

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



Mémoire

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme d'ingénieur d'état en Science de la Mer

Spécialité : aménagement du littoral

Par

BOURAHLA Hakima

SAKHRI Samia

Sujet :

**Réalisation d'un piège à sédiments pour l'étude des
mouvements des sables sur la dune et les plages**

Soutenu le 15 /09/2013 devant le jury composé de :

GUERFI. M	Maitre de conférences (A)	ENSSMAL	Président
BELKESSA. R	Maître de conférences (A)	ENSSMAL	Examinateur
HELLEL. M	Maître assistant (A)	ENSSMAL	Examinateur
HEMDANE. Y	Maître de conférences (A)	ENSSMAL	Promoteur

Promotion : 2012-2013

Remerciements

Tous d'abord on remercie dieu le tout puissant, de nous avoir aidé à accomplir ce travail. Qu'il soit toujours dans nous cours et têtes.

Nos remerciements s'adressent à notre encadreur M.HEMDANE YACINE d'abord, pour avoir dirigé ce mémoire et surtout pour les conseils et les encouragements qu'il nous a procuré tout au long de ce travail.

A tous les enseignants de L'ENSSMAL qui nous ont suivies pendant tout nos cours.

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont Contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Merci

Dédicace

Je dédie ce mémoire aux personnes qui me sont chères en particulier mes parents MOUSSA et ALIMA qui m'ont beaucoup aidé et encouragé dans mes moment de doute, a mon frère amine et mes sœurs HADJER et HASSIBA, a tous mes amis (es) de L'ENSSMAL

Wassila

Dédicace

Je dédie ce travail à mes chers parents SADDEK et HOURIA, à mes frères RABH, ABEDALHAK, et mes sœurs ASMA, FAIZA et MERIEM, à mes camarades à L'ENSSMAL surtout KATIA, MERIEM et NOUR EL IMEN, SEHEM ainsi à toute la famille de l'ENSSMAL, à tous mes amis (es) sans aucune exception en témoignage d'une profonde affection.

Samia

Sommaire

Introduction.....	1
 Chapitre I : généralité	
I.1. Les plages et dunes littorales	3
I.1.1 Les Dunes littorales.....	3
I.1.1.1. Les dunes de première ligne	3
I.1.1.1.1. Les dunes embryonnaires (bordières)	3
I.1.1.1.2. Les dunes libres ou dunes barkhanoides	3
I.1.1.2. Les champs ou massifs de dunes	4
I.1.1.2.1. Les dunes libres, ou les dunes paraboliques.....	4
I.1.1.2.2. Les dunes anciennes (végétalisées)	4
I.1.2. Les plages	4
I.1.2.1. Le plage aérienne.....	5
I.1.2.2. L'estran.....	5
I.1.2.3. l'avant-plage.....	6
I.2. La sédimentation et l'érosion des sables	6
I.2.1. l'action de mer.....	6
L'action hydraulique.....	6
Abrasion.....	6
Corrosion.....	6
I.2.2. l'action du vent	7
L'érosion éolienne.....	7
La déflation.....	8
L'abrasion.....	8
I.3. Mécanisme de transport éolien.....	8
I.3.1. L'écoulement de l'aire sur le sol.....	9
I.3.2. vitesse de cisaillement.....	9
I.3.3. La vitesse limite de mise en mouvement.....	10
I.3.4. Les forces s'appliquant aux particules.....	10

La force de trainée (Fd).....	10
La force de portance (FL).....	10
La force de gravité (G).....	11
I.3.5. la vitesse de chute des particules.....	11
I.3.6. Mode de transport.....	11
I.3.6.1. Reptation/charriage.....	11
I.3.6.2. Saltation	11
I.3.6.3. suspension.....	12
I.3.7. les paramètres physiques influençant le transport éolien.....	12
I.3.7.1. la végétation.....	13
I.3.7.2. l'humidité.....	13
I.3.7.3. le rôle des sels	13
I.3.7.4. Les marées	13
I.3.7.5. les facteurs sédimentologiques	13
I.3.7.6. les facteurs humains	14
Conclusion	14

Chapitre II : la mesure du transport sédimentaire par piégeages in situ

II.1. Evaluation du transport éolien.....	15
II.1.1. les pièges à sables éoliens.....	15
II.1.1.1. Les pièges horizontaux.....	15
II. 1.1.1.1 Pièges de type Owens (1927).....	15
Leurs avantages.....	16
Leurs inconvénients.....	16
II.1.1.1.2. Pièges de type Bagnold	16
Leurs avantages.....	17
Leurs inconvénients.....	17
II.1.1.2. Les Pièges superficiels.....	17
II.1.1.2.1. Pièges de type Augustinus (1990).....	17
Leurs avantages.....	18
II.1.1.3. les pièges verticaux.....	18
II.1.1.3.1. Pièges à coupelles.....	18
Leurs avantages.....	19

Leurs inconvénients.....	19
II.1.1.3.2. Pièges triangulaires de type « GTW »	19
Leur avantage.....	20
II.1.1.3.3. Piège de type Leatherman.....	20
Leurs avantages.....	21
Leurs inconvénients	21
Conclusion.....	21

Chapitre III : Matériel et méthodes

III.1. Réalisation de piège Leatherman (<i>modifié par Goldsmith et al, 1988</i>)	22
III.1.1. Matériels	22
III.1.2. Procédure.....	22
III.2. La zone choisie (<i>la plage Est de Sidi Fredj</i>)	24
III.2.1. localisation de la plage Est de Sidi Fredj.....	24
III.2.2. Morphologie de la plage Est de Sidi Fredj.....	25
III.2.2.1.Plage	25
III.2.2.2.Dunes.....	25
III.2.3. Sédimentologie.....	25
III.2.4. les Agents dynamiques de la plage Est de sidi Fredj.....	25
III.2.4.1. Le vent	25
III.2.4.2. Houles et vagues	25
III.2.4.3. Courants.....	26
III.3. L'application sur le terrain.....	26
III.3.1. Localisation du piège sur la plage Est de Sidi Fredj.....	26
III.3.2. Technique d'installation de dispositif	27
III.3.3. Fonctionnement de piège Leatherman	27
III.3.4. La mesure de vitesse du vent.....	27
III.3.5. prélèvement des échantillons	27
III.4. Travail au laboratoire.....	28
III.4.1. quantification du transport éolien réel.....	28
III.4.2. Humidité du sédiment.....	28
III.4.3. L'analyse granulométrique.....	28
III.4.3.1. Matériels	28

III.4.3.2. Principe de l'analyse granulométrique.....	29
III.4.3.3. Le mode opératoire.....	29
III.4.3.4. Les paramètre granulométriques	30
Taille moyenne (Mz).....	30
Indice de tri (Si).....	30
Indice d'asymétrie (Ski).....	30
III.5. Formules théoriques et semi-empiriques du transport éolien	31
Formule de Bagnold (1936)	31
Formule de Zingg (1953).....	32
Formule de Kawamura (1951).....	32
La formule de Lettau et Lettau (1977).....	32
La formule de White (1979).....	33
Conclusion.....	33

Chapitre IV : Résultats et discussion

IV. 1. La mesure in situ de transport éolien réel.....	34
IV.2. Humidité du sédiment.....	35
IV.3. L'analyse granulométrique.....	35
IV.4. Le flux théorique du transport éolien	38
Conclusion.....	38

Conclusion générale..... 39

Liste des figures

Figure 1	Barkhane et dune parabolique	4
Figure 2	Profils transversaux simplifiés des différentes unités Morpho-dynamiques De la plage	5
Figure 3	Différentes photos d'érosion par les vagues	7
Figure 4	Présente l'érosion éolienne	8
Figure 5	Les différentes forces s'appliquant aux particules	10
Figure 6	Les différents modes de transport sédimentaire par le vent	12
Figure 7	Piège à sable horizontal de type « Owens »	16
Figure 8	Piège à sable horizontal de type Bagnold et photographie de terrain	17
Figure 9	Piège à sable superficiel de type Augustinus 1990 et Photographie de terrain	18
Figure 10	Piège à coupelles	19
Figure 11	Piège à sable vertical de type « GTW » (schéma d'après Nickling et Mckenna Neuman 1997), et photographie Du piège, fixé sur une plaque en métal	20
Figure 12	Piège à sable verticale de type Leatherman	21
Figure 13	Tube PVC (10×100) cm	22
Figure 14	Comparaison entre la maille de tissu et la maille d'un tamis (160 µm)	23
Figure 15	Les étapes de fabrication de piège Leatherman	23
Figure 16	Piège de type « Leatherman » (schéma d'après Goldsmith et al, 1988 (Meur-Ferec.C et Ruz. M-H, 2002)) Et photographie du piège réalisé.	24
Figure 17	Localisation de la plage Est de Sidi Fredj	24
Figure 18	Carte de localisation du piège sur la plage Est de Sidi Fredj à l'aide Du logiciel MAPINFOW	26
Figure 19	Photographie de piégeage de sable sur la plage Est de Sidi Fredj	27
Figure 20	Tamiseuse de type AFNOR et balance électrique	29
Figure 21	Mesure la quantité du sable capté par le piège Leatherman	34
Figure 22	Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon du sable	39

Liste des tableaux

Tableau 1	Représentation récapitulative des vents fréquents par saison (O.N.M) Dans la région de Sidi Fredj	25
Tableau 2	Le pourcentage de la teneur en eau dans l'échantillon prélevé	35
Tableau 3	Données climatiques de la station d'Alger port	35
Tableau 4	Les mesures des refus initiales (Ri) et cumulés (Rc) (Les données de granulométrie)	36
Tableau 5	Les diamètres de grains de sable correspondent aux divers pourcentages	37
Tableau 6	Paramètres granulométriques en unités de phi(\emptyset) et Les caractéristiques de l'échantillon prélevé.	37
Tableau 7	Comparaison de transport de sable mesuré et estimé sur La plage Est de Sidi Fredj	38

Liste des abréviations

cm : centimètre

d: diamètre en millimètre.

g: accélération due à la gravité.

h: heure.

Kg: kilogramme.

Log₂: logarithme de base 2.

Log₁₀: logarithme de base 10 (logarithme décimal).

Mz: le diamètre de grain moyen.

P_d: des grains solides (sec).

P_h: masse apparente (humide).

M: mètre.

m³: mètre cube.

Min: minute.

Mm: millimètre.

Q: le flux ou le débit du transport sédimentaire (de sable) éolien.

S: seconde.

s⁻²: l'inverse de second carré.

Si ou **σ**: indice de tri (de classement).

Ski: indice d'asymétrie.

U*: vitesse de cisaillement.

U*_t: vitesse limite de cisaillement.

W: teneur en eau.

Z: hauteur par rapport à la surface du sol.

Z₀: la hauteur de rugosité. (La vitesse est nulle).

Ø: diamètre en unité de phi.

°C: degré Celsius.

P: densité de l'air.

Ps: densité du sédiment.

µm: micromètre (micron).

Liste des acronymes

AFNOR: Association Française de **NOR**malisation.

ASTM: American Society for **T**esting and **M**aterials.

CCN : Centre Climatologique National.

MEDDE : Ministère de l'**E**cologie, de l'**E**nergie, du **D**éveloppement **D**urable et de la Mer.

ONM : Office Nationale de la **M**étéorologie.

