

وزارة التعليم العالي و البحث 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 du Littoral



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

Spécialité : Aménagement du Littoral

Sujet :

# Propositions d'aménagement et de protection par les méthodes dite « SOFT »

Cas : La baie D'ALGER

Soutenu le : 24 /09/2015

Présenté par : RAHMANI Walid

Membre du jury :

Mme MEHDI D Sonia	Maître-assistante A	Présidente
Mr MEZOUAR Khoudir	Maître de conférence B	Examineur
Mr HEMDANE Yacine	Maître de Conférences A	Examineur
Mr GUERFI Mokhtar	Maître de Conférences A	Promoteur

# Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude au bon dieu de m'avoir donné la force pour réaliser ce modeste travail.

Je tiens à remercier particulièrement mon promoteur **Mr. GURFLM** qui m'a encadré pendant la période de réalisation de ce travail. Sa disponibilité, ses orientations m'ont permis de mener à merveille ce travail.

Je tiens à remercier également **Mme. MEHDID S.** D'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.

Mes remerciements s'adressent à mes chers professeurs **Mr. HAMDENE.Y et Mr MEZOUAR. K** pour avoir accepté d'examiner mon travail.

Sans oublié tous les enseignants de l'ENSSMAL qui ont contribué de près ou de loin a cette magnifique formation

Tout d'abord, je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.

Je dédie le fruit de mes années d'étude et ce travail aux êtres

qui me sont les plus chers :

A ma fierté ; mes parents... Je vous aime ;

A la femme la plus chère dans ma vie ; **ma MERE**, je te remercie pour ta patience, ton amour et tes sacrifices....

A ma grande mère : AKILA qui a toujours cru en moi, qui ma toujours soutenu

A mon frangin, mon pote, mon frère jumeaux ; Emir j'aurais tant aimé que tu sois la... je te souhaite que de la réussite dans tous ce que tu entreprendras dans ta vie

A mes tantes et oncles : KARIMA, CHAHRA, HICHEM, HASSEN,

A mes formidables cousines : NARIMANI , LINA ,

A mes amis , mes collègues , mes frères de L'enssmal .

Et En particulier a toi KARIMA KIM .... C'elle qui ma redonner la sourire

Je vous aime, que dieu vous protèges

## Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la baie d'Alger.....	1
Figure 2 : Carte géomorphologique de la baie d'Alger (LEM, 1999) .....	4
Figure 3 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM, 1998).....	7
Figure 4 : Carte bathysédimentologique de la baie d'Alger (Leclaire, 1972).....	8
Figure 5 : Le fonctionnement des brise-lames.....	11
Figure 6: Fonctionnement d'un champ d'épis.....	14
Figure 7 : Situation géographique du port d'Alger.....	16
Figure 8 : Illustration du principe de Brunn.....	18
Figure 9 : Impacts des tempêtes sur le littoral.....	18
Figure 10 : Schéma descriptif de l'attaque du littoral et des dunes par les tempêtes (Shore Protection Manual, 1984).....	18
Figure 11 : Evaluation des risques d'érosion dans la baie d'Alger (MATE 2013).....	21
Figure 12 : Plage sans ouvrage de pied (d'après R. Bonnefille).....	23
Figure 13 : Plage à butée de pied (d'après R. Bonnefille).....	24
Figure 14 : Plage suspendue (d'après R. Bonnefille).....	25
Figure 15 : Plage à marée (d'après R. Bonnefille).....	25
Figure 16 : Profil du remblayage d'une plage (Mezouar, 2006).....	27
Figure 17 : Schéma de système de by-pass.....	29
Figure 18 : Exemples de gestion souple des cordons dunaires.....	35
Figure 19 : Schéma de principe d'un drainage de plage (ECOPLAGE).....	37
Figure 20 : Ouvrage en géotextile (France).....	38
Figure 21 : Pieux hydrauliques transversaux, Cap Ferret, Aquitaine (France).....	39

**Liste des tableaux :**

Tableau 01 : synthèse des avantages et inconvénients des différentes technique de by –pass..... 30  
(Panorama des solutions douces de protection des côtes).

Tableau 02 : Synthèse des avantages et des inconvénients des principaux matériaux utilisés pour  
la réalisation de récifs artificiels (Bell et al. 1997)..... 34

Tableau 03 : synthèse Avantages et inconvénients des techniques de gestion du cordon  
dunaire..... 36

## Liste des acronymes

**LCHF** : Laboratoire Central d'Hydraulique de France.

**CERC** : Cellules Economiques Régionales de la Construction.

**MATE** : Ministère de L'Aménagement du Territoire et de L'Environnement

**LEM** : Laboratoire d'Etude Maritime.

**ENSSMAL** : Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et d'Aménagement du oral.

**IFREMER** : L'Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer

**FAO** : Food and Agriculture Organization of the United Nations

# Sommaire

<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	1
------------------------------------	---

## **Chapitre I : Généralités**

I. Situation géographique de la baie d'Alger .....	3
II. Aspect géomorphologique de la baie d'Alger.....	3
III. Aspect hydro climatologique .....	4
III.1. Réseaux hydrographiques et les apports fluviaux.....	5
a. Oued el Harrach .....	5
b. Oued el Hamiz .....	5
III.2.Facteurs hydrodynamiques .....	6
a. La houle.....	6
b. Les courants .....	7
IV. La morphologie sous-marine .....	8
V. Etude sédimentologique.....	8
VI. Les infrastructures littorales lourdes de la baie d'Alger .....	9
VI.1. Les bries lames .....	9
VI .1.1. Définition.....	9
VI.1.2. Dimensionnement .....	9
VI.1. 3. Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte.....	9
VI.1.4. Longueur et espacement .....	10
VI.1.5. La hauteur .....	11
VI.2. Les épis .....	12
VI.2.1. Définition.....	12
VI.2.2. Rôle.....	12
VI.2.3. mise en place.....	13
a. Dimensionnement.....	13
b. Espacement.....	13
c. Orientation.....	13
d. Champs d'épis.....	14
VI.2.4 Avantages.....	15
VI.2.5 Inconvénients.....	15
VI.3. Le port d'ALGER.....	16

## Chapitre 2 : L'érosion marine

I. Généralité et principe .....	17
I.1. Les facteurs d'érosion des plages .....	17
a. Facteurs naturels .....	17
• L'épuisement du stock sédimentaire côtier .....	17
• Les phénomènes tectoniques .....	17
• Elévation contemporaine du niveau marin .....	17
• Les tempêtes .....	18
b. Facteurs anthropiques .....	20
• Les aménagements et l'artificialisation du littoral .....	20
• La fréquentation humaine .....	20
• L'exploitation de dunes sableuses .....	20
• Les constructions très proches du trait de cote .....	20
• La mauvaise conception des ouvrages de défense .....	20
• La dégradation des herbiers de phanérogames marines .....	21
• L'extraction de réserves souterraines en eau douce .....	21
• La pollution .....	21

## Chapitre 3 : inventaire des méthodes de protection douce contre l'érosion marine

I. Généralités .....	22
II. Rechargement artificiel des plages .....	22
II.1. Définition .....	22
II.2. Classification des plages artificielles .....	23
a. Les plages semi artificielles .....	23
b. Les plages artificielles à éléments meubles naturels .....	23
c. Les plages artificielles à éléments meubles artificiels .....	23
II.3. Profils des plages artificielles .....	23
a. Plage sans ouvrage de pied .....	23
b. Plage a butée de pied .....	24
c. Plage suspendues .....	24
d. Plage protégée par un brise lames continu .....	25

e. Plage protégée par un brise lames discontinu.....	25
III. Dimensionnement des plages artificielles .....	26
IV. Rechargement des plages artificielles .....	26
• Avantages .....	27
• inconvénients.....	28
V. By passing sédimentaire.....	28
V.1. Définition et importance du rétablissement du transit littoral.....	28
V.2. Différentes formes de by passing.....	29
V.3. Avantages généraux .....	29
V.4. Inconvénients généraux .....	29
V.5. Avantages et inconvénients des différentes formes de by-passing.....	30
VI. Les récifs artificiels.....	31
VI.1. Généralité .....	31
VI.2. Définitions .....	31
VI.3. Les objectifs des récifs artificiels .....	31
a. Du point de vue écologique.....	31
b. Du point de vue protection des cotes .....	32
VI.4. Avantages .....	33
VI.5. Inconvénients .....	33
VI.6. Avantages et inconvénients des matériaux de construction .....	34
VII. La gestion souple des dunes .....	35
VII.1. Avantages et inconvénients .....	36
VIII. Les systèmes de drainage de plage .....	36
VIII.1. Avantages de la technique.....	37
VIII.2. Inconvénients de la technique.....	37
IX. Les ouvrages en géotextile.....	38
IX.1. Description.....	38
IX.2. Avantages .....	38
IX.3. Inconvénients.....	38
X. Les pieux hydrauliques.....	39

X.1. Description.....	39
X.2. Avantages .....	39
X.3. Inconvénients.....	39
<b>Conclusion.....</b>	<b>40</b>

# introduction generale

Les milieux côtiers sont situés à la frontière du continent et de la mer. Entre des domaines que tout oppose, ils forment une interface particulière qui reste encore mal connue à l'heure actuelle. Ainsi, les processus dynamiques, les constituants du milieu et leurs relations n'ont jamais été intégralement analysés. En fait, il semble que l'étude du littoral constitue un sujet inépuisable tant les côtes sont diversifiées autour de la planète et variables dans le temps.

La compréhension de ces milieux représente donc un vaste domaine d'investigation pour la recherche fondamentale et les sciences naturelles.

Il faut également constater que la zone côtière est un espace d'activités privilégié pour les hommes. On y trouve une grande concentration d'habitations, de plus, la pêche, le tourisme et les activités portuaires sont des domaines économiques majeurs. La zone côtière est donc considérée comme très attractive, mais elle est aussi particulièrement dangereuse. En effet, les évolutions spectaculaires, l'impact des tempêtes et de l'érosion à long terme menacent parfois les activités humaines. Ces risques et surtout la méconnaissance du milieu naturel entraînent légitimement un sentiment de méfiance ou de peur. Malheureusement, les réactions humaines sont trop souvent mal adaptées, très coûteuses et parfois destructrices pour l'environnement.

De nos jours, les littoraux, et les plages en particulier, reculent. Entre les pressions économiques et environnementales, la préservation des milieux côtiers est devenue un enjeu essentiel de ces prochaines années. Il faut pour cela avoir une meilleure compréhension des processus naturels.

En effet la présence d'ouvrages maritimes durs (jetées, cordons d'enrochement) a au fil des années une influence négative sur l'environnement : en plus de la "pollution visuelle", ces ouvrages ne font que déplacer les problèmes d'érosion de quelques centaines de mètres. Un exemple classique est celui des digues ou des enrochements parallèles ou transversales à la cote (qui provoquent généralement la formation d'un tombolo) et qui bloquent la dérive littorale et induisent ainsi un déficit d'apport en sédiments en aval de l'ouvrage et donc une érosion locale.

Dans ce présent travail, on a choisit la baie d'Alger, qui est une zone riche avec ses potentiels naturels, où l'intervention de l'homme sur le milieu littoral est très remarquable, nous avons

recensé un nombre d'ouvrages côtiers très considérable, entre ouvrages de protection et infrastructures lourdes. Comme on a évalué leurs différents impacts et les modifications qui sont intervenues sur le système littoral.

-Dans le premier chapitre, nous dressons un aperçu général sur la baie d'Alger (situation géographique, aspect hydro climatologique, la sédimentologie....). Avec un inventaire des infrastructures en place dans la baie d'Alger (Epis, Brises lames. Port)

-Le second chapitre est dédié à la problématique d'érosion côtière ou le recul du trait de côte qui est devenue un enjeu socio- économique qui menace plus de la moitié des côtes à l'échelle du globe. Ceci n'exclut pas La côte algérienne, sur toute son étendue méditerranéenne, et en particulier la côte algéroise qui supporte une surcharge économique et urbanistique très intense. Les études menées durant plusieurs années, au profit de cette côte ont montré des résultats très effrayants menaçant ainsi les quelques minces plages, lieux de détente de nombreux estivants surtout en saison estivale.

