», témoignent d'un échange sédimentaire entre le haut de la plage et la dune. Cette même morphologie est formée également sur les petits fonds par des courants de faibles vitesses (Figure 2.7).

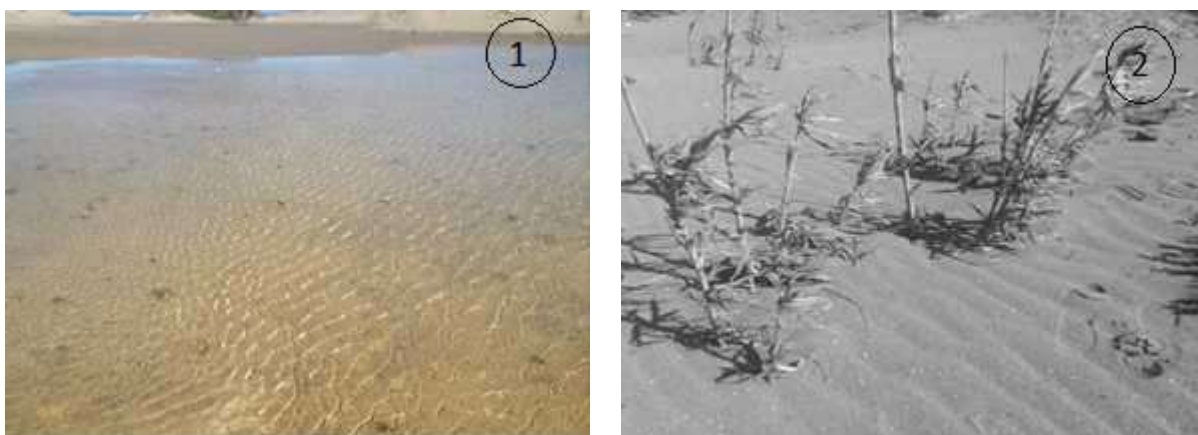


Figure 2.7 : Ripple marks formées par les courants marins (1) et l'action éolienne (2) (Mazafran, Mars 2017).

- **Végétation**

La végétation maintient la cohésion de la couche superficielle du sol, retient les particules, s'oppose à l'effet d'avalanche et constitue la meilleure protection contre les effets néfastes du vent. C'est pourquoi l'érosion éolienne est à craindre dans les régions arides et semi-arides, où les formations végétales naturelles (arborées, arbustives et herbacées) sont clairsemées, rabougries ou inexistantes, et où la pluviométrie est faible et irrégulière.

Dans notre cas, l'exploitation irrationnelle (extraction illégale de sable et des constructions illicites) de ces formations à croissance lente provoque une dégradation rapide du sol, qui est alors soumis à l'action des vents car il n'est plus protégé.

Suite à notre sortie sur le terrain, nous avons pu récolter des échantillons de végétaux présents au niveau des deux cordons dunaires El Kadous et Mazafran. Certains de nos échantillons ont pu être identifiés par deux professionnelles en botanique : Dr BAODOUD et Dr FERHAT. Les espèces existantes au niveau de notre zone d'étude sont :



a : *Scilla sp*



b : *Ammophila arenaria*



c : *Pancratium maritimum*

Figure 2.8 : Différents types de végétaux existants au niveau de la zone d'étude.

Dans le cadre de la stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie, une activité pilote a été initiée pour la réalisation du Plan Côtier de Réghaia. Au niveau de ce dernier, des actions de restauration ont été initiées par les deux acteurs, que sont l'APPL et le CNL. L'espèce utilisée pour la fixation se trouve être *Pancratium maritimum*. Néanmoins, nous avons pu constater l'absence de deux espèces *Lotus creticus* et *Chamaerops humilis*, ce qui témoigne du déséquilibre de cet écosystème naturel.

Pour la zone de Mazafran nous avons deux espèces en commun avec celles d'El Kadous qui sont : *Scilla sp* et *Ammophila arenaria*, d'autres espèces ont été observées :



a : *Roseau arundo donax*



b : *Inula viscosa*



c : *Tamaris sp.*

Figure 2.9 : Différents végétaux existants au niveau de Mazafran.

3. Méthodologies et mises en œuvre

Dans le cadre du projet de recherche mené sur la vulnérabilité des zones côtières et des systèmes dunaires en particulier, nous nous sommes inspirés de la méthodologie empruntée par l'Observatoire du littoral, cette méthodologie élaborée par le Bureau de Recherche Géologique et Minière français (BRGM) ainsi que les partenaires scientifiques et techniques représentés par l'Université de Nantes (IGARUN) et l'Office National des Forêts (ONF). Elle se résume en trois actions :

- **État des lieux des connaissances existantes (action 1)**
- **Structuration du SIG et mise en forme des données (action 2)**
- **Etat initial – acquisition de données de terrain (action 3)**

L'état des lieux, la structuration et la mise en forme des données ainsi que la compréhension des phénomènes sont détaillés ci-après (Figure2.10).

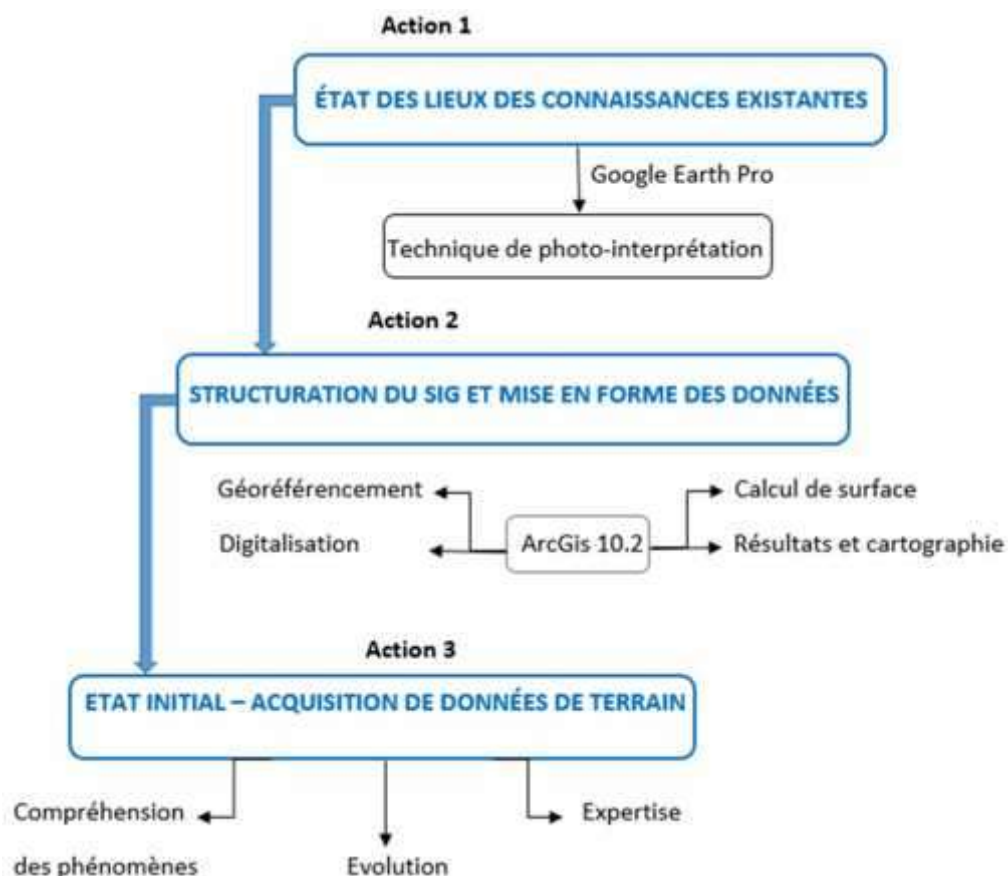


Figure2.10: Schématisation des actions envisagées pour l'évolution surfacique des deux cordons dunaires.

3.1. État des lieux des connaissances existantes (action 1)

Cet état des lieux vise à identifier les données de base utiles aux diagnostics mais aussi à identifier les manques. Certaines données nécessitent des acquisitions sur le terrain. Le programme de travail pour cette action comprend des données disponibles concernant :

- La Technique de Photo-interprétation
- La Démarche d'évaluation et phase de sélection des indicateurs
- Les Outils et méthode de traitement (Google Earth Pro)

3.1.1. Approche méthodologique : Photo-interprétation

La photo-interprétation est une technique utilisée pour identifier les éléments morphologiques caractéristiques de l'environnement côtier tel que les écosystèmes dunaiestout en manipulant et interprétant des images satellitaires (POSIDuNE, 2007)

Avantage de la méthode utilisée

- Economie de temps et de coût pour la réalisation du travail tout en obtenant des données de bonne qualité;
- Comparaison possible entre des images de différentes dates et donc possibilité d'effectuer un suivi des formes en rapide évolution, telles que les formes côtières.

Limites de la méthode utilisée

- Les limites de la méthode utilisée dérivent par exemple des erreurs instrumentales qui se vérifient durant le relevé des données (erreurs intrinsèques des instruments, erreur d'interprétation des éléments morphologiques).
- Un couvert nuageux important peut rendre difficile, voire impossible l'exploitation de l'image ou d'une partie de l'image (POSIDuNE, 2007).

Choix des images

- **Typologie:** le tracé des contours des formes se base principalement sur l'interprétation et l'analyse des images satellitaires.
- **Année:** Bien qu'un intervalle de temps minimum entre les images satellitaires et la situation actuelle ne soit pas strictement nécessaire, il est toutefois préférable d'utiliser un support cartographique ou photographique de référence datant au maximum de 5 ans afin d'obtenir une photographie plausible et actualisée de l'état des dunes côtières.
- **Résolution minimum:** L'échelle et surtout la bonne qualité et la résolution élevée au sol permettent de relever les principaux éléments descriptifs des cordons dunaires, tels que l'état d'activité, la végétation, les différentes typologies des infrastructures et la condition de dégradation ou de conservation.

Description des éléments interprétables

La photo-interprétation permet d'identifier les typologies des éléments suivants:

- Limite des cordons dunaires;
- Détermination de l'état d'activité et de la direction d'allongement (crête);
- Identification de la typologie de la couverture du sol, en relevant la présence de zones urbanisées ou non édifiées;
- Délimitation de la végétation dunaire, en reconnaissant les typologies homogènes en fonction de la structure et de la physionomie et aussi en fonction du degré de couverture;
- Individualisation des éléments de discontinuités naturels et anthropiques;
- Structures adhérentes qui influencent le bilan sédimentaire plage/dune, et réalisées pour mitiger l'érosion côtière.

3.1.2. Démarche d'évaluation et phase de sélection des indicateurs

L'évaluation de l'état des systèmes dunaires est nécessaire pour préserver non seulement leur valeur patrimoniale mais également l'ensemble des services écosystémiques. A l'heure actuelle, il peut être difficile de définir un état initial de référence car les milieux littoraux ont été fortement modifiés (MOULIS et al, 2001). La définition de cet état se basera sur des situations observées sur le terrain et considérées comme optimales : succession la plus complète de faciès morphologiques et végétaux en perpétuelle évolution (FEVRIER, 2002).

L'appréciation de l'état de conservation doit se baser sur la composition spécifique, la structure et la fonctionnalité d'un milieu (BIORET, 2002). A ces fins, l'utilisation d'indicateurs permet de synthétiser les informations et de mettre en évidence d'éventuelles perturbations (R.JUN, 2005).

La dynamique des habitats représente un bon indicateur de l'évolution du milieu. La stabilité relative de la surface des différents habitats (l'accroissement de l'un étant compensé par la diminution d'un autre) représente un diagnostic favorable (RICHARD, 2002).

La présence d'une dune embryonnaire peut être en elle-même un indicateur de la dynamique côtière. Son développement révèle un système en accrétion (budget positif des sédiments de la dune) et une bonne gestion de la fréquentation (WILLIAMS et al., 2001 ; FAVENNEC, 2002).

Le suivi de ces indicateurs permet de déterminer et d'évaluer les modifications des équilibres dynamiques géomorphologiques et de la végétation et de définir également l'état de crise éventuelle de l'écosystème. Ces éléments sont reportés ci-dessous:

- **Superficies qui délimitent les cordons dunaires**

Ces superficies comprennent indifféremment les dunes embryonnaires, les avants dunes et les dunes secondaires ou inactives.

- **Etat d'activité de la dune**

L'état d'activité de la dune permet de déterminer un échange de sédiment avec la plage. En fonction de l'état d'activité (dans le sens d'apport sédimentaire), on peut différencier les dunes inactives des dunes actives ou réactivées.