Introduction

Introduction

La compréhension des processus de la dynamique côtière passe par l'étude de l'hydrodynamisme et de l'aérodynamisme qui contrôlent le milieu côtier. Sur les plages sableuses, l'étude des flux sédimentaires transportés par le mouvement éolien renseigner du comportement de la côte et des sédiments qui y transitent. Ceux-ci, peuvent être originaire aussi bien des fonds ou petits-fonds marins que des mouvements sédimentaires éoliens qui peuvent transiter le long de la côte, sur les plages et les dunes.

Parce que les dunes, notamment les dunes bordières, interviennent intrinsèquement lors des périodes de forte agitation où la côte peut perdre des quantités considérables de sédiments, le suivi des transports éoliens est un élément clés pour lutter et/ou comprendre l'érosion côtière et de tirer des schémas d'aménagement pour une meilleure conservation du littoral.

Dans cette étude, nous essayerons de réaliser un piège à sédiment de type Leatherman (*(modifié par Goldsmith et al, 1988)*), lequel va nous permettre ensuite de mesurer les sédiments transporter près du fond sédimentaire dunaire.

En effet, à l'inverse des modèles et équations mathématiques, la mesure et l'observation réelles in situ des transports éoliens peuvent déterminer avec plus de fiabilité la dynamique dunaire et côtière. Celle-ci, est ensuite utiliser pour trouver des solutions de protection littorales adéquates et plus adaptées.

Dans cette étude, la réalisation du piège à sédiment de type Leatherman a été effectuée en laboratoire, laquelle a été ensuite testée sur le terrain au niveau d'une des dunes de Sidi Fredj (Alger). Dans cette opération, nous avons également utilisé un anémomètre de terrain afin d'avoir les vitesses réelles du vent au niveau du point de mesures. Ces vitesses de vent nous permettront par la suite de les insérer dans des équations de calcul des transports éolien et ce, ne vue de comparer les quantités des sédiments observées avec celles qui sont simulées par des équations mathématiques.

Ce travail est organisé en quatre parties. Dans le chapitre I, nous commencerons par la définition du milieu dunaire et des différentes dunes littorales. Le chapitre II concernera une revue des différentes méthodes permettant la mesure des transports sédimentaires éoliens. Dans le chapitre III, nous présenterons la zone d'étude où le piège à sédiments réalisé a été testé, tandis que les résultats des mouvements sédimentaires éoliens observés et leur comparaison avec les transports éoliens calculés seront présentés dans le chapitre IV.

L'objectif de cette étude est la réalisation d'un piège à sédiments et de le tester sur le terrain pour voir son fonctionnement. Cependant, la mesure des sédiments du transport éolien d'une zone d'étude nécessite le déploiement des pièges à sédiments fréquent aussi bien dans le temps que dans l'espace.

Chapitre I

Généralités

Les accumulations sableuses qui constituent les plages et le cordon dunaire sont soumises aux actions conjuguées de la mer et du vent. Dans ce chapitre, On commencera par rappeler les plages et dunes littorales. Nous expliquerons notamment les phénomènes de sédimentation et l'érosion des sables, après on verra les mécanismes de transport éolien.

I.1. Les plages et dunes littorales :

I.1.1. Les Dunes littorales:

D'après (**Paskoff R., 2010**), les dunes résultent de l'accumulation par le vent du sable apporté par la mer, se constituant un bourrelet rectiligne parallèle au rivage. Ce paysage dunaire peut être réparti en deux grandes catégories, sont les dunes de première ligne en arrière des plages et champs ou massifs de dunes qui s'étendent assez loin à l'intérieur des Terres :

I.1.1.1. Les dunes de première ligne :

Ces dunes, en interrelation directe avec la plage, sont par fois nommées dunes vives, en raison de leur caractère extrêmement dynamique. Selon leur forme et leur degré de végétation on peut distinguer (**France. MEDDE, 2010**) :

I.1.1.1.1. Les dunes embryonnaires (bordières) :

Sont moins végétalisées et occupent une superficie plus étroite (une petite accumulation de sable). Elles sont régulièrement attaquées à leur base par les vagues des fortes marées et pendant les tempêtes. L'alimentation de ces dunes se fait à partir des sables prélevés soit de la plage aérienne par vent de mer soit des autres dunes. Grace à la densité du couvert végétal dans les anciennes dunes, le sable des dunes embryonnaire est bien protégé contre les vents de terre. (**Chaibi M., 2003**)

Parfois, la dégradation du couvert végétal, naturelle ou anthropique, qui relance la dynamique éolienne, ce cordon dunaire est interrompu dans sa longueur à plusieurs reprises par de grands couloirs interdunaires. (**France. MEDDE, 2010**)

I.1.1.1.2. Les dunes libres ou dunes barkhanoides :

Elles sont dépourvues de végétation et sont éphémères, elles peuvent se former à marée basse sur le haut de plage lorsque les vents sont suffisamment forts et le sable sec. Leur forme en croissant, dont les branches s'allongent sous le vent. (figure.1) (**France. MEDDE, 2010**)

I.1.1.2. Les champs ou massifs de dunes :

Cette catégorie de dunes littorales concerne les champs ou massifs de dunes qui, suivant les cas, sont constitués, soit de dunes libres, soit de dunes entravées par la végétation. **(Paskoff R., 2010)**

I.1.1.2.1. Les dunes libres, ou les dunes paraboliques :

C'est une forme de remaniement par déflation **(Giazzi F., 1996)**. Il s'agit de grandes dunes en forme de croissant ouvert face aux vents dominants, les cornes sont par fois végétalisées, mais le corps mobile progresse plus ou moins rapidement sous l'action du vent. (figure.1) **(France. MEDDE, 2010)**

I.1.1.2.2. Les dunes anciennes (végétalisées) :

Se sont principalement formées sur place, le long de la cote, du fait du dépôt continu de sable transportés des plages et de la proximité des rivages par le vent. Ces dunes sont dominées par un couvert végétal très dense, il présente une source de rugosité qui provoque l'atterrissement des sédiments. **(Chaibi M., 2003)**

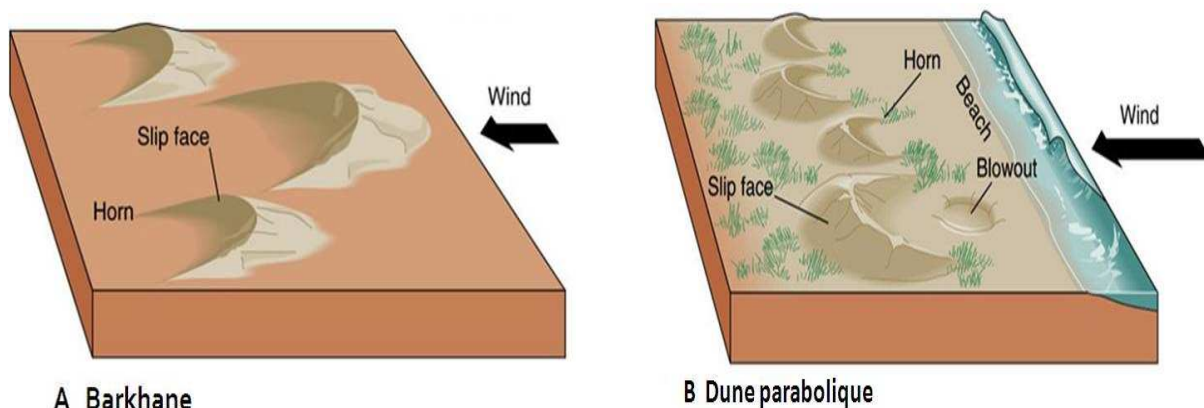


Figure 1. Barkhane et dune parabolique (geog-leics.blogspot.com/2012/08/desert-depositional-features.html / Geography...extreme landscapes)

I.1.2. Les plages :

Les plages présentent généralement un profil transversal plus ou moins concave leur pente varie en fonction du calibre des sédiments qui les constituent et des caractéristiques des vagues qui y déferlent (elle est forte quand les sédiments sont grossiers). **(Paskoff R., 2010)**

On distingue Les unités morphologiques de la plage :

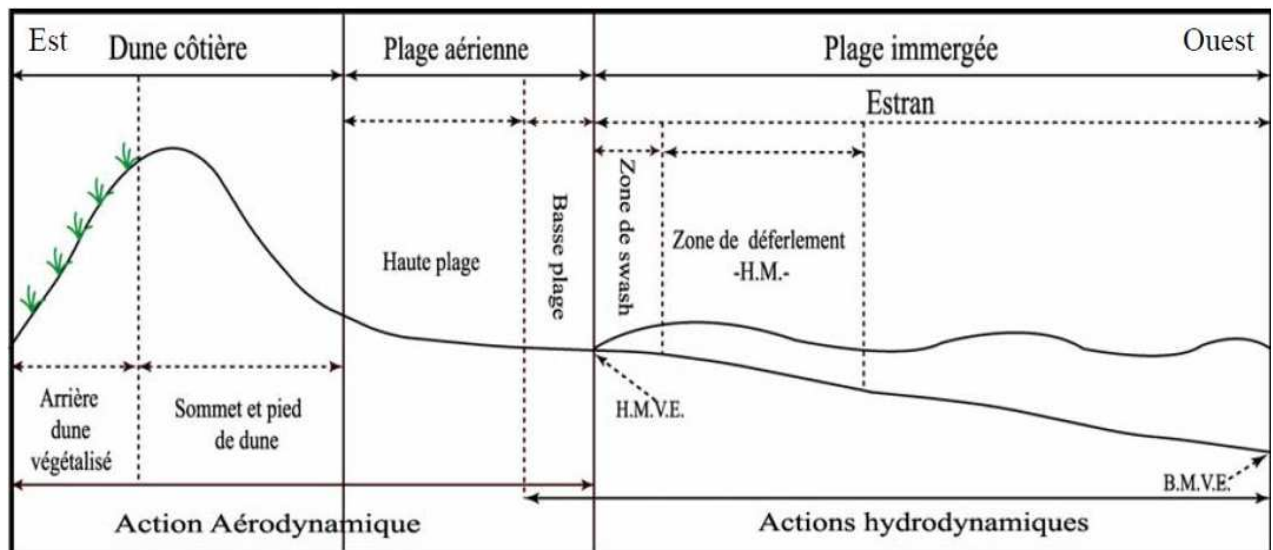
I.1.2.1. Le plage aérienne :

Elle est particulièrement étroite et bordée par un cordon dunaire moins résistant. Elle subit des amaigrissements successifs du fait des attaques marines. La plage aérienne est constituée de la haute plage et de la basse plage (figure.2) :

La haut plage, s'étend toujours aux pieds des dunes, et présente une forme concave. Cette zone constitue un stock sédimentaire considérable. (Chaibi M., 2003)

La basse plage, représente la zone d'échanges entre l'estran et la plage aérienne. Elle est toujours inondée, pendant les hautes mers de vives eaux et sèche pendant les mortes eaux avec des sables vifs et mobiles. (Chaibi M., 2003)

Le fonctionnement sédimentaire de la plage aérienne et son alimentation sont donc liés à l'interaction de deux actions dynamique, marine et éolienne.



*H.M.V.E.= Hautes mers des vives eaux. *B.M.V.E.= Basses mers des vives eaux.