-Dans le dernier chapitre nous avons voulu apporter une vision nouvelle Pour remédier à ces dommages liée à l'érosion marine, et on a préconisé quelques propositions d'aménagement sur le milieu marin moins coûteuses plus harmonieuses, soit par des (rechargements artificiels des plages en agrégats, gestion du cordon dunaire, récifs artificiels et autres) dites méthodes de protection douces. Ces méthodes consistent à développer des ouvrages qui s'adaptent avec les variabilités du milieu littoral, et qui s'intègrent sans gêner l'équilibre naturel de ces dernières

# Chapitre 1

## **I. Situation géographique de la baie d'ALGER :**

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne entre les longitudes Est : de 03°01'00" E à 03°14'30" E et les latitudes Nord : de 36°44'30" N à 36°49'15" N. De forme semi-circulaire et avec une superficie approximative de l'ordre de 180 Km<sup>2</sup>, elle s'inscrit en creux dans la plaine de La Mitidja. Elle est délimitée par deux caps, La Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'Ouest et le cap Matifou (Tamentfoust) à l'Est ainsi que par la Méditerranée occidentale au Nord. Deux Oueds se déversent dans la baie d'Alger, ce sont :

- Oued El Hamiz
- Oued El Harrach

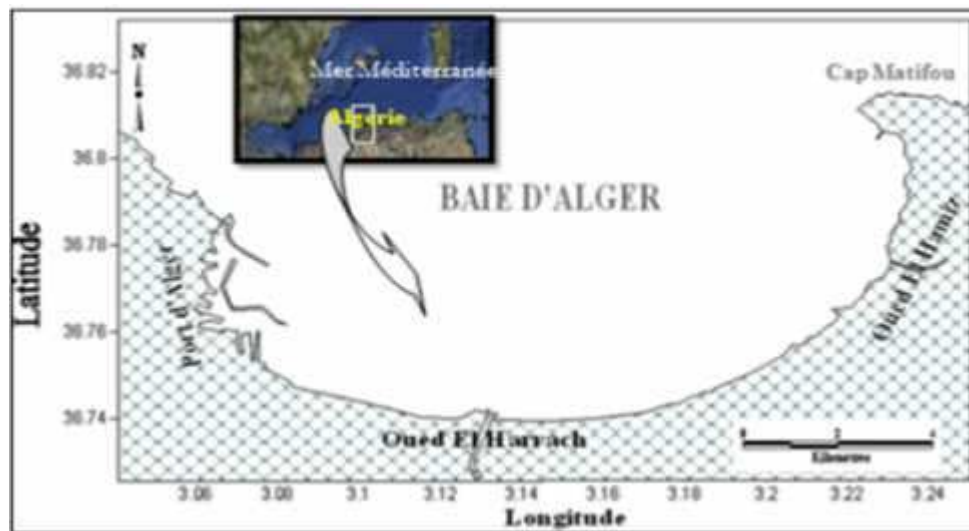


Figure 1 : Situation géographique de la baie d'Alger.

## **II. Aspect géomorphologique de la baie d'ALGER :**

Un aperçu géomorphologique de la baie d'ALGER nous permettra de mieux comprendre la morphologie et le cadre géologique de notre zone d'étude.

On peut subdiviser la baie d'Alger en plusieurs ensembles de nature et d'âges distincts :

- Massif d'Alger ;
- Sahel d'Alger;
- Plaine de la Mitidja ;
- Cordon littoral dunaire ;

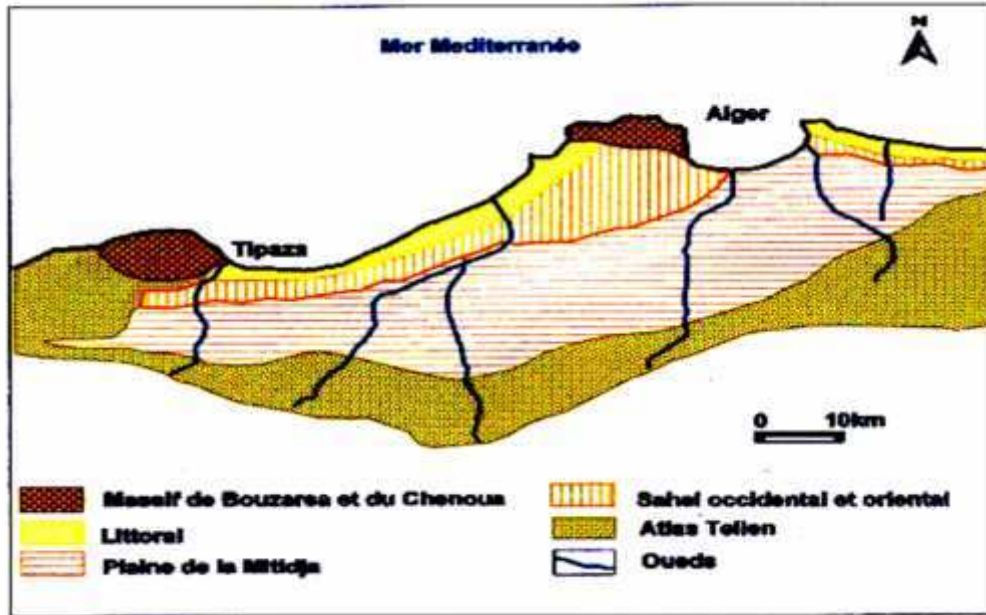


Figure 2 : Carte géomorphologique de la baie d'Alger (LEM, 1999).

Un cordon littoral se développe entre oued El Harrach et Bordj El Kiffan où il sépare la rive maritime des zones basses septentrionales de la Mitidja formant une barrière sablo gréseuse parallèle au rivage.

L'aire d'étude est constituée de dépôts marins de quartz, galets, dunes consolidées et de grés marins à lumachelles, ces terrains correspondent aux dépôts du Pléistocène...les dépôts actuels se résument en :

- sable plus ou moins argileux ;
- alluvions récentes ;
- plages actuelles ;
- les formations dunaires occupent une position intermédiaire entre la côte et les terrains tyrrhéniens.

### III. Aspect hydro climatologique

La connaissance des conditions météorologiques et hydrologiques est très importante pour une bonne compréhension des régimes hydrodynamiques régnant dans notre zone d'études.

### **III.1 Réseaux hydrographiques et les apports fluviaux**

La baie d'Alger est alimenté en apports par les oueds (oued el Harrach, oued el Hamiz), ces cours d'eau prennent leur source dans l'Atlas blidéen et coulent dans la plaine de la Mitidja avant de déboucher en mer.

Les régimes hydrauliques de ces oueds se caractérisent par un long étiage et des crues observées surtout en hivers et rarement au printemps.

#### **a. Oued el Harrach**

Son bassin versant couvre une superficie de 1200Km<sup>2</sup> et englobe en plus d'oued El Harrach lui-même les oueds Djemaa à l'Est et Terro à l'Ouest.

Il s'écoule du sud vers le nord à travers l'atlas Blidéen, la Mitidja et le sahel ou finalement il se jette à la mer.

C'est un bassin difficile d'accès caractérisé par de fortes dénivelées, une végétation peu dense et une pluviométrie importante. A ces facteurs d'érosion s'ajoute le caractère torrentiel de l'oued, qui accentue une forte érosion et un alluvionnement important (LEM, 1998)

Le bilan des écoulements moyens annuels est de 5,41m<sup>3</sup>/S.

Ce dernier reçoit tous les rejets urbains, industriels et agricoles, de ce fait altère toute la biodiversité qui y vit, de part sa qualité physico-chimique et microbiologique très dégradée

(Charakdji et al, 2006).

#### **b. Oued el Hamiz**

La superficie du bassin versant d'oued El Hamiz est de l'ordre de 315Km<sup>2</sup>, son embouchure se situe près du cap Matifou.

Les principaux affluents :

- Oued Segia (Oued Bouera) bassin versant de 54Km<sup>2</sup> ;
- Oued Barek (dérivé artificiellement dans l'oued El Hamiz) avec un bassin versant de 58Km<sup>2</sup> ;

La présence du barrage d'El Hamiz réduit considérablement ses apports solides vers la mer (LEM, 1998)

### **III.2 Facteurs hydrodynamique de la baie d'ALGER :**

#### **A. La houle :**

Etant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d'onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire,1972).

En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et, en été, elles sont de direction N-NE (20°-40). (LEM,1998) .

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules favorisent leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments. (Millot,1989). Dans le cas général de houles de petites et moyennes amplitudes, les courants ne sont notables que dans les zones de déferlement et n'affectent donc que le triage des sables et des graviers de la frange littorale "fond -10 m". Ils assurent le transport latéral par dérive littorale et la dispersion. Par contre les houles de fortes amplitudes pourraient agir jusqu'à des fonds de "-40 m à- 60 m"

#### **B. Les courants**

La mer Méditerranée est connue par son excès d'évaporation par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an, ce déficit est compensé par un flux entrant (de 31600 Km<sup>3</sup> /an) d'eau atlantique, par le détroit de Gibraltar. Ces eaux de salinité ( $S < 36,5$  PSU), au fur et à mesure de leur progression vers l'est, elles se « méditerranisent » le long des côtes algériennes, d'où l'appellation du courant algérien. Les côtes algériennes sont plus ou moins influencées par ce courant, qui agit sur la distribution des facteurs physico-chimiques, nutritifs, biologiques voire sur la dispersion des polluants. La vitesse du courant général des eaux atlantiques de Gibraltar vers l'est reste généralement dans un ordre de grandeur de 0,5 à 1 m/s, au large des côtes algériennes. Ce courant général crée dans la plupart des baies un contre courant littoral vers l'ouest (LEM, 1998;)

**Le courant de retour :** correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

**Les courants de dérive littorale :** Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La vitesse de ce courant est maximale pour un angle d'incidence de 45 % à 50%. La dérive littorale prend naissance au niveau de la

zone de déferlement où l'énergie est maximale (Milot,1987). Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte.

La dérive générale dans la baie d'Alger engendrée par le courant atlantique (contre courant atlantique) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h. A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM,1998).

(La dominance dans notre zone est une dérive est-ouest durant l'été et une dérive Ouest-Est durant l'hiver)

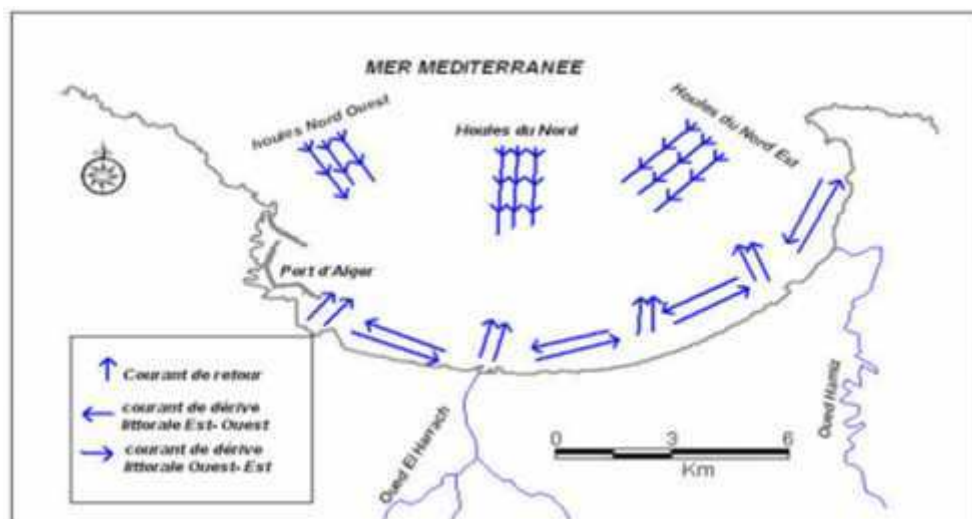


Figure 3 : Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger. (LEM,1998)

#### IV. La morphologie sous-marine :

La pente continentale passe du massif de la Bouzareah au cap Matifou d'une façon quasi rectiligne, le rivage s'incurve entre la pointe de Rais Hamidou et le Cap Matifou et délimite une baie très régulière, bien encadrée dans les terres émergées, le fond de cette baie est en pente douce, uniforme, de 0 à 100 mètres (0°35').

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

A faible distance au nord de la côte, les courbes atteignent des profondeurs de plusieurs centaines de mètres et à quelques kilomètres à 2000 mètres plus au nord, la côte est bordée par des abîmes supérieurs à 2000 mètres (Leclaire, 1972).

#### V. Etude sédimentologique :

La baie d'Alger est constituée de sédiments calcaires qui se sont formés lors du démantèlement de la bordure de la Pérouse à El Marsa, de sédiments siliceux qui sont composées de 50% de silice et de 20% de calcaire et de sédiments argileux qui recouvrent toute la zone à partir de l'isobathe de 50m de profondeur (Leclaire, 1972).

Leur répartition et leur déplacement obéissent à la dynamique sédimentaire et à l'hydrodynamique locale.

