

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL



Préparé par :

➤ DAIRI Mohamed

Soutenu le 06/11/2014 devant le jury suivant :

<b>Mr. GUERFI.M</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Président</b>
<b>Mr. HEMDANE.Y</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	<b>Promoteur</b>
<b>Mr. MEZOUAR.K</b>	Maître de conférences B (ENSSMAL)	<b>Examineur</b>

---

## *Remerciements*

*Au terme de ce travail nous tenons vivement à remercier toutes les*

*Personnes qui ont contribués de prêt ou de loin à la réalisation de ce*

*Modeste mémoire.*

*Nos plus vifs remerciement à :*

*Monsieur Hemdane.Y, maître de conférences(ENSSMAL) pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Monsieur Guerefi.M, maître de conférences(ENSSMAL) qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de ce jury.*

*Monsieur Mezouer.K, maître de conférences(ENSSMAL) pour avoir accepté d'examiner ce manuscrit et de participer à ce jury.*

*Notre profonde reconnaissance au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL.*

*Nous sommes reconnaissants à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et à toute personne qui nous a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici notre gratitude et un petit fruit de leurs sueurs.*

---

*Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*A mes chers parents, qui se sont toujours soucies de mes Intérêts.*

*Amon frère fouad et mes sœurs*

*A toute ma famille.*

*Et à tous mes amis : Walid, yakoub, moh, Khaled, howari, lmazoni, michmich, nadjeb, adjal, kouider, hocine, chref, moussa, yacine, maïdi, islam, smail, hamza, kaci, Zaki, Aziz, babay.....*

*warda, nora, Mahdjouba, soma, witcha, radia, aïcha, khaldia, milina, lynda .....*

*A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin.*

*A toute ma famille.*

*Et à tous ceux qui m'aiment.*

*Mohamed.*

# **Les listes**

## Liste des figures

---

<b>Figure.1</b> : Situation géographique de la zone d'étude (Source Google Earth) .....	16
<b>Figure.2</b> : Situation géographique de la plage El Kaddous (Source APPL).....	17
<b>Figure.3</b> : Profils réalisés, le long de la zone d'étude .....	17
<b>Figure.4</b> : Histogramme de température moyenne mensuelle (mm) de la zone de Réghaia (1971-2004) Source ANRH .....	19
<b>Figure.5</b> : Situation géographique de la zone d'étude (Source Google Earth) .....	25
<b>Figure.6</b> : Représentation des axes de mesure sur une photo Aérienne 1/20000.....	31
<b>Figure.7</b> : Localisation des transects de mesure de plage El Kaddous (Fond de carte, photographie aérienne 1972) .....	32
<b>Figure.8</b> : Evolution de trait de côte de plage El Kaddous (1972,1980 ,2003 ,2011) .....	33
<b>Figure.9</b> : Carte bathymétrie la zone d'étude (Levés réalisés en aout 2007, source projet AMIS, 2007) .....	35
<b>Figure 10 et 11</b> : Microfalaise au niveau du trait de côte partie Est de la plage El Kaddous.....	36
<b>Figure 12 et 13</b> : La dune bordière du secteur Est de la plage El Kaddous.....	36
<b>Figure.14</b> : Formation d'une dune bordière (Paskof, 2003) .....	37
<b>Figure.15</b> : Végétation de la dune bordière (plage El Kaddous).....	37
<b>Figure.16</b> : pratique du pâturage anarchique (plage El Kaddous).....	38
<b>Figure.17</b> : Végétation de la dune bordière (Plage ElKaddous).....	39
<b>Figure.18</b> : La zone de rechargement de plage El Kaddous (Source Google Earth) .....	41
<b>Figure.19</b> : Illustration de la zone de rechargement de plage El Kaddous .....	42
<b>Figure.20</b> : Positionnement des profils de mesure de plage El Kaddous (Le fond de la carte, une image satellitaire de Google Earth) .....	43
<b>Figure.21</b> : Profil de rechargement P1 .....	44
<b>Figure.22</b> : Profil de rechargement P2 .....	45
<b>Figure.23</b> : Profil de rechargement P3 .....	46
<b>Figure.24</b> : Courbe granulométrique d'échantillon naturel .....	48
<b>Figure.25</b> : Histogramme d'échantillon naturel .....	49
<b>Figure.26</b> : Courbe granulométrique d'échantillon d'apport .....	49

## Liste des figures

---

## Liste des figures

---

<b>Figure.27</b> : Histogramme d'échantillon d'apport .....	50
<b>Figure.28</b> : Isolignes du facteur d'apport initial RA (James, 1975) .....	52
<b>Figure.29</b> : Isolignes du facteur entretien Rj (JAMES1975 in SPM 1977) .....	53
<b>Figure.30</b> : Hauteur maximale de déferlement en fonction de la profondeur en pied de l'ouvrage (D'après Waggel, 1972) .....	56
<b>Figure.31</b> : Profil du brise-lame immergé proposé pour plage El Kaddous .....	58
<b>Figure.32</b> : Profil de musoir du brise-lame proposé pour plage El Kaddous .....	58
<b>Figure.33</b> : Cloturage des dunes par les ganivelles (WordPress.com).....	60
<b>Figure.34</b> : Sentier dunaire (participez.com).....	61
<b>Figure.35</b> : Illustration du plan d'aménagement du littoral sableux d'El Kaddous .....	61

## Liste des tableaux

---

<b>Tableau.1</b> : Température moyennes mensuelles (mm) de la zone de Réghaia (1970 2004): Source ANRH .....	19
<b>Tableau.2</b> : Fréquences d'apparition de la houle, toutes amplitudes confondues, (en%)..	20
<b>Tableau.3</b> : évolution démographique de Heraoua (Source : ONS) .....	22
<b>Tableau.4</b> : évolution démographique de Ain Taya (Source : ONS) .....	23
<b>Tableau.5</b> : Evolution de trait de côte (1972,1980 ,2003 ,2011).....	34
<b>Tableau.6</b> : Fractils et indices granulométriques de deux échantillons .....	47
<b>Tableau.7</b> : Conversation des diamètres en millimètres en unités Phi ( $\Phi$ ) .....	48
<b>Tableau.8</b> : Relations entre les médianes et les écarts types des matériaux naturels et des matériaux d'apport (Source SPM, 1977) .....	51

## Liste des cartes

---

- Carte.1 :** Situation de la plage El Kaddous (Fond de carte réalisé à partir de la carte topographique 1/25 000, Alger NJ-31-IV-14 Ouest, 1987) ..... 26
- Carte.2 :** Schéma de la situation de la réserve naturelle de Réghaia (Réalisée à partir de la carte topographique 1 /50 000, Alger NJ-31-IV-1 Est, 1987) ..... 27

## Liste des abréviations

---

**A.N.A.T:** Agence Nationale d'Aménagement du Tourisme.

**CCR:** Centre Cynégétique Réghaia.

**CIESM:** Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique pour la Méditerranée.

**ENG:** Entreprise Nationale de Granulat.

**ANRH:** Agence Nationale des Ressources Hydrauliques.

**INCT:** Institut National de Cartographie et de la Télédétection.

**LEM:** Laboratoire des Etudes Maritimes.

**ONM:** Office National Météorologique.

**DGF:** Direction Générale des Forêts.

**ONS:** Office National de Statistique.

**PAC:** Plan d'Aménagement Côtier.

**A.F.N.O.R:** Association Française de Normalisation.

**APPL:** Agence Nationale de Protection et de Promotion de Littoral.

**SHOM:** Service Hydraulique et Océanographique de la Marine.

**C.E.R.C:** Coastal Engineering Research Center.

**L.C.H.F:** Laboratoire Central Hydraulique de France.

**ZET:** Zone d'Extension Touristique.

# **Sommaire**

# Sommaire

---

**Introduction générale** .....

## **CHAPITRE I : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

1. Situation géographique de la zone d'étude.....
2. La plage d'El Kaddous .....
3. La géologie régionale .....
4. Topographie.....
5. Les données climatiques .....
- 5.1. Le climat .....
- 5.2. La Température .....
- 5.3. Les vents .....
- 5.4. La houle .....
- 5.5. L'évaporation .....
6. Equipements et autres aspects socio-économiques .....
- 6.1. Le centre Cynégétique de Réghaïa (CCR).....
- 6.2. La station d'épuration de Réghaïa .....
- 6.3. Les activités industrielles.....
- 6.4. Le tourisme.....
- 6.5. L'agriculture.....
- 6.6. Population et agglomération urbaine.....

## **CHAPITRE II : Méthodologie**

1. Généralités sur la plage el kaddous .....
- 1.1. Localisation et situation géographique .....
- 1.2. Analyse du site par rapport à la région .....
2. Aspects méthodologiques .....
3. Les principes d'aménagement .....
4. Utilisation de Mapinfo .....

## **CHAPITRE III : Résultat et discussion**

1. Evolution de trait de côte.....
2. La bathymétrie .....
3. synthèse sur les variations de trait de côte (1972-2011) .....
4. La dune bordière .....
5. Le rôle des dunes littorales .....
6. Description de la dune d'El Kaddous .....
- a. Etat ancien .....
- b. Etat actuel .....
7. L'alimentation artificielle de plage el kaddous .....
- 7.1. Les principes de rechargement .....
- 7.2. Les conditions de rechargement .....

# Sommaire

---

7.1. Les étapes de rechargement .....	
7.1.1. Le site de rechargement .....	
7.1.2. Les paramètres de rechargement .....	
7.1.3. Calcul le volume de rechargement .....	
7.1.4. Vérification de la stabilité de remblai .....	
7.1.5. Calcul le volume réel de rechargement .....	
7.2. Estimation de volume de rechargement périodique .....	
8. Les contraintes de rechargement .....	
9. Disposition de brise – lame .....	
9.1. L’objectif du brise-lame immergé .....	
9.2. Dimensionnement .....	
9.2.1. Longueur de l’ouvrage par rapport à la côte .....	
9.2.2. Longueur et espacement .....	
9.2.3. Hauteur de la houle au pied de l’ouvrage .....	
9.2.4. La hauteur de brise lame .....	
9.2.5. La largeur de la berme de brise-lame .....	
9.2.6. Stabilités des ouvrages de protection .....	
10. L’impact du brise-lame .....	
11. Restauration et conservation de la dune bordière .....	
<b>Conclusion générale</b> .....	
<b>Références bibliographique</b>	
<b>Annexes</b>	

# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

La côte est une position momentanée de la ligne de rivage ; qui peut avoir laissé vers la mer ou vers la terre des traces plus anciennes.

Aujourd'hui les côtes sableuses constituent l'attraction favorite des gens, surtout en période estivale, pour se reposer ou se divertir. Ces plages qui sont un patrimoine à préserver connaissent d'importants problèmes d'érosion. Selon Paskoff (1984) et Pirazzoni (1997), environ 80% des côtes à l'échelle mondiale sont en voie d'amaigrissement.

La proximité de la mer a toujours attiré l'homme. La zone côtière lui a particulièrement offert, la possibilité d'exercer des activités économiques et sociales nécessaires à son évolution et son développement (transport, commerce, pêche, agriculture...) mais aussi un cadre pour sa détente et ses loisirs.

Les plages, en particulier, qui représentent le fondement du tourisme balnéaire si développé aujourd'hui, sont dynamiques par leur nature même, mais aussi très sensibles aux nuisances humaines et aux perturbations que les aménagements introduisent.

Parmi les actions retenues par la programme d'action, notre choix s'est porté sur celle qui consiste en la « **réhabilitation de la zone côtière sableuse** », plus précisément de la plage El Kaddous et de sa dune bordière.

- Le premier chapitre comprendra le cadre général, le contexte naturel et anthropique du projet de la méthodologie générale de son analyse de durabilité.
- Le deuxième chapitre est destiné à la méthodologie.
- Le troisième chapitre porte sur une étude de la plage El Kaddous, pour laquelle nous avons effectué une approche morpho sédimentaire (étude de l'évolution du trait de côte et des profils aériens transversaux, ainsi qu'une analyse sédimentologique). On achèvera notre travail par une réflexion sur les perspectives d'aménagement et de protection, à savoir la restauration de la dune bordière et l'alimentation artificielle de la plage El Kaddous, afin de minimiser les effets dégradants et créer un milieu de loisirs qui puisse répondre au confort des baigneurs, tout en préservant l'équilibre naturel du site.

# **Chapitre I : Présentation de la zone d'étude**

## 1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone côtière sableuse étudiée (plage du Kaddous) est située à 30 km à l'est d'Alger à la limite nord-est de la plaine de la Mitidja et à 14 km de Boumerdes (Figure n°1) Elle s'incruste dans la zone littorale de Réghaia, et s'étend sur un espace sensible d'une superficie de 881 Hectares compris entre Les longitudes 3° 18' 30'' et 3° 21' 30'' Est; latitude 36° 45' et 36° 48' Nord. Cette région côtière bio-stratégique, en tant que zone humide d'importance écologique de dimension internationale (inscrite dans la liste des sites RAMSAR) est bordée :

- Au nord par la Mer Méditerranée.
- Au sud par la route nationale 24 reliant Alger à Constantine.
- A l'est par la ville de Boudouaou.
- A l'ouest par la ville d'Aïn Taya.



**Figure.1** : Situation géographique de la zone d'étude (Source Google Earth).

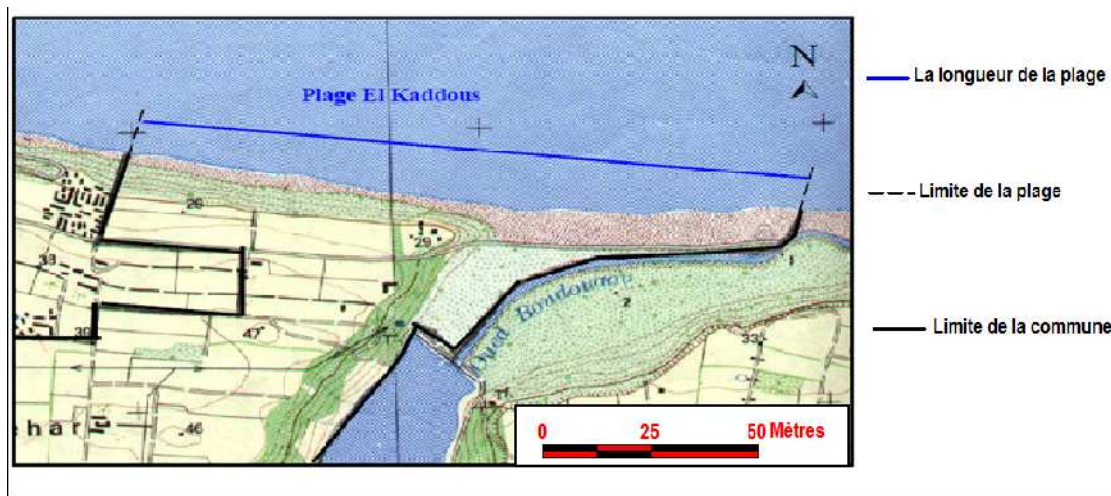


Figure.2 : Situation géographique de la plage El Kaddous (Source APPL).

## 2. LA PLAGE D'EL KADDOUS

Les plages à dominance sableuses sont presque inexistantes; elles sont constituées d'alluvions actuelles, mélangées à des débris d'organismes marins et des sables rubéfiés provenant des reliefs environnants (les falaises et les oueds).

La plage d'El Kaddous C'est une côte sableuse quelle est un peu plus importante, avec une longueur de 4.5 km et une largeur qui atteint les 300m sur certains endroits, les pentes sont faible; 3 à 5 %.

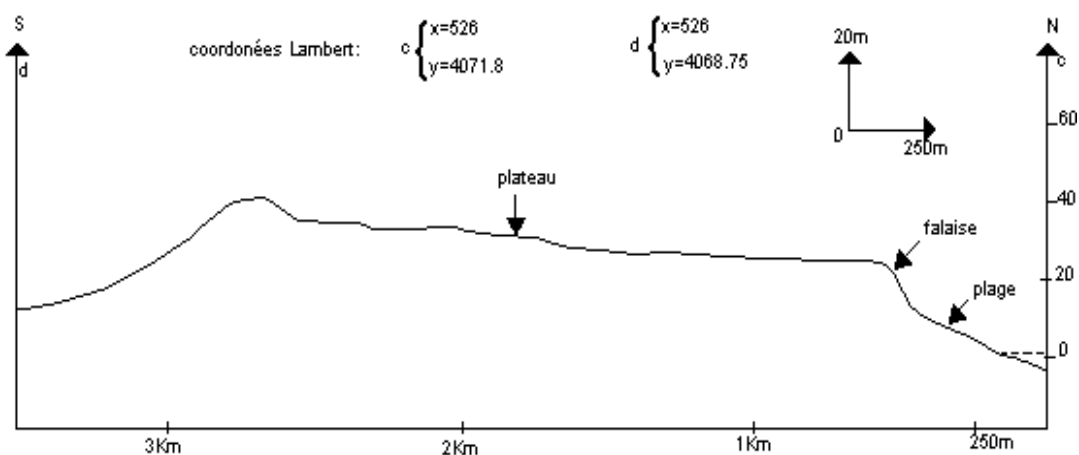


Figure.3 : Profils réalisés, le long de la zone d'étude.