- **Végétation dunaire**

Le rôle protecteur de la végétation par rapport aux cordons dunaires est vital, puisqu'il s'agit d'une analyse des dunes côtières qui concerne également leur état de conservation. Par conséquent un dernier élément à identifier correspond à la "couverture végétale", qui pourra être différenciée en fonction de la structure (arbre, arbustive, herbacée) ou du degré de couverture (végétation rare ou absente).

- **Anthropisation**

Les études réalisées jusqu'à présent ont mis en évidence que les mécanismes responsables de la forte dégradation et de l'érosion des dunes sont principalement liés au degré d'anthropisation et d'urbanisation du littoral, à l'érosion côtière et à l'exploitation touristique incontrôlée. Il est donc prévu d'identifier les zones urbanisées dans le quatrième chapitre. Cette anthropisation générique représente les zones sans édifice, utilisée cependant pour des activités touristiques, comme par exemple les zones habitées avec parkings.

3.1.3. Outils et méthodes de traitement

Google Earth Pro

Google Earth Pro est un logiciel qui contient des images de grande résolution de l'ordre de 30m à 60m (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,...).

L'acquisition des images satellitaires de Google Earth Pro concerne des images prises lors de missions datant de 2004-2016 pour la zone de Mazafran et de 2006-2016 pour la zone d'El Kadous.

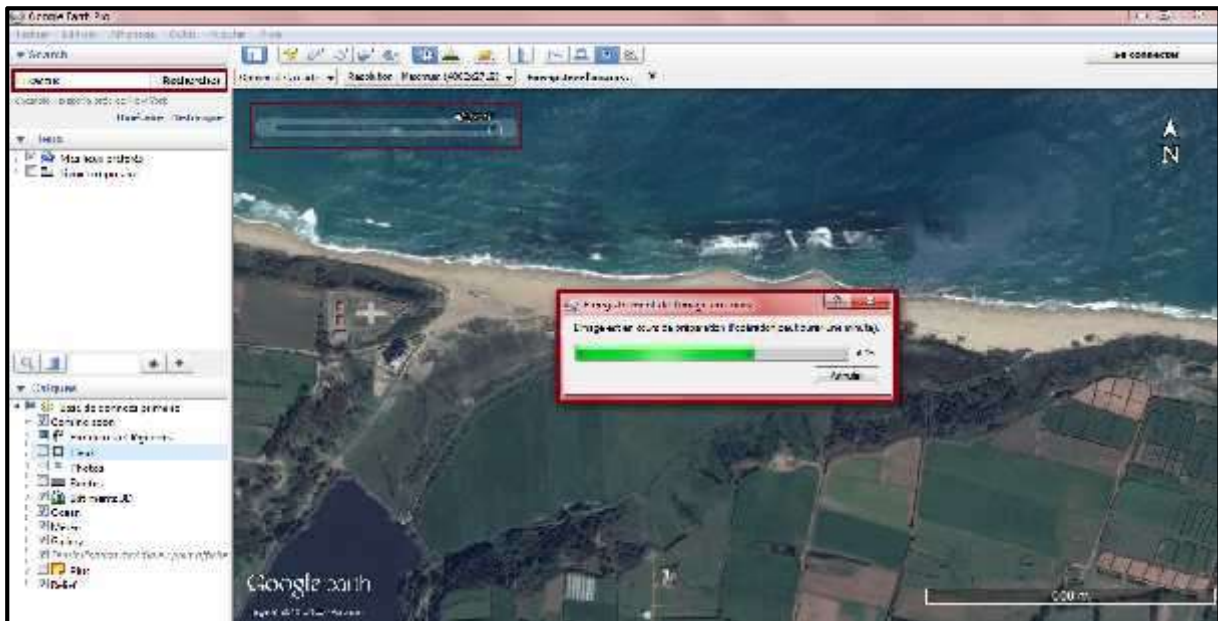


Figure 2.11 : Enregistrement des images satellitaires sous historique de Google Earth Pro.

3.2. Structuration du SIG et mise en forme des données (action 2)

Cette étape consiste à structurer les données existantes. Elle est indispensable pour permettre leurs utilisations et gestions.

Ceci, afin d'estimer le déplacement des deux ensembles dunaires et leurs évolutions au cours d'une période donnée, en se basant sur des images satellitaires.

Le programme de travail pour cette action comprend :

- Outils et méthode de traitement
 - Géoréférencement des images (dans un système de références géographiques).
 - L'analyse consiste à numériser (digitaliser), à partir du logiciel ArcGis10.2, sur chacune des images, la limite du cordon dunaire.
 - calcul des surfaces.
- Présentation et interprétation des résultats : comparaison entre des images de différentes dates.

3.2.1. Outils et méthodes de traitement

3.2.1.1. ArcGis10.2

ArcGIS est une plate-forme logicielle SIG développée par la société ESRI. Cette plateforme correspond à l'intégration de deux logiciels distincts plus anciens (ArcInfo et ArcView) (DENIS, 2016).

Ce logiciel permettant d'exploiter un système d'information géographique (SIG), ce logiciel permet l'acquisition, le stockage, mise à jour, la manipulation et le traitement des données géographiques. De plus, il permet de faire de la cartographie et de l'analyse spatiale de façon précise en fonction de l'échelle désirée, le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois (3) applications principales : ArcCatalog, ArcMap et ArcToolbox (ASBAI, 2013 in NADIR, 2016).

3.2.1.2. Géoréférencement des images et système de référence

L'homogénéité des données et des informations cartographiques sont nécessaires, suite au décret du 25 février 2003 fixant les systèmes de référence des coordonnées géographiques, planimétriques et altimétriques relatifs au territoire national. Les systèmes de référence sont fixés comme suit : système de coordonnées géographique WGS 1984 - système de projection Nord Sahara 1959 UTM Zone 31N.

3.2.1.3. Cartographie et calcul des surfaces dunaires de la côte

La première étape consiste à digitaliser en premier lieu le contour des dunes puis calculer les surfaces digitalisées de chacune des cartes. L'objet « polygone » délimite une région d'intérêt sur les images satellitaires qui correspond au pied de dune et ses limites. Le suivi de l'évolution revient à comparer les modifications des polygones (surfaces) entre deux dates différentes.

3.2.2. Présentation et interprétation des résultats

Après avoir digitalisé et calculé les surfaces dunaires des différentes années, les résultats obtenus sont représentés sous forme de deux tableaux.

L'analyse de l'évolution des deux cordons dunaires s'est basée sur la différence entre la surface de l'année la plus ancienne prise comme référence avec la surface de l'année qui suit. Le résultat de la soustraction représente un gain ou une perte de la surface occupée par le cordon dunaire qui est ensuite traduit en pourcentage, ce dernier représente le taux d'évolution calculé comme suit :

$$\text{Taux d'évolution} = ((S_{R+N} - S_T) / S_T) * 100$$

Avec :

- S_R : l'année la plus ancienne (Référence)
- S_{R+N} : l'année qui suit / $N = [1-10]$

3.2.2.1. Zone Est

Le cordon dunaire d'El Kadous a couvert une surface allant de 22624,3536m² jusqu'à 31453,56235m² durant une période de dix (10) ans de 2006 à 2016 (tableau n°2.2 et Figure2.12).

Tableau n°2.2: Bilan annuel des différentes surfaces du cordon dunaire d'El Kadous (2006 - 2016).

Durant les dix (10) dernières années le cordon dunaire d'El Kadous s'est caractérisé par une surface moyenne d'environ 26334 m² extraite de la courbe de tendance de l'histogramme ci-dessous.

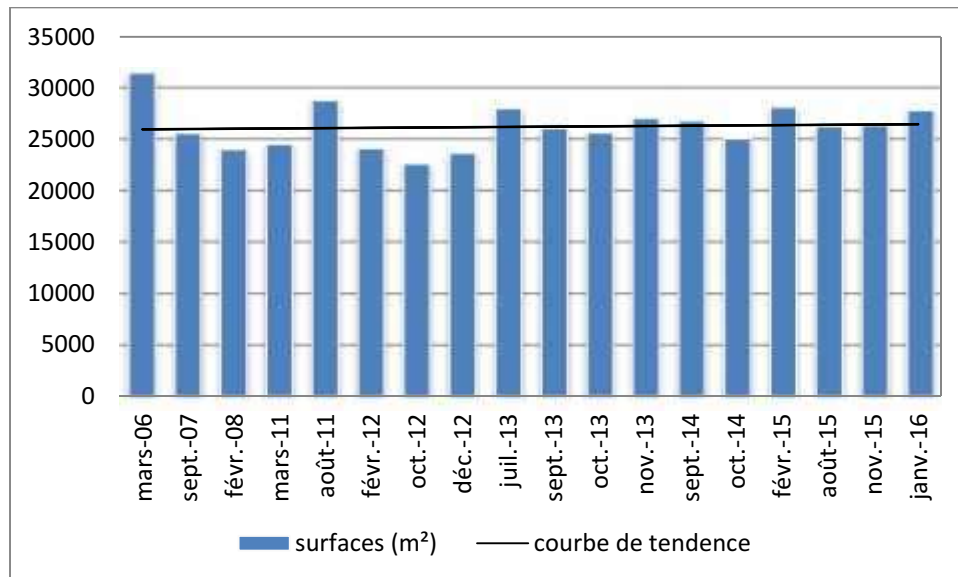


Figure2.12 : Histogramme des différentes surfaces du cordon dunaire d'El Kadous (2006-2016).

En Septembre 2014, la surface du cordon dunaire avait augmenté de 26776.9m² jusqu'à atteindre 28121m² en Février 2015.

En cette même année la restauration du cordon dunaire a été réalisée en par les deux acteurs principaux ; le Commissariat National du Littoral (CNL) qui s'est occupé de cette étude en collaboration avec l'Agence pour la Promotion et la Protection du Littoral (APPL) qui a financée le projet et a aussi fourni les moyens techniques et humains.

Afin de mieux comprendre la tendance générale du cordon dunaire d'El Kadous on a effectué un tri de surfaces basé sur les périodes estivales selon les données disponibles.

Durant ces périodes, la zone est plus exposée aux pressions anthropiques (tourisme, extraction abusive de sable...), ce qui influe d'une façon directe sur l'évolution de cet écosystème dunaire.

Ce dernier est caractérisé par une forte fréquentation qui se distingue par l'installation des touristes sur le cordon dunaire ainsi que les parkings(Figure2.13).



Figure 2.13 : La forte fréquentation au niveau du cordon dunaire d'El Kadous

Les pourcentages calculés ont permis de déduire que le cordon dunaire d'El Kadous a subi une régression de surface d'environ 8 à 28% dont la perte la plus représentative est notée en Octobre 2012 avec un pourcentage de 28.07% (tableau n°2.3).

Cette perte résulte des différentes pressions anthropiques, comme elle peut être une conséquence des facteurs naturels (tempêtes, inondation...).

Selon l'étude des tempêtes élaborée par l'Office National de Météorologie (ONM, 2015), durant le mois d'Octobre 2012, une tempête s'est produite avec une vitesse moyenne de 14.33m/s, voire même 16.5m/s au mois de Novembre.

En 2007 le cordon dunaire a connu une importante perte avec un taux d'environ 18% suite à une tempête d'une intensité de l'ordre de 14.28m/s.

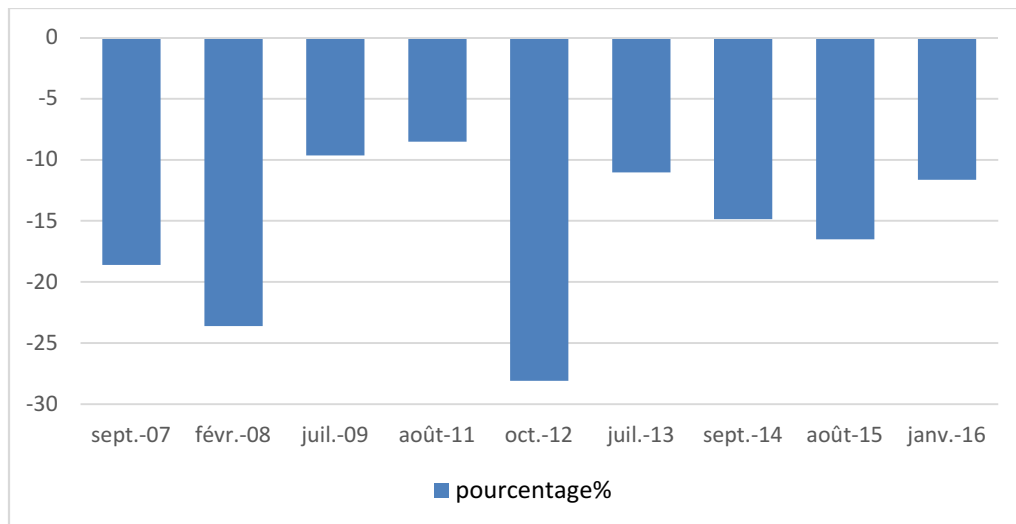


Figure2.14 : Histogramme des pourcentages de perte du cordon dunaire d'El Kadous (2006-2016).