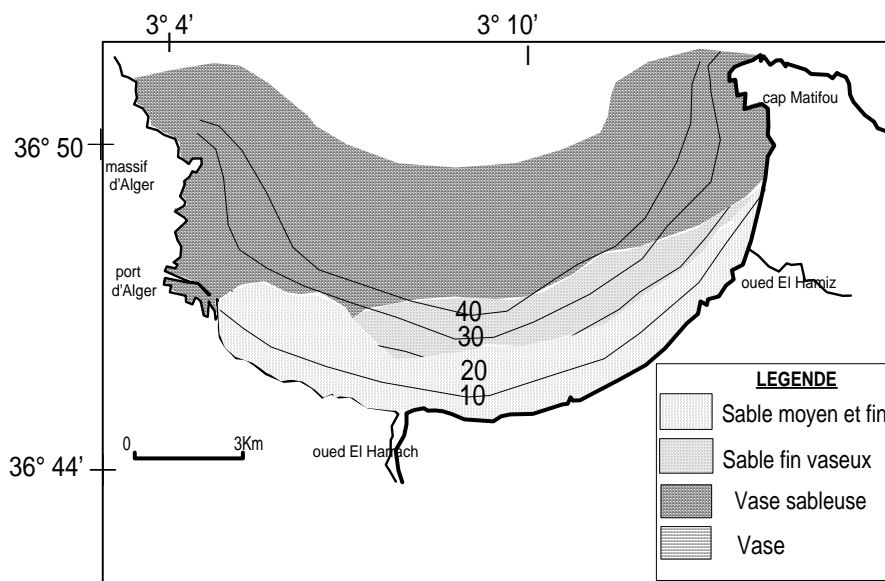


Figure 4 : Carte bathysédimentologique de la baie d'Alger (Leclaire, 1972).

## **VI. inventaire des ouvrages de défense contre la mer construits dans la baie d'Alger**

La défense d'une côte consiste en l'établissement d'ouvrages capables de s'opposer à l'attaque de la mer. Si les actions longitudinales sont dominantes, la côte sera protégée au moyen d'ouvrage transversaux (épis) destinés à interrompre le transport longitudinal ; au contraire ; dans le cas d'une attaque frontale, la défense est assurée par des ouvrages longitudinaux (défenses de haut de plage, ou défenses avancées conçues sous forme de brise mers). Le plus souvent l'attaque comporte deux actions et les défenses sont d'un type mixte participant de l'un et l'autre système (Chapon, 1984).

### **VI.1. Les brise-lames**

#### **VI .1.1. Définition**

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

#### **VI.1.2. Dimensionnement**

Il n'existe pas actuellement de règles bien définies pour fixer les caractéristiques optimales des brise lames (profondeur d'implantation, longueur et espacement, hauteur). Celles –ci dépendent de l'amplitude de la marée, de la houle (hauteur, période, longueur d'onde) de la pente de l'ouvrage et de la pentes des fonds.

Il semble en tout état de cause que les brises lames efficaces sont ceux qui ne sont pas franchis par les vagues.

Si la distance au rivage d'un brise-lame augmente, son efficacité diminue, mais si cette distance est trop faible, le bassin de dissipation de l'ouvrage est trop petit pour absorber l'énergie de la houle après déferlement (Samet, 2007).

#### **VI.1. 3. Longueur de l'ouvrage par rapport à la côte**

Des études faites au 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

$L_c$  : 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  $l < L_c$ . 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  $l > 2 L_c$ , un tombolo se forme.

En côte ouverte, les brises- lames sont la plupart du temps implantés dans des profondeurs d'eau comprises entre 1et 8m.Selon le cas, il peut être émergent ou submersible. Il peut être isolé de la côte ou relié à elle s'apparentant alors à un épi en L ([Samet, 2007](#)).

#### **VI.1.4. Longueur et espacement**

Des brise-lames séparés constituent une solution très fonctionnelle pour une longue section de ligne de côte qui nécessite une transmission de la houle pour éviter la formation d'un tombolo. Ils peuvent ainsi être conçus, de façon à permettre à la plage qu'ils abritent, de s'engraisser suffisamment pour fournir un stock tampon mobilisable pendant les tempêtes tout en maintenant le débit de transport littoral naturel pendant les condition de houle normales.

La quantité d'énergie atteignant la zone abritée par l'ouvrage est régie par l'espacement des brises lames, et la diffraction de la houle au travers des ouvertures correspondantes.

Généralement un accroissement du rapport espacement entre brise lame et longueur d'onde locale de la houle augmente la quantité d'énergie atteignant la zone d'ombre, tandis que les effets de la diffraction décroissent.

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 :

$$e < 0.83 L_c + 0.5 L$$

Avec :  $e$  : espacement entre deux brises lames.

$L_c$  : distance de la brise lame à la côte.

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

Le CERC recommande un espacement égal à deux fois la longueur d'onde de la houle ( $2L$ ) avec une longueur de chaque ouvrage inférieure à sa distance au rivage (Samet, 2007).

### VI.1.5. La hauteur

La hauteur à donner à un brise lame dépend de l'objectif poursuivi, dans la mesure où son efficacité dépend en grande partie de sa côte d'arase, qui conditionne la hauteur des houles qui le franchissent sans déferler.

Pour que l'ouvrage soit totalement émergé, il serait nécessaire de l'araser à une côte de l'ordre du niveau de la marée la plus haute, augmenté de 1.25 fois la hauteur de la houle maximale.

Pour un brise lame submersible, on peut estimer que l'amortissement de la houle qu'il provoque est égal à 50%, si l'ouvrage est arasé à une côte voisine du niveau de l'eau au repos (Samet, 2007).

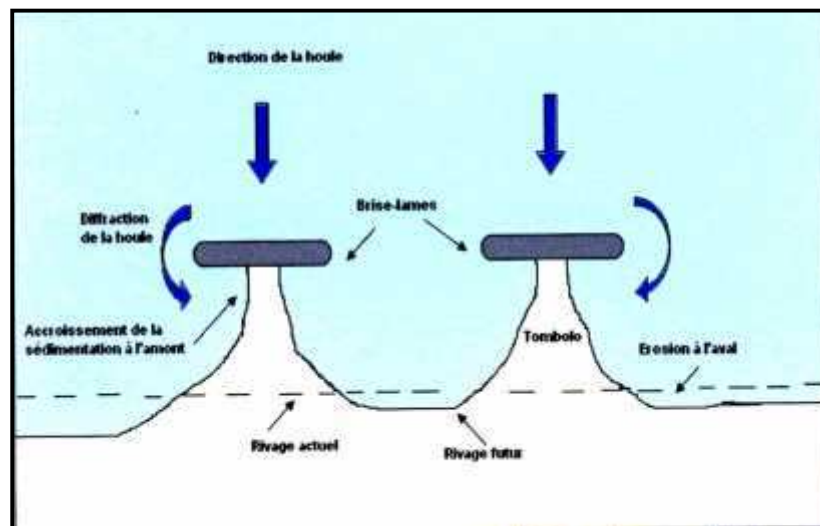


Figure 5 : Le fonctionnement des brise-lames

## **VI.2. Les épis :**

### **VI. 2. 1. Définition**

Au XVIII<sup>e</sup> siècle, on les a nommé « éperons », et par la suite le nom « épis » s'est imposé. (Miossec, 2004)

Les épis sont des ouvrages de défense transversaux enracinés au trait de côte. Ils constituent des obstacles, pour la dérive littorale qui se trouve freinée, généralement perpendiculaires au rivage, parfois oblique dont l'incidence des houles dominantes est forte (Paskoff, 1993).

Ces ouvrages sont des pièges à sable. En bord de mer, il s'agit de placer un épi en travers d'un courant pour obliger sa charge à se déposer.

L'épi n'a de valeur que dans le cas où existe une dérive littorale suffisante et assez alimentée en sable. Il crée une accumulation de sable du côté exposé au courant et une érosion du côté protégé.

### **VI. 2. 2. Rôle**

#### **Leur rôle est de**

- piéger des sédiments en transit sédimentaire
- réduire les pertes de sédiments
- élargir le segment de plage du côté protégé
- protéger la côte contre l'érosion en retenant les sédiments

Pour surélever et élargir une plage en cours de démaigrissement, il est nécessaire d'aménager une série d'épis échelonnés.

Les épis n'ont pas pour mission d'arrêter totalement le transport longitudinal, mais de retenir, quelles que soient les irrégularités de ce transport, un matelas de matériaux suffisant pour protéger la haute plage et éviter que les matériaux de la zone protégée participent au transit littoral.

## VI. 2. 3. Mise en place

### a. Dimensionnement

Les dimensions de ce type d'ouvrage varient avec les conditions hydrodynamiques et sédimentaires locales ainsi que la bathymétrie. Leur construction est plus un art qu'une science car elle relève avant tout de règles empiriques, d'où des échecs dans les résultats obtenus.

- **La longueur**

La longueur d'un épi devrait logiquement être telle que l'ouvrage barre la zone où des transports importants de matériaux se produisent, c'est-à-dire jusqu'à la ligne de déferlement de la houle à basse mer.

Sur les plages de sable à pente douce, les épis sont plus longs que sur les grèves où les galets se déplacent pour l'essentiel dans la zone du jet de rive, là où les vagues viennent sur l'estran, ils sont plus courts.

- **La hauteur**

La hauteur est plus grande sur les plages de galets que sur celles de sable

### b. Espacement

L'espacement entre les épis représente un paramètre important. S'ils sont très rapprochés, le matériel transporté par la dérive littorale risque d'être dévié vers le large et donc être perdu pour le prisme sédimentaire côtier, s'ils sont trop écartés, ils peuvent être déchaussés. D'une façon générale, l'espacement doit être d'autant plus réduit que les houles sont plus frontales et plus puissantes dans la pratique, l'écartement adopté correspond souvent à une distance égale à une fois et demie la longueur des épis (Paskoff, 1993)

### c. Orientation

L'orientation dépend de l'incidence de la houle :

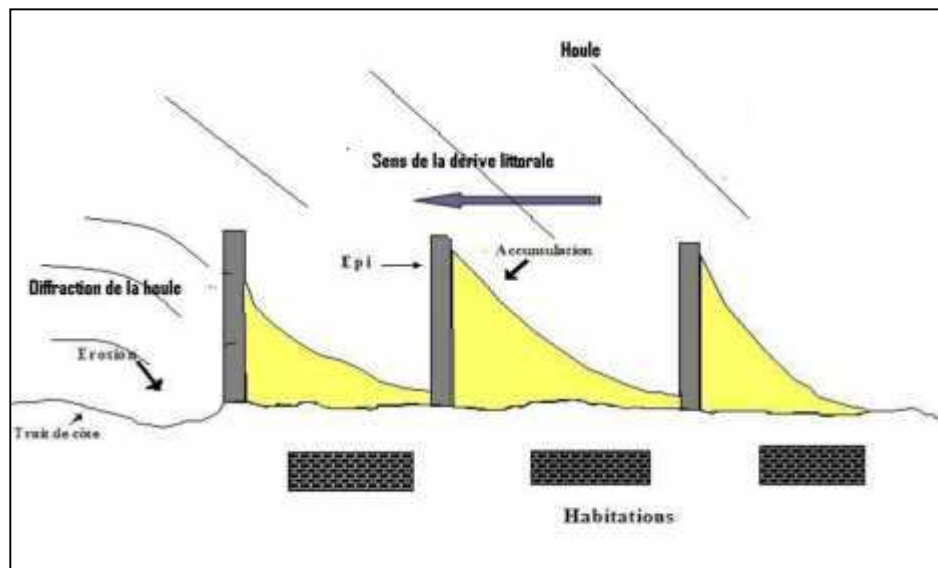
- Pour une faible incidence (inférieur à  $15^\circ$ ), l'épi doit être perpendiculaire au rivage.

- Pour une plus forte incidence, l'épi doit être légèrement incliné (70 à 80°)

Lorsqu'il existe un sens privilégié de transport littoral, c'est-à-dire une provenance prédominante des houles, les épis doivent être dirigés vers cette provenance.

#### d. Champs d'épis :

L'implantation d'un champ d'épis de manière générale, a pour but de limiter le transport sédimentaire et donc de maintenir en place une plage. Il arrive parfois qu'il soit trop tard pour mettre en place un tel dispositif, on a alors recours aux plages artificielles. Lorsque l'accumulation devient trop importante, le sable peut cependant passer par-dessus l'épi, subir l'érosion, s'accumuler sur l'épi suivant, etc .... Un champ d'épis ne va donc pas empêcher la plage de se déplacer, mais va retarder fortement ce déplacement.



**Figure.6:** Fonctionnement d'un champ d'épis

#### **VI. 2. 4. Avantages**

L'épi présente un seul avantage : en bloquant le transit du sable, il engraisse la plage et met ainsi le trait de côte en arrière qui est ainsi plus souvent éloigné du déferlement des vagues.