Figure 2. Profil transversal simplifié des différentes unités morpho-dynamiques De la plage (Chaibi M., 2003)

I.1.2.2. L'estran :

C'est la zone des va et vient des marées : inondée à marée haute et découverte à marée basse. Cette zone est le siège d'interactions de tous les processus hydrodynamique : processus liés à L'action des houles, de la dérive littorale, des courants, des déferlements des vagues,.... ces dernières sont responsable de la mis en mouvement des sédiments. (Chaibi M., 2003)

I.1.2.3. l'avant-plage :

C'est une zone intertidale, en dessous du niveau des basses mers, toujours submergée, on trouve sur l'avant-plage des barres et des crêtes ou des rides pré littorales. Celles-ci se forment quand la pente est douce et les sédiments abondants. Elles sont séparées par des sillons. (Paskoff R., 2010)

I.2. La sédimentation et l'érosion des sables :

Les mouvements de l'air et de la mer provoquent l'érosion et la sédimentation le long du littoral :

I.2.1. l'action de mer :

L'action de la mer sur le rivage est tributaire du vent puisque celui-ci forme les vagues et la houle. D'après (Fortin C., 2007) les vagues se comportent comme un agent d'érosion mécanique actif, celles-ci frappent les cotes jour après jour, les vagues sculptent les falaises. Rendue fragile par l'action de l'eau et de sels marines. Elles possèdent plusieurs actions :

L'action hydraulique, lorsque la vague arrive sur la falaise elle comprime de l'air provoquant une pression très forte sur la roche. Avec le temps des fissures apparaissent jusqu'à former une cave provoquant la chute des roches. (Figure.3)

Abrasion, Les vagues viennent toucher les roches, celle-ci se polissent créant ainsi une roche très lisse. Néanmoins cet impact est plus ou moins prononcé en fonction de la roche qui constitue la côte. (Figure.3)

Corrosion, dans ce cas la vague utilise son acidité pour corroder la falaise (son ph inférieur à 7) ne lui permettrait pas de provoquer de telle fissure, néanmoins les vagues provoquent une agitation et accélèrent la réaction chimique ce qui conduit à une corrosion de la falaise. (Fig.3)



Figure 3. Différentes photos d'érosion par les vagues : A, la formation des falaises sous l'action des vagues. B, une falaise a été érodé par l'acidité des vagues (corrosion) ; l'apparition des fissures jusqu'à former une cave sur la falaise (action hydraulique). C, roche est devenu lisse sous l'action des vagues (abrasion). (tpevague.e-monsite.com/pages/test/1-les-vagues-regulieres.html/les vagues)

- Les courants générés par les vagues produisent un cisaillement sur le fond et un arrachement de matière, Lorsque le courant diminue jusqu'à devenir nul, la force de soulèvement disparaît et la particule tombe sur le fond: c'est **la sédimentation**. La diminution de la vitesse du courant apparaît : à l'étale de haute mer et basse mer, suite au frottement sur le fond près du rivage, à la rencontre d'un obstacle naturel ou artificiel.

I.2.2. l'action du vent :

La dégradation du sol sous l'action du vent qui arrache, transporte les particules de sols. Le vent soufflant en général de la mer vers la terre. Le transport éolien a tendance à augmenter le stock terrestre de sable aux dépens du stock marin. (Duval G., 1986)

L'érosion éolienne, peut se manifester lorsque le sol meuble et sec, la texture assez fine, une couche superficielle lisse à couvert végétale faible ou absente, des vents suffisamment forts pour déplacer les particules de terre. (Unger Paul W., 1989)

Le Vent provoque généralement l'érosion par déflation et l'abrasion (Figure.4) :

La déflation, la déflation est la prise en charge et le déplacement par le vent de grains de sable et de poussières, par contre les éléments les plus grossiers restent à la surface (formation des regs). La déflation se déclenche lorsque la force de portance dépasse le poids des particules. **(Neboit R., 1991)**

L'abrasion, L'abrasion éolienne résulte de l'impact des grains transporté par le vent sur les roches, entraînant un transfert d'énergie cinétique. La collision peut à la fois endommager le grain et/ou la roche. En principe, plus l'énergie cinétique développée est importante (grain très gros ou vitesse très grande), plus l'abrasion est poussée. **(Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995)**



Figure 4. Présente l'érosion éolienne : A, roche érodé par les grains des dunes transportés par le vent (Abrasion). (www.psi.edu/pgwg/images/feb10image.html / IAG Planetary Geomorphology Working Group) B, la déflation éolienne responsable de la concentration des éléments les plus grossiers. (fr.wikipedia.org/wiki/Déflation)

- la diminution de la vitesse du vent entraîne une diminution de la force de portance et une **sédimentation** des particules sableuses, le sable éolisé sur l'estran se sédimente en haute plage pour former les dunes bordières. **(Duval G., 1986)**

I.3. Mécanisme de transport éolien :

Le transport éolien est un phénomène extrêmement complexe qui fait intervenir la matière en grains en interaction avec l'écoulement turbulent de l'air.

I.3.1. L'écoulement de l'aire sur le sol :

A distance du sol, les flux modérés circulent en régime laminaire, c'est-à-dire en filets d'air parallèles. L'écoulement est perturbé au contact de la surface, il devient turbulent dès que la vitesse dépasse 1 m/s. l'accroissement de la vitesse provoque une augmentation rapide de l'épaisseur de la couche turbulente (Amat G.P., Le Cœur C., et al., 2008). Selon Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995 On distingue différentes couches:

- à la base, une couche visqueuse de surface (< 1cm) où l'écoulement laminaire passe à une vitesse nulle.
- au dessus, une couche rugueuse (< 10m) où l'écoulement de l'aire est turbulent, sensible à la rugosité de surface (topographie, végétation).
- au sommet, une couche limite convective d'environ 1000 m. cette zone, où règne un fort cisaillement, elle se développe sur des hauteurs plus au moins élevées en fonction de la rugosité de la surface sableuse et de la vitesse du vent.

Tant que la superposition des deux couches visqueuse et rugueuse existe, il n'y a pas d'érosion éolienne. Si la couche visqueuse s'annule, le vent peut agir sur le sol.

I.3.2. vitesse de cisaillement :

La vitesse de cisaillement (U_*) est fonction de la contrainte de cisaillement (τ) exercée par le vent sur la surface sableuse et la densité de l'air selon l'équation (Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995) :

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (\text{m/s})$$

(U_*) Et (τ) augmentent quand la vitesse du vent croit, La vitesse de cisaillement (u_*) est déterminée à partir d'une ou plusieurs mesures de vitesse du vent à différentes altitudes (U_z). La vitesse du vent augmente avec l'altitude z est classiquement décrite par une loi logarithmique (Sabatier F., et al., 2002):

$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

Avec :

$U_{(z)}$ = vitesse du vent mesurée à la hauteur Z au- dessus du sol (m/s)

U_* = vitesse de frottement ou de cisaillement (m/s)

τ = contrainte de cisaillement (N/m^2)

Z_0 = Longueur de rugosité (m)

K = constante de Van Karman qui vaut 0,41

I.3.3. La vitesse limite de mise en mouvement :

A partir d'un point critique, les particules du sol sont délogées et se mettent en mouvement. Ce point a été nommé par Bagnold (1941) seuil d'entraînement (U_{*c}) avec la formule (Sabatier F., et al., 2002):

$$U_{*t} = A. \left(g d \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{1/2}$$

g : accélération due à la gravité (m. s⁻²)

d : diamètre du grain moyen (mm)

ρ_s : densité du sédiment, égale à 2625 (kg. m⁻³)

ρ : densité de l'air, vaut 1025. (kg. m⁻³)

A : coefficient empirique (= 0.1)

I.3.4. Les forces s'appliquant aux particules :

Trois forces peuvent s'appliquer aux particules du sol exposées à un flux turbulent et ainsi les mobiliser (figure.5).les trois forces contraires s'opposent à cette mobilisation. (Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995)

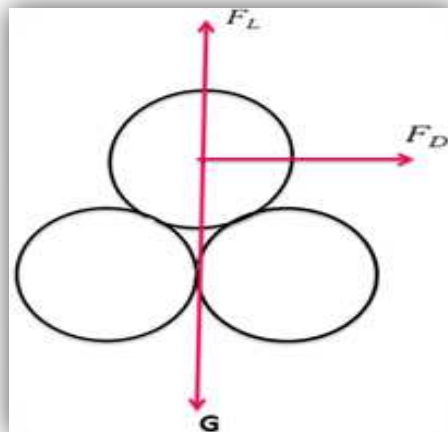


Figure 5. Les différentes forces s'appliquant aux particules (Hijama M. 2001)

La force de traînée (F_d), est dirigée parallèlement à la direction moyenne du vent, cette force représente le frottement du vent sur le grain. (Rioual F., 2002)

La force de portance (FL), est dirigée vers le haut ; elle naît de la différence de pression qui apparaît, du fait de la différence de la vitesse de l'air, entre la face inférieure et la face

supérieure d'une particule (effet Bernoulli). la portance est une force développée par le gradient de vitesse à proximité du sol. (Neboit R., 1991)

La force de gravité (G), s'oppose à la force de portance, elle maintient les grains à la surface. (Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995)

I.3.5. la vitesse de chute des particules :

La vitesse de chute dépend de la masse et de la forme des particules : plus les particules sont sphériques plus la vitesse de chute sera grande pour une masse donnée (en accord avec la loi de Stokes) :

$$U_f = K D^2$$

Où :

U_f = la vitesse de chute

D = le diamètre du grain

$K = 8.1 \cdot 10^5 \text{ cm/s}$ à 15°C au niveau de la mer et pour de sphères de quartz

Si la vitesse de chute de la particule excède la vitesse de la composante verticale du vent, la particule retombe à une faible distance du point d'éjection, inversement, si la vitesse du vent est supérieure à la vitesse de chute, la particule restera en suspension. (Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995)

I.3.6. Mode de transport :

Différents modes de transport (figure.6) sont définis par la vitesse du vent et la taille des grains, le déplacement des grains de sable s'effectue selon les modalités suivantes :

I.3.6.1. Reptation/charriage :

Ce phénomène de déplacement des sédiments non-cohésifs par roulement et glissement se produit par des vents relativement faibles (quelque m/s) (Chaibi M., 2003), cette vitesse du vent crée un équilibre entre la contrainte de frottement et la contrainte critique de mouvement (Chauchat G., 2007). Ce type de mouvement concerne les grains de taille intermédiaire et aussi des gros grains par exemple les galets et les sables ($d > 1000 \mu\text{m}$), qui semblent rester en contact avec le sol. (Rioual F., 2002)

I.3.6.2. Saltation :

Ce mode de transport apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules non-cohésives au-dessus du fond (Chauchat G., 2007). La saltation qui concerne les particules de taille intermédiaire ($100 \mu\text{m} < d < 1000 \mu\text{m}$)

(**Rioual F., 2002**). Le phénomène de saltation se décompose en trois étapes : l'éjection, le vol, la descente de la particule (**Chaibi M., 2003**). c'est à dire les grains s'élèvent verticalement jusqu'à quelques centimètres sous l'effet de la portance, puis tombent à la surface sableuse, lorsque la portance s'annule du fait de la diminution du gradient. (**Neboit R., 1991**)

I.3.6.3. suspension:

Ce type de transport se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules cohésives et non-cohésives (**Chauchat G., 2007**). Celles-ci restent en suspension dans l'air lorsque la vitesse du vent est supérieure à la vitesse de chute (**Le Hir P., 2008**). Ce mouvement concerne généralement les particules les plus petites par exemple les silts et les argiles ($d < 100 \mu\text{m}$) (**Rioual F., 2002**).