### 3. LA GEOLOGIE REGIONALE

La côte Est algéroise, appartient au Tell septentrional, qui fait partie des Magribides.

Notre zone d'étude, située au Nord Est de la plaine de la Mitidja, se caractérise par un synclinal néogène de dépôts fins du miocène et du plio-quadernaire (Rivoirrad, 1952). Cette formation géologique est passée par un plissement puis un remblaiement (Mutin, 1977).

Les Principaux faciès géologiques sont de type alluvionnaire et marécageux, ceux datant du quadernaire récent et actuel se composent de dépôts marins et lacustres, d'alluvions récents caillouteux et limoneux, de dunes consolidées, de lumachelles à pétoncles, de poudingues et de grès marins, de sable argileux et d'alluvions anciens datant du quadernaire.

### 4. TOPOGRAPHIE

La topographie de la zone d'étude est formée de quatre plateaux à configuration variée :

- **Plateau Ouest** : situé dans la commune de Heraoua, constitué de falaises à pente plus ou moins abrupte, aboutissant à la plage.
- **Plateau Est** : aboutissant à la plage de Réghaïa, une falaise le séparant de la plage.
- **Plateau Sud** : formé de terrasses se terminant au sud de l'oued Réghaïa par des marécages.
- **Plateau central** : constitué par la zone de l'oued Réghaïa et formé par deux mini-bassins versants, l'un à l'est où se trouvent les domaines agricoles Saidani et Ali Khodja, et l'autre à l'ouest où se trouvent le domaine agricole Boudhane et le douar Ain El Kahla.

### 5. LES DONNEES CLIMATIQUES

#### 5.1. Le climat

Le climat est l'élément le plus décisif du milieu, il constitue un facteur majeur dans la morphodynamique et les processus d'érosion. Il est nécessaire d'analyser les paramètres climatiques tels que les températures, les précipitations et les vents.

## 5.2. La Température

Le manque de stations météorologiques dans notre zone d'étude nous a conduits à prendre la station de Réghaia (tableau.1).

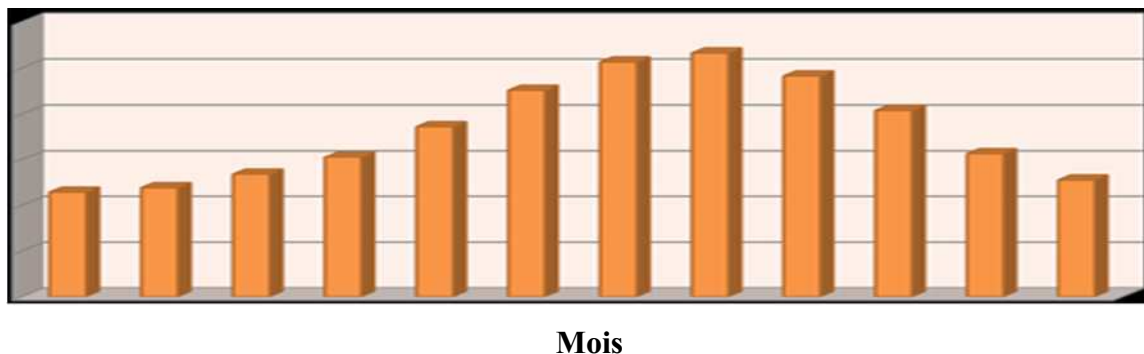
L'analyse des données de précipitation enregistrées sur une période allant de (1970 à 2004) nous a permis de réaliser les histogrammes de variations mensuelles des pluies .

D'après cette figure on constate :

- Les températures sont très élevées pendant la saison estivale (mai - octobre), elles atteignent le maximum au mois d'août 26.58°C, elles sont faibles à modérées durant la période allant du mois de novembre à mars.
- La température minimale est enregistrée au mois de janvier et n'excède pas les 10°C.

**Tableau.1** : Température moyennes mensuelles (mm) de la zone de Réghaia (1970-2004) : (Source ANRH).

MOIS	JAN	FEV	MAR	AVR	MAI	JUN	JUIL	AOUT	SEP	OCT	NOV	DEC	Année
T(C°) moyenne	11,46	11,87	13,34	15,21	18,55	22,51	25,58	26,58	24,09	20,29	15,65	12,70	18,15



**Figure.4** : Histogramme de température moyenne mensuelle (mm) de la zone de Réghaia (1971-2004) Source ANRH.

## 5.3. Les vents

L'analyse des données du **S.S.M.O** (Summary Synoptic Meteorological Observations) nous a permis de réaliser trois roses de vents ; deux saisonnières et une annuelle. L'analyse des roses semestrielles montre :

\* Pour la période estivale qui va du mois d'avril au mois de septembre, les vents dominants proviennent des secteurs Nord-Est et Est avec des fréquences respectives de 15.9% et 18%.

Les vents forts, avec des vitesses comprises entre 22 nœuds et 33 nœuds proviennent essentiellement du secteur Nord.

\* Pour la période hivernale allant du mois d'octobre au mois de mars, les vents soufflent des secteurs Ouest, Nord, et Sud-Ouest avec des fréquences respectives de 18.30%, 7.5%, 11.7%. Les vents du secteur Ouest sont forts, les vitesses enregistrées restent supérieures à 48noeud.

\* La rose annuelle montre deux secteurs dominants : Les secteurs Est à Nord Est et Ouest à Nord-Ouest.

Les vents des deux secteurs sont appréciables par leurs fréquences et par leurs vitesses, néanmoins les forces du second secteur sont plus importantes (34 à 37 noeuds).

#### 5.4. La houle

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 données directes sur la région d'études étant inexistantes, l'U.S Naval Weather Service a relevé 45000 observations de 1963 à 1970 soit huit ans, au large des côtes algéroises (même coordonnées que celle des données du vent).

Ces données sont regroupées dans le tableau 2.

**Tableau.2** : Fréquences d'apparition de la houle, toutes amplitudes confondues, (en%).

Direction Mois	Nord-ouest	Nord	Nord-est
Janvier	7.3	8.1 (4.1)	12.9
Février	5.6	8.8 (2.8)	10.3
Mars	9.2 (1.3)	11.3 (3.8)	12.6
Avril	10.2	11.7	15.4
Mai	6.2	8.2 (2.5)	26.3
Juin	4.2	9.2	29.1
Juillet	2.0	5.9	32.5
Août	4.9	8.8	27.7
Septembre	2.5	6.7	26.4
Octobre	6.8 (1.3)	7.8	14.1
Novembre	9.4 (2.3)	5.5	5.8
Décembre	10.0 (2.9)	10.2 (1.4)	6.2
Annuel	6.6 (0.09)	8.5 (0.12)	18.3 (0.12)

Source : US.NWS (1963-1970)

### 5.5. L'évaporation

L'évapotranspiration potentielle (ETP) mensuelle estimée en utilisant la formule de Pennam (ONM, 2005) montre de fortes valeurs d'ETP pendant la saison estivale (mai à septembre). Allant de 100 à 160mm. Les valeurs annuelles d'ETP calculées correspondent à la valeur de 1000mm rapportée dans la bibliographie (Boukhara, 1991). Les variations d'ETP mensuelles.

## 6. EQUIPEMENTS ET AUTRES ASPECTS SOCIO-ECONOMIQUES

### 6.1. Le centre Cynégétique de Réghaïa (CCR)

Le Centre Cynégétique (créé le 8 janvier 1983 – par décret 83/75) est un établissement public à caractère administratif doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Ses missions sont :

- La production des espèces cynégétiques ou exotiques en vue d'enrichir le patrimoine national.
- La promotion et le développement de l'activité cynégétique par la sélection des espèces cynégétiques locales.
- L'introduction de nouvelles espèces et leur acclimatation.
- La participation à l'organisation des lâchers et le suivi des espèces dans le milieu naturel pour tirer les conséquences sur l'acclimatation.

### 6.2. La station d'épuration de Réghaïa

Cette station est destinée à prendre en charge le traitement des eaux usées de la partie Est de la Wilaya. Elle fait actuellement l'objet d'un programme de réhabilitation.

### 6.3. Les activités industrielles

La zone humide de Réghaïa est située à proximité d'un pôle industriel important (Rouïba Réghaïa).

La zone industrielle de Rouïba – Réghaïa couvre une surface important d'ordre 1000 hectares et elle représente plus de 95% de l'industrie de la région. On dénombre 421 unités industrielles, notamment représentées par l'agro-alimentaire (70 unités), les matériaux de construction (46 unités), la transformation des métaux (105 unités), les cuirs et textiles (78 unités). Ce pôle industriel représente une véritable menace pour la qualité de l'eau et de paysages ainsi l'équilibre écologique de région.

#### 6.4. Le tourisme

Le site possède de remarquables potentialités naturelles pour la mise en valeur touristique. Il existe des grandes plages propres, de bonne qualité bactériologique, un marais qui s'étend sur une superficie de 150 ha et d'autres écosystèmes (marin, lacustre forestier et agricole) avec des habitats remarquables pour les espèces avifaunes. C'est donc un potentiel important pour le développement de l'éco-tourisme. En plus de sa trop grande fréquentation pendant la période estivale, cette zone est également visitée le reste de l'année par de nombreuses familles pour la détente et les loisirs en plein air.

#### 6.5. L'agriculture

Dans la région d'étude, l'agriculture est une activité économique source de revenus pour une bonne partie de la population. La totalité des terres sont irriguées à partir des eaux du lac de Réghaia (1200 hectares). Dans les 2 communes de Réghaia et de Heraoua, les superficies par spéculation sont de l'ordre de 124 hectares d'agrumes, 143 hectares de vignes, 800 hectares de maraichage (dont 30% sont irrigués à partir du lac) et 12 hectares de plasticulture. L'élevage est une pratique courante dans la zone (Bovins, ovins et caprins).

#### 6.6. Population et agglomération urbaine

La zone d'étude subit les retombées de la croissance urbaine des agglomérations avoisinantes comme celles de :

- La commune de Heraoua, qui couvre une superficie de 1250 hectares. Elle possède une agglomération secondaire: Ain el kahla à part le chef-lieu. La population de Heraoua, qui était de 11.552 habitants en 1987, passe à 27.565 habitants en 2008. soit une densité de 2120 habitants par km<sup>2</sup> (source ONS-RGPH, 2008).

**Tableau.3** : évolution démographique de Heraoua (Source : ONS).

Commune	Population			
	1977	1987	1998	2008
Heraoua	9100	11552	18167	27565

- La commune de Ain Taya s'étend sur une superficie de 955 ha soit presque 10km<sup>2</sup> dont 598 ha sont des terres agricoles et selon le (RGPH de 2008) la population totale de la commune est estimée à 34.501 habitants. Soit une densité de 3450Hab/Km<sup>2</sup>, Concentrée le plus au niveau de l'agglomération chef-lieu.

**Tableau.4** : évolution démographique de Ain Taya (Source : ONS).

<b>Commune</b>	<b>Population</b>			
	<b>1977</b>	<b>1987</b>	<b>1998</b>	<b>2008</b>
<b>Ain Taya</b>	<b>16900</b>	<b>21602</b>	<b>29515</b>	<b>34501</b>

## **Chapitre II: Méthodologie**

## 1. GENERALITES SUR LA PLAGE EL KADDOUS

### 1.1. Localisation et situation géographique

La plage El Kaddous fait partie du territoire communal de Heraoua qui dépend administrativement de la circonscription de Rouiba. Elle est située au Nord-est de Heraoua à la limite de la commune de Réghaia.

La plage est limitée :

- à l'Est par l'embouchure de l'oued Réghaia (Commune de Réghaia)
- à l'ouest par les falaises de Surcouf (Déca plage) (Commune de Ain -Taya)
- au Nord par la mer Méditerranée.
- au Sud par le lac de Réghaia.

Elle est distante de 30 km à l'Est du centre d'Alger et de 14 Km de la ville de Boumerdes, et de 4 Km du centre-ville de Réghaia. Elle occupe une longueur de 1850 m et une largeur moyenne de 50m (Carte 1).

### 1.2. Analyse du site par rapport à la région

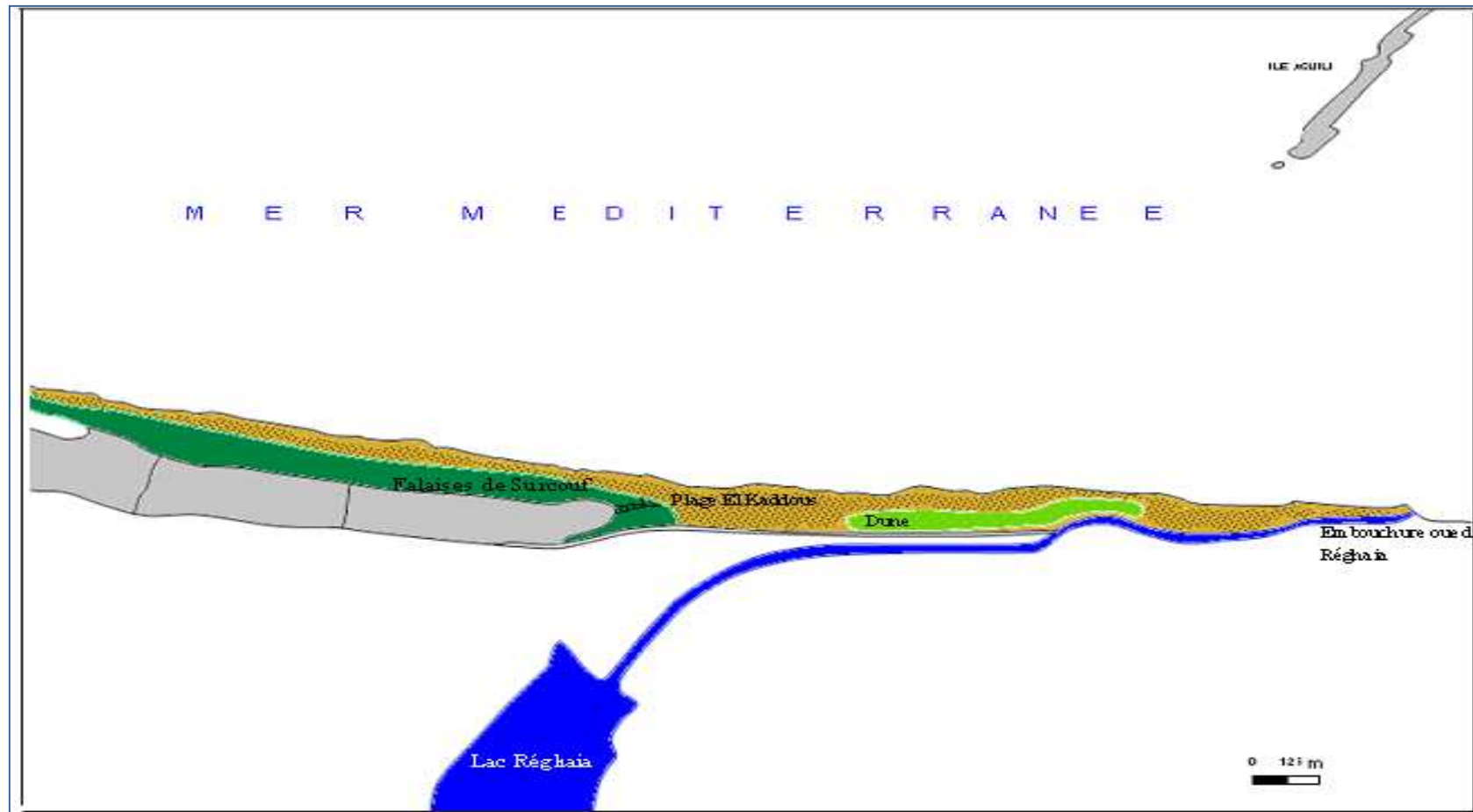
La plage El Kaddous avec son linéaire rectiligne est ouverte et dont le matériau prédominant est le sable.