#### **VI. 2. 5. Inconvénients**

Les épis ont cependant des effets induits : en bloquant les sables à l'amont de l'ouvrage ; ils provoquent inévitablement une érosion à l'aval, d'autant que l'épi provoque une diffraction de la houle et aggrave alors l'impact des vagues en arrière.

#### **VI.3 Le port d'Alger :**

Le « port d'Alger » se situe dans le secteur centre à l'extrême partie occidentale de la baie d'Alger au pied du massif de la Bouzaréah à une altitude de 14m. Il est surplombé par une ville à forte densité, Alger.

Les coordonnées géographiques du port sont :

\*03° 03' 44" ou 03° 04' 60" longitude est

\*36 45' 44" ou 36° 47' 43 " latitude nord

De part la diversité de ses plusieurs rôles : militaire, touristique et commercial . Ainsi que sa grande capacité de trafic, son importante zone industrielle et commerciale, ses aires de stockage et de manutention de marchandise générale avec près de 10 Km de quais, font de lui

le port le plus important en Algérie et l'un des plus grands en Afrique

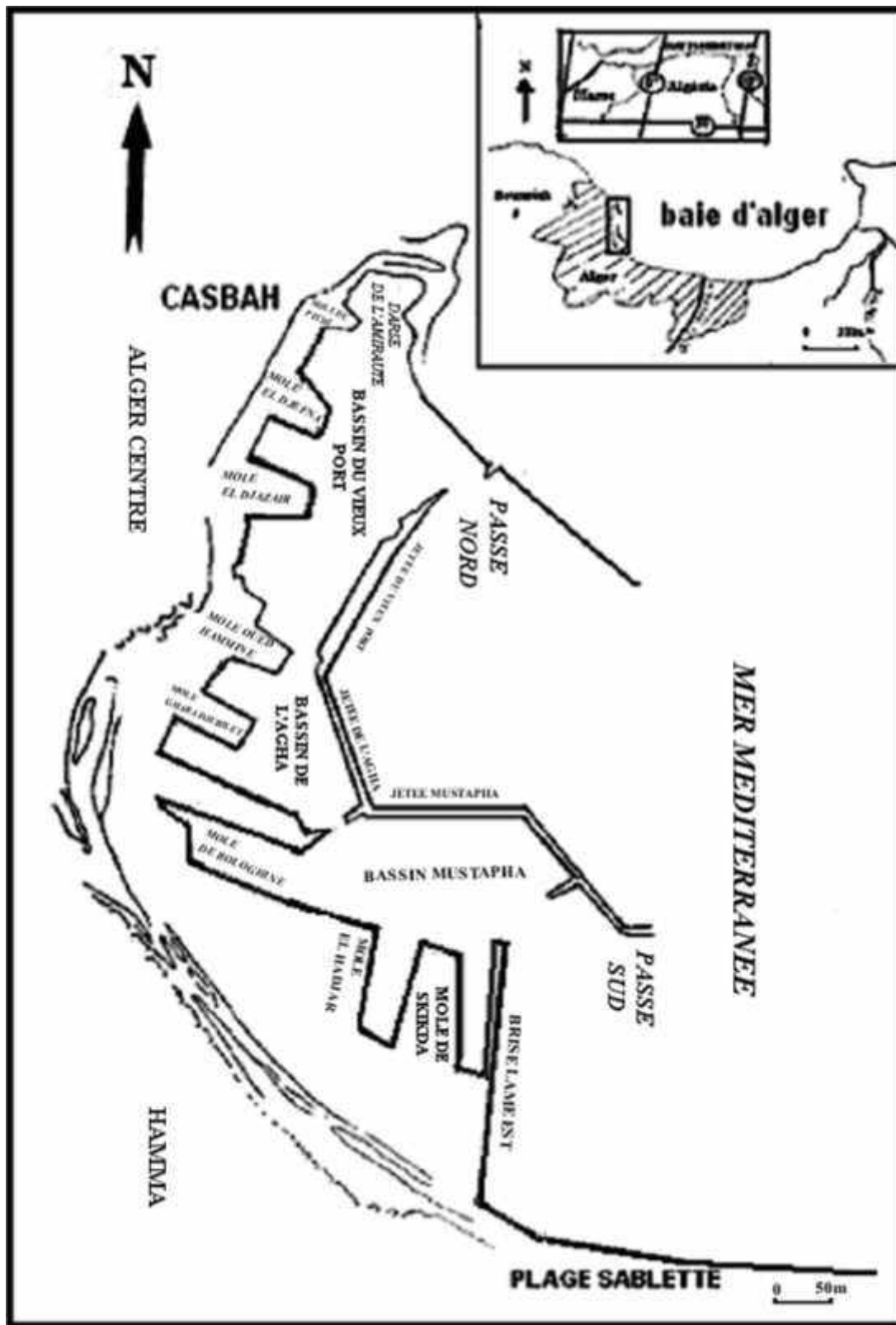


Figure 7 : Situation géographique du port d'Alger

# Chapitre 2

## **I. Généralités et principe:**

Une plage est un milieu mobile qui correspond à des zones de dépôts et de transfert incessant de sédiments meubles. Son budget sédimentaire est défini comme la somme algébrique de l'alimentation et de l'ablation des matériaux détritiques.

La côte algérienne subit aussi des transformations en raison de l'intervention d'agents morphogéniques qui ne leurs sont pas spécifiques, tels que les vents, les eaux de ruissellement et d'infiltration etc. dont l'efficacité, peut s'avérer accrue, au contact terre/mer.

### **I.1 Les facteurs d'érosion des plages :**

En générale les causes de l'érosion et les menaces qui pèsent sur la zone se résument en :

#### **a- Facteurs naturels**

- **L'épuisement du stock sédimentaire côtier :**

Le budget sédimentaire, fait la balance entre les sédiments entrant et sortant du système côtier. Si ce budget est positif, la plage s'élargit et la côte prograde. S'il est négatif, la plage démaigrît et la côte recule.

L'activité humaine intense sur les zones côtières est à l'origine du déséquilibre des écosystèmes littoraux, et l'aménagement des bassins versants conjugués à certains facteurs naturels entraînent l'érosion des plages et la détérioration des herbiers. Ces actions provoquent une rupture du régime sédimentaire qui se manifeste par une « pénurie sédimentaire ».

Le stock sédimentaire côtier d'aujourd'hui est pour l'essentiel hérité, ainsi, nous connaissons une pénurie en apport « frais » de sédiments, accentué par les éléments naturels (courant houle et vent).

- **Les phénomènes tectoniques :** (mouvement des plaques, séismes sous-marins...)

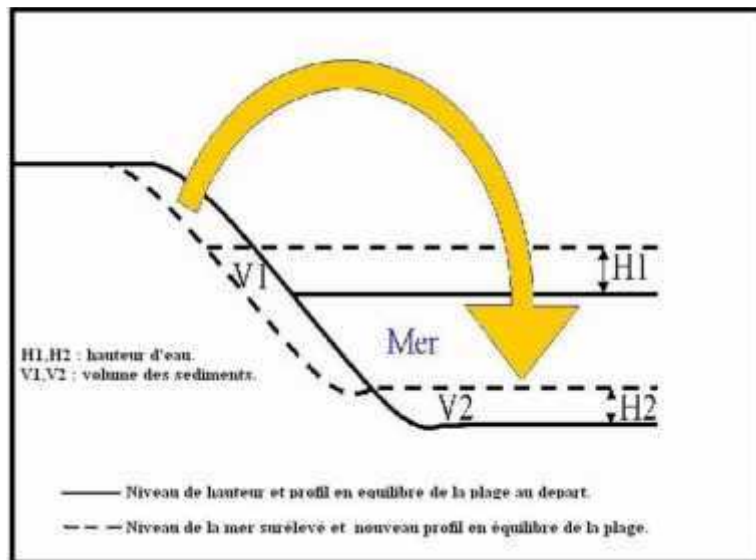
Ils peuvent avoir des conséquences non négligeables sur l'évolution du trait de côte. Ils provoquent des mouvements tant horizontaux que verticaux. Ils peuvent par conséquent créer des déformations de quelques centimètres par siècle (~10cm par siècle), susceptibles de modifier la disposition d'un rivage et d'en augmenter l'érosion.

- **Élévation contemporaine du niveau marin**

Le niveau de la mer augmente d'une façon permanente par dilatation thermique, mais aussi par la surcote et lors des tempêtes.

L'élévation du niveau de la mer provoque un démaigrissement et un recul des plages (principe de Brunn). Le profil transversal de la plage migre parallèlement à lui-même vers la terre par

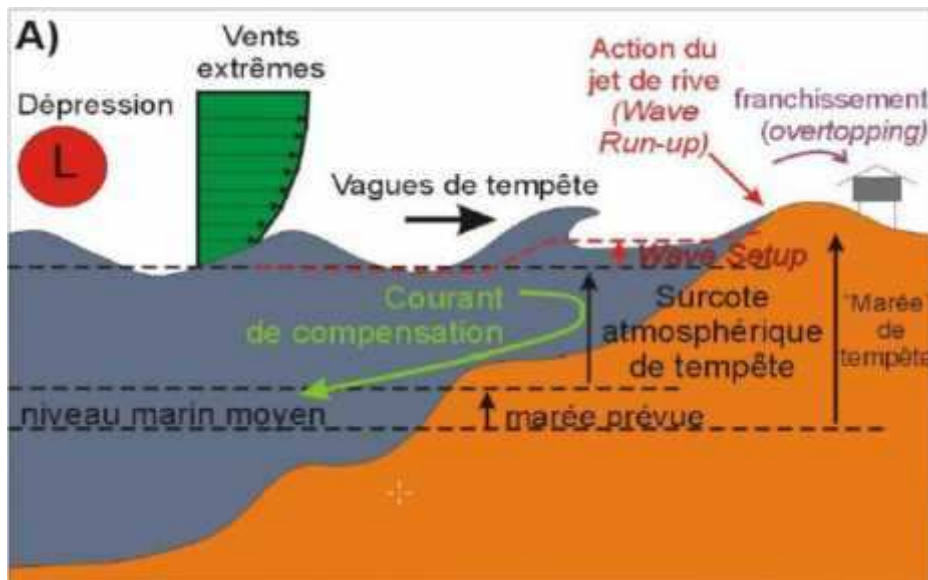
érosion de la partie haute. Le matériau enlevé s'accumule sur l'avant plage de telle sorte que l'épaisseur de la tranche d'eau littorale reste constante



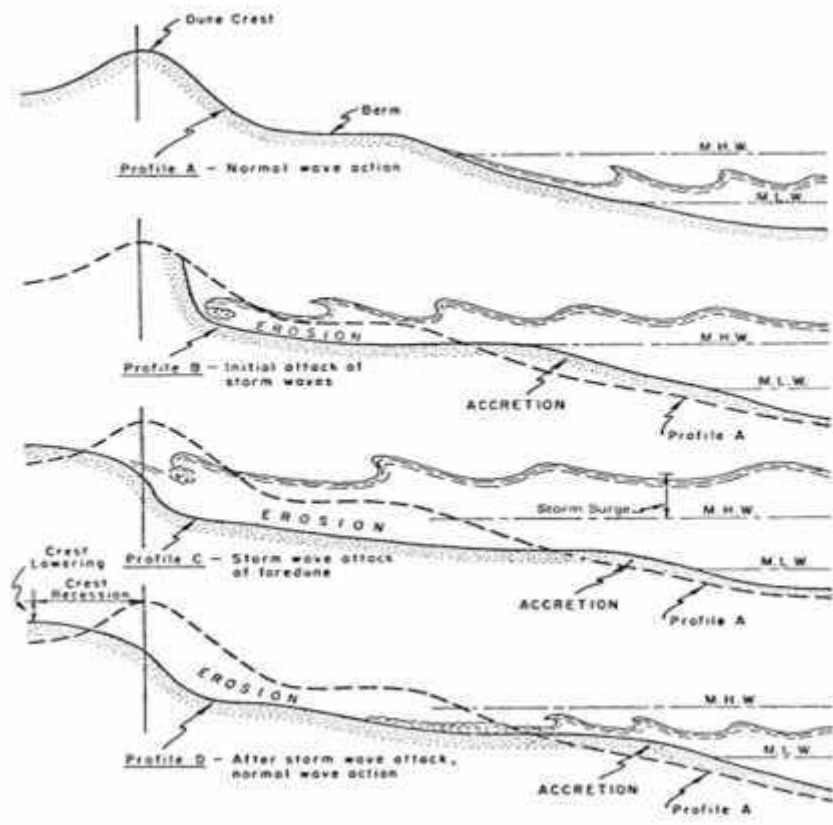
**Figure 8 :** Illustration du principe de Brunn.