En Novembre 2015, la formation d'une microfalaise au niveau de l'avant plage d'El Kadous a pu être observée lors d'une sortie pédagogique organisée par l'ENSSMAL.

Représentant un indicateur d'érosion, cette forme géomorphologique est visible sur une image satellitaire acquise par Google Earth Pro (Figure2.15).



Figure2.15 : Formation d'une microfalaise dans la zone d'El Kadous (Octobre, 2015).

En Septembre 2014, la surface du cordon dunaire a été estimée à environ 26776m². Une évolution a été constatée en Février 2015, où le même cordon dunaire a été évalué à 28121m².

En cette même année, la restauration du cordon dunaire a été réalisée par les deux acteurs principaux ; le Commissariat National du Littoral (CNL) qui s'est occupé de cette étude en collaboration avec l'Agence pour la Promotion et la Protection du Littoral (APPL) qui a financé le projet et aussi fournit les moyens techniques et le personnel.

Pour mieux étudier l'évolution surfacique, on s'est basé sur la comparaison des contours qui délimitent le cordon dunaire pour deux périodes différentes.

En premier lieux, la comparaison est effectuée entre l'année la plus ancienne (2006) et celle avec un taux de régression élevé (2012).

D'après les deux contours on observe que le cordon dunaire à subi une forte érosion avec un taux important du côté Est suite au déplacement de l'embouchure d'El Kadous qui s'alimente de celui-ci (Figure2.16).

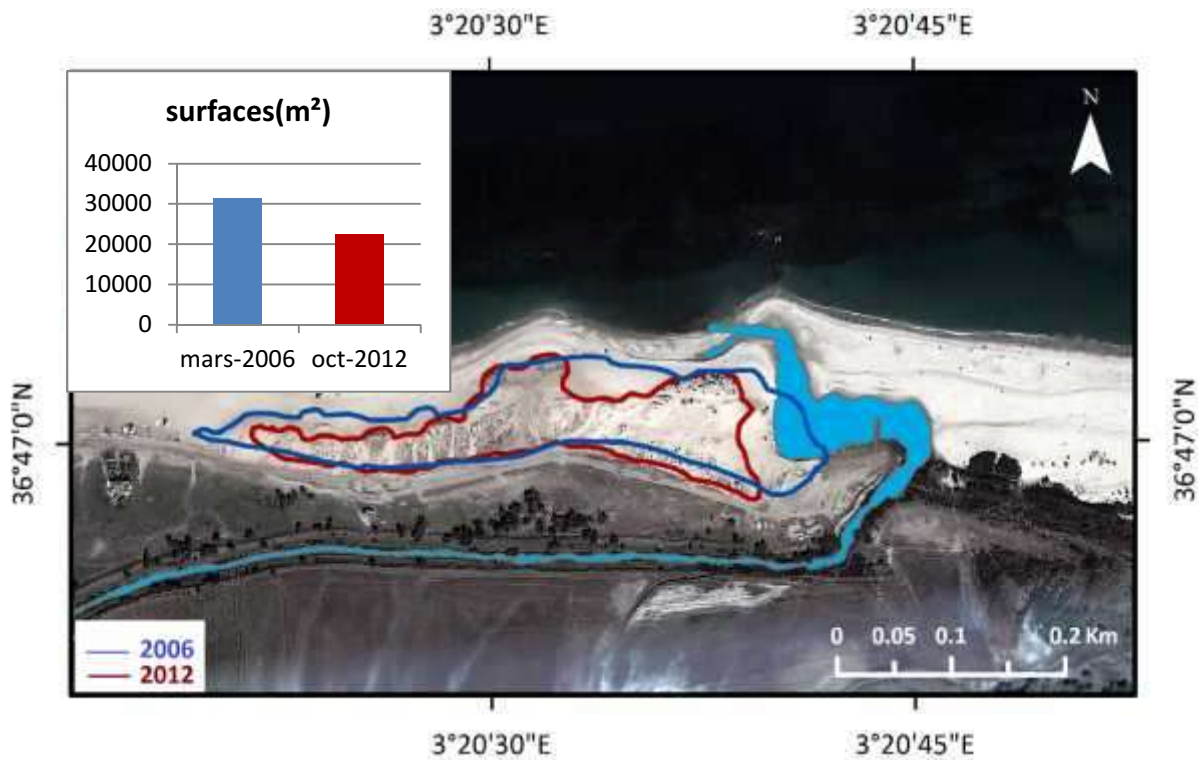


Figure 2.16 : Evolution surfacique du cordon dunaire d'El Kadous entre 2006 et 2012.

Concernant la Figure 2.17, la comparaison des contours est à long terme durant les dix dernières années (2006-2016) afin d'obtenir une tendance de l'évolution du cordon dunaire.

On remarque que durant cette période le cordon dunaire d'El Kadous a subi une réduction de surface d'environ 3659m².

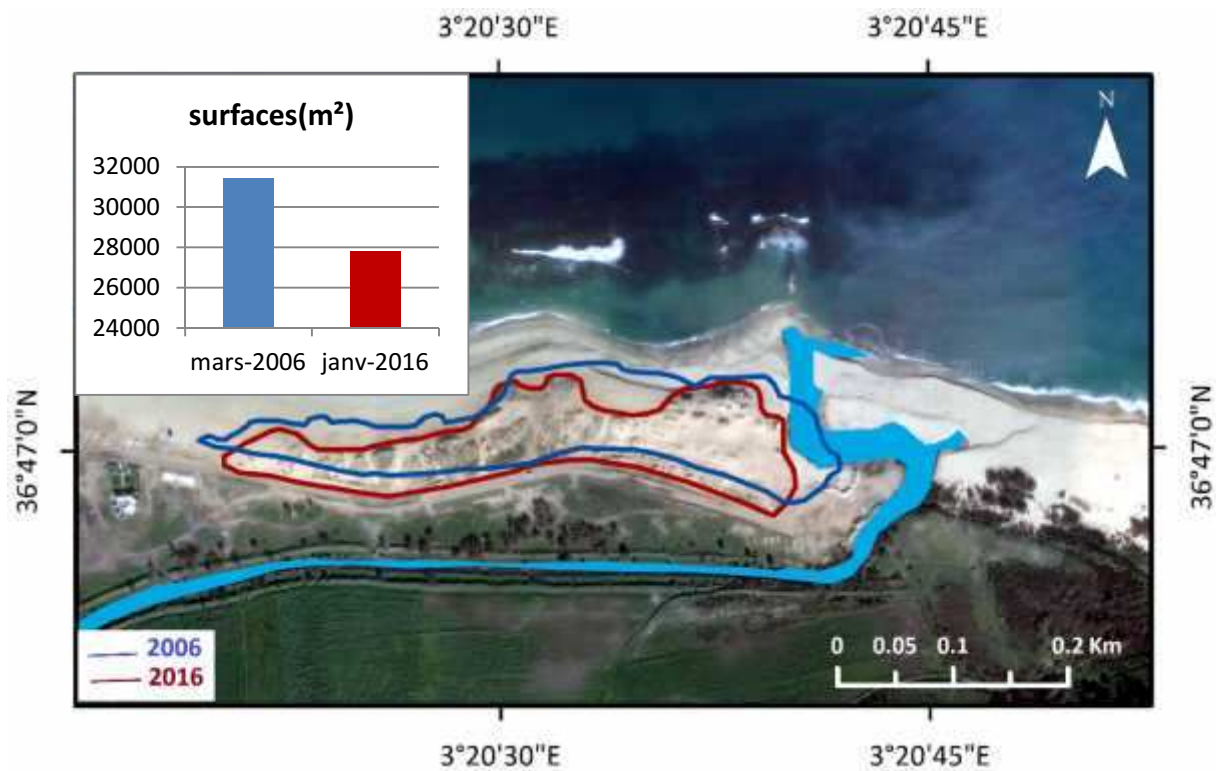


Figure2.17 : Evolution surfacique du cordon dunaire d'El Kadous entre 2006 et 2016.

3.2.2.2. Zone Ouest

Le cordon dunaire de Mazafran est caractérisé par une grande surface qui s'étale sur une partie du littoral de Zeralda qui est d'une moyenne de 53220 m² (Figure2.18).

En 2004 et 2016 sa surface était de l'ordre de 66079,16 m² jusqu'à 34623m² (tableau n°2.4 et Figure2.18).

Tableau n°2.4 : Le bilan annuel des différentes surfaces du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016).

Années	Surfaces (m ²)
Août-04	54073,92765
Janvier-08	48427,44592
Février-09	61975,0761
Septembre-09	59699,22875
Février-10	66079,15692
Janvier-12	54960,84545
Juin-12	38526,65309
Janvier-13	40248,54551
Février-13	53027,89252
Juillet-13	34623,69729
Novembre-13	54348,87011
Août-14	54204,14627
Octobre-14	60555,9129
Janvier-15	63133,3289
Mai-15	48417,20157
Juin-15	49267,87233
Juin-15	51203,83423
Juillet-15	52618,67695
Août-15	57160,73889
Mars-16	56401,10218
Juin-16	56595,16098
Septembre-16	55294,56894

D'après les surfaces obtenues on constate qu'en Février 2010 le cordon dunaire de Mazafran a eu un pic de l'ordre de 66079m².

Par contre en Juillet 2013 il a occupé un minimum de surface durant la période 2004-2016 dont la superficie est de 34623m² (tableau n°2.4).

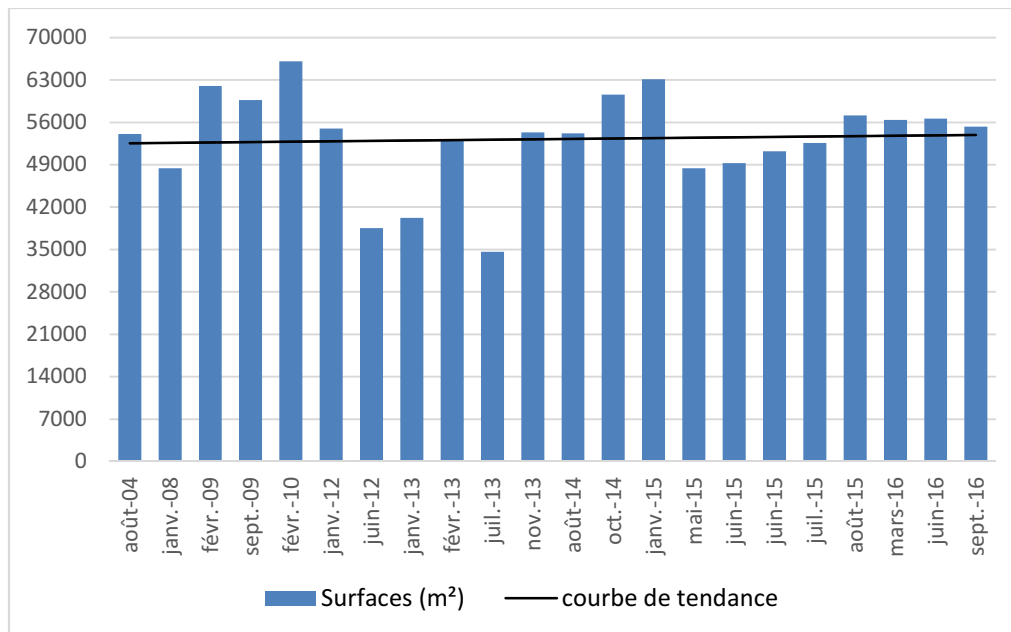


Figure2.18 : Histogramme des différentes surfaces du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016).

Une fois le choix des périodes fait, le taux d'évolution calculé est traduit sous forme de pourcentage, ce qui nous a permis de déduire que le cordon dunaire de Mazafran a subi des périodes d'accrétion et d'érosion par rapport à l'année 2004 (tableau n°2.5).