La plage El Kaddous par sa situation géographique s'inscrit dans la réserve naturelle du lac de Réghaia présentée comme zone humide côtière d'intérêt national et international (Site RAMSSAR).

La préservation de la plage et des dunes du site El Kaddous constitue une condition primordiale au bon fonctionnement de la zone humide. Cet espace fait partie de la réserve naturelle et sert de zone tampon (A .N.A.T.2005), (Carte2).

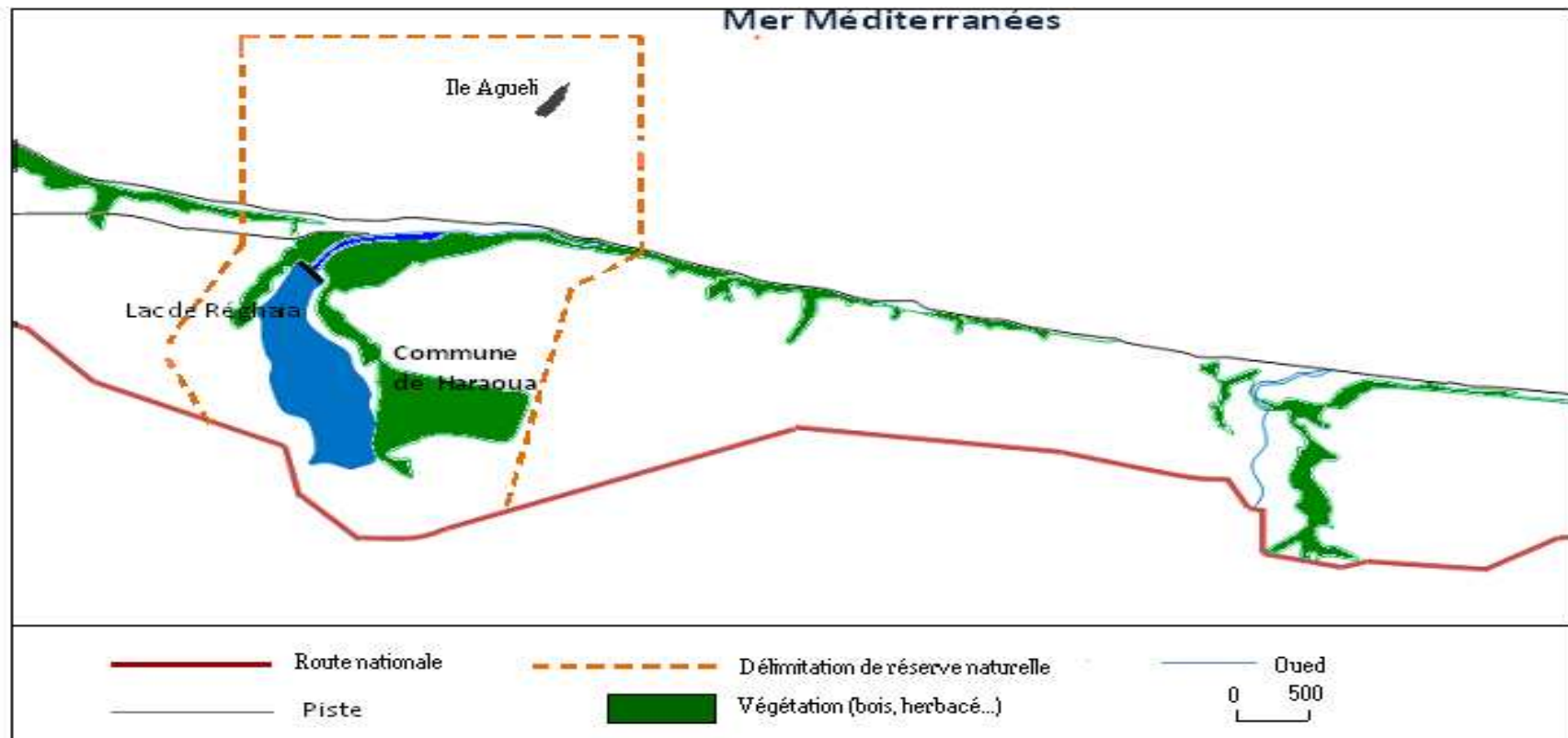


Figure.5 : Situation géographique de la zone d'étude (Source Google Earth).



**Carte.1** : Situation de la plage El Kaddous

(Fond de carte réalisé à partir de la carte topographique 1/25 000, Alger NJ-31-IV-14 Ouest, 1987).



**Carte.2** : Schéma de la situation de la réserve naturelle de Réghaia

(Réalisée à partir de la carte topographique 1 /50 000, Alger NJ-31-IV-1 Est, 1987).

La plage EL kaddous et sa dune bordière sont, à la fois, soumises à l'action des éléments naturels et à l'action de l'homme qui utilise et ménage ces zones et donc en modifie l'équilibre naturel. Il apparaît de plus en plus nécessaire de protéger ces zones littorales pour qu'elles puissent continuer d'assurer dans l'avenir les fonctions qui leur ont été confiées.

Dans ce sens-là certains dispositifs de protection et d'aménagement sont mis en place pour la reconstitution et réhabilitation de ces deux unités littorales.

## 2. ASPECTS METHODOLOGIQUES

Pour cela elle doit :

- Promouvoir un contexte de concertation, d'échange, de partage et de convergence de points de vue, entre les multiples acteurs et intervenants
- Anticiper l'évolution future sur la base d'une vision territoriale commune
- Prendre en compte l'ensemble des questions importantes pour garantir la durabilité de l'écosystème et de ses ressources
- Promouvoir un programme d'actions Co construit sur la base d'une coordination et d'une coopération inter sectorielle et institutionnelle et d'une démarche résolument participative.

## 3. LES PRINCIPES D'AMENAGEMENT

Le travail que nous avons effectué sur le littoral sableux s'inscrit dans le cadre d'une réflexion pour son aménagement intégré aux enjeux socio-environnementaux que suppose la création d'une aire marine côtière protégée. Cela veut dire qu'il faut concevoir un projet opérationnel de valorisation et de protection de la zone côtière sableuse du Kaddous adapté au contexte de préservation d'un site naturel sensible et d'importance écologique. Cet aménagement nécessite donc une approche intégratrice et ses fondements doivent s'appuyer sur 3 principes de base.

1. La conservation de la naturalité du site en harmonie avec une valorisation balnéaire et donc touristique durable. Pour cela il convient
  - D'aménager et d'entretenir une « zone balnéaire nature » en adéquation avec les besoins et les contraintes de classement en aire protégée.
  - De réhabiliter la dune bordière pour entretenir l'équilibre dynamique d'une plage, enrichir et préserver la biodiversité notamment en espèces halophiles et psamophiles.
2. L'application d'un système de gestion préservant les capacités de charge du site et de son label qualité. Ce qui nécessite l'élaboration par les pouvoirs publics d'un cahier

de charge dont les dispositions doivent être obligatoirement respecté par les concessionnaires.

3. La mise en place d'un dispositif d'aménagement orienté vers une pratique sélective et un usage familial du rivage du Kaddous. Ceci se traduit par :

- Un élargissement de la zone balnéaire et une diminution de son degré d'agitation, pour permettre de réduire la dangerosité de la plage qui présente un fond relativement important. Ceci favorisera notamment la fréquentation par les jeunes baigneurs et les familles.
- La réalisation d'un dispositif récréatif au niveau de la dune bordière qui permet la fréquentation familiale du site même en hors saison estivale.

#### **4. Utilisation de Map Info**

L'analyse diachronique de l'évolution du littoral sableux de plage El Kaddous, et ceci se fait à l'aide du logiciel Map Info qui a réglé l'échelle.

Pour notre étude on a utilisé logiciel Map Info et nous suivant les étapes suivants :

- Le calage (géoréférence),
- La digitalisation,
- La superposition des couches,
- La mise en page des couches,
- La projection des points,
- L'exportation des fichiers (shapefile).

A partir des quatre cartes satellitaire des années de plage El Kaddous (1972, 1980, 2003, 2011) on a pu faire l'étude de trait de côte.

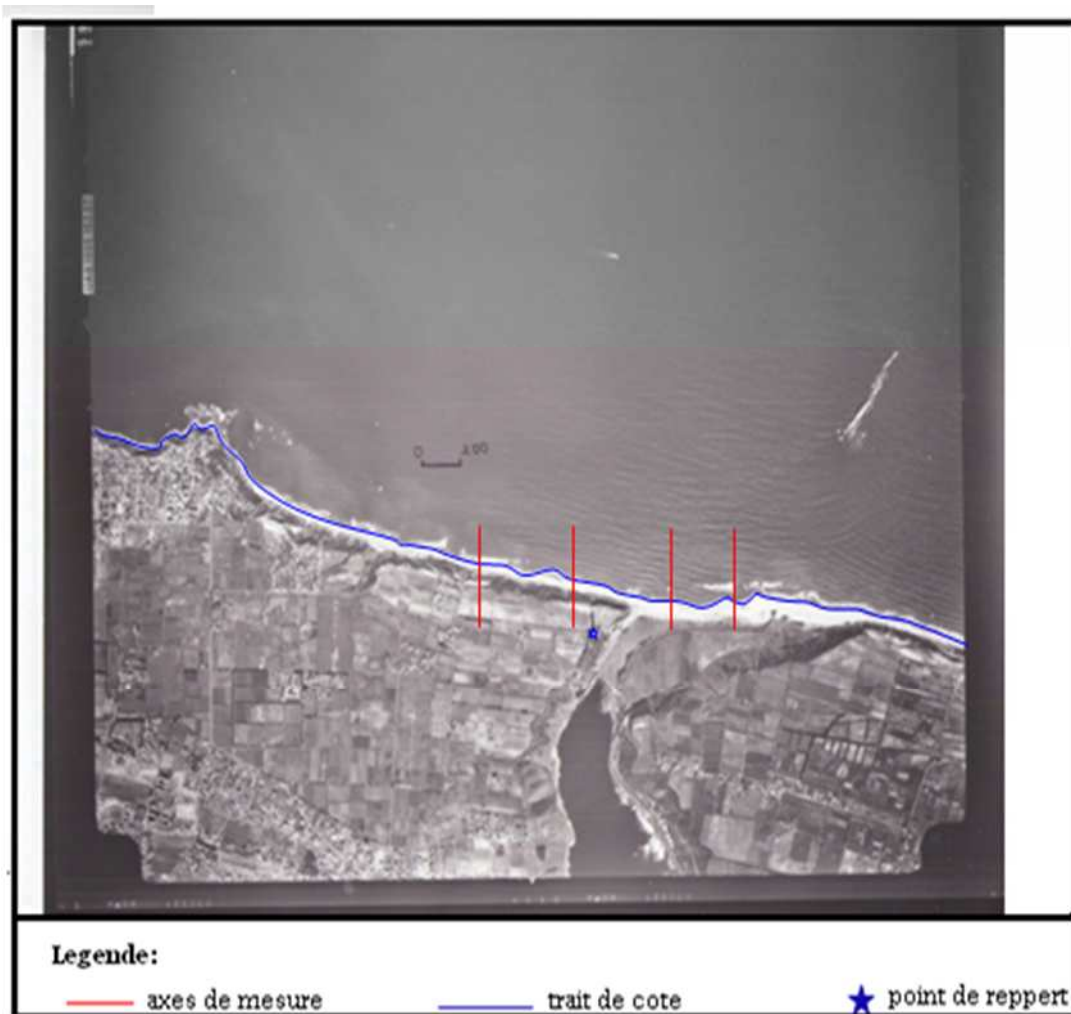
## **Chapitre III : Résultat et discussion**

### 1. Evolution du trait de côte

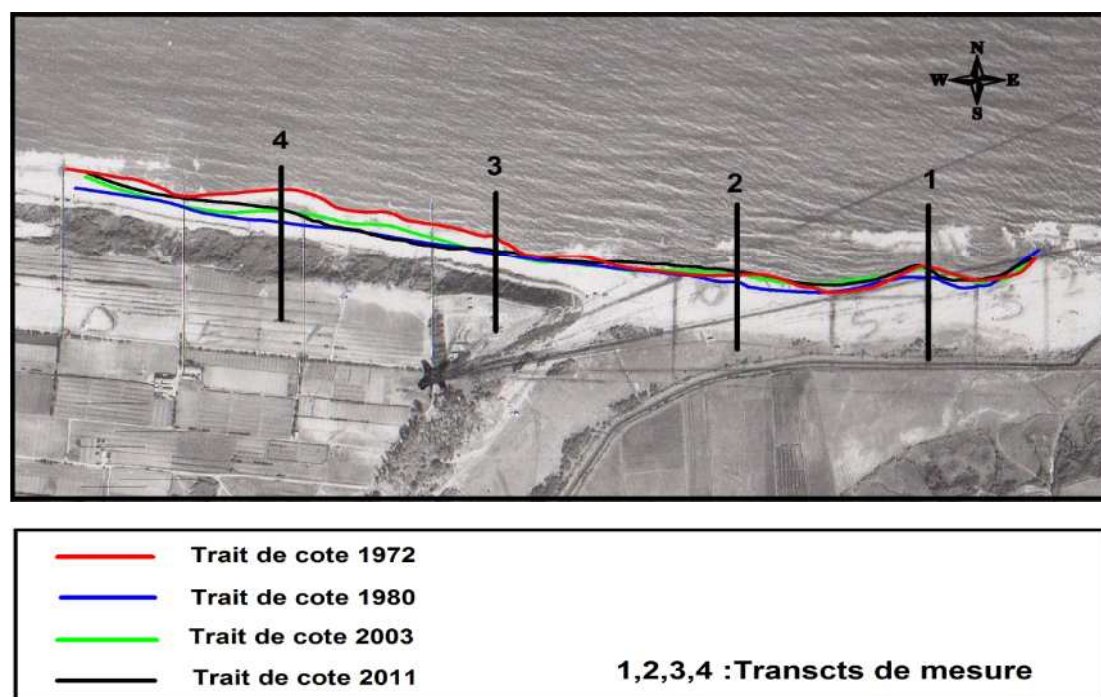
Les côtes évoluent par érosion et sédimentation. Ces phénomènes s'expliquent d'abord par le jeu des vagues et des marées ainsi que par celui des courants qu'elles engendrent. Les espaces littoraux subissent aussi des transformations en raison de l'intervention d'agents morphogéniques qui ne leur sont pas propres, comme le vent, les eaux de ruissellement et d'infiltration, le gel, mais dont l'efficacité peut se manifester, voire être accrue, au contact de la terre et de la mer.

L'érosion des littoraux est une constante de leur évolution, agissant dans un plan pratiquement subhorizontal, la mer a toujours tendance à faire reculer ce qui n'est pas en situation de lieu résister. Ce phénomène naturel est cependant aggravé aujourd'hui par les effets de l'occupation humaine des littoraux (Miossec, 2004).

L'évolution de trait de côte est un paramètre très important qui permet d'estimer sa dynamique. Pour étude, l'utilisation de photographies aériennes prise dans des années différentes s'est imposée.