- **Les tempêtes :**

Les houles et les vagues associées à des pleines mers de vives eaux, attaquent les hautes plages et peuvent emporter le cordon littoral et submerger l'arrière plage causant des dégâts parfois irréversibles.



**Figure 9 :** Impacts des tempêtes sur le littoral



**Figure 10** : Schéma descriptif de l'attaque du littoral et des dunes par les tempêtes (Shore Protection Manual, 1984)

## **b- Facteurs anthropiques :**

- **Les aménagements et L'artificialisation du littoral :**

Favorise l'accélération de l'érosion en bordure des ouvrages, tout en augmentant le déficit sédimentaire

- **La fréquentation humaine :**

Elle concerne la sur-fréquentation des cordons dunaires qui détruit la végétation ou empêche son développement et expose le sable à l'action du vent, aussi l'extraction des matériaux modifie les échanges sédimentaires.

- **L'exploitation de dunes sableuses :**

Les dunes constituent, dans les zones où elles existent, une bonne protection naturelle par :

- Le barrage qu'elles offrent aux houles et marées de tempête, empêchant les eaux d'inonder des zones basses intérieures ;
- La réserve de sable qu'elles constituent pour l'alimentation de la plage

L'extraction et l'utilisation de sable des plages et des dunes pour les besoins de constructions contribuent à l'accélération de l'érosion côtière.

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

- **Les constructions très proches du trait de côte :**

Les édifices construits trop proche du trait de côte ne tiennent pas longtemps. L'attaque de la construction commence à sa base par déflation du sable sous jacent et affaissement, la fondation petit à petit se trouve à découvert et déstabilisent les édifices ; à la moindre tempête l'effondrement commence.

- **La mauvaise conception des ouvrages de défense**

responsables des modifications dans le transport côtier. Ces interventions, si elles parviennent parfois à résoudre localement le problème, finissent souvent par le déplacer sur les plages adjacentes.

- **La dégradation des herbiers de phanérogames marines :**

(Posidonies et Cymodocées), capables de freiner l'érosion de la côte, par leurs fonctions stabilisatrice des fonds et dissipatrice de l'énergie de la houle. Ce phénomène est dû à la pollution, à la turbidité de l'eau, à la pêche au chalut et aux mouillages sauvages.

- **L'extraction de réserves souterraines en eau douce :**

Destinées à la consommation humaine risque d'entraîner une subsidence et donc la remontée d'eau de mer dans la nappe phréatique et ce de façon irréversible.

- **La pollution**

Principale contrainte pour le développement récréatif, purement de nature anthropique, causé par tous rejets domestiques ou industriels (solides qu'ils soient ou liquides), provoquant la dégradation de la faune et la flore dans le milieu.



**Figure 11** : Evaluation des risques d'érosion dans la baie d'Alger (MATE 2013)

# Chapitre 3

## **I. Généralités :**

La plage, absorbant graduellement l'énergie de la houle par les déferlements successifs qu'elle provoque, constitue le meilleur ouvrage de défense du littoral contre l'érosion. C'est en effet la dynamique naturelle des plages qui est fondamentale pour la survie physique de la plage et pour la diversité de ses habitats biologiques. Pour toute défense contre l'érosion, il est donc plus efficace de se tourner vers des ouvrages de défense souples qui travaillent en harmonie avec les dynamiques naturelles en jeu et ont ainsi un moindre impact sur le littoral, plutôt que d'utiliser des ouvrages de défense rigides (épis, brises lames) qui tendent à réprimer ou freiner les processus côtiers.

Les méthodes « douces » sont conçues pour « travailler avec la nature » en intégrant la dynamique naturelle du littoral et la mobilité du trait de côte (rechargements de la plage en sédiment, travail sur la végétalisation, installation de récifs artificiels etc.). Elles ont une durée de vie limitée, sont réversibles et dépendent de leurs caractéristiques propres et des évolutions de l'environnement à l'échelle globale (changement climatique) ou locale (aménagement, fréquentation).

L'efficacité du choix de ces méthodes doit être par ailleurs évaluée face au niveau des processus de dynamique côtière (énergie des houles, etc.) et par conséquent à la résistance et «durée de vie » de l'équipement.

## **II. Rechargement artificiel des plages :**

### **II.1 Définition :**

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 à d'abord été utilisée aux U.S.A., mais elle s'est ensuite étendue ailleurs dans le monde. Notamment en France et en Italie de plus Le développement du tourisme a généré une importante croissance du besoin en terme de superficie de plages disponibles pour les activités ludiques. Sur des secteurs du littoral qui peuvent se prêter à des aménagements touristiques, mais sur lesquels les plages naturelles sont insuffisantes en quantité ou en qualité, il est possible d'y remédier soit en modifiant des plages existantes, soit en créant de toute pièce des plages artificielles. La modification de plages naturelles ou la création de plages artificielles sont des opérations délicates dans la mesure où il existe un équilibre fragile entre les différents paramètres du littoral (énergie et incidence des lames, transit littoral, mouvements dans le profil, granulométrie, pente de la plage ...) susceptibles de conduire à un résultat satisfaisant et stable.

## II.2 Classification de plages artificielles

Le nom de plage artificielle recouvre deux notions qui méritent d'être distinguées :

- Les plages naturelles en voie d'érosion qui sont maintenues dans un état stable au moyen d'ouvrages, que ce soit à des fins de lutte contre l'érosion ou à des fins d'utilisation touristiques.
- Les plages constituées de matériaux naturels apportés artificiellement par l'homme.

Les plages artificielles peuvent être classées en trois grandes catégories :

- a) Les plages semi-artificielles : Ce sont des plages naturelles modifiées par la création d'ouvrages destinés à augmenter les dépôts de sédiments en certains endroits.
- b) Les plages artificielles à éléments meubles naturels : Ce sont des plages créées de toute pièce avec des sédiments naturels provenant de sablières ou d'autres plages et maintenus en place par des ouvrages.
- c) Les plages artificielles à éléments meubles artificiels : Ce sont des plages créées de toute pièce avec des sédiments obtenus par concassage de roches de dureté moyenne et maintenus en place par des ouvrages.

## II.3 Profil des plages artificielles :

Plusieurs familles de plage artificielles peuvent être distinguées en fonction de leur mode de création et de leurs conditions environnementales

### a. Plages sans ouvrage de pied:

Les plages sans ouvrage de pied sont les plus simples et les plus économiques à réaliser. Elles peuvent être envisagées lorsque les fonds naturels ne descendent pas trop rapidement, et qu'un soubassement stable peut être édifié avec des matériaux de faible granulométrie.

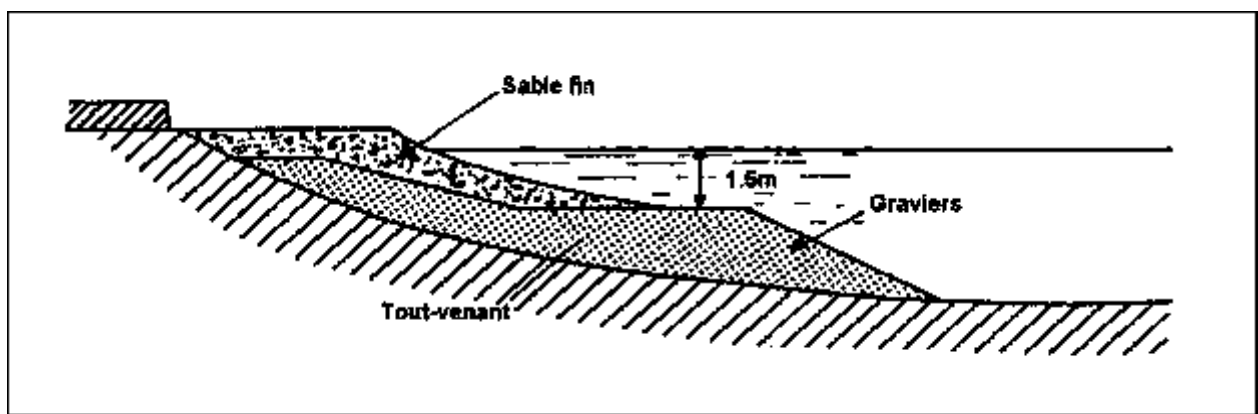
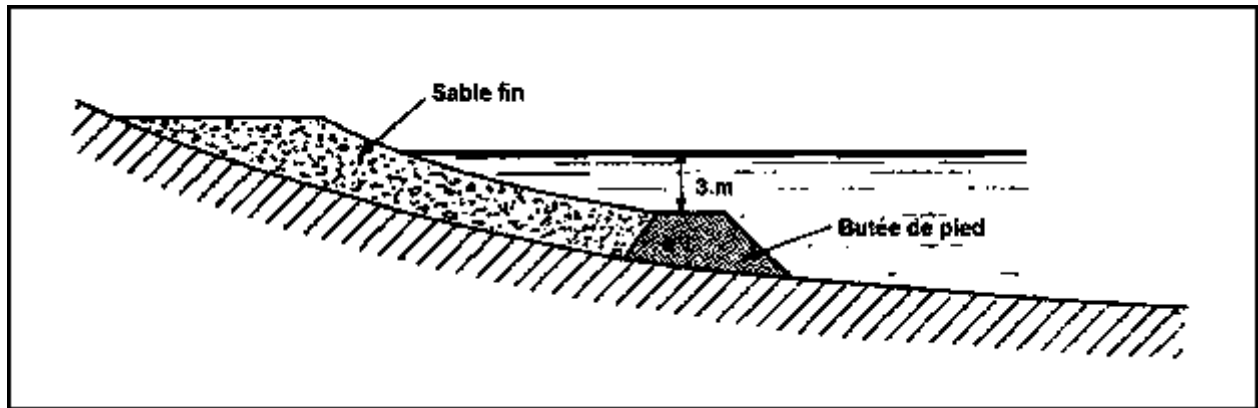


Figure 12 : Plage sans ouvrage de pied (d'après R. Bonnefille).

Un lit de graviers est mis en place avec des moyens terrestres (bulldozer). Son toit se situe aux environs de 1.5 mètre au dessous des plus basses mers. Il est ensuite recouvert, en haut de plage et dans la zone intertidale, d'un lit de sable plus ou moins fin en fonction des conditions d'équilibre imposées par l'énergie des lames.

### **b. Plages à butée de pied**

Lorsque les fonds descendent rapidement, les matériaux de faible granulométrie ne forment plus un soubassement stable. Ils doivent alors être retenus par un ouvrage de butée en enrochements.



**Figure 13** : Plage à butée de pied (d'après R. Bonnefille)

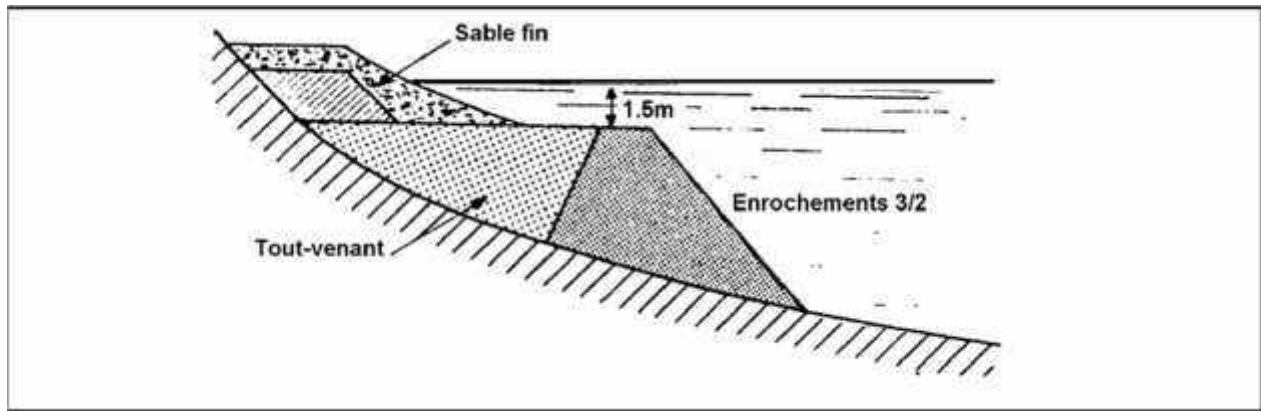
Le cordon d'enrochements doit être arasé aux environs de 2 à 3 mètres au dessous des plus basses mers. Sa mise en place se fait au moyen d'un chaland.

La construction de ce type de plage présente un coût sensiblement plus élevé que le précédent.