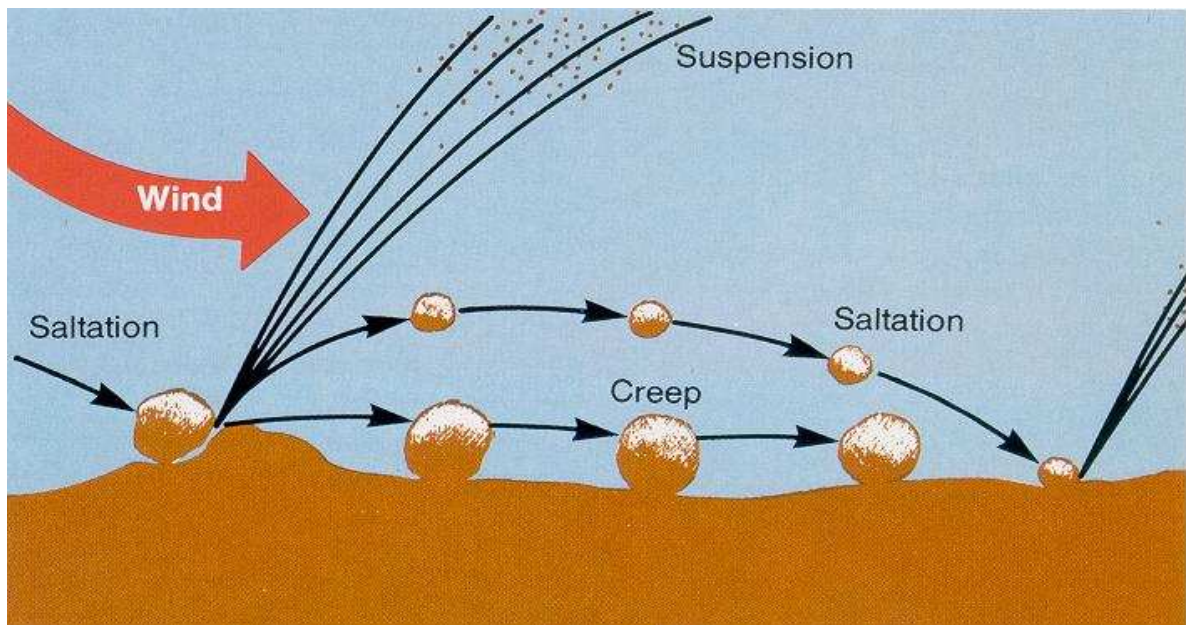


Figure 6. Les différents modes de transport sédimentaire par le vent

(www.weru.ksu.edu/new_weru/simmodels/simmodels.shtml / Erosion simulation Models)

I.3.7. les paramètres physiques influençant le transport éolien :

D'après **Chaibi M.**, Plusieurs paramètres influencent le transport des grains de sable par le vent. Parmi ces différents paramètres on trouve :

- Facteurs de rugosité (végétation, reliefs, ...)
- Facteurs de cohésion des sables (humidité, salinité, granulométrie, marée ...)
- Facteurs hydrodynamiques (marée, ...)
- Facteurs dynamiques (vitesse du vent, ...)

- Facteurs humains (piétinement, tassement de sédiments, destruction de la végétation, aménagements,...)

I.3.7.1. la végétation :

La végétation est connue comme un élément principal qui limite l'érosion éolienne et qui modifie considérablement le mécanisme de transport. Le transport éolien devient nul lorsque la densité du couvert végétal atteint 45 % pour des vents de 15 ms^{-1} . (**Chaibi M., 2003**)

I.3.7.2. l'humidité :

Le Poids du solide transporté, il augmente avec l'humidité du substrat. Un sable humide est moins éolisable qu'un sable sec. (**Duval G., 1986**)

I.3.7.3. le rôle des sels :

la présence de sels soluble favorise la formation des croûtes qui forment une couche dont l'épaisseur varie entre 2mm et 4 mm. Le sel augmente fortement la cohésion du sol. Ces encroûtements provoquent aussi une augmentation de la vitesse de début d'entraînement. Les surfaces à faible taux de sel sont favorables à la déflation. Par contre, les surfaces très salées sont bien protégées de l'érosion éolienne. Alors La présence de sels augmentait la taille des agrégats et par conséquent réduisait l'érosion éolienne. (**Coudé-Gaussen G., Rognon P.**)

I.3.7.4. Les marées :

A marée haute, les potentialités de déflation sont donc très réduites. Pendant l'étale des basses mers, une grande surface est découverte ce qui donne au vent la possibilité au transport de pouvoir se développer. (**Chaibi M., 2003**)

I.3.7.5. les facteurs sédimentologiques :

La nature et la granulométrie des sédiments des plages interviennent dans la dynamique éolienne :

Le vent déplace les particules très fines et très légères beaucoup plus rapidement que les grosses. Plus les particules sont fines, plus leur vitesse est grande.

Les grains grossiers et les débris de coquilles ont des vitesses de début d'entraînement supérieures à des grains plus sphériques, Les forces pour mobiliser les grains anguleux sont

plus importantes que pour les grains ronds. Ce type de grains anguleux peut jouer un rôle très important en protégeant les particules les plus fines de l'action éolienne. (Chaibi M., 2003)

En générale, de forts taux d'argiles et de silts forment de lourds agrégats ou des mottes, alors que de faibles taux facilitent la dispersion et l'érodabilité. Les agrégats plus petits seront plus facilement emportés par le vent. (Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995)

I.3.7.6. les facteurs humains :

Les impacts de l'activité humaine sont bien remarquables sur les plages, Ils accélèrent les processus d'érosion. Ses effets sont : (Chaibi M., 2003)

- la déstabilisation de la végétation et l'ouverture de siffle-vent par la fréquentation des piétons.
- Le tassement des sédiments, la destruction de la végétation.

Conclusion :

L'action du vent sur la surface de l'eau génère les vagues (processus hydrodynamiques), qui déposent le sable sur le rivage. Il sèche ensuite, grâce à l'action du soleil et du vent (processus aérodynamiques) Une fois sec, le grain de sable sera soumis, au cours de son vol, à différentes forces aérodynamiques (la force portance, la force de cisaillement), Le déplacement de celui-ci résulte de trois procédés (la reptation, saltation, suspension). Le vent met sa charge lorsque sa vitesse est inférieure à la vitesse de chute des particules après, le sable s'accumule pour former des plages, des dunes littorales.

Tout type d'obstacle peut produire une sédimentation dans la zone protégée qu'il délimite: une touffe d'herbe, un mur ...Ces dépôts peuvent être remis en mouvement s'ils ne sont pas fixés par la végétation.

Chapitre II

La mesure du transport sédimentaire par piégeages in situ

Dans ce chapitre, nous détaillerons les types de pièges à sédiments qui servent à mesurer le transport sédimentaire éolien en présentant leurs avantages et inconvénients.

II.1. Evaluation du transport éolien :

II.1.1. les pièges à sables éoliens :

De nombreux chercheurs utilisent des pièges à sables différents qui varient en fonction de leur forme, leur hauteur, et de leur mode de prélèvement. Le piège élaboré par Bagnold en 1941 se compose d'un piège vertical et horizontal et d'un autre superficiel. Ce piège a été modifié par Horikawa et Shen, (1960) parce que son efficacité n'était que de 20 %. Bagnold a élaboré un autre piège horizontal avec une longueur de 90 cm. D'après Svasek et Terwindt, (1974), la capacité de piégeage a été nettement améliorée. **(Chaibi M., 2003)**

Les pièges à sédiments pour le transport éolien sont classés en trois groupes : Les pièges verticaux, les pièges horizontaux et les pièges superficiels qui sont installés sur les cotes sableuse, les dunes, les plages et les déserts **(Wang P., et al., 1999)**

II.1.1.1. Les pièges horizontaux :

II.1.1.1.1 Pièges de type Owens (1927) :

C'est un piège à sable horizontal très simple conçu par Owens (1927). Il se présente sous forme d'une boîte de 67 cm de long et 34 cm de haut et la moitié de la boîte est enterrée dans le sable. Cette boîte comporte deux ouvertures (face au vent et sous le vent) pour permettre l'entrée et la sortie de l'air. A l'intérieur de la boîte, il existe des écrans qui peuvent provoquer le dépôt de sable. Ce type de pièges ne capte les sédiments que jusqu'à 17 cm du sol (figure .7). **(Pye K., Tsoar H., 2009)**

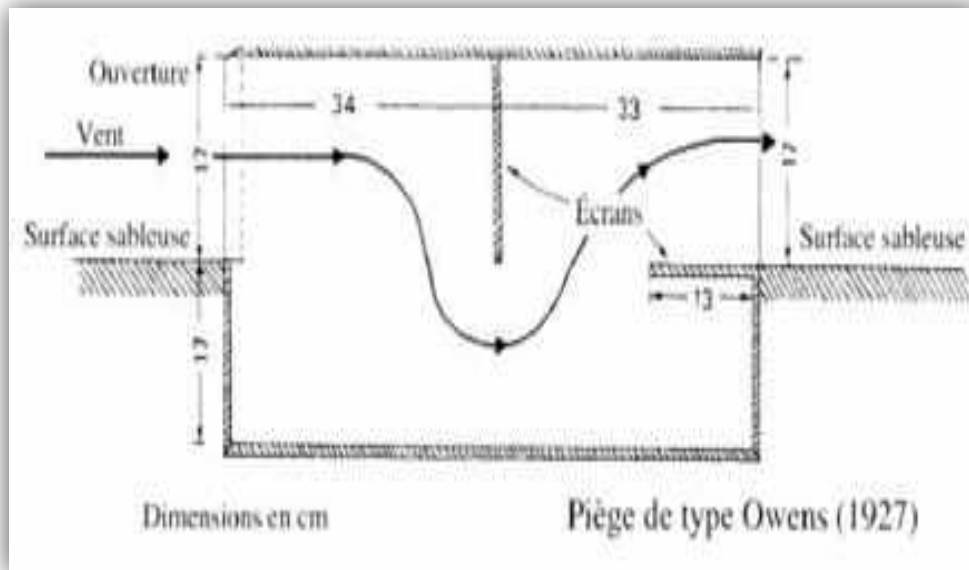


Figure 7. Piège à sable horizontal de type « Owens » (Meur-Férec C., Ruz M.H., 2002)

Leurs avantages :

- Piéger le sable transporté par : reptation et saltation. (Pye K., Tsoar H., 2009)
- Perturber le moins possible l'écoulement de l'air, parce qu'ils possèdent une forme horizontale (le piège est positif). (Hijama M., 2001)

Leurs inconvénients :

- Le piège est enterré dans le sable nécessitant plus de temps pour changer sa localisation selon la direction du vent (Hijama M., 2001)
- Il ne peut pas capter le sable transporté par suspension.