**Figure.6** : Représentation des axes de mesure sur une photo Aérienne 1/20000.

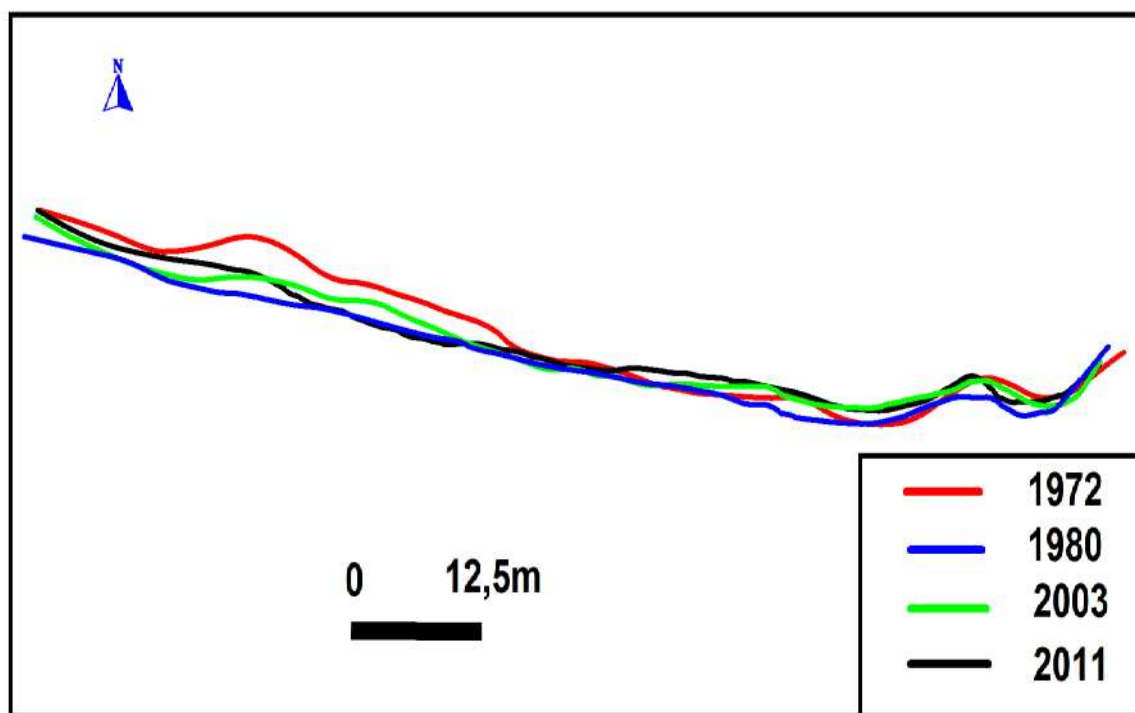


**Figure.7 :** Localisation des transects de mesure de plage El Kaddous (Fond de carte, photographie aérienne 1972).

Les facteurs naturels qui agissent sur cette évolution se traduisent essentiellement par :

- L'action des houles qui induisent des transferts dans le profil quand elles se produisent perpendiculairement à la côte, c'est-à-dire dans la direction Nord. En effet, selon les observations effectuées au large des côtes Algériennes par l'U.S. Naval Weather Service, les houles du Nord mettent en évidence des fréquences d'apparition de 8,5 % seulement. Mais quand elles se déploient, leur amplitude est parfois supérieure à 3m. Ceci occasionne des arrachements sédimentaires importants dans le profil de la plage El Kaddous.
- La faiblesse des apports littoraux constatée ces dernières décennies dans la région. Selon le laboratoire d'études maritimes le transit sédimentaire littoral, dont le sens résultant est de l'Est vers l'Ouest, est faible, soit l'équivalent de 30 000 m<sup>3</sup> / an (LEM - 1994). Ceci contribue aussi au recul observé du trait de côte.
- Enfin et d'une manière générale, à l'échelle de la Méditerranée on note aussi, comme le signalent plusieurs travaux, la réduction des stocks sédimentaires disponibles pour alimenter la plage comme le tarissement des sources sédimentaires d'origine marine (CIESM, 2002). Le facteur anthropique local essentiel qui affecte l'alimentation sédimentaire de la plage de l'El Kaddous se résume par l'impact de l'endiguement du lac de Réghaia à la fin des années 1980 afin de le rendre permanent. En effet le débit de l'oued et par conséquent, son apport solide se sont vu considérablement diminués (sauf en période de forte crues). Les sédiments terrigènes se trouvent piégés dans le lac ce qui est confirmé par la diminution de la profondeur du lac (Boukhalifa,

1999) et la présence d'une végétation signe d'envasement (A.N.A.T, 2005). On note aussi l'extraction abusive du sable et la dégradation de la végétation de la dune qui participe à sa fixation (Drici, Adjout).



**Figure.8** : Evolution de trait de côte de plage El Kaddous (1972,1980 ,2003 ,2011).

Le résultat obtenu est comme suit :

- Entre 1959 et 1972, le rivage de la plage a connu un avancement de 5 à 40m, soit un taux net de 0,20 à 2,70 m /an (BOAKLINE.S, 2009).
- Entre 1972 et 1980 la plage El Kaddous a connu un dégraissement, la valeur moyenne de ce recul du trait de côte est de l'ordre de 24,25m soit une vitesse nette annuelle de 3,02 m/an.
- 1980 à 2003 la plage a subi un engraissement général, la valeur moyenne de cet avancé du trait de côte varie entre 10 à 14m soit une vitesse annuelle de 0,76 et 1,07 m/an.
- 2003 à 2011, la plage a reculé 13m au moyenne, soit une vitesse de 1,12 m /an.
- Entre 1972 à 2011, généralement dans cette période la plage a connu un recul de rivage, ce recul cependant n'est pas régulier le long de la plage, les vitesses moyennes annuelles enregistrées pendant cette période varient entre 0,28 et 1,10 m/an.

**Tableau.5** : Evolution de trait de côte (1972,1980 ,2003 ,2011).

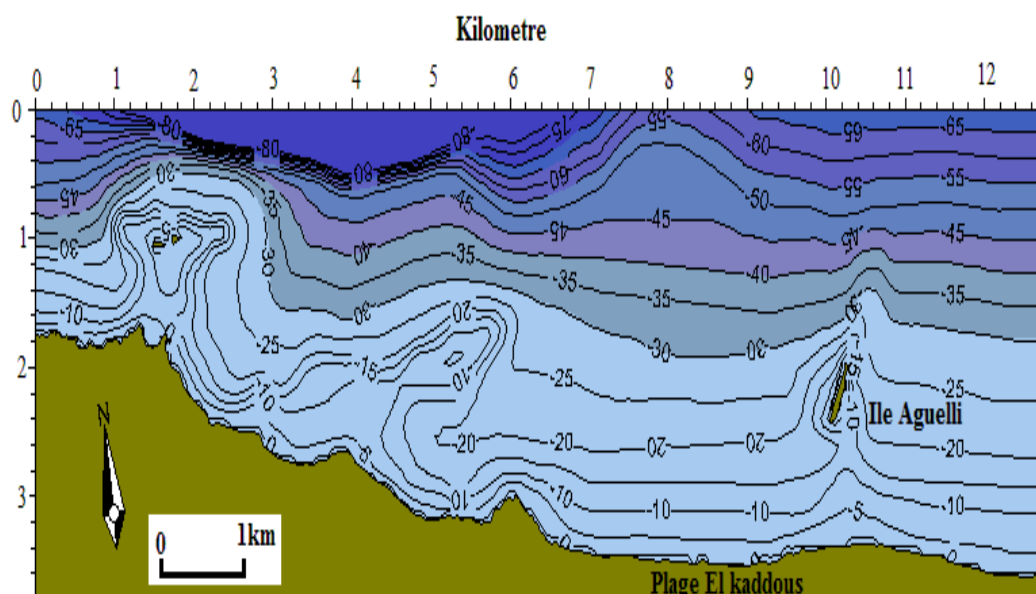
Périodes	1972-1980				1980-2003				2003-2011				1972-2011			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Transects																
Déplacement (m)	21,5	10	17	40,2	18	19,6	0	20	0	0	7,5	4	3,6	8,1	24,3	39,4
Tendance	-	-	-	-	+	+	+	+			+	-	+	-	-	-
Vitesse (m/an)	2,6	1,2	2,1	5,02	0,78	0,85	0	0,86	0	0	0,93	0,5	0,092	0,20	0,62	1,01
Vitesse Moyenn (m/a)	<b>-2,75</b>				<b>+0,62</b>				<b>+0,10</b>				<b>-0,34</b>			

## 2. La bathymétrie

La carte bathymétrique constitue un document fondamental, et nécessaire pour reconnaître et interpréter la morphologie des profondeurs sous-marine.

En s'appuyant sur la carte bathymétrie réalisée par le projet AMIS pour connaître la morphologie sous-marine de la portion de la cote étudiée, il résulte :

- Des isobathes parallèles au rivage dont leur quasi –totalité Est qui représentent le plateau continental qui plus ou moins étroit sur plus de 5km en moyenne au large.
- Des isobathes qui se resserrent sur une distance de 1200 m en moyenne ,mettent en évidence une rupture de pente qui représente le talus continental.



**Figure.9** : Carte bathymétrie la zone d'étude (Levés réalisés en aout 2007, source projet AMIS, 2007).

### 3. Synthèse sur les variations de trait de côte (1972-2011)

L'érosion de rivage de plage El Kaddous pendant la période étudiée peut être due à deux facteurs principaux, l'un naturel et l'autre anthropique :

**A-** Les causes naturelles peuvent se traduire par :

- **Les houles** : les effets répétés et cumulés des tempêtes elles provoquent des pertes des sédiments dans le sens du profil vers le large. Plage El Kaddous est très exposée aux houles du Nord, elles provoquent de fortes déperditions vers le large des sédiments arrachés à la plage. Hausse relative de niveau de la mer (0,2/100ans en méditerranée).
- **La pénurie des stocks sédimentaires** : D'après les travaux de laboratoire d'études maritimes en 1994, le transit sédimentaire littoral qui alimente la zone côtière dont le sens est l'Est vers l'Ouest se caractérise par un faible apport sédimentaire, soit 30 000 m<sup>3</sup>/ an (LEM - 1994). Ceci contribue aussi au recul observé du trait de côte.

**B-** Les causes naturelles se résument en :

- **L'extraction de sable** : la Plage El Kaddous et sa dune bordière connaissent un prélèvement de sable d'une manière abusive et illégale, cette extraction a contribué sensiblement à un déséquilibre écologique et entraîne appauvrissement de la plage.
- **Modification de bassin versant** : se résume par l'urbanisation anarchique et l'occupation irraisonnée des rives du bassin de Reghaia, plus la construction

de digue du lac qui a retenu les apports de oued de Reghaia, qui est constitué l'un des des principaux sources qui alimentent la plage en terme de sédiment.

- **La pollution** : Essentiellement la pollution par les déchets solides abandonnés par l'homme dans l'eau ou sur la plage qui constitue un facteur majeur qui aggrave aussi l'érosion du site et surtout durant la période estivale.



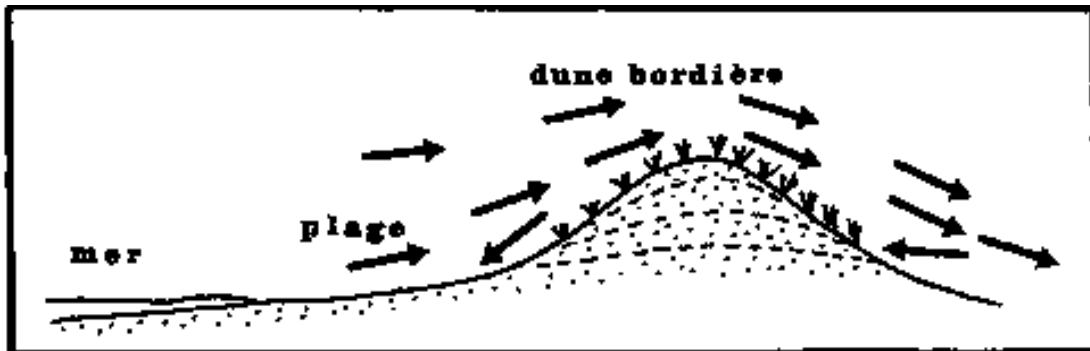
**Figure 10 et 11** : Microfalaise au niveau du trait de côte partie Est de la plage El Kaddous.



**Figure 12 et 13** : La dune bordière du secteur Est de la plage El Kaddous.

#### 4. La dune bordière

Le long des littoraux on trouve parfois des formes d'accumulation d'origine éolienne qui rappellent celles que l'on rencontre dans les régions arides, ce sont des dunes qui dans certains cas, peuvent s'avancer loin vers l'intérieur des terres (Paskoff, 1998).



**Figure.14** : Formation d'une dune bordière (Paskof, 2003).

Pour qu'une dune littorale naisse sur une cote, elle nécessite :

- Du vent dont la force doit être suffisante.
- Une plage d'envole suffisamment large et régulière pour mobiliser le sable
- Un stock sableux, ces sables en grande partie des sédiments reliques, non renouvelable.
- Une arrière cote et avant cote suffisamment larges et à pente douce pour permettre l'alimentation en sable et le développement des systèmes dunaire.
- Une végétation qui joue un double rôle, d'un part, un rôle de brise-vent en perturbant les filets d'air et en provoquant le dépôt des sédiments, et d'autre part un rôle de piège à sédiment en stabilisant le sable par les appareils racinaires.

La végétation dunaire constatée lors de notre passage est relativement variée. (Cf. Végétation spécifique de la dune El Kaddous).



**Figure.15** : Végétation de la dune bordière (plage El Kaddous).

Au niveau de la dune de la plage El Kaddous, l'usage extensif le plus habituel est le pâturage. Cette pratique peut aboutir à une telle dégradation de la dune, et à de telles conséquences pour la mise en mouvement des sables dunaires ; érosion de la dune et envahissement des terres agricoles.



**Figure.16** : pratique du pâturage anarchique (plage El Kaddous).

##### **5. Le rôle des dunes littorales**

- La dune bordière constitue un élément essentiel de l'équilibre dynamique d'une plage pour laquelle elle représente une réserve en sable. Lors des grandes tempêtes, les vagues déferlantes atteignent la dune, y prélèvent du matériel et le déplacent vers l'avant-plage où il s'accumule sous la forme de barres immergées.
- Ces barres représentent des obstacles qui contraignent les lames les plus fortes à déferler plus tôt en avant du rivage, d'où un amortissement de leur impact sur le haut de l'estran qui est ainsi préservé d'une érosion plus accentuée. Avec le retour du beau temps, les barres tendent à s'effacer car les vagues, plus faibles et moins cambrées, remontent le sable sur la plage. A partir de là, le vent en prélève une partie qui sert à réparer les pertes de la dune bordière dont le profil antérieur à la tempête se rétablit progressivement, ce qui conduit à une nouvelle situation d'équilibre.
- la dune bordière joue un rôle de pare-chocs contre les fortes vagues. Elle protège de l'inondation par l'eau de mer les terres basses situées en arrière et souvent aménagées par l'Homme. la dune bordière est considérée comme un mur de protection naturel qui fait l'objet d'une conservation vigilante.

## 6. Description de la dune d'El Kaddous

### a. Etat ancien

Ce sont des accumulations éoliennes anciennes figées et fixées par une végétation, elles s'étendent parallèlement au rivage.

Elles constituent le sommet de la falaise de Reghaia plage en allant vers l'ouest, l'ampleur de ce cordon diminue de plus en plus pour disparaître complètement vers El Kaddous.

### b. Etat actuel

Au niveau de la zone littorale de Heraoua, on note l'existence d'un important cordon dunaire qui prend naissance sur les deux rives d'Oued Reghaia. Il s'étale sur une longueur de 700m environ et sa largeur varie entre 20 à 30m, le cordon peut atteindre 5 à 6m de hauteur.

La dune littorale d'El Kaddous s'allonge parallèlement au rivage dans le sens presque Est-Ouest en formant une barrière protectrice naturelle entre la plage et le lac lors des tempêtes.

Ce cordon dunaire est colonisé et fixé par une végétation Halophile, représentée par des groupements à *Pancratium Maritimum*, *Lotus Creticus*, *Amophila Arenaria* et *Chamaerops Humilis*. Entre le lac et les dunes, le long du canal, se trouvent des peuplements à *Tamarix Africana* et *Plantago Coronopus*.



**Figure.17 :** Végétation de la dune bordière (Plage ElKaddous).

## 7. L'ALIMENTATION ARTIFICIELLE DE PLAGE EL KADDOUS

Le rechargement artificiel est considéré comme une approche efficace de lutte contre l'érosion côtière en composant de manière artificielle le déficit du budget sédimentaire du littoral (Jean-Louis Borloo, 2010).

L'alimentation artificielle a pour but de corriger un déséquilibre sédimentaire sans perturber le jeu naturel des processus en action sur une côte. Cette méthode douce pour contrecarrer le démaigrissement et le recul des plages (Paskoff, 1998).

Ce type d'aménagement est intéressant à plusieurs titres :

- les plages peuvent efficacement dissiper l'énergie des vagues et ainsi constituer des aménagements de protection du littoral lorsqu'elles sont maintenues à des dimensions convenables.
- La reconstitution d'une plage par rechargement permet de supprimer les phénomènes de réflexion de la houle sur un haut estran trop accore et de rétablir les possibilités de remontée des sédiments du large sous l'action des houles faibles à moyennes.
- Le procédé n'apporte généralement pas des perturbations à l'environnement et évite des répercussions sur les installations voisines à condition que les plages rechargées ne viennent pas perturber un secteur où doivent être maintenues des profondeurs suffisantes pour la navigation.
- Comme la plus part des phénomènes d'érosion de la plage se produisent lorsqu'il y a un déficit dans l'apport naturel de sable, la mise en place de matériaux d'emprunt sur le rivage doit être considéré comme une mesure de stabilisation, et non pas seulement de protection du rivage.