### **c. Plages suspendues**

Lorsque la pente naturelle est trop importante, il convient de réaliser une plate-forme sous-marine en tout venant de carrière, butée en pied par un cordon d'enrochements. L'ensemble est arasé aux environs de 1.5 à 2 mètres au dessous des plus basses mers. Il est recouvert d'un lit de sable fin en haut de plage et dans la zone intertidale.

Ces plages sont protégées contre les fortes lames qui déferlent sur le cordon de pied de plage. Par contre, les faibles houles sont amplifiées par la faible profondeur, ce qui permet de limiter la pollution de la masse d'eau.

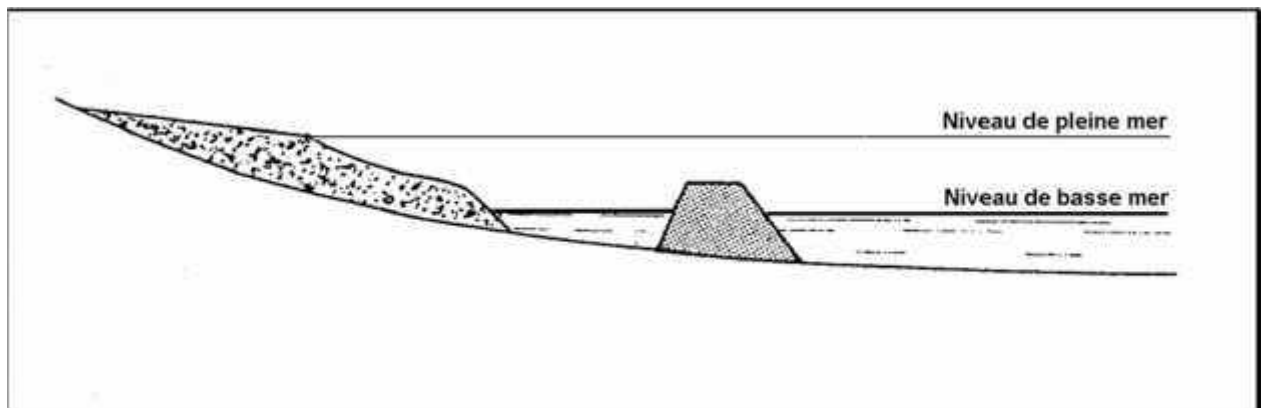


**Figure 14** : Plage suspendue (d'après R. Bonnefille).

#### **d. Plages protégées par un brise-lames continu**

Dans les mers à marées, les plages artificielles peuvent être construites à l'abri d'un brise-lames qui arrête la houle. Il est arasé à la cote de la mi-marée afin d'arrêter la houle de basse mer et de faire déferler la houle de haute mer.

Le talus de bas de plage est alors protégé contre les lames. Il peut être construit en matériaux assez fins avoir une pente relativement importante.



**Figure 15**: Plage à marée (d'après R. Bonnefille).

#### **e. Plages protégées par un brise-lames discontinu**

Dans les mers avec ou sans marée, la protection par un brise-lames discontinu permet d'atténuer les effets de la houle par diffraction. Ces plages sont constituées au moyen d'un ensemble d'ouvrages transversaux et longitudinaux de haut de plage.

### III. Dimensionnement des plages artificielles :

Pour que les plages artificielles puissent répondre à l'attente des touristes, il convient de leur donner des dimensions minimales qui assurent un minimum de confort. La largeur  $L_m$  de la plage au dessus des plus hautes eaux doit avoir une largeur minimale lui permettant d'assurer son rôle de protection de l'arrière plage contre les effets de la houle.

$$(6.1) \quad L_m > 15 \text{ à } 20 \text{ m}$$

Les baigneurs ne doivent pas pouvoir entrer involontairement en contact avec le soubassement de la plage, mais seulement avec le lit de sable. Ils doivent donc perdre pied avant d'arriver à l'extrémité du lit de sable qui se trouve à la hauteur  $hm$  au dessous de la plus basse mer.

$$(6.2) \quad hm > 1.5 \text{ m}$$

Enfin la surface  $S$  de la plage émergente doit permettre d'accueillir le nombre  $N$  de touristes prévu :

$$(6.3) \quad S > N s$$

avec une surface individuelle minimale  $s$  comprise entre 5 et 6 m<sup>2</sup> par personne en zone urbaine et de l'ordre de 8 m<sup>2</sup> à l'extérieur des agglomérations.

### IV. Rechargement des plages

Le volume du matériau nécessaire pour restaurer totalement ou améliorer un profil de plage peut être considérable. Si le volume requis est important, il y a peu de chances pour qu'une extraction terrestre et un transport du matériau de rechargement soient économiques, ou même acceptables sur le plan environnemental. On peut diviser les sources d'emprunt pour le remblayage de plage en deux catégories principales : terrestre (agrégats des gravières), ou marine (ex ; matériau de dragage, quand il s'agit d'un sédiment sein non pollué). La caractéristique la plus importante du matériau d'emprunt concerne le calibre du grain formant le sédiment.

Le volume total du matériau requis pour le rechargement d'une plage ayant une largeur  $W$  peut être estimé comme suit :

$$V = W (B + D_c) \times (\text{longueur}). \text{ m}^3$$

$V$  : le volume du sable

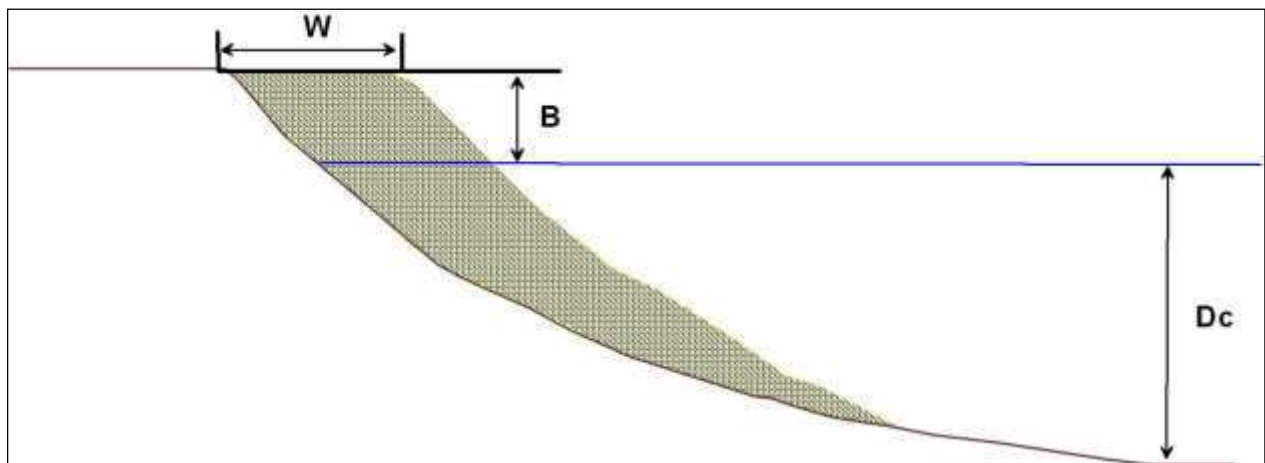
$W$  : la largeur de la plage

$B$  : l'épaisseur de la plage

$D_c$  : la profondeur du remblayage

On peut donc estimer le volume de la fourchette du sable requis pour le remblayage des plages.

L'épaisseur de la fourchette du sédiment ainsi que sa largeur varie d'un site à un autre, pour une épaisseur de 2m et une largeur moyenne de 200m, on trouve le degré de remblayage est d'approximativement 400m<sup>3</sup>/m.



**Figure 16** : Profil du remblayage d'une plage (Mezouar, 2006)

- **Avantages :**

Le rechargement de plage permet de rétablir un profil d'équilibre de la plage, la protection vis-à-vis des agents d'érosion telles que les vagues de tempête (effet de «zone tampon»), le maintien d'estrans larges et par conséquent la préservation des usages (activités de récréation) et des enjeux. En outre cette méthode n'a pas de conséquences néfastes pour les plages voisines, à contrario, d'autres méthodes, et peut les alimenter de manière indirecte par l'apport de sédiments. Le réensablement permet également de rehausser la pente de la plage, dans un but de prévention contre l'élévation du niveau de la mer. L'impact paysager est nul.

- **Inconvénients / limites**

Les matériaux prélevés doivent être situés proche du site de dépôt pour limiter les coûts. De plus, le volume du gisement doit être suffisamment important pour toutes les opérations d'alimentation (rechargements réguliers). Une bonne qualité des sables ou galets est primordiale (ne pas apporter des sédiments pollués ou plus fins que ceux de la plage rechargée). Certaines configurations se prêtent mal à ces méthodes (fortes houles, difficultés d'accès, granulométrie des sables, etc.). Le rechargement en galets est plus rare car les moyens techniques sont plus lourds et plus coûteux. Les dragages et les déversements peuvent perturber la biodiversité locale des zones de prélèvement et de dépôt (destruction des habitats, Augmentation de la turbidité de l'eau etc.).

## **V. By-passing sédimentaire**

### **V.1 Définition et Importance du rétablissement du transit littoral**

Le by-passing sédimentaire est un transit littoral artificiel de sable ou de galets qui se substitue au transit naturel insuffisant ou interrompu. Tous les ouvrages et en particulier les ports construits sur des littoraux à transit littoral sont confrontés à un moment donné au contournement par les sédiments des ouvrages d'arrêt et de protection. Les chenaux d'accès s'ensablent alors et le dilemme classique revient à l'ordre du jour :

- A. Allongement des ouvrages d'arrêt et accentuation des phénomènes d'érosion en aval du transport sédimentaire,
  - B. Dragage du sable dans les chenaux pour maintenir l'accès au port avec rejet des produits de dragage à l'aval du transport sédimentaire du port.
- La première solution représente des coûts d'investissement importants. Elle n'apporte qu'une solution provisoire, tout au moins tant que le transport sédimentaire ne s'établit pas dans une profondeur d'eau supérieure à celle du chenal. Suivant la configuration du terrain, ce point d'équilibre peut n'être jamais atteint, ou au prix d'une perte des sédiments dans les grands fonds.
  - La seconde solution représente des coûts d'entretien importants. Elle est une forme de rétablissement artificiel du transit littoral qui ne présente vraisemblablement pas le rendement d'une installation de by-pass conçue et dimensionnée pour le site.

Il apparaît donc qu'une installation de by-pass constitue sans doute à terme la solution la plus économique.

## V.2 Différentes formes de by-passing :

Il existe différentes solutions pour déplacer les sédiments qui se présentent en amont du transport littoral d'une zone, en aval de cette zone :

- le transport des sédiments par un moyen terrestre (camion),
- le dragage en mer sur un ponton flottant avec refoulement en aval,
- l'installation d'un système de transport par tuyauterie et pompes intégré aux infrastructures du port (by-pass).

La mise en place d'un système de by-pass fixe ou mobile nécessite une bonne connaissance du fonctionnement hydrosédimentaire du site, aussi bien en termes de transit moyen que de transit de pointe (tempête). Les systèmes mobiles ou déplaçables sont préférables aux systèmes complètement fixes qui risquent, avec le temps, de se retrouver isolés de la partie active de la plage et donc du flux sédimentaire.

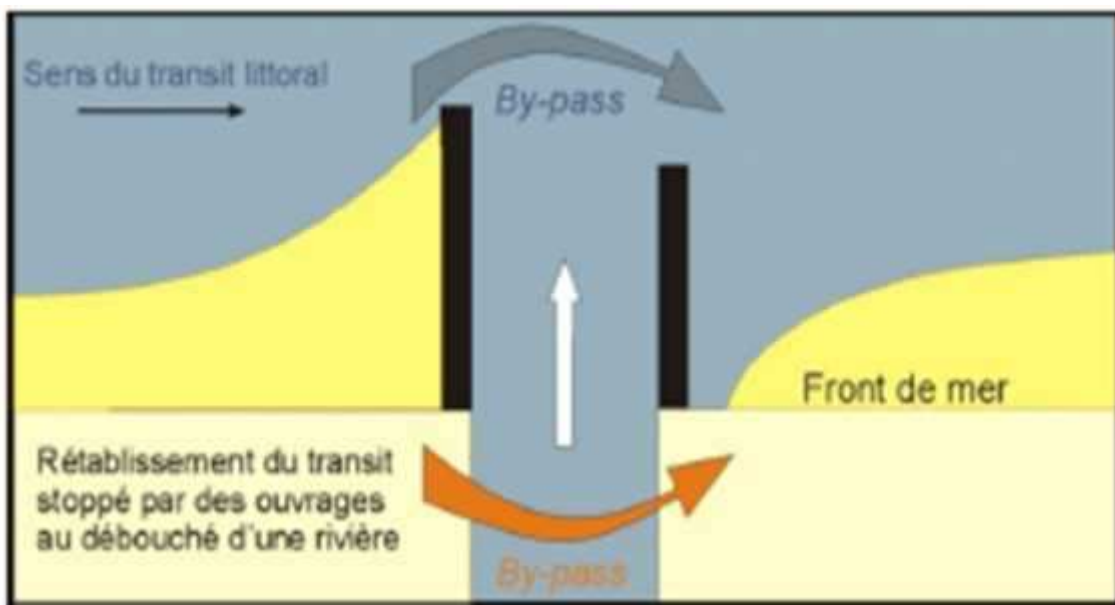


Figure 17 : Schéma de système de by-pass

## V.3. Avantages généraux

Le by-pass permet de rétablir la dynamique naturelle des sédiments. Il peut être facilement mis en œuvre s'il est mécanique (par camion) et représente une solution intéressante de gestion à moyen terme.