Tableau n°2.5 : Bilan annuel des taux d'évolution du cordon dunaire de Mazafran.

Années	Surfaces	Gain/perte	Pourcentage %
Août-04	54073,92765	/	100
Janv-08	48427,44592	-5646,481733	-10,44215203
Sept-09	59699,22875	5625,301101	10,40298226
Févr-10	66079,15692	12005,22927	22,20151151
Juin-12	38526,65309	-15547,27456	-28,75188697
Juil-13	34623,69729	-19450,23037	-35,9697015
Août-14	54204,14627	130,218621	0,24081591
Juin-15	49267,87233	-4806,05532	-8,88793459
Juin-16	56595,16098	2521,233331	4,662567416

Le cordon dunaire est système dynamique ; il peut subir des pertes, comme il peut se régénérer par des gains sédimentaires. En Février 2010 on a pu observer un gain optimal de 20.1% au niveau des dunes de Mazafran (Figure2.19).

La plus grande perte est en Juillet 2013, avec un taux de 36,6 % tout en supposant que l'une des causes étaient les deux tempêtes du mois de Mars et mois de Mai avec des intensités importantes de l'ordre de 14m/s et 15m/s.

Ces taux de régressions et d'accrétions sont induits par plusieurs processus physiques et anthropique. La zone de Mazafran est caractérisée par une faible fréquentation pour la difficulté d'accessibilité ce qui lui a permis d'être moins exposée aux pressions humaines.

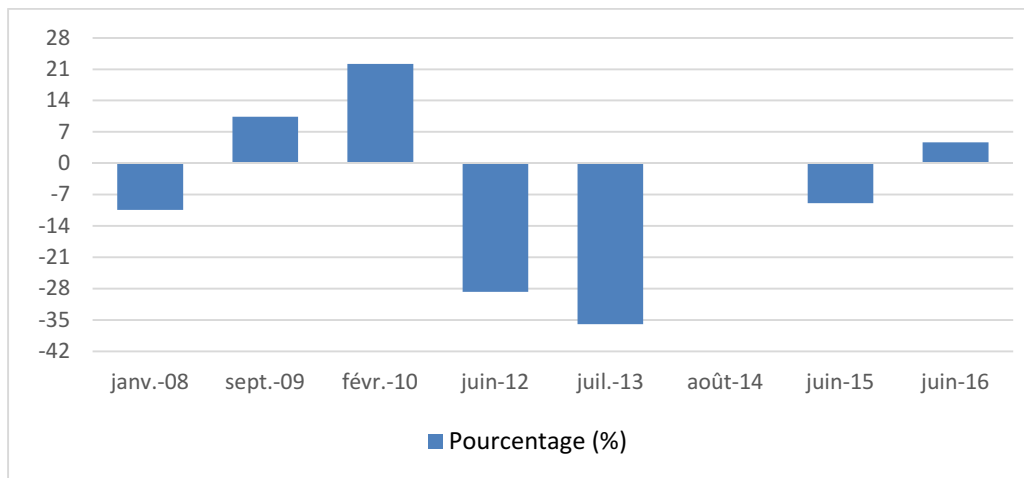


Figure2.19 : Histogramme des pourcentages de perte du cordon dunaire de Mazafran (2004-2016)

Ce qui distingue le cordon dunaire du Mazafran, c'est la coexistence sur une courte distance (de l'ordre de 1800m) de trois zones qui se caractérisent chacune par un stade d'évolution et des entités morphologiques différentes. En effectuant une comparaison des contours dunaires entre 2004 et 2013 on a pu observer une importante régression surfacique (Figure2.20).

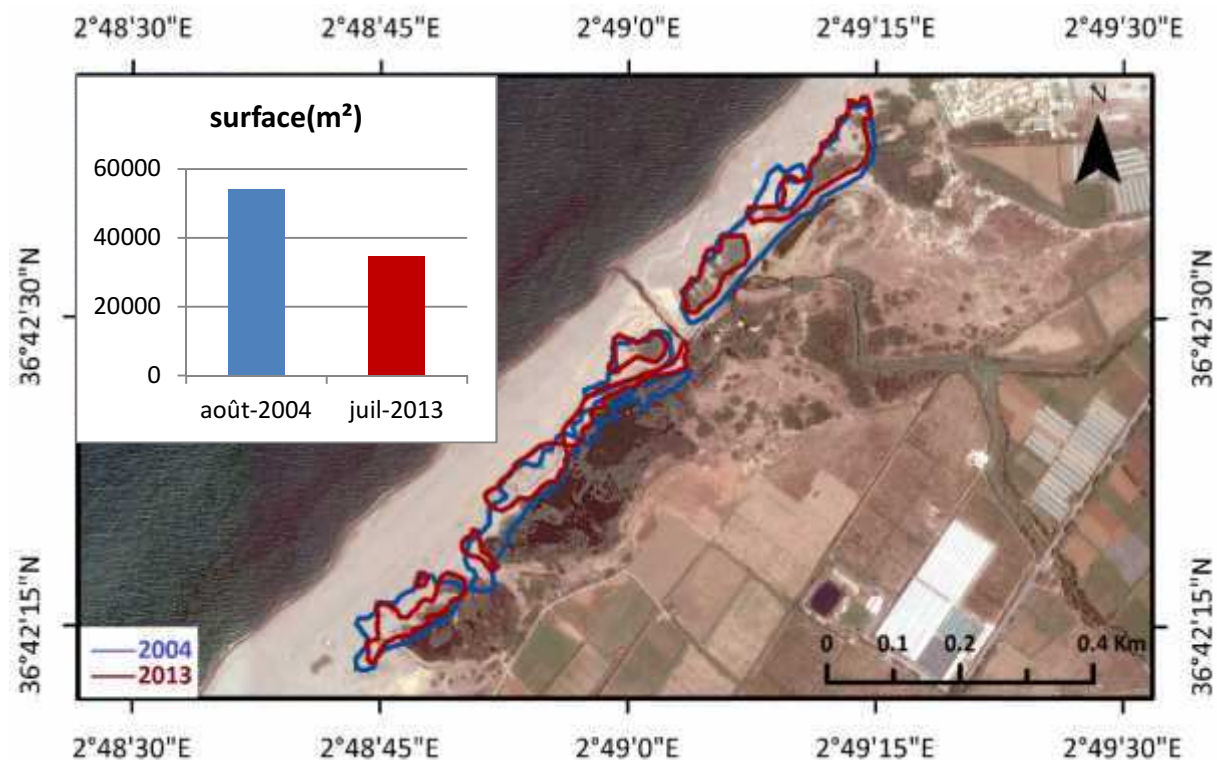


Figure2.20 : Evolution surfacique du cordon dunaire de Mazafran entre 2004 et 2013.

Pour qu'on puisse comprendre l'évolution à long terme du cordon dunaire de Mazafran on a effectué une comparaison entre 2004 et 2016. Nous avons déduit que la tendance est plutôt à l'accrétion du cordon, avec un taux estimé à 4,47% en 2016.

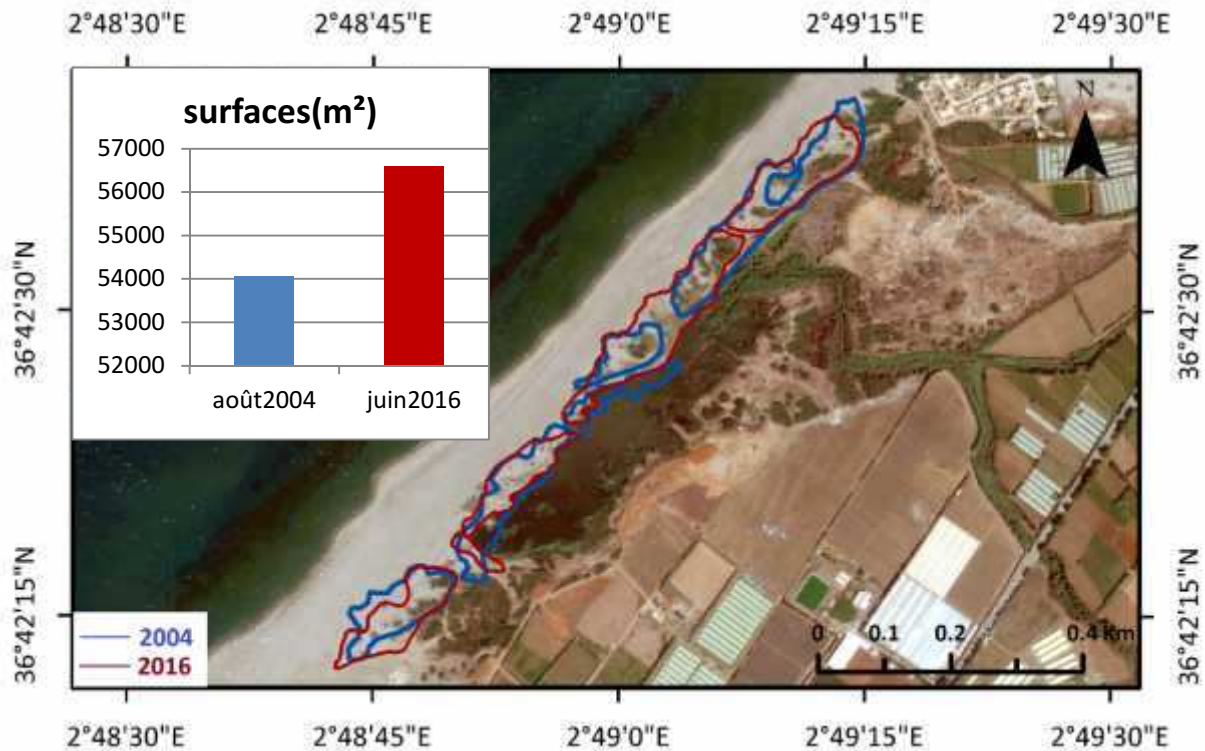


Figure 2.21 : Evolution surfacique du cordon dunaire de Mazafran entre 2004 et 2016.

Le centre du site d'étude, représente le domaine le plus stable et se caractérise par la présence des différents stades d'évolution des dunes côtières en passant de la dune fixée par une végétation jusqu'aux avant-dunes mobiles dont le taux de recouvrement de la végétation est moins important. Ces dernières sont soumises à l'action des facteurs naturels (en particulier vent, houle) et sont à l'abri de l'action anthropique (absence de constructions aux dépens de dunes).

La zone nord correspond à un secteur anthropisé où le cordon dunaire est affecté par des constructions balnéaires (maisons) ce qui explique la mobilité du matériel sableux en dehors du cordon dunaire et la dégradation du couvert végétal protecteur de cet écosystème. Les avant-dunes sont donc plus ou moins fixées et les crêtes sont assez développées et marquées par une végétation dunaire assez dense.

En allant vers le sud, les avant-dunes disparaissent progressivement et la végétation est beaucoup moins dense.

3.2.2.3. Résultats et discussions

Sur le plan géomorphologique le cordon dunaire d'El Kadous joue un rôle d'une barrière protectrice pour l'arrière-pays face aux forces côtières. Contrairement au cordon dunaire de Mazafran qui s'étale sur une grande surface par une forme éparpillée (Figure2.22).

En outre, en se basant sur les résultats obtenus des taux d'évolutions de cette dernière décennie, le cordon dunaire de Mazafran est caractérisé par une altération d'érosion et d'accrétion ce qui le met dans un état mieux conservé car il est moins exposé aux actions anthropiques et humaines. En revanche le cordon d'El Kadous subit une forte pression anthropique dont on peut citer parmi elles; les extractions abusives de sables, sans oublier que le piétinement plus précisément lors des périodes estivales ce qui induit une érosion successive.

Les statistiques adoptées ont permis l'obtention d'une tendance générale des ces deux écosystèmes dunaires.

De là ; le cordon dunaire de Mazafran occupe une plus grande surface avec une moyenne de 53220m² par rapport à celui d'El Kadous qui occupe seulement une surface de 26334m².

D'après l'étude élaborée sur l'évolution surfaciques de ces deux zones on a pu constater que celui de Mazafran s'est accru avec un taux de 4.66% de 2004 jusqu'à 2016, par contre le cordon dunaire d'El Kadous a régressé de 11.63%.



Figure2.22 : Les formes géomorphologiques du cordon dunaire d'El Kadous (1) et de Mazafran (2).