### **7.1. Les principes de rechargement**

La méthodologie de conception de la technique de rechargement introduit les termes suivants (Jean-Louis Borloo, 2010) :

- Le choix de la zone d'emprunt.
- Les caractéristiques granulométriques des sédiments naturels et d'apport.
- Le concept de profil d'équilibre et la profondeur limite d'action de la houle.
- L'estimation du volume de sédiment d'emprunt à mettre en place.
- La fréquence des entretiens périodiques, la durée de vie et le cout de gestion.

### **7.2. Les conditions de rechargement**

Les conditions de rechargement d'une plage sont différentes selon qu'il s'agit d'intervenir dans une zone soumise principalement à des mouvements dans le profil ou, au contraire, de rétablir un équilibre sédimentaire le long d'une cote soumise à un transit littoral important qui a été perturbé par un arrêt partiel ou total en amont de la zone à protéger.

Pour un déroulement idéal d'une telle opération plusieurs points sont à considérer :

- Le choix du sédiment, il faut tenir compte des caractéristiques pétrographiques et de la granulométrie du sédiment, les études se sont orientées vers l'utilisation de sédiments à granulométrie assez grossière, qui présente une plus grande porosité que le sable et qui absorbent plus efficacement l'énergie de la houle.
- Le choix des carrières de prélèvement situées en mer ou terre .outre l'évaluation de la compatibilité du sédiment d'un point de vue physique, il faut également évaluer les qualités chimiques et bactériologies.
- Il faut considérer les modalités d'engraisement de la plage notamment en ce qui concerne le nombre des points d'alimentation, leur localisation et la quantité

appropriée des apports pour obtenir un engraissement rapide et uniforme sur toute l'étendue de la plage ,il est préférable d'envisager plusieurs points d'alimentation.

### 7.3. Les étapes de rechargement

L'opération de rechargement de plage El Kaddous se fera selon les étapes suivantes :

- Détermination de l'endroit de rechargement.
- Détermination des paramètres de rechargement.
- Calcul du volume de rechargement.
- Vérification de la stabilité de remblai.
- Calcul du volume réel des matériaux d'apport.
- Calcul le volume périodique de rechargement.

#### 7.3.1. Le site de rechargement

L'alimentation artificielle de plage El Kaddous s'effectuera suivant trois profils (P1, P2, P3) repartis de l'Est vers l'Ouest dont la zone comprise entre l'embouchure de oued de Reghaia à l'est jusqu'à la fin de la dune à l'Ouest (Figure 18).

Le site de l'alimentation de plage se caractérise par un fond un peu irrégulière, la zone de rechargement s'étend sur une longueur presque de 500m et qui s'étale jusqu'au voisinage de l'isobathe de  $-3,5\text{m}$ .



**Figure.18** : La zone de rechargement de plage El Kaddous (Source Google Earth).

#### 7.3.2. Les paramètres de rechargement

Les caractéristiques de profils de rechargement sont comme suite :

La pente (S) de rechargement  $S=1/30$ .

L'épaisseur (d) de rechargement  $d=1\text{m}$ .

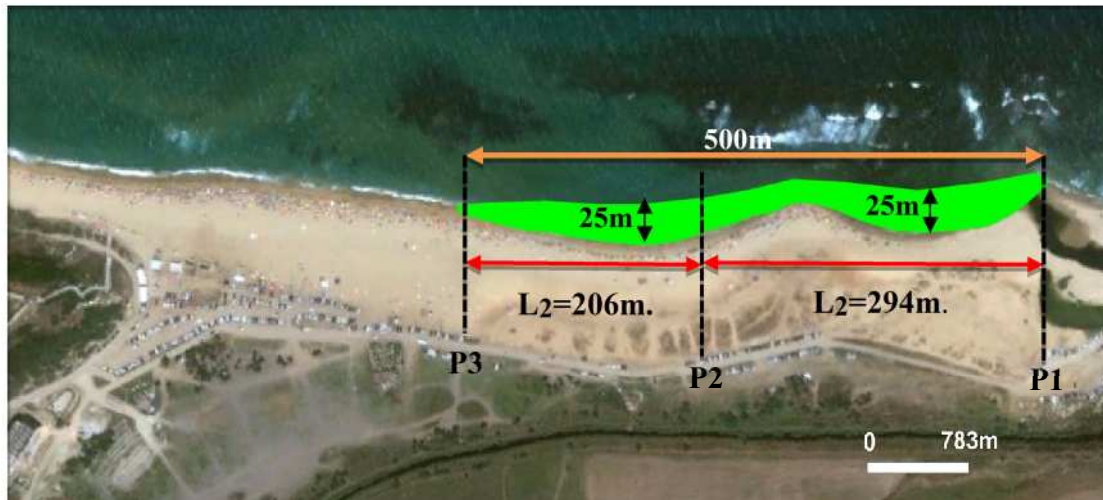
La largeur (C) de la berme  $C=25\text{m}$

La largeur de rechargement (la largeur de la berme) est calculé à partir de la formule suivante :  $b=0,5*d/S$   $\longrightarrow$   $b =15m$  à partir de la ligne de rivage.

La longueur de rechargement totale :  $L =500m$

La distance entre P1 et P2 :  $L1=294m$ .

La distance entre P2 et P3 :  $L2=206m$ .



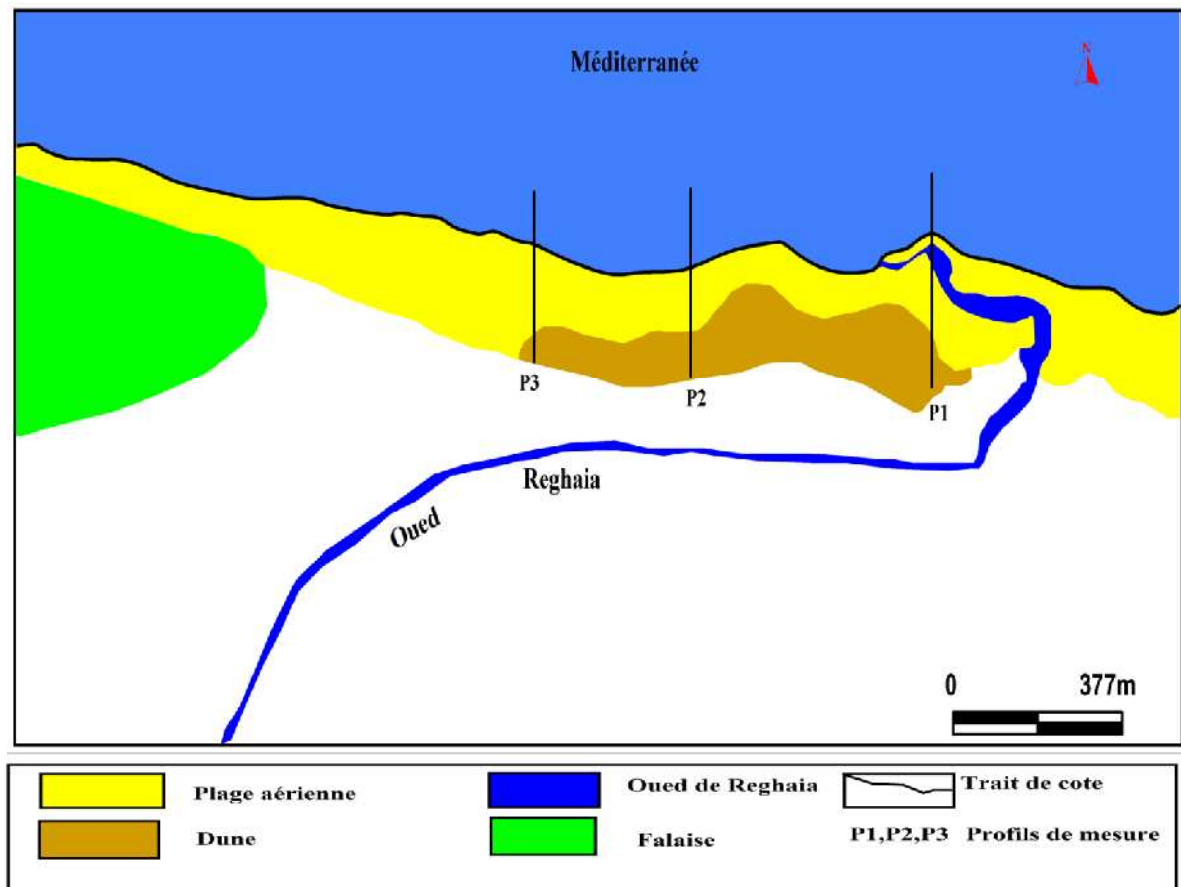
**Figure.19** : Illustration de la zone de rechargement de plage El Kaddous.

### 7.3.3. Calcul le volume de rechargement

Le volume des matériaux à mettre en place est calculé manuellement à partir des profils réalisés (P1, P2, P3) (Figure 13) et pour cela on utilise la formule suivante :

$$V = S * L$$

Le calcul de surface est effectuée à l'aide de logiciel MapInfo, le résultat obtenu sera multiplier par la longueur de rechargement.



**Figure.20** : Positionnement des profils de mesure de plage El Kaddous  
(Le fond de la carte, une image satellitaire de Google Earth).

- **Le volume entre P1 et P2**

Profil P1

La surface déterminée par le profil P1 (figure 21) est :  $S1= 181,65 \text{ m}^2$ .

La distance linéaire entre P1 et P2 est estimée à :  $L1= 294\text{m}$ .

Le volume de La zone1 est calculé comme suite :

$$V1= S1*L1 \longrightarrow V1= 181,65*294$$

$$V1= 53405,1 \text{ m}^3$$

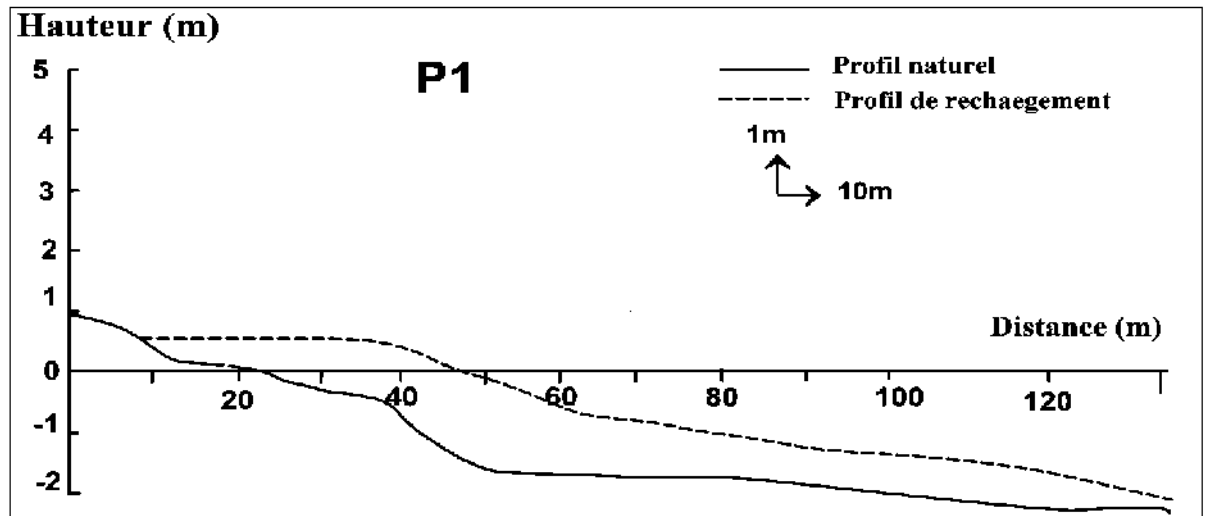


Figure.21 : Profil de rechargement P1.

### Profil P2

La surface déterminée par le profil P2 est :  $S_2=152,115 \text{ m}^2$ .

La distance linéaire entre P1 et P2 est estimée à :  $L_1= 294\text{m}$ .

Le volume de La zone1 est calculé comme suite :

$$V_1= S_2 \cdot L_1 \longrightarrow V_2= 152,115 \cdot 294$$

$$V_2= 44721,81\text{m}^3$$

Donc le volume moyen du secteur compris entre P1 et P2 est calculé comme suite :

$$V_{t1}= (V_1+V_2)/2 \longrightarrow V_{t1}= (53405,1 +44721,81) /2$$

$$V_{t1}= 49063,455\text{m}^3$$

$V_{t1}$  : le volume moyen des matériaux nécessaire pour le secteur compris entre P1 et P2.

- Le volume entre P2 et P3.

Profil 2

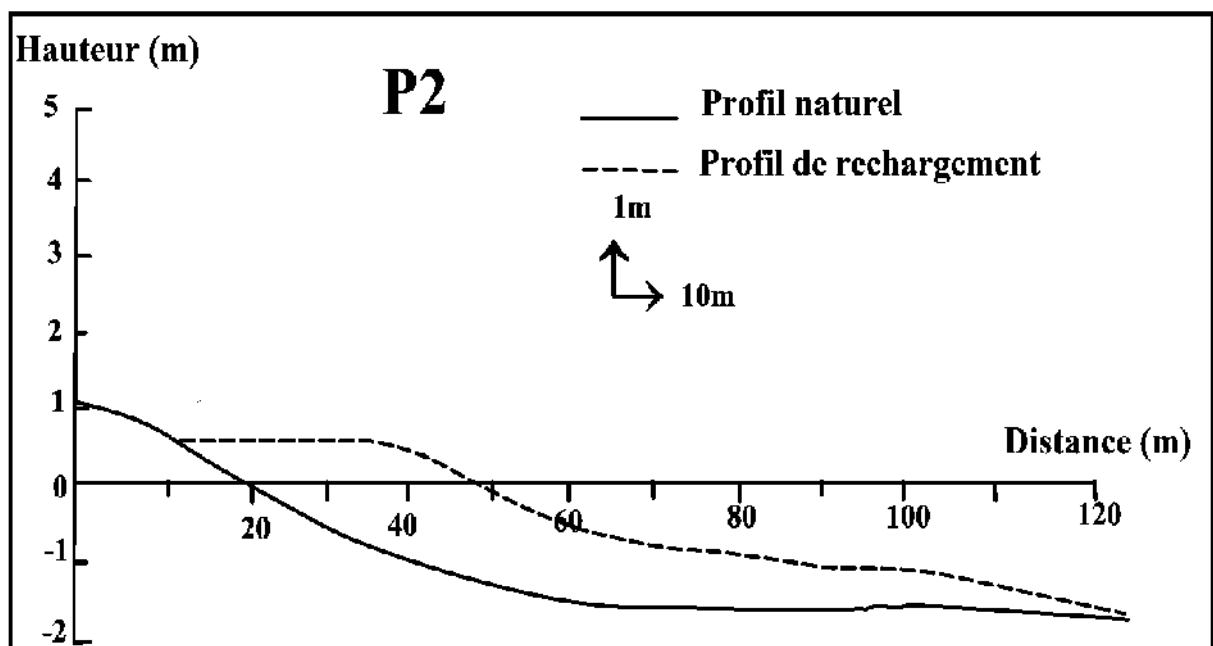
La surface déterminée par le profil P2 (figure 22) est :  $S_2=152,115 \text{ m}^2$ .

La distance linéaire entre P2 et P3 est estimée à :  $L_2= 206\text{m}$ .

Le volume de La zone1 est calculé comme suite :

$$V_1= S_2 * L_2 \longrightarrow V_2= 152,115 * 206$$

$$V_2= 31335,69 \text{ m}^3$$



**Figure.22** : Profil de rechargement P2.

Profil 3

La surface déterminée par le profil P3 (figure 23) est :  $S_3 = 420,53 \text{ m}^2$ .

La distance linéaire entre P2 et P3 est estimée à :  $L_2 = 206\text{m}$ .