II.1.1.1.2. Pièges de type Bagnold :

C'est un piège horizontal sous forme de boîte en bois de 60 cm de large et une longueur de 120 cm. Il doit être enterré dans le sol sableux. Six sacs de linge sont placés dans cette boîte (figure. 8) pour capter le sable transporté par le vent. Le piège est proposé plus long que la longueur du saut des grains. Dans ce cas les grains ne peuvent pas dépasser ce piège (Hijama M., 2001)

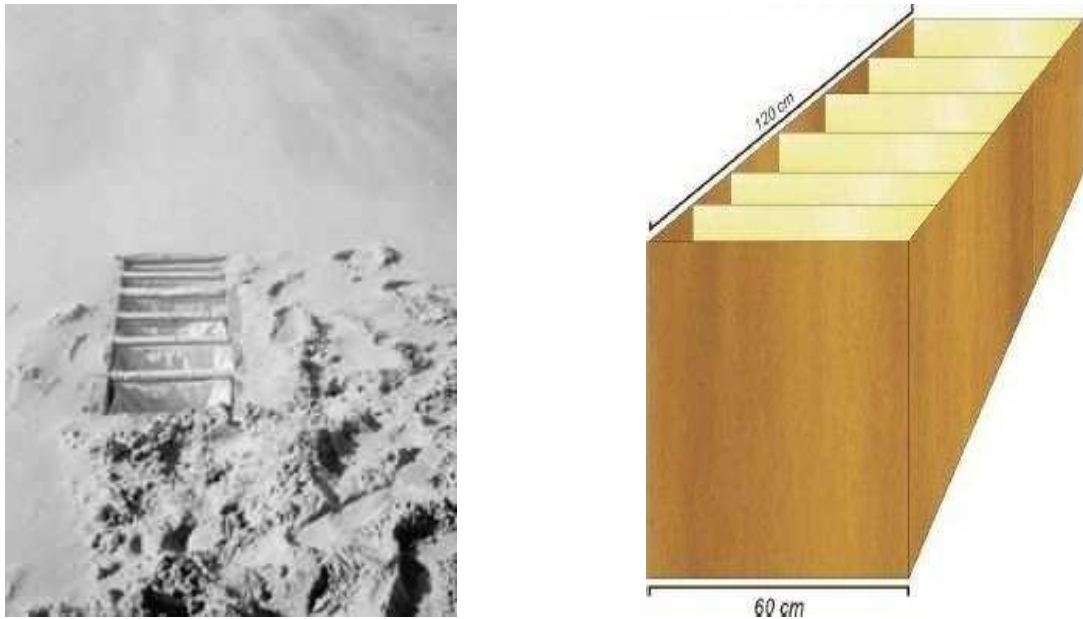


Figure 8. Piège à sable horizontal de type Bagnold et photographie de terrain (**Hijama M. 2001**)

Leurs avantages :

- Capturer des quantités considérables de sable, puisqu'il est ouvert à tous les côtés.
- Perturber le moins possible les flux de vent, parce qu'ils possèdent une forme horizontale (leur efficacité positive).
- Piéger le sable transporté par : reptation et saltation.

Leurs inconvénients :

- Le piège est enterré et nécessitant plus de temps pour changer sa localisation selon la direction du vent.
- Il ne peut pas quantifier le volume de transport éolien en suspension.

II.1.1.2. Les Pièges superficiels :

II. 1.1.2.1. Pièges de type Augustinus (1990) :

C'est un piège superficiel imaginé par Augustinus (1990). Il est complètement ou presque enterré sur le terrain laissant juste une petite fente de 1 cm de large et une longueur de 50 cm, laquelle est visible à la surface sableuse. Le sable tombé sur cette fente et s'accumule à l'intérieur de la boîte de métal (figure.9)

La largeur de la fente est inférieure à la distance de saltation, presque tout le sable transporté par saltation peut facilement dépasser cette ouverture, par contre le sable transporté par charriage tombe à l'ouverture. (**Hijama M., 2001**)

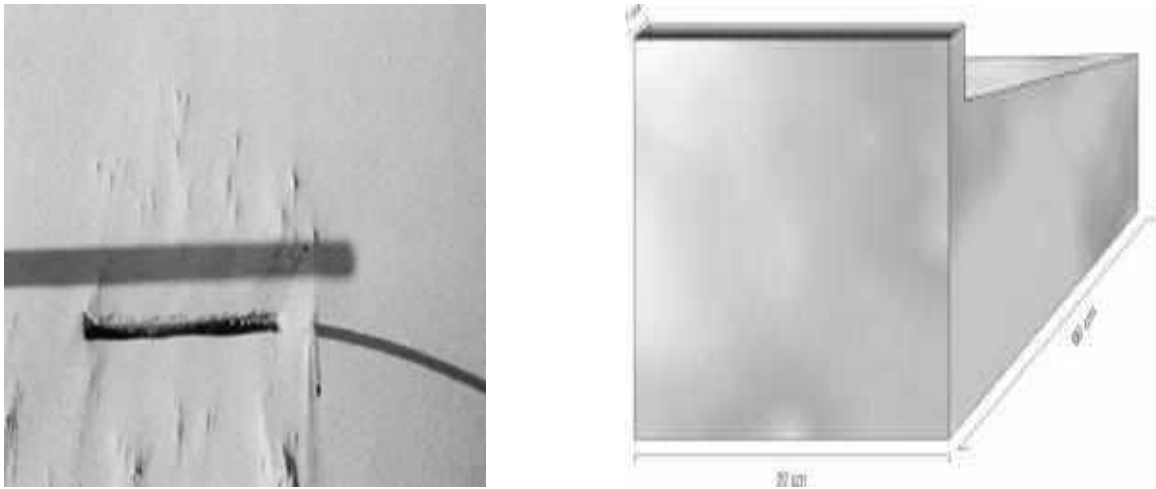


Figure.9 piège à sable superficiel de type Augustinus 1990 et photographie de terrain (Hijama M., 2001)

Leurs avantages :

- Efficace pour capter uniquement le sable transporté par reptation.
- Quantifier le volume de transport éolien en reptation (Hijama M., 2001)
- Perturbation du vent moins importante (leur efficacité est positive).

II.1.1.3. les pièges verticaux :

II.1.1.3.1. Pièges à coupelles :

Les pièges à coupelles imaginés par Arens et Van der lee (1995) sont constitués de coupelles évasées d'une vingtaine de centimètres de diamètre et entassées les unes sur les autres avec un espacement de 5 cm (figure.10).

Un fond d'eau est versé dans chaque coupelle afin de servir de « colle » au sable qui s'y dépose pour éviter qu'il ne s'envole à nouveau. La coupelle du bas peut-être enterrée afin de capter le sable transporté par charriage (Tresca A., 2013)

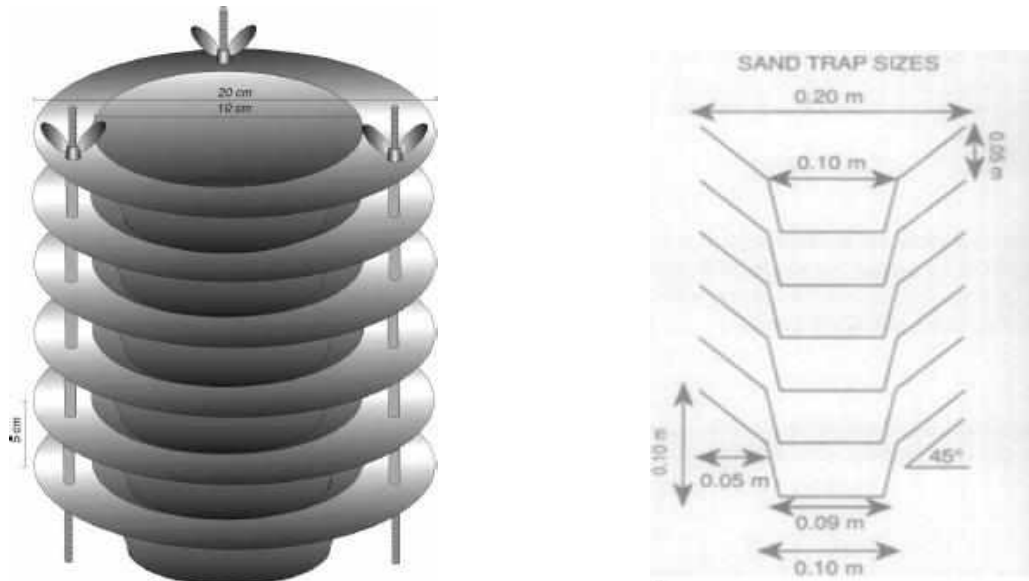


Figure.10 Piège à coupelles (d'après Arens & Van der Lee, 1995)

Leurs avantages :

- ✿ Piéger le sable dans tous les sens (il peut capter en même temps le sable transporté Par : reptation, saltation, suspension) (Hijama M., 2001)
- ✿ Mesurer le taux du transport sur différentes hauteurs au-dessus de la surface (Hijama M., 2001)

Leurs inconvénients :

- ✿ L'efficacité de ce piège est testée en soufflerie par Arens et Van der Lee (1995) a démontré qu'il captait entre 15 à 20 % avec une efficacité maximum pour des vents de 8 m/s (leur efficacité est négative; les résultats issus de ce piège sont surtout qualitatifs).
- ✿ La présence de l'affouillement à la base de piège perturbe la mesure du transport par charriage (Bretel P., Levoy F., 2002)

II.1.1.3.2. Pièges triangulaires de type « GTW » :

Les pièges à sables verticaux triangulaires de type « Guelph-Trent Wedge-GTW » sont constitués de plaques d'aluminium d'une épaisseur de 2 mm et d'une hauteur de 500 mm s'évasant vers l'arrière selon un angle de 34°. L'ouverture unidirectionnelle permettant au sable d'entrer fait 20 mm de large. La base et la partie supérieure du piège sont constituées d'une plaque de bois de 10 mm d'épaisseur (Tresca A., et al., 2012) (figure.11).

L'arrière est fermé par un filet d'air d'une maille de 63 µm (diamètre minimal des grains de sable) permettant de retenir la fraction sableuse à l'intérieur le réservoir qui constitue la partie

enterrée sous le sable (tube en pvc) qui permet également la stabilité du piège en position verticale.

Le piège se fixe sur une plaque en fonte carré de 2 mm d'épaisseur et d'une dimension 300*300 pour éviter que le vent ne le renverse (Tresca A., 2013)

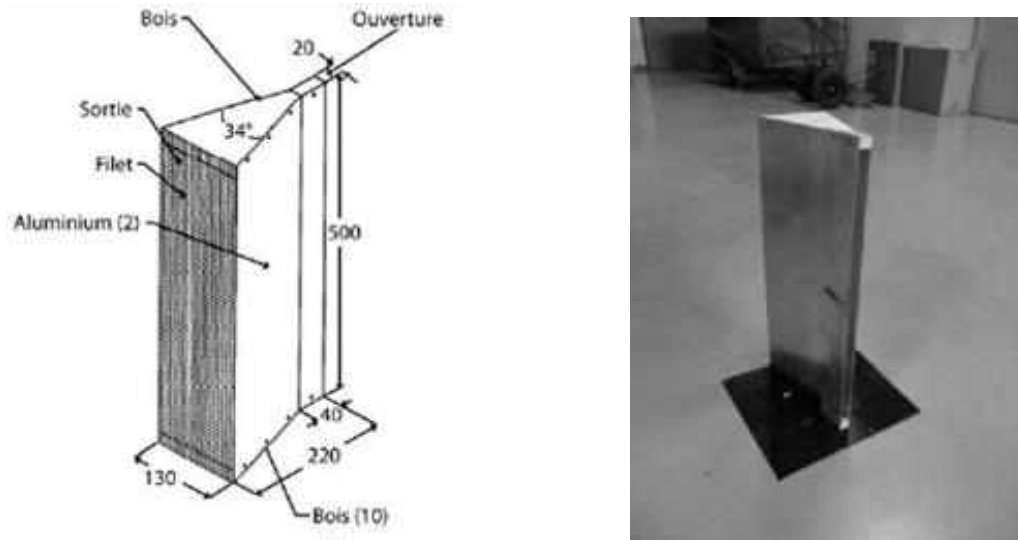


Figure 11. Piège à sable vertical de type « GTW » (schéma d'après Nickling et Mckenna Neuman 1997), et photographie du piège, fixé sur une plaque en métal (Tresca A., 2013)