3.3. Etat initial – acquisition de données de terrain (action 3)

La troisième action consiste à acquérir des données complémentaires aux données existantes. Une première approche préliminaire des données existantes montre, en effet, un manque ressenti qui convient à combler pour disposer d'un état de référence le plus complet et pertinent possible. Cet état de référence servira de base à la compréhension des phénomènes, nécessaires pour établir des diagnostics.

Le programme de travail pour cette action comprend :

- L'organisation de la collecte des renseignements sur le terrain à fin d'illustrer les résultats obtenus par l'analyse de l'évolution surfacique des cordons dunaires, basée sur la méthode de photo-interprétation.

Formes d'évolutions des deux écosystèmes dunaires

Les sorties réalisées dans le cadre de cette action nous ont permis d'observer les différentes formes d'évolution des deux cordons dunaires.

Les cordons dunaires d'El Kadous et Mazafran sont découpés par des formes d'érosion éolienne provoquées par l'action du vent qui se développent vers l'intérieur (Figure2.23). On a pu distinguer plusieurs formes de remaniement.

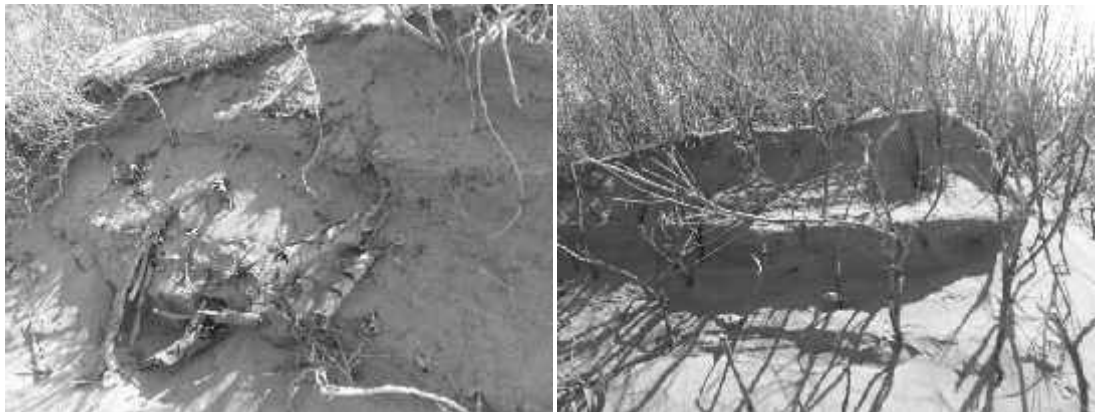


Figure2.23 : Formes d'érosion éolienne au niveau de la zone de Mazafran (Mars 2017).

Les formes d'érosion sont marquées par la présence de grands couloirs de déflations dans la zone de Mazafran et d'El Kadous.

Des couloirs de déflation qui sectionne perpendiculairement ces dunes bordières où leurs orientations dépendent de la direction des vents dominants (Figure2.24).

L'évolution de ces formes de déflation dépend des apports de sable. Si ceux-ci sont suffisamment élevés, on aboutit à un comblement progressif. Au contraire, si les apports sont faibles ces couloirs s'élargissent.



Figure2.24 : Un large couloir de déflation au niveau des dunes d'El Kadous (Avril 2017).



Figure2.25 : Formes de la déflation éolienne au niveau des dunes de Mazafran (Mars 2017).

Au niveau des dunes, l'usage extensif le plus habituel est le pâturage (Figure2.24). Cette pratique peut aboutir à leur dégradation et à des conséquences importantes sur la mise en mouvement des sables dunaires ainsi que sur l'érosion de la dune et l'envahissement des terres agricoles.



Figure 2.26 : Pâturage anarchique (El Kadous 2016).

Le piétinement des plantes à cause de la fréquentation touristique et les passages de carrosseries, ainsi que les rejets des déchets (bouteilles et sachets en plastique) par les habitants de l'entourage contribuent à la dégradation des dunes. Sans oublier les dégâts que provoquent les extractions abusives de sable (Figure 2.27).

Le cordon dunaire du Mazafran est soumis à l'influence de constructions telle que l'urbanisation linéaire du front de mer. On note également la présence d'aménagements (chantier, bâtis...) susceptibles de dénaturer cet espace dunaire (Figure 2.28 et Figure 29).



Figure 2.27 : Extraction abusive de sable (1) et les traces de carrosseries (2) (Mazafran et El Kadous, 2017).



Figure2.28 : Les traces de piétinement (1) et les diverssement (2) (El Kadous et Mazafran,2017).



Figure2.29 : Urbanisation au niveau de la zone de Mazafran (2017).

1. Introduction

Les dunes montrent une grande variété d'aspects parce que l'agent qui les modèle ; le vent peut agir indépendamment de la gravité et le matériau qui les constitue ; le sable est capable de changer aisément de forme. Leur éloignement plus ou moins grand de la mer conditionne étroitement leur évolution (PASKOFF, 1992).

Etant que l'écosystème dunaire est un système complexe par ses distinctes formes d'évolutions non seulement surfacique mais aussi topographique pour cela on a fait appel à la création d'un modèle numérique de terrain (MNT) qui nous permettra d'étudier les différents profils des deux cordons dunaires d'El Kadous et de Mazafran.

Un modèle numérique de terrain appelé singulièrement MNT, est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond donc à une schématisation du modèle de la région étudiée.

L'ensemble des points de la carte établie, correspond à une altitude permettant de travailler sur un modèle surfacique numérique. En ce qui concerne l'intérêt de sa conception, il est évidemment indispensable car le SIG, nécessite le traitement des informations correspondant aux pentes de l'ensemble des cordons dunaires, le traitement informatique par le logiciel « Arc Gis 10.2 », permettra d'analyser l'évolution des dunes.

Le but de cette étude est de connaître le niveau d'information que l'on peut tirer de ces données, au regard des différents traitements et combinaisons de traitements envisagés pour la mise en évidence, l'extraction et la mesure des objets reconnus comme pertinents pour une évaluation du service protection.

2. Données utilisées pour l'analyse de l'évolution des dunes

L'analyse des variations historiques de l'évolution des dunes est obtenue à partir des documents disponibles accessibles :

- Levés DGPS réalisés prises lors de différentes missions au niveau des deux cordons dunaire d'El Kadous et Mazafran.

Tableau2.6 : Types de données de la zone de Mazafran

Année	Type de donnée	Provenance	Résolution
2017	Levé topographique	DGPS	Centimétrique

Tableau2.7 : Type de données de la zone d'El Kadous

Année	Type de donnée	Provenance	Résolution
2014	Levé topographique	DGPS	Centimétrique
2017	Levé topographique	DGPS	Centimétrique

3. Objectifs

- L'acquisition des données de terrain : levés topographiques géoréférencées (x, y et z) par l'outil de levé DGPS.
- Réalisation d'un model numérique de terrain MNT des deux cordons dunaires.
- Calcul de volume des deux MNT du cordon dunaire d'El Kadous de différentes périodes (2014 et 2017).

4. Acquisition des données :

4.1. Approche directe

Elle est basée sur des mesures topographiques périodiques (hebdomadaires, bihebdomadaires, mensuelles, semestrielles, annuelles) à l'aide de matériels de levés allant des appareils à principe optique (niveau de chantier, théodolites, ...) aux appareils électroniques utilisant le laser (tachéomètre électronique, Lidar) ou le positionnement par satellites en mode différentiel (Récepteur DGPS).

Les mesures peuvent concerner uniquement la ligne de référence ou le profil de plage et doivent être raccordées à un même système de référence relatif ou absolu pour faciliter la comparaison entre différents levés.

Les données fournies par les levés de terrain sont extrêmement précises pour la quantification de la mobilité du trait de côte mais leur acquisition réclame beaucoup de temps. Pour cette raison, elles sont limitées dans la plupart des cas à quelques sites spécifiques pour des études sur le court terme (DOLAN *et al.*, 1978a ; DOLAN *et al.*, 1979 ; SMITH et ZARILLO, 1990 ; MORTON *et al.*, 1993 in FAYE, 2010).

4.1.1. Les levés DGPS

L'appareillage mis en œuvre est un système DGPS centimétrique de très haute précision parfaitement adapté à la connaissance des formes et relief des plages. Le DGPS (Differential Global Positioning System) est un GPS différentiel c'est à dire un système de positionnement par satellites qui repose sur le principe de base de la géodésie spatiale.

Ce matériel est composé d'une base positionnée sur un point fixe permettant le calcul de l'erreur altimétrique, d'un ou récepteurs mobiles pour les levés de position. Aussi il dispose d'une liaison radio permettant la transmission entre la base et le mobile pour la correction de l'erreur géométrique (Figure 3.3) (MUGICA et HOAREAU, 2010).

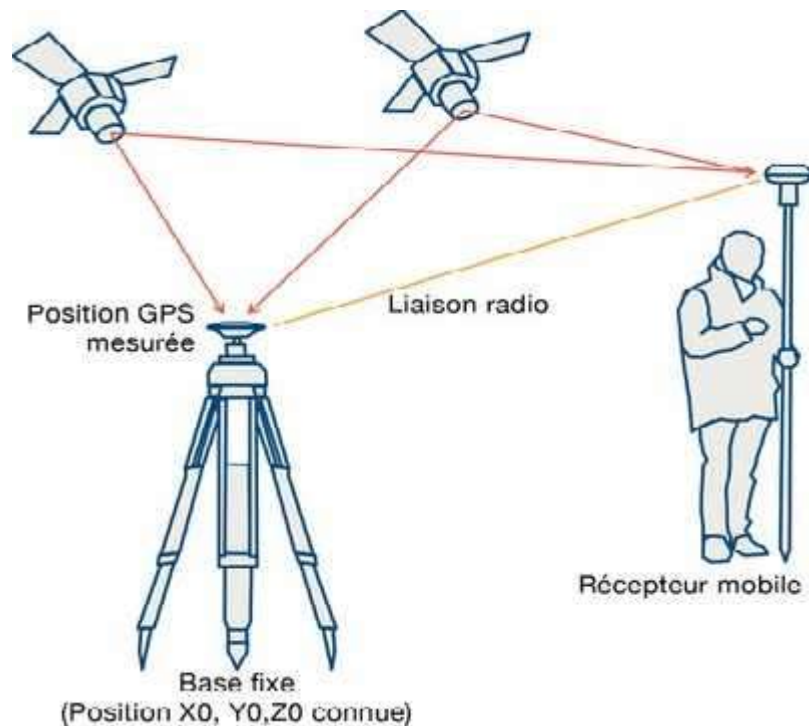


Figure3.3 : Schéma représentatif de la station DGPS.

Notre travail a été réalisé en collaboration avec le réseau de surveillance trait de côte APPL dont le matériel utilisé est de marque TOPCON hyper pro d'origine italienne. Pour augmenter la précision en temps réel, les données de corrections sont envoyées à la station mobile depuis une station de référence (Figure3.4), dont on connaît précisément la position.



Figure3.4 : Station mobile du DGPS (1), station de base (2) et le point géoïde (3)(El Kadous, 2017).

Les récepteurs GPS sont utilisés suivant différents modes bien définis, permettant d'atteindre les objectifs de précision centimétrique.

Ces modes sont appelés globalement RTK (Real Time Kinematic) ou LRK (Long Range Kinematic) en fonction des constructeurs.

- En mode RTK, la station mobile reçoit par radio les corrections nécessaires à apporter aux mesures. Ce mode RTK-GPS permet à l'utilisateur de se positionner à peu près partout très rapidement, à condition de disposer d'un réseau de récepteurs GPS fixes qui effectuent des observations en permanence.
- En mode LRK, le fonctionnement du DGPS se fait également grâce à une liaison radio (d'une portée théorique 40 Km et d'une précision de 1 cm) entre la station fixe (qui prend son information au niveau des satellites et le mobile porté par l'opérateur (POSIDuNE, 2007).

En RTK, il existe deux méthodes d'acquisition de points :

- **Topo continue (Auto topo)** : utilisée lors de l'acquisition de points en continu, pour le levé du trait de côte, du pied de falaise ou du sommet de falaise. Une acquisition régulière en fonction du temps ou en fonction de la distance peut se faire.
- **Point topo** : utilisée lors de l'acquisition de points le long d'un transects ou de points remarquables.

Le choix de ces méthodes est défini à l'aide d'un ordinateur mobile (Figure3.5) raccordé à la station mobile ou est sauvegardé un fichier de données généré par chaque levé.



Figure3.5 : Ordinateur mobile.