Le volume de La zone1 est calculé comme suite :

$$V_3 = S_3 * L_2 \longrightarrow V_3 = 420,53 * 206$$

$$V_3 = 86629,13 \text{ m}^3$$

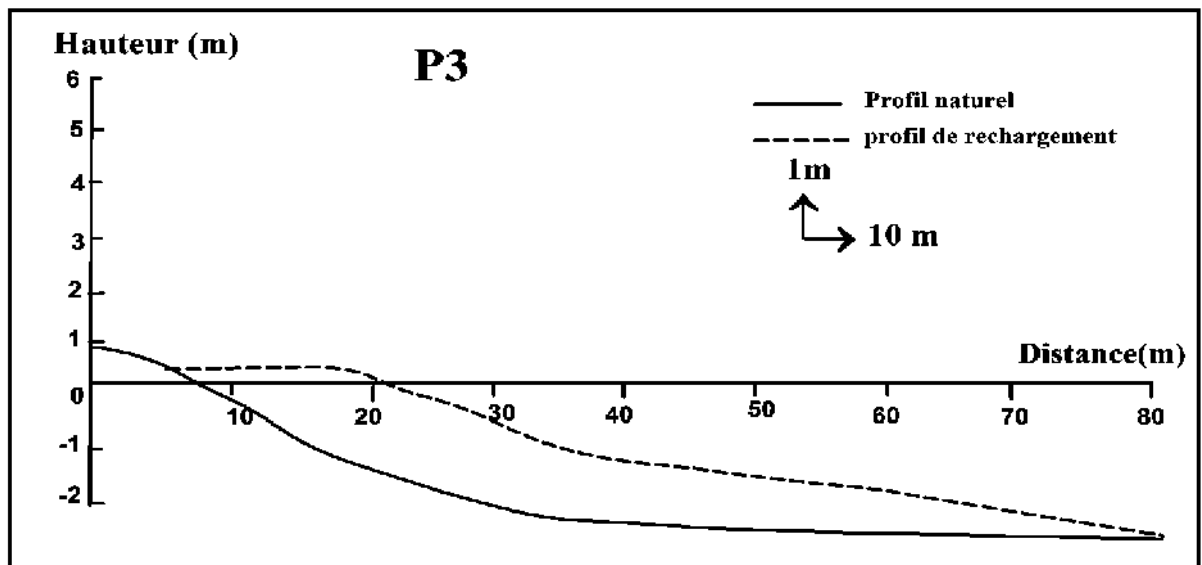


Figure.23 : Profil de rechargement P3.

Donc le volume moyen du secteur compris entre P2 et P3 est calculé comme suite :

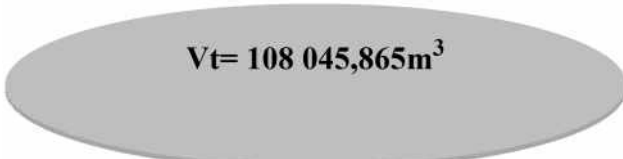
$$V_{t1} = (V_2 + V_3) / 2 \longrightarrow V_{t2} = (31335,69 + 86629,13) / 2$$

$$V_{t2} = 58982,435 \text{ m}^3$$

$V_{t2}$  : le volume moyen des matériaux nécessaire pour secteur compris entre P2 et P3

Le volume total

$$V_t = V_{t1} + V_{t2} \longrightarrow V_t = 58982,435 + 49063,455$$



$V_t = 108\,045,865\text{m}^3$

**V<sub>t</sub>** : volume total de rechargement.

#### 7.3.4. Vérification de la stabilité de remblai

Durant cette étape, on va vérifier si le matériau emprunt est convenable ou pas pour l'opération de rechargement de la plage EL Kaddous.

Pour le matériau d'apport nous avons pu disposer d'un échantillon de sable de carrière obtenu auprès du laboratoire de l'Entreprise Nationale des Granulats (ENG) concernant la carrière de Si Mustafa à Boumerdes, le choix de cette carrière réside dans le fait que elle est proche au site de rechargement plus ses matériaux sont pertinents avec les matériaux locaux.

$$\emptyset_{16} = -\text{Log}_2(D_{16}).$$

$$\emptyset_{84} = -\text{Log}_2(D_{84}).$$

$D_{16}, D_{84}$  sont tirés à partir des courbe granulométriques de sédiment.

$$\text{La médiane} : M_{\emptyset} = (\emptyset_{84} + \emptyset_{16})/2$$

$$\text{L'écart type} : \delta_{\emptyset} = (\emptyset_{84} - \emptyset_{16})/2$$

Le résultat de traitement de deux échantillons est enregistré dans les tableaux 6 et 7 :

**Tableau.6** : Fractils et indices granulométriques de deux échantillons.

	Q25	Q50	Q75	SK	So
<b>Echantillon naturel</b>	710	860	960	0,9215792	1,1628038
<b>Echantillon d'apport</b>	750	885	975	0,93363976	1,14017543

**Tableau.7** : Conversation des diamètres en millimètres en unités Phi ( $\Phi$ ).

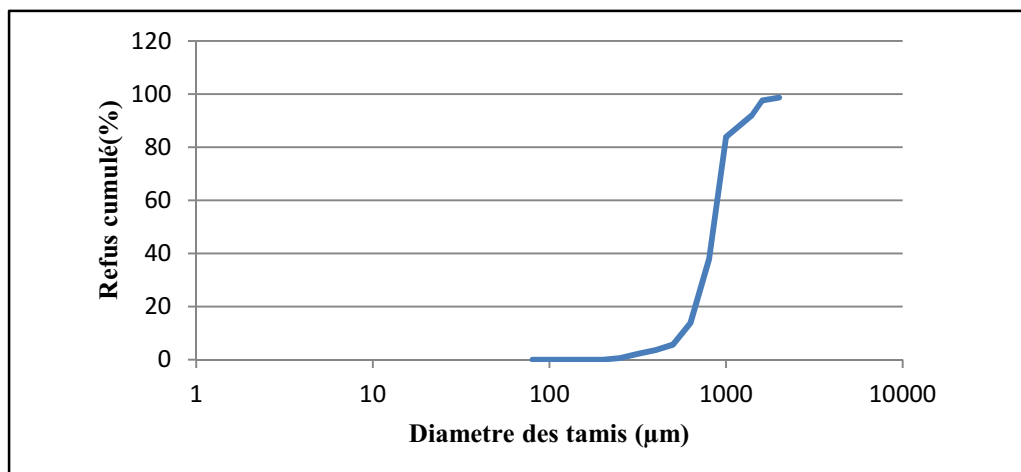
Centre de classes	D (mm)	D en unité de $\Phi$
1900	1,9	0,92599942
1700	1,7	0,76553475
1500	1,5	0,5849625
1200	1,2	0,26303441
900	0,9	-0,1520031
715	0,715	-0,4839849
565	0,565	-0,8236772
450	0,45	-1,1520031
357,5	0,3575	-1,4839849
282,5	0,2825	-1,8236772
225	0,225	-2,1520031
190	0,19	-2,3959287
170	0,17	-2,5563933
150	0,15	-2,7369656

#### A. Classification du matériau naturel (In situ)

$D_{16} = 0,65 \text{ mm}$   $\longrightarrow$   $\Phi_{16} = 0,62148838$

$D_{84} = 0,85 \text{ mm}$   $\longrightarrow$   $\Phi_{84} = 0,23446525$

- La médiane :  $M_{\Phi_n} = 0,42797682$ .
- L'écart type :  $\delta_{\Phi_n} = -0,19351156$ .

**Figure.24** : Courbe granulométrique d'échantillon naturel.

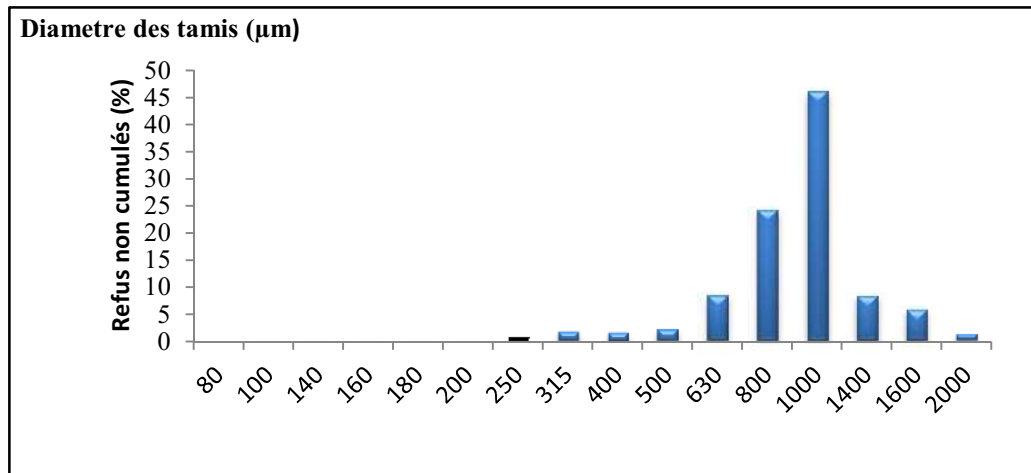


Figure.25 : Histogramme d'échantillon naturel.

**B. Classification du matériau d'apport**

$D_{16} = 0,45 \text{ mm}$        $\longrightarrow$        $\emptyset_{16} = 1$

$D_{84} = 0,95 \text{ mm}$        $\longrightarrow$        $\emptyset_{84} = 0,07400058$

La médiane :  $M_{\emptyset a} = 0,40548309$

L'écart type :  $\delta_{\emptyset a} = - 0,33148251$

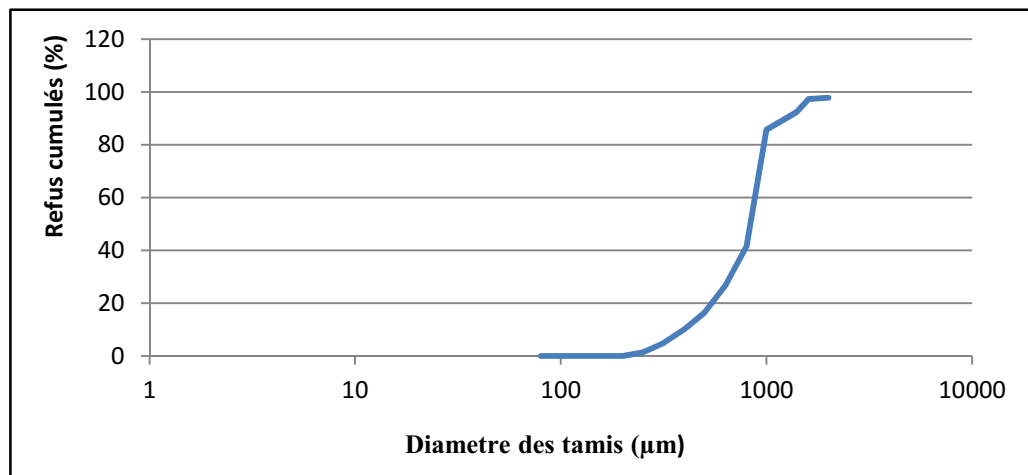
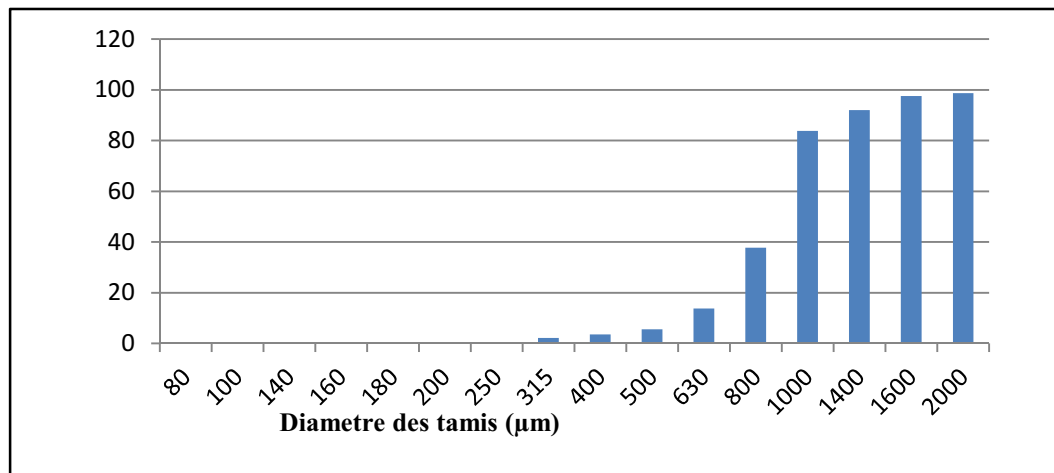


Figure.26 : Courbe granulométrique d'échantillon d'apport.



**Figure.27 :** Histogramme d'échantillon d'apport.

Pour la vérification de la grosse des matériaux emprunts et la stabilité de profil de rechargement on utilisant l'abaque représentée en (figure 28), et pour cela on doit déterminer les paramètres suivantes :

- $\delta_{\emptyset \text{ apport}} / \delta_{\emptyset \text{ naturel}} = - 0,33148251 / - 0,19351156 = 1,71$  (Sur l'axe des abscisses)
- $(M_{\emptyset \text{ apport}} - M_{\emptyset \text{ naturel}}) / \delta_{\emptyset \text{ naturel}} = (0,40548309 - 0,42797682) / - 0,19351156 = -0,116$ . (Sur l'axe des ordonnées).

Après la projection de ces paramètres sur notre abaque (figure 28), on trouve que l'intersection se situe au niveau de quadrant **2**, ce qui signifie que la taille des matériaux emprunt sont plus grosse que celle naturel et les matériaux sont mieux classés que les matériaux naturels (tableau 8) et les profils de rechargement seront stables.

**Tableau.8** : Relations entre les médianes et les écarts types des matériaux naturels et des matériaux d'apport (Source SPM, 1977).

Catégorie		Relation entre les sédiments	Relation entre les écarts types
Case	Quadrant dans la figure 14		
<b>I</b>	1	$M_{\phi A} > M_{\phi N}$ les matériaux d'apport est plus fin que le matériau naturel.	$\delta_{\phi A} > \delta_{\phi N}$ Matériau est moins bien
<b>II</b>	2	$M_{\phi A} < M_{\phi N}$ les matériaux d'apport est plus grossier que le matériau naturel.	Classe que le matériau naturel
<b>III</b>	3	$M_{\phi A} < M_{\phi N}$ les matériaux d'apport est plus grossier que le matériau naturel.	$\delta_{\phi A} < \delta_{\phi N}$ Matériau est mieux Classe que le matériau naturel
<b>IV</b>	4	$M_{\phi A} > M_{\phi N}$ les matériaux d'apport est plus fin que le matériau naturel.	

### 7.3.5. Calcul le volume réel de rechargement

Le calcul de volume de rechargement de plage El Kaddous s'effectuer à l'aide de la formule de **Krumbein**, qui nous permet d'estimer le volume ( $Rm^3$ ) nécessaire de matériau emprunt pour reconstituer  $1m^3$  de plage.