Leur avantage :

- ✿ L'efficacité des pièges est testée en soufflerie par SHAO et al (1993) a démontré qu'il captait entre 83 % et 90% du transport pour des vents de 9 à 12 m/s (Nickling et Mckenna Neuman, 1997)

II.1.1.3.3. Piège de type Leatherman :

Les pièges à sables verticaux de type Leatherman, sont constitués par des cylindres PVC, enfoncés verticalement dans le sable. Le cylindre comporte deux ouvertures (face au vent et sous le vent) la seconde est équipée d'un filet (maillage 0.063 mm) pour laisser passer le vent (figure.12)



Figure 12. Piège à sable verticale de type Leatherman

(www.calvin.edu/academic/geology/coastaldunes/research/methods_Leathermantrap.htm
/Lake michigan coastal dunes)

Leurs avantages :

- Leur efficacité sédimentologique. (Bretel P., Levoy F., 2002)
- Leur construction est peu onéreuse et plus simple et leur déploiement sur le terrain est rapide (Tresca A., 2013)

Leurs inconvénients :

- L'interaction entre le vent et le piège crée une déflexion. Par conséquent, une partie du sable n'entre pas dans le piège (Tresca A., 2013)
- Les turbulences engendrées par l'obstacle que constitue le piège peuvent créer un affouillement à la base de celui-ci (Hijama M., 2001)

Conclusion

D'après les avantages et les inconvénients de ces instruments, nous concluons que les pièges horizontaux et superficiels sont plus efficaces que les pièges verticaux. (Wang P., et al., 1999), A l'exception du piège vertical de type GTW, sa forme est censée faire en sorte qu'il soit le plus efficace possible et perturbe le moins possible les flux de vent.

Tous les types des pièges génèrent une perturbation du vent plus ou moins importante. Cette perturbation dépend non seulement de la forme du piège mais aussi de l'intensité du vent.

Chapitre III
Matériels et
méthodes

Nous présenteront dans ce chapitre la méthode suivie pour la réalisation du piège Leatherman (modifié par Goldsmith *et al.*, 1988), et de son test au niveau de l'une des dunes des plages de Sidi Fredj. Cette partie comprend également les différentes équations de calcul des transports éoliens.

III.1. Réalisation du piège Leatherman:

III.1.1. Matériels

La réalisation du piège Leatherman nécessite certains outils:

- Un tube PVC (10 × 100) cm (Figure 13)
- Deux couvercles en plastique
- un filet d'air d'une maille de 63 μm

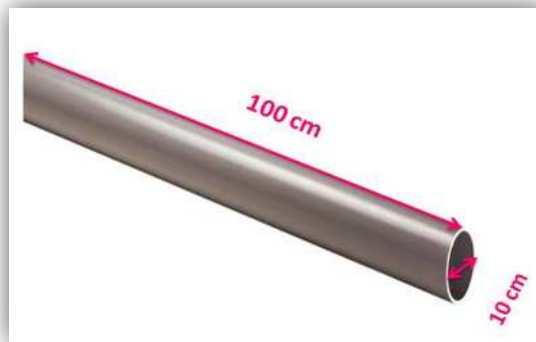


Figure 13. Tube PVC (10×100) cm (www.lebonjoint.fr/pvc/1992-tube-rond-pvc-gris.html)

Remarque : Nous avons trouvé des difficultés à trouver un filet à 63 μm . Ceci, a relativement retardé la réalisation du piège Leatherman et nous a poussés à choisir un autre filet d'une maille plus grande (tissu fin).

III.1.2. Procédure :

Etape 1 : Nous avons percé la partie supérieure du tube en effectuant deux ouvertures l'une en face l'autre, lesquelles ont la même longueur (46 cm) et des largeurs différentes (6,5 cm face au vent et 10 cm sous le vent) (figure.14.A.)

Etape 2 : Pour connaître la maille de tissu utilisé, nous avons fait une comparaison la capacité de maintien de la fraction sableuse entre la maille de tissu et de différents tamis (80, 100, 140, 160 et 180 μm). Les résultats ont montré que notre tissu a une maille de diamètre (d): $160 \leq d \leq 180 \mu\text{m}$ (figure.15)



Figure 14. Photographie du Comparaison entre la maille de tissu et la maille d'un tamis (160 μm) (Bourahla H., Sakhri S., 2013)

Pour réduire l'échappement des sédiments dont les grains ont des tailles supérieures à 63 μm , nous avons doublé le tissu pour en avoir deux écrans en textile.

Etape 3 : L'ouverture arrière a été fermée par le tissu (figure.14.C.)

Etape 4 : Nous avons obturé les extrémités de cet appareil par deux couvercles (figures.14.B)

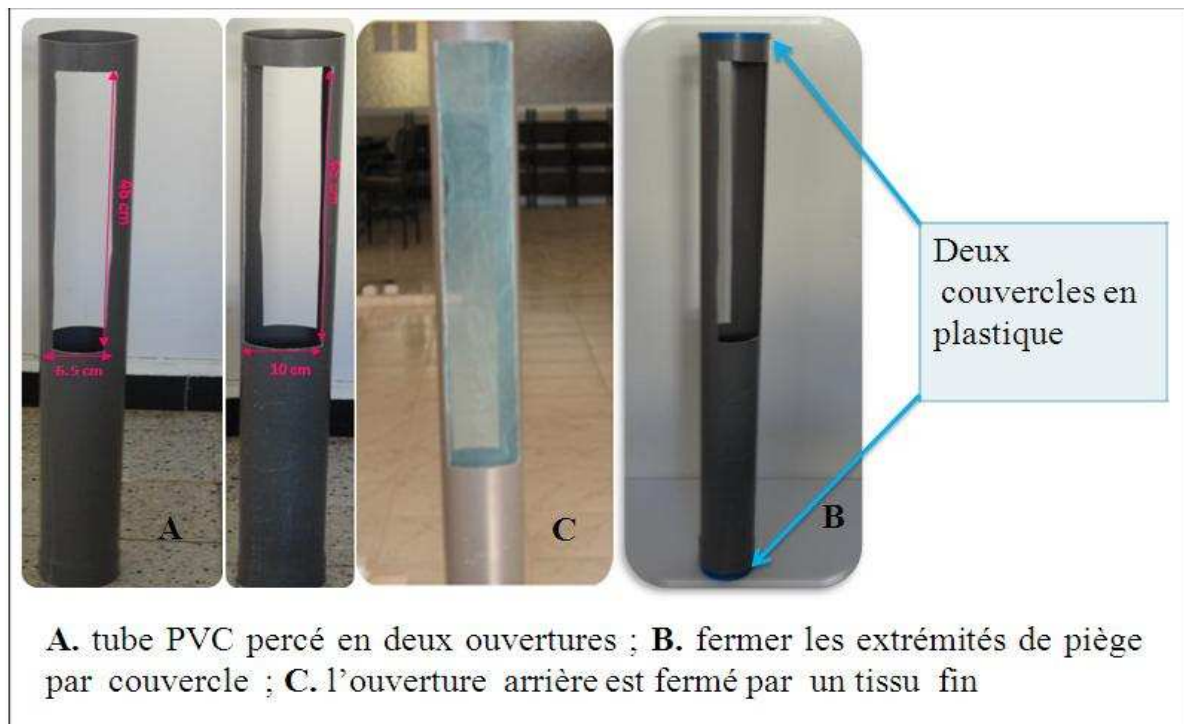


Figure 15. Photographie Les étapes de fabrication de piège Leatherman (Bourahla H., Sakhri S., 2013)

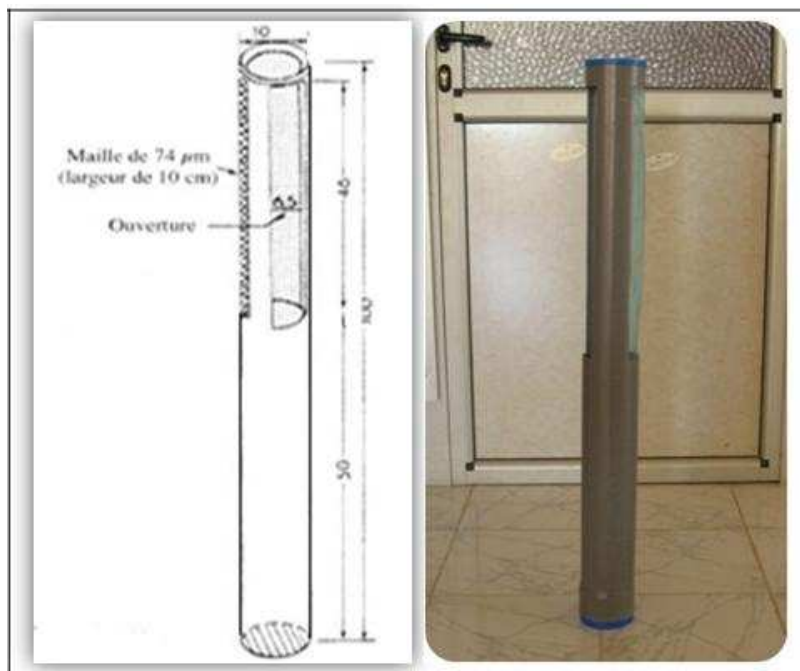


Figure 16. Piège de type « Leatherman » (schéma d’après Goldsmith et al, 1988 (Meur-Ferec.C et Ruz. M-H, 2002)) et photographie du piège (Bourahla H., Sakhri S., 2013)

III.2. La zone choisie (la plage Est de Sidi Fredj) :

III.2.1. Localisation de la plage Est de Sidi Fredj :

Parmi les grandes étendues sableuses qui caractérisent la partie orientale du cap de la presqu’île de Sidi Fredj (plage Club des pins, Moretti et plage Est), la plage Est est la plus large. Elle s’étend du port de plaisance à l’Ouest jusqu’à la plage Moretti à l’Est sur un linéaire de 3 km et vers le large jusqu’à 20 m de profondeur.



Figure 17. Localisation de la plage Est de Sidi Fredj (source : Google Mapped, 2013)

III.2.2. Morphologie de la plage Est de Sidi Fredj :

III.2.2.1. Plage : Suite à un cordon dunaire et vers la mer. Cette plage s'étale et s'adosse contre la jetée Sud du port de plaisance ; ainsi elle décrit un large arc de cercle dont la concavité parallèle à la côte s'atténue progressivement vers l'Est.

III.2.2.2. Dunes : Les dunes littorales forment un cordon dunaire parallèle au trait de côte. Cette accumulation sableuse est allongée suivant la direction prédominante de l'action hydrodynamique (WNW, ESE).

III.2.3. Sédimentologie :

Cette plage est dominée par les sables fins à moyen; entre l'Hôtel El Riadh et la jetée du port de Sidi Fredj la plage est formée de sédiments très fins (LECLAIRE, 1972 in AINI A., 2012).