Ce système permet d'effectuer des levés de trait de côte (Figure3.6), ainsi que des levés d'indicateurs bien précis, des profils topographiques (mesures de profils de plages, dunaires, etc.) et des MNT qu'on a abordé dans le chapitre précédant (chapitre 2).

LEVÉS DGPS

Les profils topographiques sont réalisés au DGPS différentiel (DGPS de marque TOPCON hyper pro avec une précision de 1cm en X, Y et 3 cm en Z).

Ce type de levé donne une représentation sur le plan (x, y, z) de l'indicateur du contour des dunes sous la forme d'un polygone. Les périodes choisies pour les 6 levés sont en fin de période hivernale (Mars-Avril). Ce choix de période permet de connaître et de suivre l'état du système plage-dune à la fin de l'hiver après le passage des tempêtes hivernales qui peuvent avoir fait reculer plus ou moins fortement les plages selon les années.

Le DGPS est utilisé dans les mesures de profils topographiques dunaires et de levés d'indicateurs de pied dunaire, sommet des dunes et limite de végétation.

La réalisation d'un MNT ne pouvant pas se faire en mode d'acquisition continue mais selon des mesures points par points. Il est particulièrement adapté dans les levés de haute précision, avec des côtes altimétriques (z) précises (cm).

Il est nécessaire de mesurer un point géodésique connu (repère, borne) lors du levé, de manière à obtenir des coordonnées absolues raccordées à un système géodésique (Figure2.30).



Figure2.30 : Point géodésique de la station DGPS (Mazafran, 2017).

L'objectif de la mission est de mesurer la position de points sur la ligne de crête (Figure2.31) et sur quelque transects de la dune (Figure2.32).



Figure2.31 : Les points levés sur la ligne de crête des dunes de Mazafran, 2017.



Figure2.32 : Les points levés des dunes sous forme de transects (Mazafran, 2017).

Les points levés sont régulièrement espacés. Sur les transects, ils peuvent également correspondre à caractéristiques géomorphologiques de la dune telles que le pied de dune (Figure2.33) ainsi que les zones de végétation (Figure2.34).



Figure2.33 : Les points levés du contour des dunes de Mazafran, 2017.



Figure2.34 : Les points levés des limites de la végétation des dunes de Mazafran, 2017.

5. Méthodes mise en œuvre :

L'utilisation des systèmes d'information géographiques (SIG) est indispensable pour intégrer et traiter l'ensemble des données nécessaires à l'estimation du volume des différents segments des dunes cartographiées. Les SIG sont utilisés autant dans la phase de modélisation topographique des dunes.

Dans les présents travaux, compte tenu de l'hétérogénéité de la morphologie des dunes sur un même segment et afin de réduire le biais causé par l'utilisation d'une forme géométrique, nous avons reproduit la forme de la dune à l'aide d'un model numérique de terrain (MNT).

Le calcul de volume exige le traitement de données vectorielles, sur la topographie de surface réalisable par les outils du logiciel ArcGis.

5.1. Réalisation des MNT

Un modèle numérique de terrain est une représentation informatique d'une zone géographique et de son relief. Un MNT élémentaire peut se réduire à un tableau de nombres représentant la distribution spatiale des altitudes d'un terrain. On l'appelle alors aussi modèle numérique d'élévation (MNE ou Digital Elévation Terrain, DEM). Les débouchés pratiques de ces modèles sont innombrables (Joachim Pouderoux, Jean-Christophe Gonzato, Pascal Guitton ; 2009).

Cette méthode s'effectue directement sous SIG (3D Analyst d'ArcGIS) d'où la création du MNT découle directement de l'interpolation des points de levés. Les MNT diffèrent selon le type de maillage utilisé : le maillage carré / rectangulaire (notamment pour les petites zones couvertes), le maillage hexagonal et le maillage triangulaire régulier ou irrégulier.

L'interpolation est une opération mathématique qui permet d'obtenir une représentation du relief du terrain (en 3D suivant une grille régulière ou irrégulière) en reliant entre eux les points issus du levé et dont la distribution dans l'espace est plus ou moins homogène. Il existe différentes méthodes d'interpolation (choisie selon la plus adaptée en fonction des nuages de points à traiter, des outils disposés

Figure2.35 : Modèle numérique de terrain (MNT) du cordon dunaire de Mazafran, 2017.

Figure2.36 : Modèle numérique de terrain (MNT) du cordon dunaire d'El Kadous, 2017.

5.2. Calcul des volumes

Comparaison des deux 2 MNT de la zone d'El Kadous (2014-2017)

Le suivi quantitatif des dunes en model 3D a particulièrement pour objectif l'évaluation de la capacité d'adaptation du cordon dunaire à tout changement d'origine naturelle ou anthropique. En fonction de l'évolution de tout le dispositif, qui se manifeste soit par une dégradation soit par un enrichissement en sable, il est donc nécessaire de prendre des mesures préventives pour assurer la protection de ce littoral.

Les MNT résiduels de nos deux zones d'étude obtenus suite à un ensemble d'observations répartis dans l'espace et dans le temps, constituent donc une base d'informations spatio-temporelles nécessaires et importante pour le suivi de la dégradation du littoral d'une manière générale.

L'exploitation des résultats fournis par les MNT résiduels, permet de circonscrire les zones fragiles et sensibles à l'érosion. Ceci constitue une approche éventuelle d'optimisation et de réhabilitation des dunes bordières par la mise en place d'un dispositif de protection et de conservation de celles-ci.

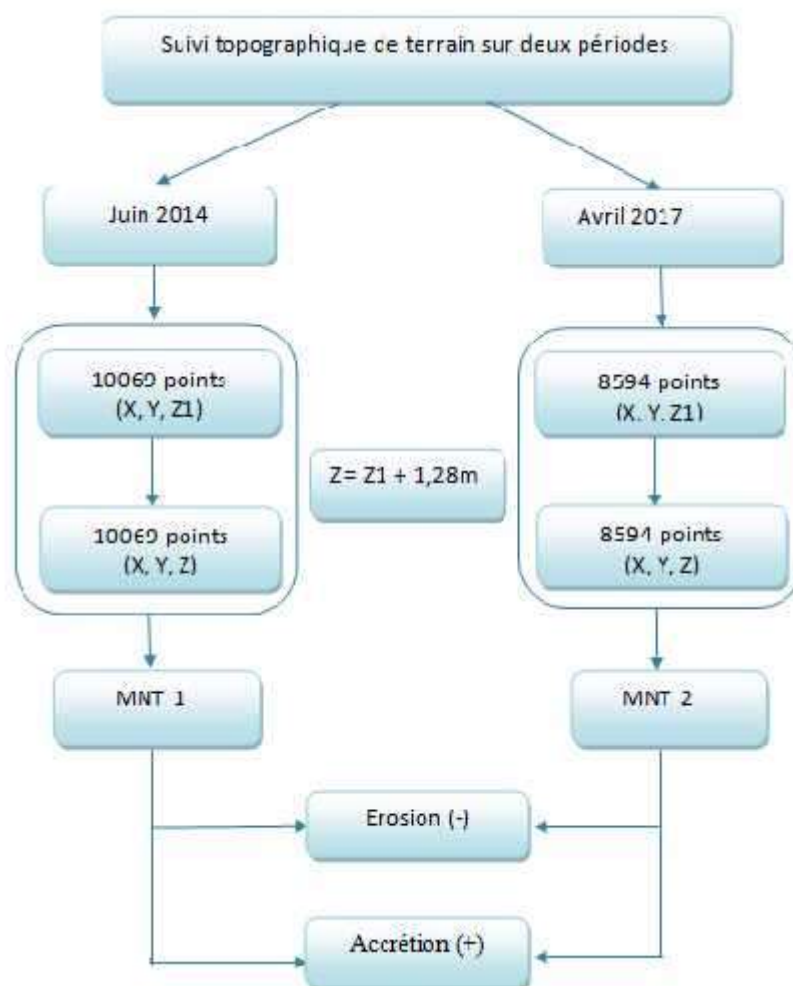


Figure2.37 : Organigramme de la création des MNT du cordon dunaire d'El Kadous pour les deux périodes 2014 et 2017.

Figure 2.38 : Représentation 3D du cordon dunaire d'El Kadous (2014, 2017).

L'utilisation de fonction complexe sur le MNT, permettra également de faire ressortir les zones à risque, concernant les dégradations par un calcul de volume en utilisant le SIG.

Grâce au traitement informatique. Les différentes érosions et le calcul du volume des sédiments perdus sur une surface précise, sont des données que seul le MNT peut fournir.

Afin de quantifier les volumes du cordon dunaire d'El Kadous, une comparaison des deux MNT acquis en 2014 et avril 2017 (soit environ trois ans d'intervalle) a été menée.

Cette opération devrait permettre de mettre en évidence les zones de transfert de matière (zone d'accumulation et zone de départ) les plus importantes sur l'ensemble de notre zone d'étude.

La méthodologie suivie pour le calcul des volumes est représenté dans l'organigramme ci-dessous :

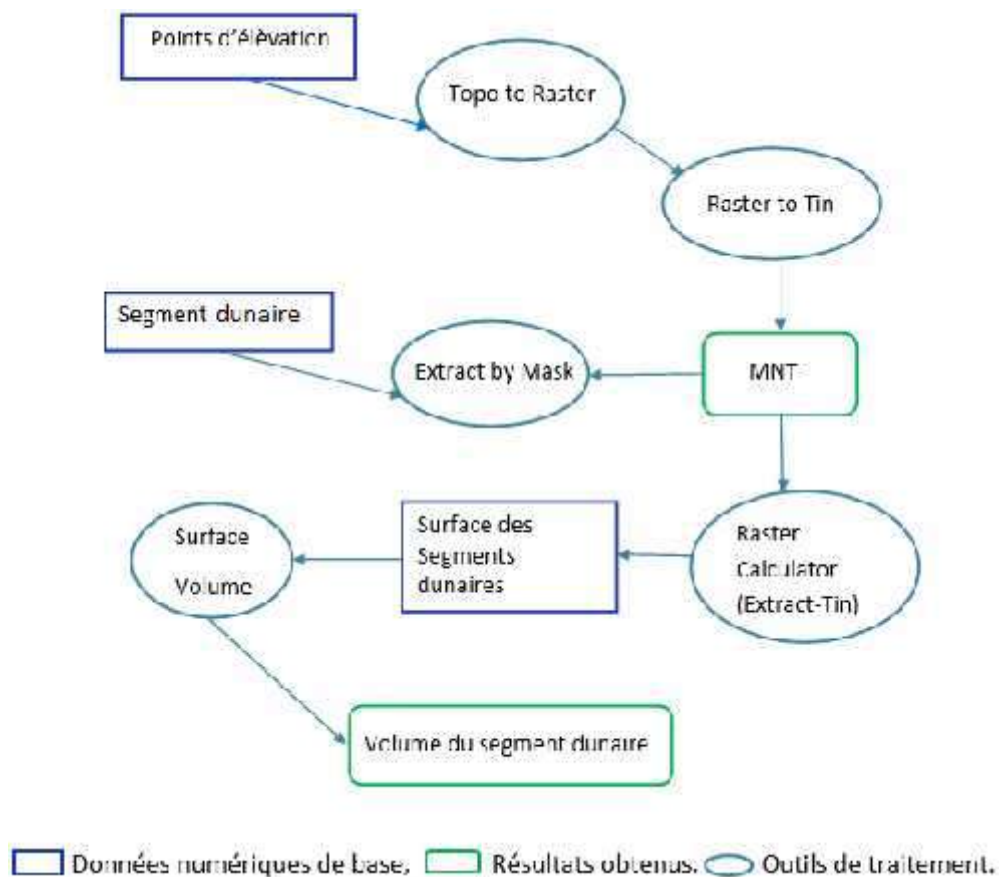


Figure 2.39 : Chaîne d'opérations et étapes à suivre pour une estimation minimale du volume du cordon dunaire.

Les volumes du cordon dunaire d'El Kadous calculés pour les périodes 2014-2017 (Tableau2.8) ont permis d'extraire la quantité perdue en sédiment pendant ces deux dernières années qui représente un taux d'environ -329m^3 .

Tableau2.8 : Bilan sédimentaire du cordon dunaire d'El Kadous entre 2014 et 2017.