#### La formule de Krumbein

$$Rm^3 = (A_{\phi a} / A_{\phi n}) * \text{Exp} - [(M_{\phi n} - M_{\phi a})^2 / 2(A_{\phi n}^2 - A_{\phi a}^2)]$$

Avec :

$A\Phi$  : Ecart type

$M\Phi$  : Médiane du matériau

$n$  : Matériau naturel

$a$  : Matériel d'apport

$$Rm^3 = (-0,19351156 / -0,33148251) \text{ Exp} - [(0,40548309 - 0,42797682.)^2 / 2((-0,19351156)^2 - (-0,33148251)^2)] \longrightarrow Rm^3 = 1,73m^3$$

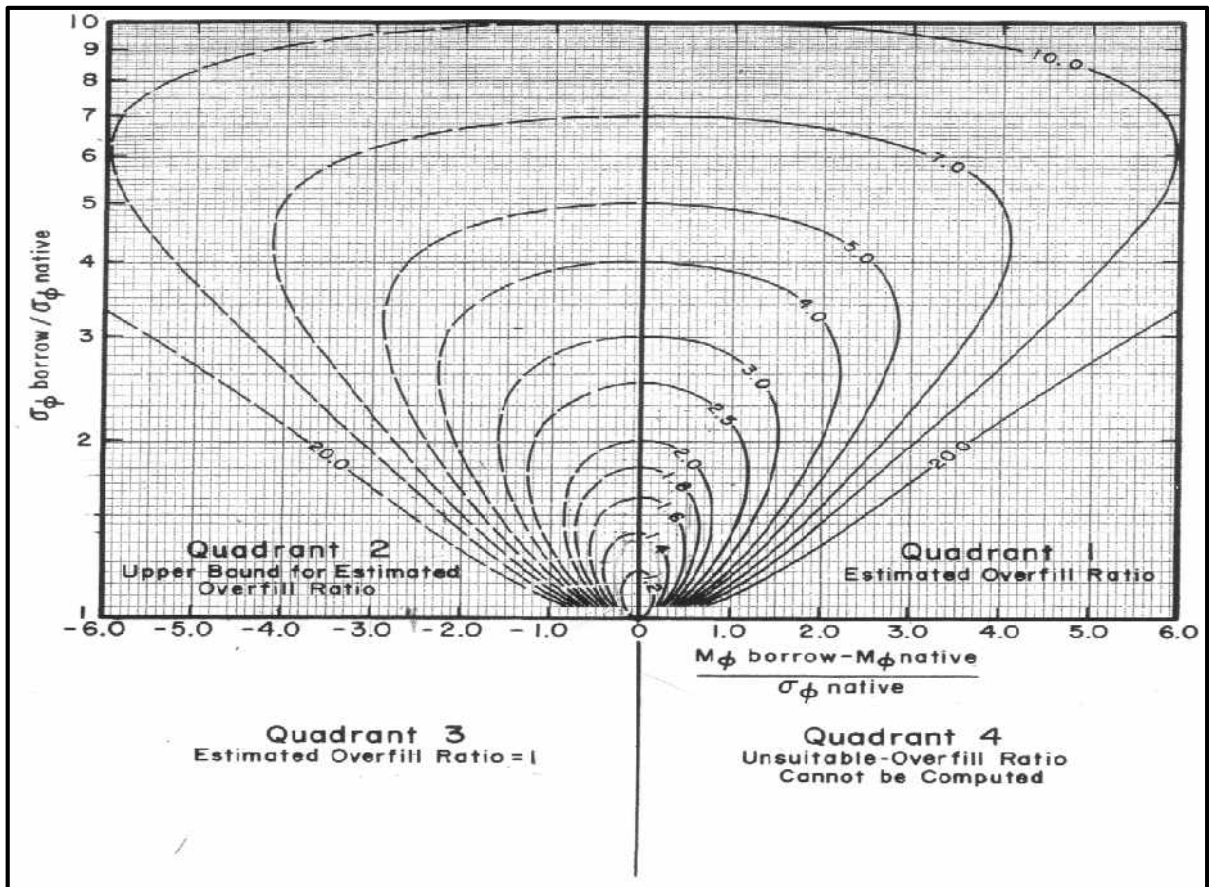
Donc pour reconstituer et élargir  $1m^3$  de plage, on a besoin un volume  $Rm^3 = 1,73m^3$  de matériau d'apport.

L'estimation totale et finale de volume de matériaux d'apport (matériaux de carrière) est comme suite :

$$V_{tf} = R * Vt \longrightarrow V_{tf} = 1,73 * 108045,865$$

**$V_{tf} = 186\,919,34645\,m^3$**

**V<sub>tf</sub>** : Volume total et final de rechargement.



**Figure.28** : Isolignes du facteur d'apport initial RA (James, 1975).

#### 7.4. Estimation de volume de rechargement périodique

Le volume de rechargement périodique est calculé à partir de la formule définie par JAMES, 1975:

$$V_p = R_j * V_{tf}$$

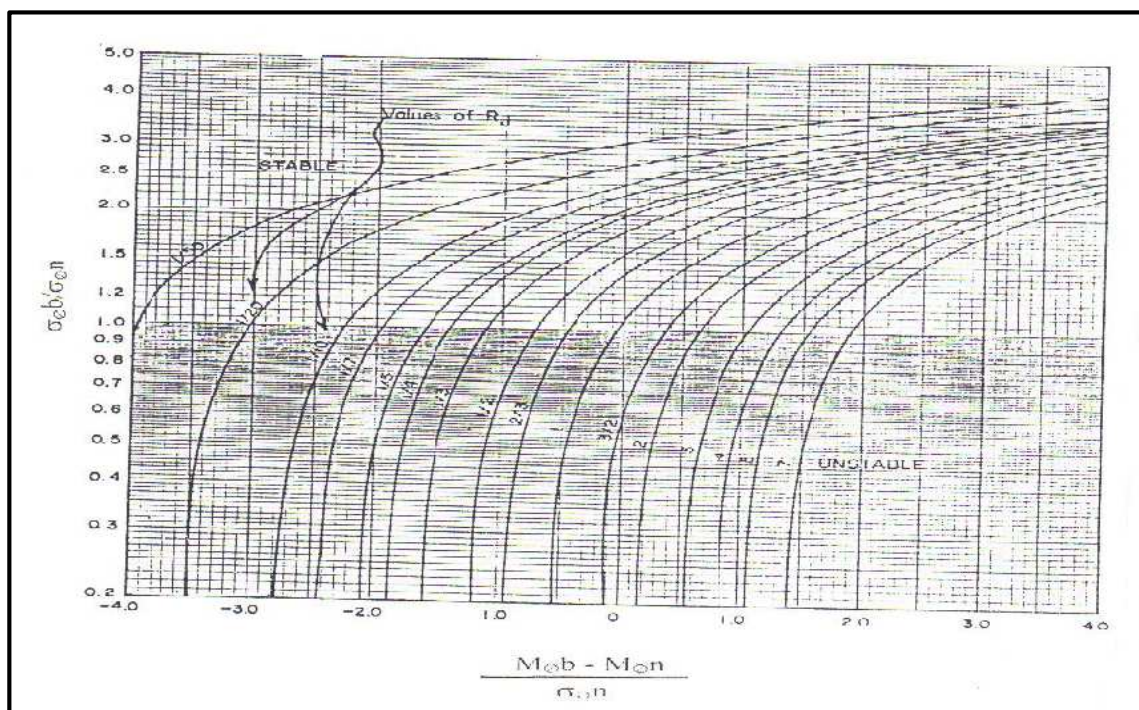
$V_p$  : Volume périodique de rechargement.

$R_j$  : Facteur d'apport initial (déterminé graphiquement à partir de l'abaque représentée dans la figure 29 en utilisant les mêmes rapports utilisés pour calculer le volume réel de rechargement).

$V_{tf}$  : Volume total et final de rechargement.

$$V_p = (1/20) * 186919,34645$$

$$V_p = 9345,9673225 \text{ m}^3$$



**Figure.29** : Isolignes du facteur entretien  $R_j$  (JAMES1975 in SPM 1977).

## 8. LES CONTRAINTES DE RECHARGEMENT

Tout en étant l'une des solutions les plus respectueuses de la dynamique du littoral, le rechargement artificiel d'une plage présente certains inconvénients d'une part dans l'opération elle-même et d'autre part sur l'écosystème marin :

- Difficulté de trouver le matériau approprié en grandes quantités et à un cout acceptable.
- Nécessité d'une alimentation périodique.
- Conséquence possible sur environnement (Impact sur les herbiers *posidonie oceanica*).
- L'inclusion de l'embouchure d'Oued de Reghaia dans la zone de rechargement.

## 9. DISPOSITION DE BRISE –LAME

Les brise-lames sont des ouvrages longitudinaux mis en place sur les petits fonds, donc en avant de la côte, et disposés plus ou moins parallèlement à son tracé (Paskoff, 1993).

Cet ouvrage exerce deux types d'action sur les houles arrivant à la côte :

- Il diminue l'énergie des houles atteignant le plan d'eau et la zone côtière situés à son abri en réfléchissant ou absorbant l'énergie des houles qui le frappent directement.
- Il provoque la diffraction à ses extrémités ce qui entraîne une modification du tracé des orthogonales et des crêtes de houle en arrière de l'ouvrage.

Dans le cas de plage El Kaddous, on va étudier la proposition de l'implantation d'un brise-lame immergé en enrochement naturel parallèle à la cote, il sera implanté à une profondeur de -3m à une distance de la côte de 132m.

### 9.1. L'objectif du brise-lame immergé

L'objectif d'implantation de ce type d'ouvrage est de protéger le remblai de rechargement de la plage d'une part et de atténuer l'énergie des houles avant d'arriver à la côte en créant un plan d'eau calme juste d'arrière de l'ouvrage d'autre part.

en plus c'est un ouvrage souple qui permet les eaux de se renouveler et il est adaptable sur le plan esthétique.

## 9.2. Dimensionnement

### 9.2.1. Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte

Des études faites par LCHF montrent que pour qu'un brise lame puisse provoquer la formation d'un tombolo se raccordant à l'ouvrage, il faut que les limites d'expansion de la houle, issues de chacune des extrémités de l'ouvrage, se croisent sur le trait de côte, ce qui conduit dans le cas d'une houle normale à la côte, à la relation

$$L > 1.2 (Lc + 0,3 L)$$

Avec  $l$  : longueur de brise- lame

$Lc$  : distance de brise lame

$L$  : longueur d'onde de la houle au point considéré

Le CERC montre que la formation d'un tombolo peut habituellement être évitée si  $l < Lc$ . En revanche, si la longueur de l'ouvrage devient supérieure à sa distance à la côte, la probabilité de formation d'un tombolo augmente, et pour  $l > 2 Lc$ , un tombolo se forme.

En côte ouverte, c'est le cas de plage El Kaddous, le brise- lames sera implanté à une profondeur d'eau de 3m soit 132m loin de la côte.

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 Dp}{T^2 g}\right)}$$

### Application numérique

La période (T) des houles au niveau de plage El Kaddous est égale à 12s (LEM).

La distance de brise-lame par rapport à la cote est :  $l_c=132m$ .

La profondeur d'implantation  $Dp= 3m$ .

Donc apres le calcul :

$$L=65m \quad \longrightarrow \quad l > 182m$$

On choisit  $l=185m$

**9.2.2. Longueur et espacement**

Le LCHF recommande pour qu'il n'y ait pas d'érosion du rivage entre deux brises lames successifs un espacement entre eux tel que :

$$e < 0.83 Lc + 0.5 L$$

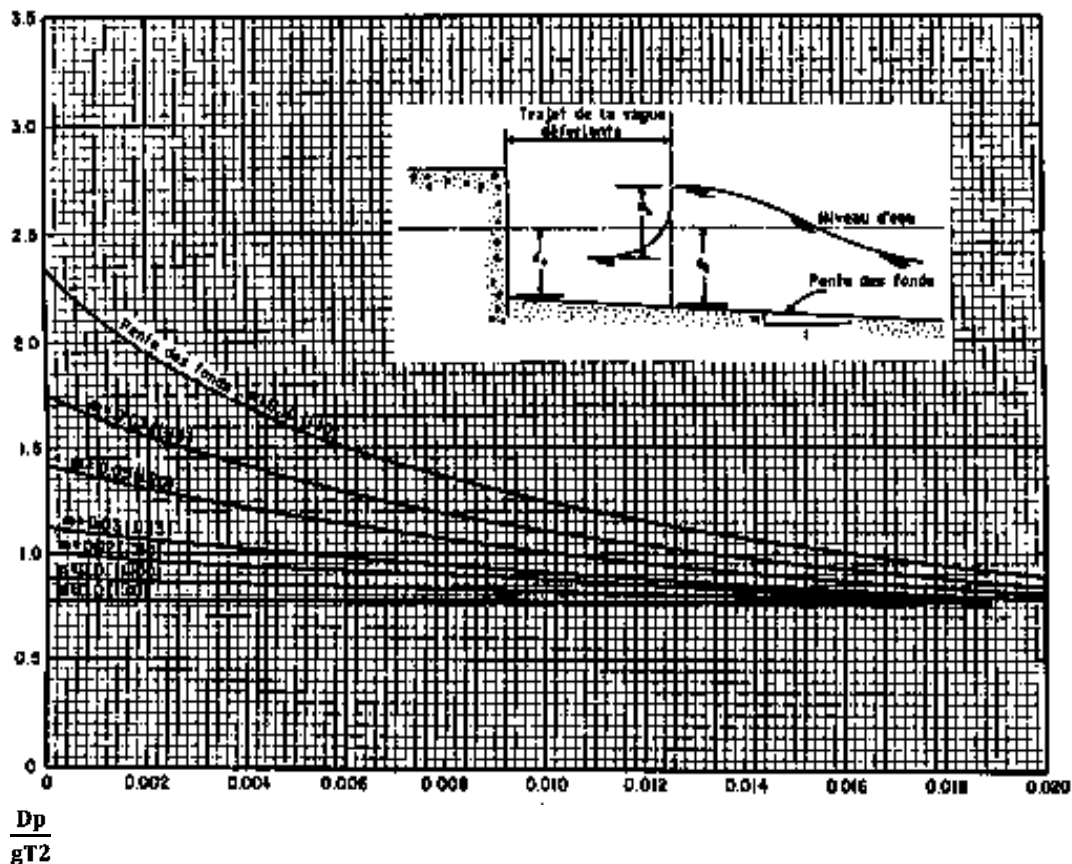
**Application numérique**

$Lc=132m, L=65m \longrightarrow e < 142m$  donc on choisit  $e = 130m$ .

**9.2.3. Hauteur de la houle au pied de l'ouvrage**

A partir de l'abaque représentée au niveau de la (figure 30), on va déterminer la hauteur  $H_b$  de dimensionnement de l'ouvrage.

$$\frac{H_b}{D_p}$$



**Figure.30 :** Hauteur maximale de déferlement en fonction de la profondeur en pied de l'ouvrage (D'après Waggel, 1972).

**Application numérique**

- La profondeur d'implantation de l'ouvrage est :  $D_p = -3\text{m}$ .
- La pente de plage El Kaddous est de  $S=0,02$
- $\frac{D_p}{gT^2} = \frac{3}{9,81*12^2} = 0.002$
- $\frac{H_b}{D_p} = 0.89 \longrightarrow H_b = 3*0.89 = 2.67\text{m}$

$$H_b = 2.67\text{m}$$

**9.2.4. La hauteur de brise lame**

La hauteur du brise-lames peut être déterminée pour éviter tout franchissement par la houle de projet.

Pour plage El Kaddous on a choisis la hauteur (h) de brise-lame est égale 2m.

**9.2.5. La largeur de la berme de brise-lame**

La largeur de brise-lame est calculée par la formule suivante :

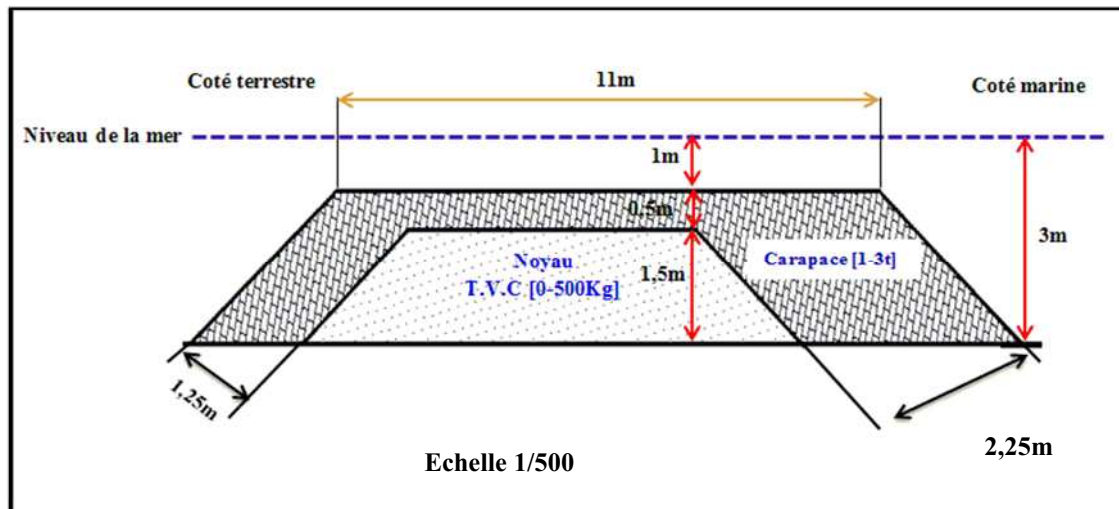
$$B = 4 * H_b$$

$$B = 4 * 2.67 \longrightarrow B = 11\text{m}$$

**9.2.6. Stabilités des ouvrages de protection**

Globalement les ouvrages à talus comprennent au minimum 3 couches de matériaux de granulométrie différente ayant des fonctions bien spécifiques. La carapace en enrochements naturels ou artificiels à fort indice de vides support directement l'action de la houle, le noyau (généralement massif en tout venant) constitue le corps de la digue, enfin le filtre disposé entre le noyau et la carapace, assure la transition entre ces 2 couches et le poids des ses éléments ne doit pas être inférieure 1/10 de ceux constituant la carapace.