III.2.4. Les Agents dynamiques de la plage Est de Sidi Fredj :

III.2.4.1. Le vent : Il joue un rôle très important dans les mouvements des masses d'eau et la morphosédimentaire des plages et des dunes. Les vents du Nord - Est sont fréquents en été ; ils confèrent un temps modéré; les vents de secteur Ouest qui caractérisent la période hivernale peuvent être responsables d'un transport sableux éolien sur la plage Est, mais d'une façon moins fréquente que ceux de la période estivale. (Tableau n°1)

Tableau N°01 : représentation récapitulative des vents fréquents par saison (O.N.M) dans la région de Sidi Fredj (%) (Amara A., Ouchelli A., 2009)

Secteur	Période	
	Hivernale (Octobre - Novembre)	Estivale (Avril - Septembre)
Nord - Est	19 – 33	31 – 58
Ouest	31 – 46	18 – 42

III.2.4.2. Houles et vagues :

Elles jouent un rôle majeur dans le transport des sédiments au niveau du littoral. Une étude faite par le L.E.M (Laboratoire d'Etudes Maritimes) montre que les houles les plus fréquentes dans cette zone sont de direction Ouest en période hivernale, contrairement à celles de la période estivale.

III.2.4.3. Courant :

La circulation des eaux en méditerranée le long du littoral Algérien se subdivise en deux types : un de surface ou atlantique, avec une direction Ouest- Est et l'autre profond ou orientale d'Est en Ouest.

En ce qui concerne le courant côtier induit par les vagues à la côte, il est très difficile de tirer des conclusions sur leur progression au niveau de la zone d'étude en l'absence de données des courants mesurés sur une période fréquentes. Cependant, nous pouvons évoquer le courant de la dérive littorale qui, induit exclusivement par les vagues obliques, peut jouer un grand rôle dans les mouvements des sédiments sur les petits-fonds. Une fois dans la zone du swash peuvent atteindre la plage et alimenter les dunes littorales

III.3. Application sur le terrain :

III.3.1. Localisation du piège sur la plage Est de Sidi Fredj:

Le piège Leatherman a été testé au niveau de la plage Est de Sidi-Fredj et au pied du cordon dunaire (la dune embryonnaire) Celui-ci, a été implanté le 02 juillet 2013 et ce, en se référant à des points de repère (sud de la jetée du port de plaisance allant de l'ouest vers l'est et en face le phare). Ensuite, ce point a pu être déterminé géographiquement par un GPS (Global Positioning System) à : **002° 50,848'E et 36° 45,677'N.**

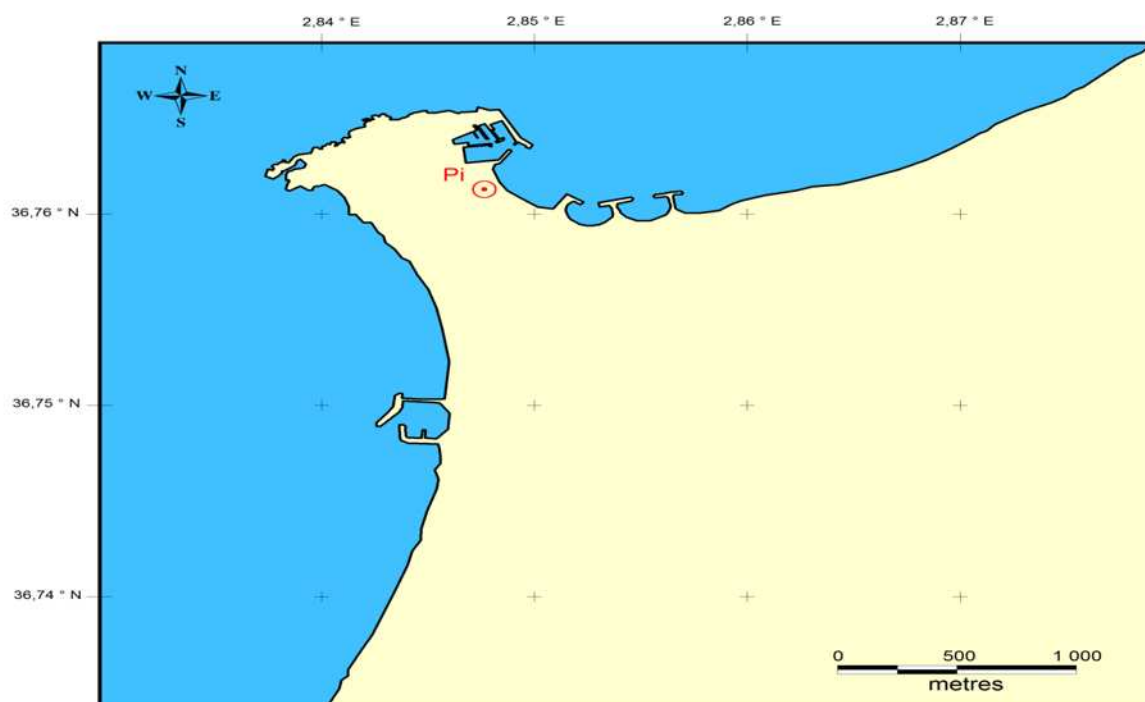


Figure 18. Carte de localisation du piège sur la plage Est de Sidi Fredj à l'aide du logiciel MAPINFOW (Bourahla H., Sakhri S., 2013)

III.3.2. Technique d'installation du dispositif :

La partie inférieure du piège (collecteur) a été enfoncée verticalement dans le sable pour que le fond de l'ouverture soit au même niveau avec la surface sableuse (**Kenneth pye. Haim tsoar, 2009**) pour que sa fente soit exposée au vent (**Tresca A., 2013**).

III.3.3. Fonctionnement du piège Leatherman :

Le sable transporté par le vent pénètre dans le piège à travers la fente face au vent. L'ouverture arrière est fermée par un tissu fin permet le passage du vent et le piégeage du sable en transit. La quantité piégée tombe dans le collecteur qui est la partie inférieure du tube enfoncé dans le sol (**Tresca A., 2013**)

III.3.4. La mesure de vitesse du vent :

Les mesures de la vitesse du vent (vent de mer) lors de la période été 2013 ont été effectuées à l'aide d'un anémomètre (Figure.20). Les vitesses mesurées avaient atteint 4.7 m/s à 1m au-dessus du sol, au pied de la dune embryonnaire où le piège a été implanté, tandis que les vitesses (mesurées) de vent au niveau du sommet de la même dune étaient d'environ 7.5 m/s.



Figure 19. Photographie de piégeage de sable sur la plage Est de Sidi Fredj (**Bourahla H., Sakhri S., 2013**)

III.3.5. prélèvement des échantillons :

A la fin de la période de piégeage de 15 minutes, le sable est récupéré du collecteur et pesé en laboratoire (ENSSMAL). L'échantillon qui a été prélevé devant le piège a été soumis à une

analyse granulométrique afin de déterminer la taille moyenne du sédiment et de son indice de tri.

L'humidité de la couche superficielle de sable a été également évaluée sur l'échantillon prélevé à proximité du piège. Les échantillons sont ensuite conservés dans un bocal en verre pour leur traitement en laboratoire.

III.4. Travail au laboratoire :

III.4.1. quantification de transport éolien réel :

La quantité du sable capté par le piège a été pesée à l'aide d'une balance électrique. La valeur obtenue doit être convertie en kilogramme par mètre linéaire de plage et par heure ($\text{kg.m}^{-1}.\text{h}^{-1}$) (Tresca A., 2013).

III.4.2. Humidité du sédiment:

L'échantillon de sable est pesé (p_t) a été séché naturellement sous l'effet du soleil pour garder la matière organique. Une fois la dessiccation réalisée, l'échantillon est pesé (p_d) à nouveau. Les deux pesées donnent par différence la masse d'eau évaporée (w). L'humidité pondérale a été obtenue par la simple opération suivante (Tresca A., 2013):

$$w = [(p_t - p_d) / p_d] \times 100$$

P_t : le poids total de l'échantillon humide

P_d : le poids sec de l'échantillon après séchage

W : la teneur en eau

III.4.3. L'analyse granulométrique :

Selon Dupain R. et Saint-Arroman J.-C., 2009, la granulométrie est la détermination de la taille des grains, alors que leur distribution dimensionnelle est appelée granularité. L'analyse granulométrique est la mesure de la taille des granulats et de leur distribution (Favennec J., 2002). Elle permet la construction des notions relatives aux transports et aux dépôts sédimentaires et de les classer selon la taille (Yahia., 2009).

III.4.3.1. Matériels :

- Une balance électrique
- Une étuve
- Boite de pétrie;
- Une tamiseuse (colonne vibrante (A), série de tamis de type AFNOR de diamètres décroissants du haut vers le bas (250, 200, 180, 160, 140, 100, 80, 63 μm) (B),

couvrete sera disposé en haut de la colonne afin d'interdire toute perte de l'échantillon pendant le tamisage (C), un fond étanche (D)).Fg.21

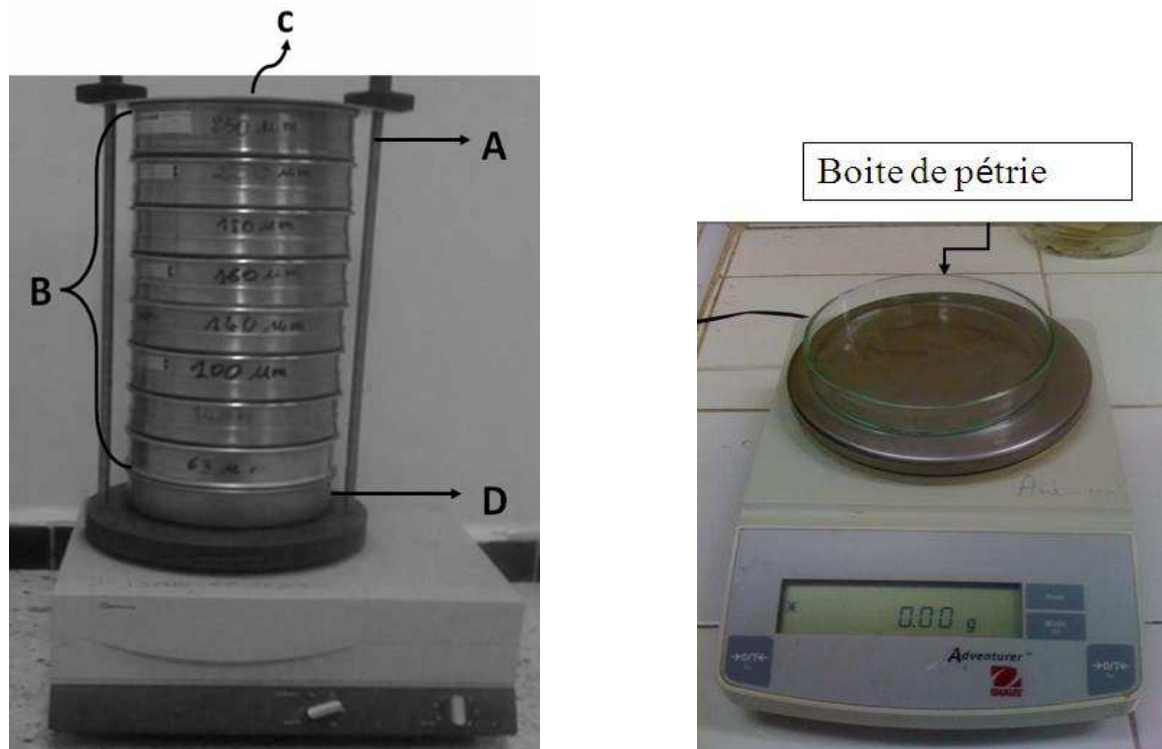


Figure 20. Tamiseuse de type AFNOR et balance électrique (Bourahla H., Sakhri S., 2013)

III.4.3.2. Principe de l'analyse granulométrique :

L'essai consiste à fractionner l'échantillon du sable au moyen d'une série de tamis emboîtés les uns sur les autres en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes du haut vers le bas. Les masses des différents refus ou celles des différents tamisages sont rapportées à la masse initiale de l'échantillon, Les pourcentages obtenus sont utilisés sous forme graphique (Ghomari F. & Bendi-Ouis A. 2008)

III.4.3.3. Le mode opératoire :

Nous avons suivi le protocole standard :

- a) séchage de l'échantillon prélevé à l'étuve 105°C (24h) pour le peser.
- b) le rinçage de l'échantillon avec de l'eau dans un tamis de 63 μm avec une légère agitation manuelle afin d'enlever la fraction fine (< 63 μm).
- c) le refus (fraction grossière) sera séché à l'étuve pour le peser
- d) l'échantillon est versé en haut de la colonne de tamis et celle-ci entre en vibration à l'aide de la tamiseuse électrique. La durée de tamisage 1 minute.
- e) Le refus de chaque tamis est pesé à l'aide d'une balance électrique.