Année	Volume (m^3)	Bilan (m^3)
2014	149207	-328
2017	148878	

La présente étude s'est basée sur une approche comparative entre les deux plus grands ensembles dunaires qui subsistent encore sur la côte algéroise notamment le cordon dunaire de Mazafran (commune Zéralda) et celui d'El Kadous (commune de Heraoua), cette approche est adoptée afin de répondre aux objectifs suivants :

- Renseigner sur les tendances évolutives (spatio-temporelles) des deux cordons dunaires en se basant sur des techniques de haute résolution.
- Renseigner sur les tendances évolutives du trait de côte dans une échelle de temps de 58ans pour la zone Est et 45 ans pour la zone Ouest, en élaborant des mesures sur terrain à l'aide d'un appareil topographique d'une résolution centimétrique,
- Effectuer un model numérique de terrain (MNT)
- Evaluer l'état de la vulnérabilité des deux zones d'études qui comprennent les deux cordons dunaires

Pour atteindre ces objectifs et arriver à des résultats pertinents, nous avons essayé de collecter et d'exploiter des données actuelles (ONM, 2016) et d'adopter des approches, des méthodes de travail ainsi que des techniques qui ont prouvé une grande fiabilité et une faisabilité d'étude, en effet nous avons disposé des instruments de mesure et des softwares de haute précision, mis à notre disposition par l'agence de promotion et de protection du littoral de la wilaya d'Alger (APPL), en collaboration avec la quelle nous avons pu élaborer des suivis du trait de côte par un instrument topographique d'une résolution centimétrique le DGPS, durant deux années 2016 et 2017 ; ce sont les point forts qui peuvent contribuer à la pertinence et à l'originalité du travail.

Les résultats obtenus des taux d'évolutions des deux systèmes dunaires lors de ces dernières décennies ont montré que le cordon dunaire de Mazafran est caractérisé par une alternance d'érosion et d'accrétion révélant d'une dynamique naturelle est conservée cela prouve que l'impact de l'activité humaine n'est pas encore irréversible. En revanche le cordon d'El Kadous subit une forte pression anthropique ce qui a induit à une érosion successive.

En ce qui concerne les recommandations, Il est donc possible d'éviter, ou du moins de réduire certains impacts, en agissant dans un contexte global et en mettant en œuvre des mesures d'adaptation et d'atténuation anticipatives, il faut noter que les résultats du travail ont montré un degré avancé de la dégradation de l'environnement littoral des deux zones d'étude, en effet, l'extraction massive et anarchique du sable a conduit à la disparition d'une importante surface du tapis végétal naturel, ainsi qu'à l'ensablement des terres agricoles et à l'inondation de la zone urbanisée située sur la plage.

Devant la faible volonté des responsables locaux de protéger ce milieu et l'augmentation de la demande en sable, les extractions conduiront d'ici quelques années sans doute à l'épuisement des réserves disponibles. Par conséquent, la disparition définitive de telles formes dunaires sera catastrophique pour l'équilibre dynamique et écologique d'une grande partie du littoral algérois.

A cet effet, des mesures d'adaptation devront être prise en considération, en mettant comme objectifs :

- Faire coexister les établissements humains, infrastructures et activités en veillant à la prévention de la dégradation de cet écosystème.
- Maîtriser l'urbanisation.
- Prévenir le recul du trait de côte par l'élaboration d'un suivi continue de son évolution spatio-temporelle.

L'application de ces recommandations demeure très faible. Mise à part la mesure portant sur la maîtrise de l'urbanisation aucune autre n'a été mise en œuvre. Selon nos enquêtes et nos observations sur terrain, les raisons sont de deux ordres, le premier est l'impuissance des pouvoirs publics devant la pression sans cesse croissante de la demande en sable. La seconde est l'ignorance presque totale de la part des responsables locaux de l'intérêt écologique et dynamique des dunes, dans le maintien de l'équilibre fragile de l'écosystème littoral, pour cela nous recommandons donc, une sensibilisation des responsables sur l'importance de ces écosystèmes en renforçant les capacités des prise en charge, ainsi que l'application stricte de la loi littorale et sa révision quant aux mentant des pénalités.

Bibliographie :

AHFIR, Y. et MEZIANE, I. (2016). *Modélisation numérique de la cinématique du trait de côte et la dynamiquesédimentaire des plages sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaïa, Skikda)* Cas d'étude : Sidi Fredj. Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 171p.

BENGOUFA, S. (2016). *Etude et évaluation de l'état de la vulnérabilité du système côtier de la zone Est-algéroise.* Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, pp 78-83.

BENSALEH, A. (2016). *Etude de l'évolution des côtes dans la zone de Douaouda marine.* Mémoire d'ingénieur. Alger : USTHB, 102p.

BOUAKLINE, S. (2009). *Variations historiques de la ligne de rivage et érosion côtière le long de la côte Est algéroise entre Cap Matifou et l'embouchure de l'oued Réghaïa.* Thèse de Magister. Alger : USTHB, 177p.

BOUHAMADOUCHE, M. (1993). *Sédimentologie du plateau continentale Est Algérois (Boumerdes-Boudouaou El Bahri) « Morphologie, Minéralogie, Mécanismes Hydrosédimentaires, érosion et protection du littoral ».* Thèse de Magister. Alger : Université des sciences et de la Technologie HB, 195p.

BOUTIBA, M. (2006). *Géomorphologie dynamique et mouvements des sédiments le long de la côte sableuse jijilienne (Est Algérie) :* Thèse de doctorat. Science de la terre. Alger, 177p.

FEVENNEC, J.et al. (2007). *Évolutions de la gestion des dunes.* Document non publié. France : ONF. pp 23-25.

GILLET, C. (2015). *Evaluation des modes de gestion des cordons dunaires domaniaux au regard des attentes liées à la multifonctionnalité exigée.* Mémoire d'ingénieur. France : CFR Rennes, 87p.

JUAN, B. et al. (2012). *Conservation des dunes côtières : Restauration et gestion durables en Méditerranée occidentale.* Document publié. France : UICN.

LARID, M. (2008). *La zone côtière humide de Réghaïa dans le littoral Est-algérois (Algérie) : contribution méthodologique à son plan de gestion..* Paris : CyberGeo programme européen de la géographie.

LELE ISSA HALIDOU, A. (2012). *Structure et évolution du bassin offshore de Bousmail.* Thèse Magister. Alger, pp 16-17.

LEM. (2006). *Etude de délimitation d'une zone d'extraction de sable zone Est-algéroise :* Rapport d'activité. Document non publié. Alger : Laboratoire des études maritimes.

MARC, R. (2002). *Étude des risques côtiers sous l'angle de la géomatique.* Annales de Géographie, VOL. 111, n°627-628.

- MEDDE. (2012).** Ministère de L'Ecologie, du Développement Durable de L'Energie : *Dynamique des systèmes littoraux et des milieux marins côtiers. Synthèse.* pp 8-9.
- Ministère chargé de l'environnement -PAP RAC/PAM. (2015).** *Stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières en Algérie.* (Appui PAM-MedPartnership, UNESCO).
- NADIR, M. (2016).** *Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj.* Mémoire d'ingénieur. Alger : ENSSMAL, 145p.
- PASKOFF, R. (2002).** *La conservation des dunes littorales s'implique-t-elle leur stabilisation ? : L'exemple de la côte atlantique.* Coastal dune Fields in Atlantic Europe: towards a dynamic conservation.
- PASKOFF, R. (1992).** *Les dunes littorales.* Annales de Géographie, vol. 101, n°563. Paris : Armand Colin pp 97-99 : < http://www.persee.fr/doc/geo_0003_4010_1992_num_101_563_21071_t1_0097_0000_2
- POSIDuNE. (2007).** *Interactions de Posidonia oceanica et Sable avec l'Environnement des Dunes Naturelles : Manuel pour la caractérisation et l'aménagement des dunes côtières.* 6-21p.
- Programme d'Aménagement Côtier, (PAC). (2006).** «Zone côtière algéroise». Rapport final.
- Robin, M. et al. (2013).** Observatoire du littoral des pays de Monts.
- SUANEZ, S. et PROVANSAL, M. (1993).** *Étude des modifications morpho sédimentaires du littoral à l'embouchure du Rhône : plages de Piémanson et Napoléon.* In: Méditerranée, tome 78, 3-4-1993. La Camargue et le Rhône, hommes et milieux. pp 43-56; doi : 10.3406/medit.1993.2834.
- Yves Petit-Berghem. (2012).** *Forêt et conservation des dunes littorales : le cas exemplaire de la Réserve biologique domaniale de la Côte d'Opale (Pas-de-Calais).* France. pp 12-16.

Tableau n°5.1: Fiche technique du DGPS

Utile sur	tout type de plages	côte rocheuse	zone humide
Permet d'obtenir	profile	trait de côte	MNT
Fréquence de suivi	jours	mois	années
Précision/Résolution	cm	dm	m
Coût	faible	moyen	fort
Compétences techniques	non	oui	spécialistes
Principaux avantages	Rapidité des mesures, précision, sous-traitement au près d'un opérateur non expert du littoral		
Principaux inconvénients	Coût et achat, problèmes possibles de signal satellite et radio		
Autre information	Coupler avec repères de terrain		

Tableau n°5.2 : Fiche technique des images satellitaires

Utile sur	tout type de plages	côte rocheuse	zone humide
Permet d'obtenir	profile	trait de côte	MNT
Fréquence de suivi	jours	mois	années
Précision/Résolution	cm	dm	m
Coût	faible	moyen	fort
Compétences techniques	non	oui	spécialistes
Principaux avantages	Rapidité des mesures, précision, sous-traitement au près d'un opérateur non expert du littoral		
Principaux inconvénients	Coût et achat, problèmes possibles de signal satellite et radio		
Autre information	Coupler avec repères de terrain		

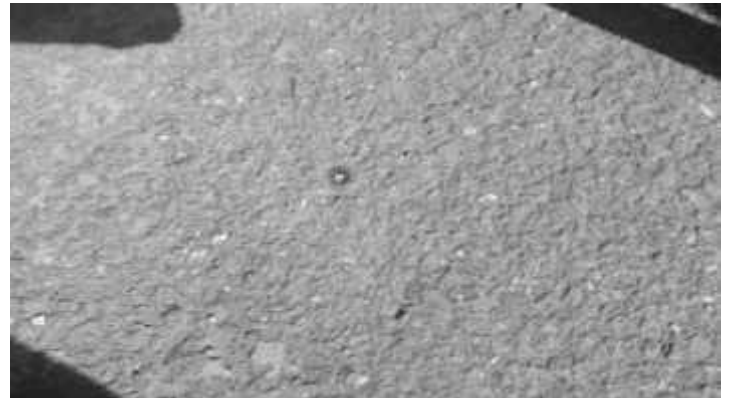
Tableau n°5.3 : Fiche techniques sur les photographies aériennes verticales

Utile sur	tout type de plages	côte rocheuse	zone humide
Permet d'obtenir	profile	trait de côte	MNT
Fréquence de suivi	jours	mois	années
Précision/Résolution	cm	dm	m
Coût	faible	moyen	fort
Compétences techniques	non	oui	spécialistes
Principaux avantages	Rapidité des mesures, précision, sous-traitement au près d'un opérateur non expert du littoral		
Principaux inconvénients	Coût et achat, problèmes possibles de signal satellite et radio		
Autre information	Coupler avec repères de terrain		

Tableau n°5.4 : Calendrier des sorties sur terrain

Date (Mission)	Plage	Matériel utilisé	But
04/02/2017	El Kadous	/	Diagnostique des lieux
07/03/2017	Oued Mazafran Kheloufi 1	/	Diagnostique des lieux
16/03/2017	Complexe touristique	DGPS	Trait de côte
20/03/2017	Kheloufi 2	DGPS	Profil des dunes (Partie 1)
22/03/2017	Kheloufi 2	DGPS	Profils des dunes (Partie 2)
27/03/2017	Familiale 1	DGPS	Profil des dunes (Partie 3)
29/03/2017	Kheloufi 1 Kheloufi 2 Familiale 1 Familiale 2	DGPS	Traits de côte
10/04/2017	El Kadous	DGPS	Profil des dunes (Partie 1)
10/04/2017	Surcouf Déca Plage El Kadous Réghaia	DGPS	Traits de côte
24/04/2017	El Kadous	DGPS	Profil des dunes (Partie 2)
03/05/2017	El Kadous	DGPS	Profil des dunes (Partie 3)

Matériels





Zone El Kadous



Zone de Mazafran



FICHE TECHNIQUE RELATIVE AU REJET : OUED SIDI MENIF



- **Commune** :Zéralda.
- **Plage** : Kheloufi 2.
- **Origine du rejet** : Oued Sidi Menif et Oued Yassouel.
- **Situation géographique** : Prés de la plage Kheloufi 2.
- **Déversement** : A ciel ouvert directement en mer.
- **Débit** : Important.
- **Nature du rejet** : Eaux usées et pluviales, les eaux des branchements illicites.
- **Provenance des sources du rejet** : Hauteurs de Zeralda, et une partie de Mahalma.
- **Nature d'écoulement** :Permanent.
APPL, 2017.