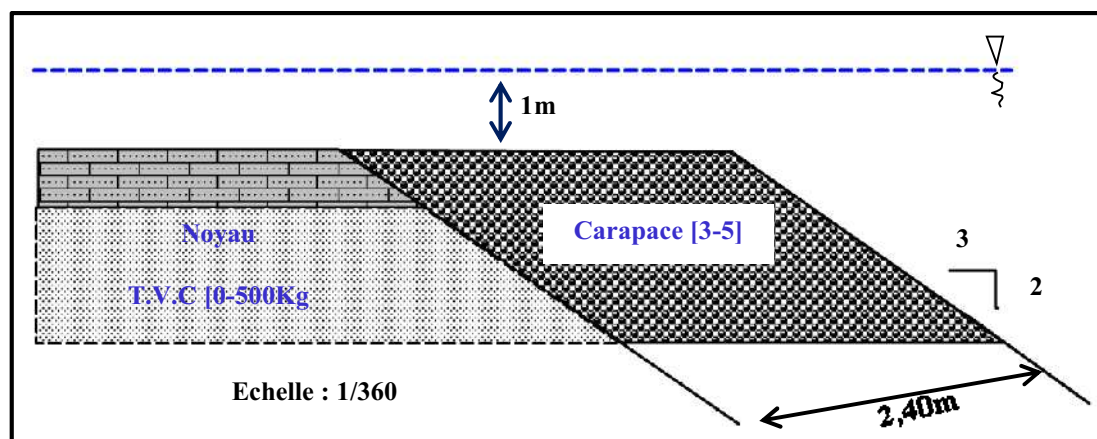
Le résultat du calcul les caractéristiques de différentes composantes (carapace, noyau, filtre).



**Figure.31** : Profil du brise-lame immergé proposé pour plage El Kaddous.

- **Musoir**

C'est l'extrémité d'un brise-lame, le musoir, est soumise à une action renforcée de la houle qui l'attaque directement mais aussi « par derrière » grâce à la diffraction et à la réfraction sur le massif de pied.



**Figure.32** : Profil de musoir du brise-lame proposé pour plage El Kaddous.

## 10. L'IMPACT DU BRISE-LAME

- Des phénomènes importants de réflexion sont constatés sur la base extérieure de l'ouvrage, ce qui peut provoquer son affouillement, voir son écoulement.
- Le danger qu'ils peuvent présenter pour les baigneurs, et pour la navigation de plaisance (jet ski).
- Impact sédimentaire possible sur les zones avoisinantes
- Impacts environnementaux négatifs (augmentation de la turbidité).

## 11. RESTAURATION ET CONSERVATION DE LA DUNE BORDIERE

La restauration du cordon dunaire a pour objet de réhabiliter un milieu naturel devenu globalement rare et menacé sur le littoral algérien et favoriserait la stabilisation du littoral. Cette restauration améliorerait de façon significative la valeur paysagère esthétique du littoral de la région, au bénéfice des utilisateurs de la plage et d'un développement touristique raisonné.

La dune constitue un élément essentiel de l'équilibre dynamique de la plage, car elle constitue une réserve en sable pour la plage, en plus, elle représente un pare-chocs contre les vagues déferlants et protège les terres agricoles de l'arrière plage de l'inondation par l'eau de la mer.

Comme l'aménagement de dune bordière d'El Kaddous peut la rendre attractive de point de vue touristique, mais vue l'état critique dans laquelle se trouve actuellement notre ZET, il s'est avérée nécessaire de la restaurer, pour cela certains dispositifs d'aménagement peuvent être adoptés (Figure 35) :

- **Planter artificiellement des espèces psamophiles.**

En plus de leurs caractéristiques naturelle, c'est une excellente fixatrice de sable, les touffes d'oyat (plante utilisée pour fixer les dunes) doivent être alignées perpendiculairement au vent dominant et leur densité être moins grande à l'avant du côté de l'estran, qu'à l'arrière pour mieux répartir le piégeage du sable sur l'ensemble de la dune. On utilise des jonchées de branches pour protéger les jeunes plantes et des clôtures pour les mettre à l'abri du piétinement (BELAIDI et RAHMANI, 2000).

- **Mettre en place des obstacles favorables aux dépôts du sable**

Il s'agit de mettre en place des ganivelles, haies brise-vent en châtaignier, des filets coupe-vent ou des fascines à plat (ballot de foin, branchages,.....) qui vont arrêter une partie de transit sédimentaire éolien et donc stabiliser la réserve de sable qui se trouve en haut de plage (Ramoge, 2002).



**Figure.33 :** Cloturage des dunes par les ganivelles (WordPress.com).

- **la réduction du pâturage et de la coupe de la végétation.**

Elle aurait des bénéfices considérables sur la végétation graduelle de la biodiversité. Les activités de pâturage et de coupe doivent continuer à être autorisées mais nécessitent d'être encadrées afin qu'elles soient et améliorerait la valeur pastorale globale du site. Le bénéfice serait également une augmentation réalisée en dehors d'une logique de la "terre brûlée", dans des conditions de durabilité. Le contrôle de ces activités peut être envisagé à travers un programme d'exploitation durable des ressources naturelles. Il implique cependant une volonté politique affirmée de la part du gouvernement et des autorités locales ainsi que la consultation et l'accord des utilisateurs du site.

- **Aménager des aires de stationnement et une voie carrossable :**

Ce dispositif permet aux véhicules de s'éloigner le plus loin possible de la dune, d'autant plus que la topographie de l'arrière zone le permet.

- **Canalisation de la dune :**

En vue d'éviter un piétinement abusif sur la dune et offre un accès à la plage, Il devra relier la route derrière le cordon à la plage par un sentier dunaire.



Figure.34 : Sentier dunaire (participez.com).

- La prévention d'aménagements consommateurs de milieux naturels (parcelles cultivés, construction, routes) permettrait de stopper la dégradation du site. La prévention ne peut être envisagée qu'à condition de planifier clairement l'aménagement du territoire, faire appliquer la législation et la réglementation existantes et si nécessaire introduire de nouveaux systèmes de régulation. notamment la 'loi littoral' n° 02.02 du 5 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.

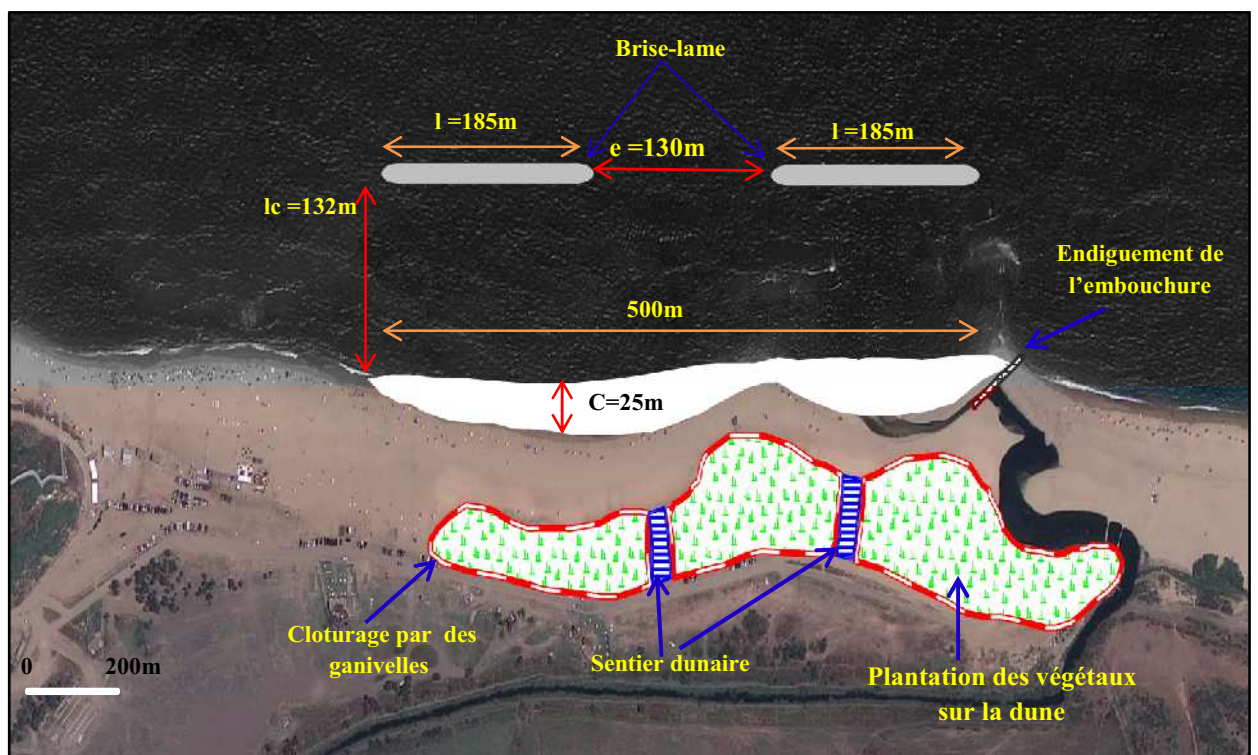


Figure.35 : Illustration du plan d'aménagement du littoral sableux d'El Kaddous.

# **Conclusion générale**

### Conclusion générale

La plage El Kaddous offre un aspect attrayant avantage par le voisinage du lac de Réghaia, d'un espace boisé et de la proximité urbaine.

L'étude sédimentologique effectuée au niveau de la plage El Kaddous nous a permis de constater que le sable de la plage généralement est un sable moyen à grossier bien classé, ce qui traduit l'exposition de la plage à des facteurs naturels assez forts.

L'évolution de trait de côte de la plage a montré qu'elle a subi une faible érosion, qui résulte en partie de l'attaque des houles frontales. Mais le léger recul constaté est surtout provoqué par la diminution des apports sédimentaires. En effet, l'endiguement du lac de Réghaia à la fin des années 80, afin de le rendre permanent, a probablement réduit l'apport solide sur la plage. Le transit sédimentaire dans le sens Est vers l'Ouest est relativement faible. Les profils effectués sur la plage ont montré que la pente est plus au moins importante au niveau Est que Ouest. Le rechargement artificiel de la plage, consolidé par un dispositif de protection lourd (implantation des brises- lames).

Tout ceci nous a permis de déduire à la fin de notre étude que ce travail est loin de l'exhaustivité les résultats obtenus ont besoin d'être validés pour qu'ils soient plus fiables, c'est juste un essai d'élaboration un schéma de gestion et de préservation où nous avons étudié la faisabilité d'intégration d'un aménagement durable, dans cette perspective on a mené des études variées en vue de trouver des outils de gestion et de suivi et adoption des aménagements dans de meilleures conditions pour préserver l'état naturel du site.

# **Bibliographie**

# Bibliographie

---

## Ouvrages généraux

**BORLOO, J. (2010).** La gestion du trait de côte. Paris: Edition Quae. 189p.

**GERVREAU, E. (2000).** Géotechnique Calcul des ouvrages. Gaëtan Morin éditeur.

**LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation de l'holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Bléares (Precotinent Algérien). Paris : Mémoire du Muséum D'histoire Nat. Nouvelle série c, science de la Terre, T.XX.IV, Fax –Unique. 391p.

**MIOSSEC, A. (2004).** Les littoraux entre nature et aménagement. Paris : Armand Colin. pp.43-47.

**PASKOFF, R. (1998).** Les littoraux, Impact des aménagements sur leur évolution. Paris: Edition Masson. pp. 69-74.

**PINOT, J. (1998).** La gestion du littoral. Paris : Tome I- Littoraux tempérés côtes rocheuses et sableuses. Institut océanographique. pp. 293-295.

**RIVIERE, A. (1977).** Méthodes granulométriques (Techniques et interprétations). Paris New York Barcelone Milan. Masson.

## Mémoires et thèses

**ADJOUT et al. (1994).** Zone côtière de la région de Réghaia: plage El Kaddous mémoire d'ingénieur. ISMAL Dely Brahim.

**AI SID CHIKH, S. (2011).** Etude de protection de la plage de Palm Beach-Azur contre l'érosion: Recours à la modélisation numérique et physique. Thèse magister. ENSSMAL, Dely Brahim.

**BELAIDI, S et RAHMAN, Z. (2000).** Pour une nouvelle approche de l'aménagement des ZET. Cas de la ZET de Zeralda. Mémoire d'ingénieur en aménagement du territoire. USTHB, Alger.

**BELLATRACHE, M. (1987).** Recensement hivernal des oiseaux d'eau dans le marais de Réghaia. Mémoire ingéniorat, Institut National Agronomique (INA) – El Harrach – Algérie.

**BOUAKLINE, S. (2009).** Variation historique de la ligne de rivage et érosion côtière le long de la cote Est algéroise entre cap Matifou et l'embouchure de l'oued Reghaia. Thèse magister en science de la terre. USTHB. Alger.

## Bibliographie

---

**BOUKAHEL, C. et BENKHARFELLAH, S. (1999).** La plage de Stamboul (Bordj El Kiffan) et son environnement : Contribution à la réflexion sur les problèmes et perspectives d'aménagement et de protection d'un site balnéaire. Mémoire d'ingénieur. ISMAL. Dely Brahim.

**CHALAL, F. YAHAOUI, L. (2005).** Contribution à l'analyse de durabilité d'une zone côtière "le cas du lac de Réghaia" (mémoire d'ingénieur. ISMAL Dely Brahim).

**DRICI, A et AINAS, S. (2006).** Contribution à l'aménagement durable et intégré d'un littoral sableux d'importance écologique : La plage El Kadous (lac de réghaia). Mémoire de fin d'étude d'ingénieur en Aménagement du littoral, ISMAL. Alger. 75p.

**GUESSAB, M et DELLI, I. (2011).** Développement durable du tourisme balnéaire «Cas de la région de Réghaia-Heroua». Mémoire master en géographie et aménagement du territoire. USTHB. Alger.

**HAMDI, M et HADDAR, S. (2007).** Le littoral sableux du Mazafran Ouest: Etat, évolution et perspectives. Mémoire d'ingénieur. ENSSMAL, Dely Brahim.

**LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro Baléares (pré continent Algérien). Paris : Mémoire du muséum national d'histoire naturelle. 33p.

**LEODAGMAN (2011).** Cloturation des dunes par les ganivelles [en ligne]. Mer du Nord: [Consulté le 05/10/2014]. Disponible à l'adresse :  
<<http://leodamgan.wordpress.com/2011/09/04/ganivelles/ganivelles-8/>>

**DAVID, R. (2010).** Reportage sur le sentier de la mer. Saint-Nazaire au Mont saint-Michel. [Consulter le 05/10/2014]. Disponible à l'adresse :  
<<http://www.participez.com/contenu/reportage/sur-le-sentier-de-la-mer>>

# **Annexe**

## Annexe

**Annexe 1** : Résultat de calcul de dimensionnement de brise-lame.

Partie de l'ouvrage	La formule	Application numérique	résultats	
				catégorie
<b>Carapace</b>	$W_{\text{carapace}} = \frac{\gamma_w \cdot H d^3}{Kd \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cdot \cotg \alpha}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{carapace}}}{\gamma_s}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{carapace}} = \frac{2,65 \cdot 2,67^3}{3,5 \left(\frac{2,65}{1,028} - 1\right)^3 \cdot 1,5}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{2,44}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,95$	<b>W= 2,44t</b>  <b>Dn<sub>50</sub>= 0,95m</b>  <b>E=2,5m</b>	[1-3t]
<b>Butée de pied</b>  <b>Filtre</b>	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} W_{\text{carapace}}$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{W_{\text{butée}}}{\gamma_r}}$ $E = n \cdot K_t \cdot Dn_{50}$	$W_{\text{butée}} = \frac{1}{10} \cdot 2,44$ $Dn_{50} = \sqrt[3]{\frac{0,244}{2,65}}$ $E = 2 \cdot 1,15 \cdot 0,03$	<b>W= 0,244t</b>  <b>Dn<sub>B</sub>=0,03m</b>  <b>E=1m</b>	[200-500kg]
<b>Le noyau</b>				[0-500kg]
<b>La largeur des bermes(l)</b>	$L \geq 5m$	$L \geq 5m$	$l = 5m$	