## V.4. Inconvénients / limites généraux

Les systèmes de by-pass peuvent perturber la biodiversité littorale des zones de prélèvements

(Destruction des habitats, augmentation de la turbidité de l'eau etc.), et des zones de clapage ou de déversements sur les plages (impacts possibles sur les organismes benthiques.).  
 Ce qui peut éventuellement à terme atteindre un écosystème plus large (dunaire ou proche littoral). Au droit des zones portuaires, les sédiments accumulés peuvent être pollués.  
 Dans ce cas, ils ne doivent pas être réinsérés dans le circuit sédimentaire.

### V.5. Avantages et inconvénients des différentes formes de by-passing :

Type de by-passing	Avantages	Limites et inconvénients
<b>Le by-pass hydraulique:</b> par l'installation d'un système de succion d'un mélange de sable et d'eau dans la zone de dépôt (en amont de l'obstacle) et de refoulement en aval de l'obstacle, dans une conduite hydraulique. Le système peut être fixe (permettant un fonctionnement continu) ou mobile (activité modulable dans le temps et l'espace).	Il rétablit le transport naturel des sédiments en équilibrant les zones d'accumulation et d'érosion, sans apport de matériaux exogènes. L'impact négatif sur l'environnement est faible. Le système fixe permet une utilisation continue adaptée aux cycles saisonniers et aux besoins.	Mal adapté au déplacement des galets et coûts très élevés.
<b>Le by-pass mécanique</b> par l'acheminement par camion des sables et galets d'une zone à l'autre.	Coût relativement faible et moyens techniques facilement mobilisables.	Lors des travaux, cela entraîne de multiples nuisances (par exemple sonores) pour les riverains et pour la voirie, des coûts proportionnellement élevés à la distance des zones d'apport.
<b>Le by-pass maritime</b> par l'utilisation de moyens nautiques (ex dragues). Cela consiste à prélever, transporter et claper les sédiments à marée haute dans les petits fonds et sur l'estran, là où il y a un déficit sédimentaire.	Il convient à tous types de sédiments et à des opérations périodiques.	Le site de prélèvement doit être facile d'accès et proche de la zone à traiter (dans le cas contraire, cela peut générer des coûts élevés). Les manœuvres nautiques sont rendues difficiles dans les zones fortement battues par la mer, notamment le clapage dans la zone de déferlement des vagues.

Tableau 01 : synthèse des avantages et inconvénients des différentes technique de by-pass  
 (Panorama des solutions douces de protection des côtes)

## **VI. Les récifs artificiels :**

### **VI.1 Généralité :**

Apparu pour la première fois au Japon durant le moyen âge, les pêcheurs japonais immerger volontairement des tiges de bambou pour accroître les ressources halieutiques autour de ces bambous. C'est de nos jours pour ce pays un véritable programme d'aménagement du littoral avec des intérêts et des investissements réels

Est depuis quelques années le recours à l'installation de ces structures a connu un grand développement

Outre leur intérêt dans l'écologie marine les récifs artificiels jouent un rôle de contribution à la lutte contre l'érosion côtière adoptée comme technique de protection douce. À l'inverse des techniques lourdes (épaves, digues, brises lames) qui ont un impact négatif en termes de stabilité du trait de côte et de considérations esthétiques, cette technique de protection douce est beaucoup plus en harmonie avec la nature et fournit une protection contre l'érosion côtière sans les impacts néfastes pour l'environnement.

### **VI.2 Définitions :**

« Les récifs artificiels désignent des structures immergées volontairement dans le but de créer, protéger ou restaurer un écosystème riche et diversifié. Ces structures peuvent induire chez les animaux des réponses d'attraction, de concentration, de protection et, dans certains cas, une augmentation de la biomasse de certaines espèces » (IFREMER, 2000).

Une autre approche définit les récifs artificiels comme un « outil de protection du littoral et d'amélioration de la productivité » Les Nations Unies (F.A.O 1995)

Nous verrons ultérieurement leurs utilités dans la protection des côtes contre l'érosion marine

### **VI.3 Les objectifs des récifs artificiels :**

L'implantation d'un récif artificiel est motivée par un ou plusieurs objectifs

#### **A. Du point de vue écologique :**

- 1) La reconstitution de biocénose marine
- 2) La production halieutique
- 3) La protection des biocénoses marines
- 4) Les activités ludiques ou pédagogiques
- 5) La recherche et développement scientifique

- 1) Dans le cas d'un aménagement dont l'objectif est la reconstitution des biocénoses marines lorsque ces dernières ont été dégradées sous l'action de facteurs anthropiques.

L'approche s'appuie sur des notions d'ingénierie écologique et de retour à un meilleur état écologique par des moyens dits artificiels

- 2) Dans le cas d'un aménagement dont l'objectif est la production halieutique : il vise la production de biomasse et l'augmentation de la diversité spécifique d'espèces ciblées , représentant une valeur commerciale. Ce type de récifs se développent autour d'une optique d'extraction et de valorisation des ressources marine a travers une activité de pêche
- 3) Dans le cas d'un aménagement dont l'objectif est la protection des biocénoses marine : il s'agit principalement de limiter physiquement l'accès aux engins de pêches a certaines régions précises a fin de préserver ces régions reconnu pour leur valeurs écologiques
- 4) Dans le cas d'un aménagement dont l'objectif est ludique et /ou pédagogique : la principale activité vise est la plongée sous-marine de loisir quand l'objectif tend a être beaucoup plus pédagogique il va viser la diffusion des connaissances et a la sensibilisation du grand public aux problématiques environnementales et marines
- 5) Dans le cas d'un aménagement dont l'objectif est la recherche et le développement scientifique :cet aménagement va constituer un champ d'expérimentation spécifique pour la connaissance l'analyse et l'évolution des biocénose marine au sein d'un milieu artificiel , il va permettre l'acquisition de connaissance scientifique ou a l'expérimentation de nouveaux prototypes de récifs

### **B. Du point de vue protection des cotes**

- 1) Stabiliser les plages nouvellement engraisées
- 2) Piéger une partie du sable transporté par les courants le long du littoral
- 3) Atténuer l'impacte des phénomènes des houles violents sur les rivages ; ceci en la faisant déferler plus au large

En réduisant la taille des vagues ils peuvent protéger directement une zone sensible (ports, promenade, habitations) particulièrement sujette à l'action des vagues et peuvent en même temps contribuer à lutter contre l'érosion côtière.

Ce rôle d'atténuation des houles peut également induire des phénomènes de réfraction concernant l'énergie sur certains secteurs du littoral. Seuls les récifs faiblement immergés sont à même de dissiper suffisamment l'énergie des vagues pour limiter les phénomènes érosifs sur la plage les récifs implantés à plus grande profondeur dans un but de restauration du milieu (repeuplement halieutique ou benthique) ne constituent pas une technique de lutte contre l'érosion.

#### **VI.4. Avantages**

Sur une côte à marnage faible, ils demeurent invisibles, ce qui ne dénature pas le paysage. Contrairement aux brise-lames, ils permettent le maintien d'une agitation de l'eau aidant à son autoépuration et donc sa qualité pour la baignade. Ils participent également à enrichir la biodiversité littorale (faune et flore).

#### **VI.5. Inconvénients / limites**

Les rivages à fort marnage ne sont pas propices à l'implantation des récifs artificiels. En effet, afin qu'ils limitent l'action des vagues à marée haute, leur structure doit être massive et surélevée, engendrant un impact visuel fort lors des marées basses ainsi qu'un coût trop élevé. Le contexte géomorphologique idéal correspond aux côtes microtidales ou aux plages de fond de baies constituant à elles seules un compartiment sédimentaire.

## VI.6. Avantage et inconvénients des principaux matériaux de construction :

Matériaux	Avantages	Inconvénients
<b>Le béton</b>	Matériau « naturel » Surface adaptée à la fixation d'organismes, Solide et durable Non polluant Coût modéré Durabilité d'environ 50 ans	Manipulation et transport (poids) Faiblesse des bétons en zones tropicales (température et salinité)
<b>Le métal</b>	Bonnes qualités mécaniques Larges possibilités d'architecture Epaves « potentielles » disponibles Plasticité intéressante (grandes structures)	Oxydation Hétérogénéité de la corrosion, Plaques, soudures, rivets, boulons Coût des métaux importants Durabilité de 20 à 30 ans
<b>La pierre</b>	Bon substrat de fixation Bonne résistance mécanique et chimique aux conditions marines Aspect paysager naturel Coût faible	Faibles possibilités architecturales. Manipulations peu aisées Pas de cavités intra structurelles et surface développée réduite
<b>Epaves (1)</b>	Coût le plus faible Volumes importants Transport et pose simplifiés Recyclage économique une fois dépollué	Image de « déchet industriel » Habitat peu sélectif Corrosion importante, faible durée de vie Hétérogénéité des matériaux d'où risques accrus de pollution Carcasses de voitures peu adaptées
<b>Le bois</b>	Bonne surface pour la fixation d'organismes Matériau « naturel »	Dégradé par les organismes ligniphages Faible tenue dans le temps et dégradation

**Tableau 02 :** Synthèse des avantages et des inconvénients des principaux matériaux utilisés pour la réalisation de récifs artificiel (Bell et al. 1997)

## VII. La gestion souple des dunes:

Les dunes sont des accumulations sableuses littorales . Ces espaces, mobiles par nature , sont fragilisés pas des pression multiples et leur dynamique est essentiellement liée à l'action du vent. Le principe de base de contrôle de la mobilité des dunes est la modulation de l'érosion éolienne par réduction de la vitesse du vent . ce contrôle de la mobilité des dunes peut être obtenu par différentes techniques : plantations végétales , rideaux brise-vent ou ganivelles, couverture de débris végétaux , canalisation de la fréquentation . il s'agit de mesure de protection durable qui augmente la capacité naturelle de résistance de la plage et constitue également une protection contre les attaques des vagues tout en préservant le caractère naturel du littoral .

La reconstitution d'une dune est un phénomène qui peut prendre plusieurs années. La reconstitution artificielle d'un cordon dunier, souvent à une ou plusieurs techniques de gestion de l'avant dune ( ganivelles , végétalisation ) , permet de restaurer les échanges naturels plage/dune , tout en constituant un ouvrage souple et naturel de protection contre les phénomènes d'érosion et de submersion



**Figure 18** : Exemples de gestion souple des cordons dunaires

### Avantages et inconvénients des techniques de gestion du cordon dunaire :

Méthodes de gestion du cordon dunaire	Avantages	Limites
Couvertures de débris végétaux	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Accumulation des sédiments</li> <li>✓ Limite l'érosion éolienne</li> <li>✓ Limite les dommages liés au piétinement</li> <li>✓ Développement des communautés végétales</li> <li>✓ Solution durable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Extension des couvertures limitée</li> <li>✓ Surveillance périodique</li> </ul>
Brise -vents	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mise en place simple</li> <li>✓ Favorisent le dépôt sédimentaire</li> <li>✓ Peut être combine à d'autres méthodes</li> <li>✓ Biodégradable</li> <li>✓ Solution durable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ A éviter dans les zones a forte pente</li> <li>✓ Surveillance périodique</li> </ul>
Plantations	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Limite l'érosion éolienne</li> <li>✓ Cout amorti</li> <li>✓ Solution durable</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dunes régulièrement entretenus</li> <li>✓ Fréquentation non excessive</li> </ul>

Tableau 03 synthèse des avantages et inconvénients des différentes techniques de protection des cordons dunaire

### VIII. Les systèmes de drainage de plage

Le drainage de plage a pour objectif d'abaisser le toit la nappe aquifère présente sous la plage et ainsi favoriser l'infiltration de la nappe de retrait du jet de rive. L'eau redescendant sur la plage s'infiltré, perdant de son énergie et favorisant ainsi le dépôt de sédiment charriée. le système de drainage est constitué de drains horizontaux installés en profondeur et placés parallèlement au trait de cote. Ces drains sont connectés à une station de pompage qui recueille et évacue l'eau vers la mer ou vers des stations de recyclage. L'installation du système nécessite une perméabilité suffisante du sédiment, et il reste peu adapté aux plages très exposées aux vagues ou présentant d'important mouvements de l'estran. Ce système tend à piéger le sédiment présent sur place mais

ne résout pas le problème de déficit sédimentaire. Il est par conséquent souvent associé à un rechargement de plage. Ces systèmes de drainage fonctionnent lorsque les nappes d'eau ou le jet de rive sont responsables de l'érosion.