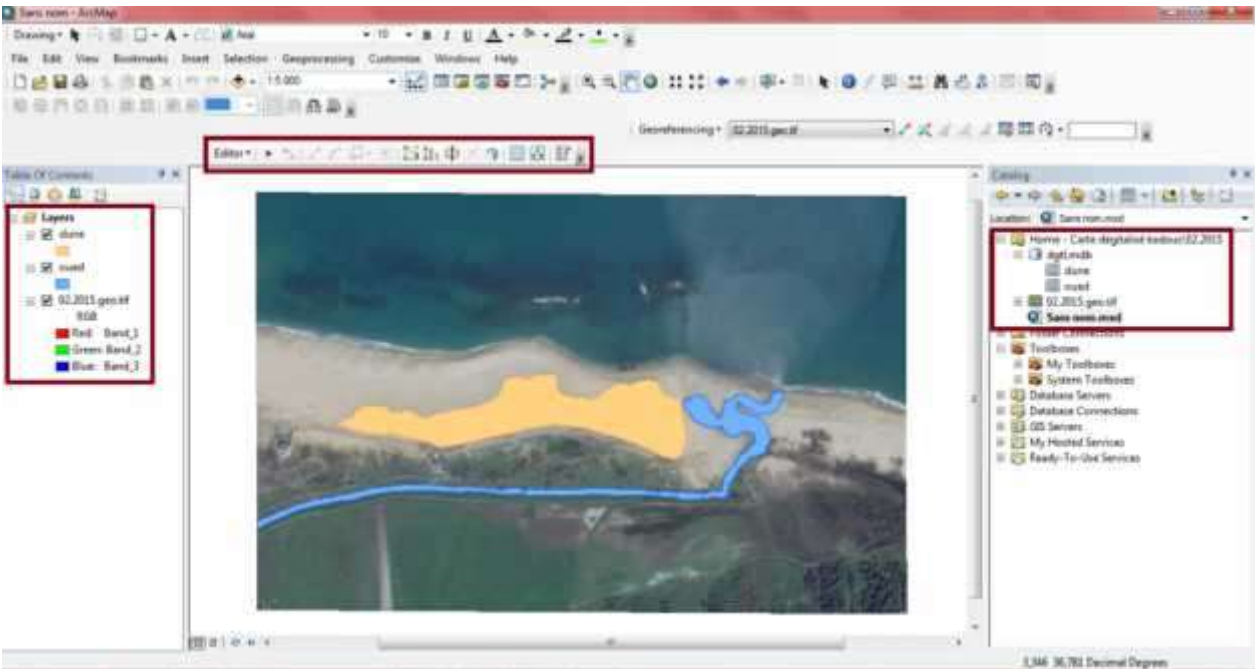
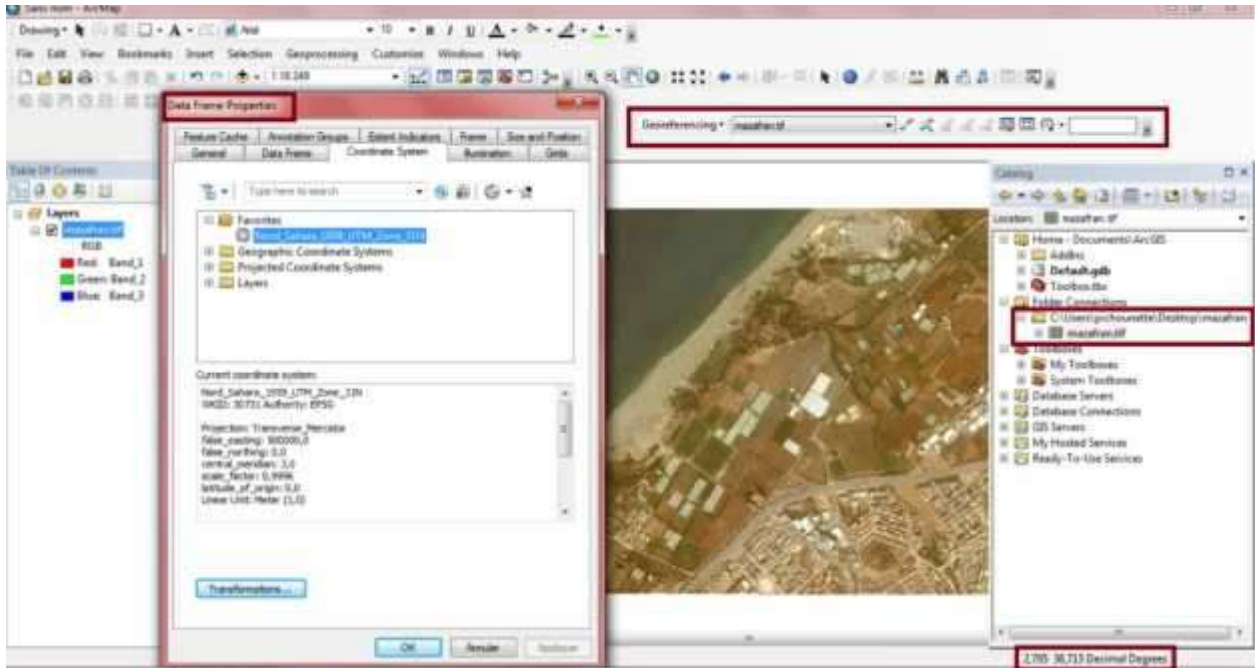
Tableau n°5.5 : Les plages Est de la Wilaya d'Alger

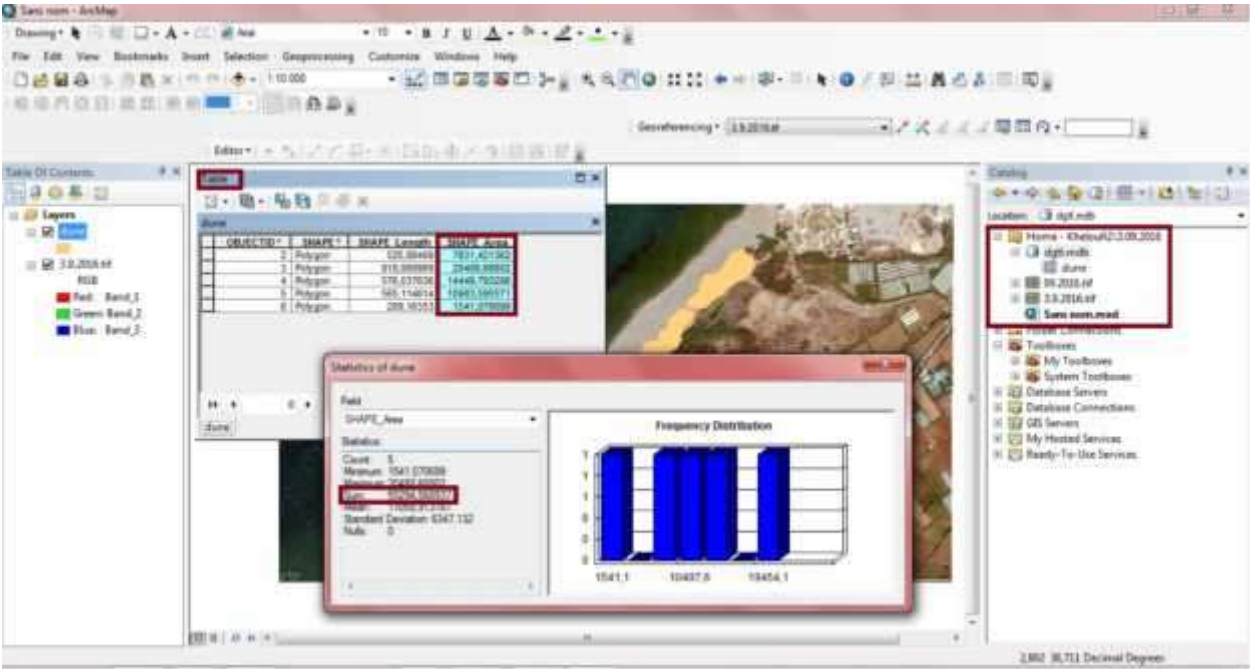
Nom de la plage	Caractéristiques de la plage	Commune
Réghaia	1500m de long, 40m de large, sable fin	Rehaia
El Kaddous	2000m de long, 50m de large, sable fin	Heuraoua
Deca plage	2000m de long, 50m de large, sable grossier	Ain Taya
Surcouf	600m de long, 10 m de large, sable moyen. Quatre brise-lames en cours de construction	Ain Taya
Tamaris	760m de long, 40m de large, sable moyen	Ain Taya
Kef Ain Taya	60m de long, 10m de large, sable fin	Ain Taya
Ain El Beida	800m de long, 8m de large, sable moyen	Ain Taya

Tableau n°5.6 : Les plages Ouest de la Wilaya d'Alger :

Nom de la plage	Caractéristique de la plage	Commune
Plage Sable d'Or	Longue de 250m par 100m de large cette plage est constituée de sable fin	Zéralda
Plage du Complexe touristique de Zéralda	Cette plage est constitué de deux entités ; une première entité sud d'une longueur de 650m environ protégée par des ouvrages (3 brise-environ et un épi en L) et une seconde partie nord encore à l'état naturel. Le littoral entre les brise-lames montre des tombolos bien marqués.	Zéralda
Champ de Tir	Longue de 750m et large de 50 à 80m selon l'occupation du sol, cette plage est constituée du sable.	Zéralda
Plage Familiale	Longue de 1400m cette plage est de sable est large. Les aménagements urbanistiques en haut de plage sont limités.	Zéralda
El Kheloufi II	Longue de 1000m et large de 120m en moyenne, cette plage de sable est adossée à un massif dunaire plus ou moins en bon état.	Zéralda
El Kheloufi I	Longue de 630m et large de 120m en moyenne. Cette plage de sable est adossée à un massif dunaire plus ou moins en bon état.	Zéralda

Calcul des surfaces des cordons dunaires.





Résumé :

Les écosystèmes dunaires côtiers sont des espaces d'une importance capitale pour l'équilibre de la zone côtière ; ils participent au maintien de la stabilité du trait de côte, Ils constituent de ce fait un important réservoir de sédiment. Mobiles de natures, les dunes sont connues pour leurs variabilités naturelles dans le temps et dans l'espace. Néanmoins, ces dernières font face à de nombreuses pressions anthropiques ; Urbanisation anarchique, extraction de matériaux...etc.

Au niveau de la zone algéroise, deux grands ensembles dunaires subsistent encore : le cordon dunaire de Mazafran (commune de Zéralda) et celui d'El Kadous (commune de Heraoua). Ces derniers sont actuellement aussi soumis à de nombreuses pressions, mettant ainsi en péril leur durabilité.

Ce modeste travail constitue une contribution à un thème de recherche orienté vers l'évaluation et la prédiction de la vulnérabilité, du système littoral algérois, en vue d'une gestion des risques. L'objectif principal, vise principalement à la compréhension des processus d'évolution du système dunaire et l'étude des leurs dynamiques d'évolutions.

Mots clés : Littoral, écosystèmes, cordon dunaire, houle, évolution surfacique, évolution planimétrique, modèle numérique de terrain (MNT), transport éolien.

Abstract:

Coastal dune ecosystems are spaces of critical importance for the balance of the coastal zone; they contribute to the maintenance of the stability of the coastline. They therefore constitute an important reservoir of sediment. Mobiles of natures, dunes are known for their natural variability in time and space. Nevertheless, they face many anthropogenic pressures; Urbanization anarchic, extraction of materials ... etc.

At the level of the Algerian zone, two large dune complexes still exist: the dune cordon of Mazafran (commune of Zéralda) and that of El Kadous (municipality of Heraoua). The latter are also currently subject to numerous pressures, thus endangering their sustainability.

This modest work constitutes a contribution to a research theme oriented towards the evaluation and the prediction of the vulnerability, of the Algiers coastal system, with a view to risk management. The main objective is mainly to understand the processes of evolution of the dune system and the study of their dynamics of evolutions.

Key words:

Coastline, ecosystems, dune cord, swell, surface evolution, planimetric evolution, digital terrain model (DTM), wind transport.