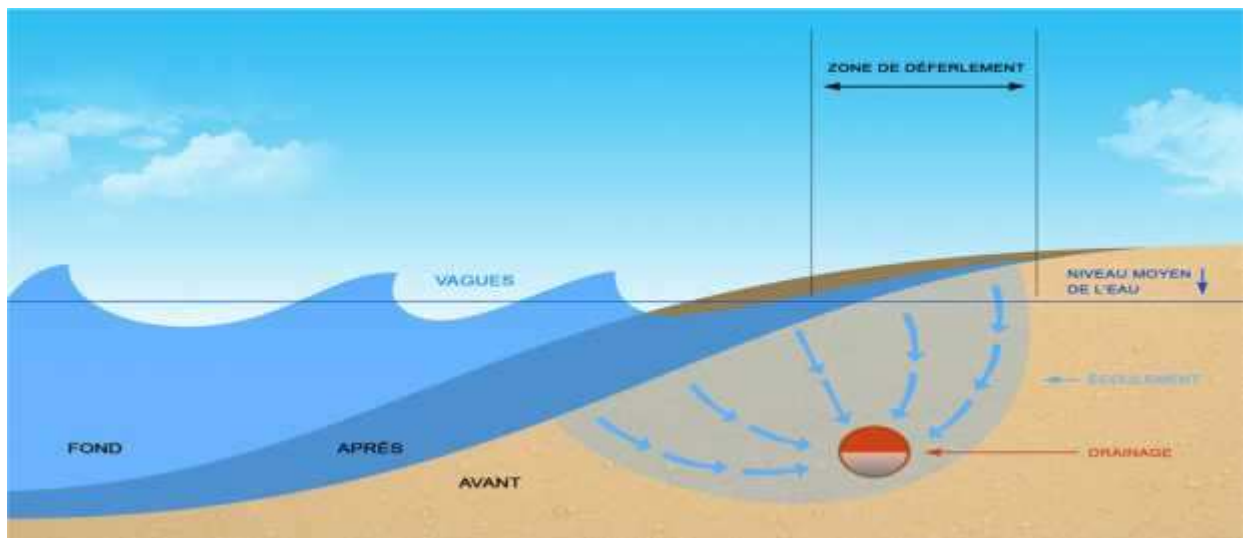


Figure 19 : Schéma de principe d'un drainage de plage (ECOPLAGE)

### VIII.1. Avantages

L'impact paysager est nul (excepté lors des travaux) et le sable s'assèche plus rapidement, ce qui est fort apprécié pour les activités récréatives. L'écosystème littoral est peu perturbé (Excepté lors des travaux et la nappe souterraine peut éventuellement modifier l'écosystème benthique). Le système de drainage a un rôle efficace lorsque la circulation des eaux continentales (nappes superficielles) participe à l'érosion. Le coût énergétique peut être amorti en utilisant l'eau recueillie par les installations de recyclage (alimentation de bassin aquacole, piscine d'eau de mer etc.).

### VIII.2. Inconvénients / limites

L'utilisation de cet ouvrage reste cependant limitée à certains types de plage. En effet, les sédiments sous l'estran doivent être perméables et épais (entre 0,1 à 0,5 m) pour permettre la mise en place des canalisations et éviter tout colmatage. De même, il est préférable d'avoir une pente relativement faible (de l'ordre de 1/10 à 1/50). La zone doit être exposée modérément mais régulièrement aux vagues et il faut de faibles variations saisonnières (été/hiver) au niveau du profil de plage. Le rôle des nappes superficielles doit être dominant sur le transport de sédiment (phénomène de thixotropie) par rapport aux autres agents d'érosion. Le drainage affaiblit l'un des processus de l'érosion mais ne résout pas le problème de déficit sédimentaire, en conséquence il convient mieux aux plages de fond de baie (formant à

elles seules un compartiment sédimentaire). Il faut enfin prêter attention (suivi) au système électrique de la station de pompage.

## **IX. Les ouvrages en géotextile :**

### **IX.1. Description :**

Ils visent à maintenir le sable et peuvent être déployés perpendiculairement (ex. : épis lorsque la dérive littorale domine) ou longitudinalement par rapport au rivage, par exemple pour armer le cœur d'un bourrelet dunaire à l'arrière d'une plage. Ils sont constitués de toiles perméables en fibres synthétiques sous forme de sacs ou de boudins. Ils sont remplis de sable par une pompe refoulante.

### **IX.2. Avantages**

L'impact visuel des ouvrages en géotextiles est souvent moins agressif que d'autres structures de type épis, brise-lames, etc., d'autant plus qu'ils sont souvent recouverts de sable. Lorsqu'ils sont dissimulés et disposés pour former des casiers, les sacs peuvent être utilisés pour le maintien du sable en lui servant d'ancrage (par exemple après le rechargement artificiel sur un estran). Ils sont réversibles et la structure de dernière génération est perméable, souple, résistante aux UV et favorise l'installation de la végétation. La mise en place de ces ouvrages est rapide et reste moins onéreuse que des ouvrages lourds (en enrochements par exemple). Ils perturbent peu l'écosystème littoral.

### **IX.3. Inconvénients / limites**

Les ouvrages en géotextiles présentent les mêmes inconvénients que les ouvrages lourds (ex. : épis, brise-lames), face à la dynamique sédimentaire. Leur rôle étant de limiter les transits sédimentaires, ils entraînent des déficits en sédiments des zones non protégées voisines, accentuant l'érosion. Ayant un rôle limitant la circulation de l'eau, ils peuvent éventuellement entraîner des complications au niveau des aires de baignade notamment en présence de pollution. Comme tout type d'ouvrage, ceux constitués en géotextiles nécessitent un entretien régulier, en particulier face à d'éventuelles dégradations de la part des usagers (notamment en période estivale).



Figure 20 : Ouvrage en géotextile (France)

## **X. Les pieux hydrauliques**

### **X.1. Description**

Les pieux hydrauliques sont constitués de pieux en bois plantés verticalement dans le sédiment (sable ou vase) suivant un espacement régulier. Ils peuvent être implantés parallèlement ou perpendiculairement au rivage sur l'estran, souvent sur plusieurs dizaines de mètres. Ces ouvrages perméables sont utilisés pour dissiper l'énergie des vagues sur la plage, limitant ainsi le transport de sédiments et favorisant la stabilité de la plage.

### **X.2. Avantages**

Les pieux hydrauliques étant perméables, la circulation des sédiments, bien que modifiée, est maintenue, limitant les impacts négatifs de part et d'autre de l'ouvrage. Ils sont relativement faciles à mettre en œuvre et peu onéreux.

### **X.3. Inconvénients / limites**

L'efficacité avérée de ces ouvrages n'est pas systématiquement garantie selon les types de plages, elle est en général assez limitée. Il faut donc établir un suivi régulier pendant une période de temps suffisante pour estimer leur rôle. De plus, ils peuvent constituer des obstacles pour les usagers des bords de mer (promeneurs...) et dangereux pour la navigation maritime.



Figure 21 : Pieux hydrauliques transversaux, Cap Ferret, Aquitaine (France)

conclusion

Les littoraux offrent de nombreux services. Leur rôle dans la protection des côtes (de par leur forme) et leur diversité biologique permet d'en faire des infrastructures naturelles littorales variées. Cependant, des efforts doivent être faits afin d'améliorer la résilience des espaces littoraux par une meilleure gestion des sédiments et par la préservation d'un espace suffisant pour les processus côtiers. Il faudrait renoncer à l'idée de réaliser un aménagement définitif mais au contraire il est conseillé d'intégrer un cycle d'actions alternant entre phases d'observation et d'intervention. Cependant La seule action définitive envisageable sur le moyen et le long terme reste le recul stratégique hors de la zone menacée par les risques d'érosion.

En effet Le littoral algérien connaît une forte pression (plus de 70% de la population algérienne est concentrée sur le littoral). Les pressions dues aux activités humaines causent des dommages considérables aux écosystèmes et aux paysages côtiers. L'occupation anarchique des espaces littoraux et la surexploitation de ses ressources, sont également à l'origine des problèmes de l'érosion et de la dégradation des milieux marins.

La baie d'Alger qui s'étend sur un linéaire côtier d'environ 84km, n'est pas exempte de cette forte pression. La plupart de ses belles plages et de ses paysages paradisiaques, sont actuellement dénaturés, trop artificialisés et marqués par l'implantation d'un nombre considérable d'infrastructures littoral , portuaires et de complexes touristiques sur la côte, ceci a perturbé l'équilibre sédimentaire lequel a aggravé le phénomène d'érosion sur toutes les plages de la baie d'Alger

Pour remédier à ce problème Les autorités algériennes, ont souvent fait appel à des solutions lourdes et très coûteuses, consistent à installer des ouvrages de protection en enrochements (Brise-lames, épis). Ce système de protection est très archaïque et souvent très lourd. Une simple erreur de protection se traduit souvent par une cascade d'erreurs sur la protection, ceci implique le nombre impressionnant de moyen de protection au km linéaire sur le littoral de la baie d'alger. Ce genre d'intervention à un effet secondaire négatif sur le milieu côtier, en dénaturant le site et en déclenchant une érosion dans les zones avoisinantes.

Le présent document, présente un panel de solutions afin de limiter l'érosion côtière et met en avant l'importance des solutions dites « douces » dans la mesure du possible (caractérisé par une meilleure prise en compte des aspects environnementaux et socio-économiques.), avec leurs avantages et inconvénients. Bien souvent, ces solutions douces ne sont pas définitives et peuvent parfois être combinées avec des solutions « dures » pour protéger des enjeux menacés à court terme. Mais il est rappelé que sur le long terme il est illusoire de vouloir fixer définitivement le trait de côte sans impact environnemental fort et de lourds investissements économiques.

# Bibliographie

## ***Ouvrages et Mémoires***

1. **ABDERRAHMANI K , KHEDIMI F** ; 2008 : Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral, ISMAL.4-10 p.
2. **ASSASSI C , OTMANI H** ; 2010 Etude de protection de la zone de Club des Pins mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral , ENNSMAL 17-20 p.
3. **BALOUIN Y, BELON R , STEPANIAN A ,BODERE G** ;2012 étude générale pour la protection de la plage orientale de corse – préconisations de gestion rapport final 11-13 p.
4. **BEN AISSA N, CHIBANE H , MESSAR K** ; 2006 étude bathymétrique et sydementologique du port d'Alger mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral ISMAL 5-6 p.
5. **BOKRETA A** ; 2012 État de l'art sur les récifs artificiels mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral ENSSMAL
6. Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels 5, 6 ,11 p.
7. **Houma F B** ; 2009 Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie \_a partir de l'imagerie satellitaire Université Paris-Est 21 24 p
8. **Jean Bougis** ; 2010 Ouvrages de défense des littoraux plage artificiels 06-01 p
9. La défense des plages contre l'érosion dans la zone RAMOGE ; 2002 6-7 p.
10. **LADJIMI F, ANNANE G , KEMILA A** ; 2007 Inventaire et impacts des ouvrages côtiers sur le milieu marin dans la baie de Bou Ismail mémoire d'ingénieur en aménagement du littoral ISMAL 11-13 p

11. **Le Guillou A** ; 2009 étude sur les récifs artificiels dans la zone de ramoge mémoire en master 2 image multimédia et science territoriale université de Nice 8 p.
12. Panorama des solutions douces de protection des côtes (Réseau Atlantique pour la Prévention et la Gestion des Risques Littoraux) ; 2010 21.25 p.
13. **PASKOFF R** ;1993, *Côtes en danger*, Coll. Pratique de la Géographie, Masson
14. **PASKOFF R** ; 1998 Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution, A. Colin, 71-72 p.
15. **VERON G. , DENIS J., THOUARD E , THEBAUD O, GERARD A** ; 2008 Les récifs artificiels Etat des connaissances et recommandations Ifremer 2 p.