III.4.3.4. Les paramètres granulométriques :

L'analyse granulométrique des sédiments a permis de définir, selon la Méthode de Folk et Ward (1957 in Tresca A., 2013), le grain moyen ainsi que les indices de tri et d'asymétrie. Les valeurs étant exprimées en unité phi (Φ) :

$$\Phi = -\log_2 X \quad \text{et} \quad X = 2^{-\Phi}$$

X est la taille du grain en millimètres

Taille moyenne (M_z) : le grain moyen donne une bonne idée de l'éventail granulométrique moyen d'un échantillon donné (Tresca A., 2013)

$$M_z = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

La classification du sable selon le paramètre de taille moyenne (M_z) d'après l'ASTM (Société Américaine pour Tester les Matériaux), se fait comme suit :

-2,25 < M_z < -1 : sable grossier

-1 < M_z < 1,25 : sable moyen

1,25 < M_z < 3,75 : sable fin

Indice de tri (S_i) : renseigne sur la dispersion des tailles par rapport à la moyenne de l'échantillon (Tresca A., 2013)

$$\sigma = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5}{6,6}$$

avec :

0 < σ < 0,35 : très bien classé

0,35 < σ < 0,50 : bien classé

0,50 < σ < 0,71 : assez bien classé

0,71 < σ < 1,00 : moyennement classé

1,00 < σ < 2,00 : médiocrement classé

2,00 < σ < 4,00 : très mal classé.

Indice d'asymétrie (S_{ki}) : ce paramètre indiquant la prépondérance ou non de particules fines (valeurs positives) ou grossières (valeurs négatives) par rapport à la moyenne de l'échantillon. (Tresca A., 2013)

$$S_{ki} = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} + 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

Avec :

+1,00 > Ski > +0,30 : forte asymétrie vers les petites tailles

+0,30 > Ski > +0,10 : asymétrie vers les petites tailles

+0,10 > Ski > -0,10 : symétrie granulométrique de l'échantillon

-0,10 > Ski > -0,30 : asymétrie vers les grandes tailles

-0,30 > Ski > -1,00 : forte asymétrie vers les grandes tailles

III.5. Formules théoriques et semi-empiriques du transport éolien :

Plusieurs formules de prévision de la quantité du transport de sable par le vent ont été obtenues théoriquement et expérimentalement par des chercheurs depuis 50 ans, soit en modèles réduits (souffleries) ou bien à partir des mesures *in situ*. (**Chaibi M., 2003**)

Les formules utilisées dans ce travail pour calculer le flux potentiel des transports éoliens ont été choisies car elles incluent la granulométrie du sédiment.

Formule de Bagnold (1936) :

$$Q = K \cdot \left(\frac{D_{50}}{D} \right)^{0.5} \frac{P_a}{g} \cdot U_*^3$$

K = 1,5 sable homogène, 1,8 sable bien classés, 2,5 sable mal classés

D = diamètre d'un grain moyen standard (0,250 mm)

Cette formule repose sur des mesures en laboratoire et de terrain. C'est la première équation à utiliser la vitesse de cisaillement au cube. Elle montre l'intérêt de tenir compte de la granulométrie et du classement des sédiments, exprimés par un coefficient K. (**Chaibi M., 2003**)

La vitesse de cisaillement a été calculée à partir de la relation suivante (voir chapitre I) :

$$U_z = \frac{u_*}{K} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

U_z = vitesse du vent mesurée à la hauteur Z au-dessus du sol (m/s)

U_* = vitesse de frottement ou de cisaillement (m/s)

τ = contrainte de cisaillement (N/m²)

Z_0 = Longueur de rugosité (m)

K = constante de Van Karman qui vaut 0,41

La valeur de rugosité définie par Arens (1997) ($Z_0 = 1 \text{ mm}$). Cette valeur a été choisie car elle est communément citée dans la littérature pour la longueur de rugosité sur les plages (**Chaibi M., 2003**)

Formule de Zingg (1953):

$$Q = K \cdot \left(\frac{D_{50}}{D} \right)^{0.75} \frac{\rho_a}{g} \cdot U_*^3$$

$K = 0,83$

Cette formule est similaire à celle de Bagnold en donnant plus d'importance à la granulométrie. Elle a été obtenue à partir de la mesure de la répartition verticale en soufflerie. Selon Pye (1990), cette formule serait plus adaptée pour les sables mal classés (**Chaibi M., 2003**)

Formule de Kawamura (1951) :

$$Q = K \cdot \frac{\rho_a}{g} [u_* + u_{*c}]^2 [u_* - u_{*c}]$$

Le coefficient K varie entre 1 et 2,8

Cette formule réalisée à partir des recherches théoriques et expérimentales est la première à prendre en compte la vitesse critique de cisaillement. Il est possible d'évaluer (u_{*c}) en utilisant la formule de R.A.Bagnold (1941) (voir chapitre I) :

$$U_{*t} = A \cdot \left(g d \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{1/2}$$

Avec :

g : accélération due à la gravité ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$), d : diamètre du grain moyen (mm), ρ_s : densité du sédiment égale à 2625 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), ρ : densité de l'air, vaut 1025 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$), A : coefficient empirique (= 0.1)

La formule de Lettau et Lettau (1977) :

$$Q = K \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot \left(\frac{D_{50}}{D} \right)^{0.5} \cdot (u_* - u_{*c}) \cdot u_*^2$$

$K = 4,2$

La formule de White (1979):

$$Q = K \cdot u_*^3 \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot \left(1 - \frac{U_{*c}}{u_*}\right) \cdot \left(1 + \frac{U_*^2}{U_*^2}\right)$$

K : 2,61

Q : taux du transport en g/s/cm, u_* : vitesse de frottement en cm/s, u_{*c} : seuil de la vitesse du frottement en cm/s, D : taille du grain moyen du sable en mm, ρ_a : densité de l'air (1,226 x 10⁻³ g/cm³), ρ_s : densité de l'air (1,226 x 10⁻³ g/cm³), g : accélération par la gravité (980 cm/s²), K : coefficient.

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la méthodologie qui permet la réalisation de piège à sédiments pour la mesure des transports sédimentaires éoliens. En outre, nous avons également présenté une méthodologie qui permet de comparer les résultats des transports sédimentaires éoliens observés avec ceux issus de certaines équations mathématiques.

Chapitre IV
Résultats et
discussion

IV. 1. La mesure in situ de transport éolien réel :

La quantité du sable récupéré dans le collecteur est égale à 2,14 g (Figure.23.)



Figure.21. mesure la quantité du sable capté par le piège Leatherman
(Bourahla H., Sakhri S., 2013)

Le flux réel ($Q_{\text{réel}}$) a été déterminé par la quantité du sable (M_p) qui entre dans le piège à travers la fente (face au vent) de largeur (L) pendant le temps (T).

Nous avons utilisé la formule suivante pour convertir $Q_{\text{réel}}$ en **kg/m/h** :

$$Q_{\text{réel}} = M_p \times L^{-1} \times T^{-1}$$

M_p : masse de sable piégée (g)

L : largeur de l'ouverture face aux vents (cm)

T : la période de piégeage (min)

$$Q_{\text{réel}} = 2,14 \times 10^{-3} / 6,5 \times 10^{-2} / 15 \times 60^{-1} = 0,13 \text{ kg/m/h}$$

Le flux éolien réel est très faible à cause des faibles vitesses de vent (4.7 m/s au pied de la dune embryonnaire) car le débit éolien est proportionnel à la vitesse du vent (Meur-Férec C., Ruz M.H., 2002)

L'intensité du vent peut aussi diminuer à cause des irrégularités topographiques et du rétrécissement du Fetch. En fonction de l'intensité du vent et la densité du couvert végétal, les

dunes et la plage aérienne peuvent être, en même temps, la zone source (érosion) et la zone de dépôt.

IV.2. Humidité du sédiment:

L'humidité est un facteur influençant le transport sédimentaire, lequel peut augmenter la cohésion des grains du sable; un sable humide est moins éolisable qu'un sable sec.

La teneur en eau obtenue est d'environ 0,5 % et inférieure à 4 % (tableau.2). Cette valeur montre que notre échantillon n'est pas humide et le sable de notre zone de test est sec.

Tableau N°2 : le pourcentage de la teneur en eau dans l'échantillon prélevé

Poids initial (p_i) en g	Poids sec (m_d) en g	Degré d'humidité ($W\%$)
21	20.90	0.478

Sur le littoral étudiée, les vents faibles, le tassement du substrat et peut être la concentration en sel peuvent expliquer cette faible quantité de sédiments éoliens piégé dans le collecteur, bien que le sable de cette zone d'étude soit sec.

Les données de l'ONM concordent avec les résultats précédents. (Tableau n°3).

Tableau N°3. Les Données climatiques de la station d'Alger port (ONM-CCN, 2013)

Paramètres naturels	Vitesse du vent (m/s) Maximale (10m)	Direction du vent	Précipitation (mm)
01-07-2013	10	NNE	00
02-07-2013	06	ENE	00

IV.3. L'analyse granulométrique :

La taille des grains de sable naturellement un facteur déterminant pour les flux éoliens (Meur-Férec C., Ruz M.H., 2002). Les pourcentages des refus cumulés, ou ceux des tamis cumulés, sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau N°4 : Les mesures des refus initiales (R_i) et cumulés (R_c) (les données de granulométrie)

Numéro du tamis (i)	Diamètre (mm)	Diamètre (phi)	R _i (g)	R _c (g)	R _c %
1	0,25	2,0000	10,63	10,64	3,5456
2	0,2	2,3219	47,52	58,16	19,3809
3	0,18	2,4739	55,22	113,38	37,7820
4	0,16	2,6439	103,49	216,87	72,2683
5	0,14	2,8365	52,78	269,65	89,8564
6	0,1	3,3219	25,38	295,03	98,3138
7	0,08	3,6439	2,86	297,89	99,2669
8	0,063	3,9885	0,31	298,2	99,3702

R_i : refus initiales (la masse) en grammes, mesurés dans chaque tamis ; i est le numéro de tamis

R_c : refus cumulés (grammes et pourcentage), ils sont déterminés par les deux simples équations suivantes :

$$\mathbf{R_{c (g)} = R_{i-1} + R_i} \quad \text{et} \quad \mathbf{R_{c (\%)} = R_{c (g)} \times 100/M}$$

Les résultants obtenus sont traduits graphiquement par une courbe cumulative en portant les ouvertures des tamis en abscisse et les pourcentages en ordonnée. (Figure 33.)

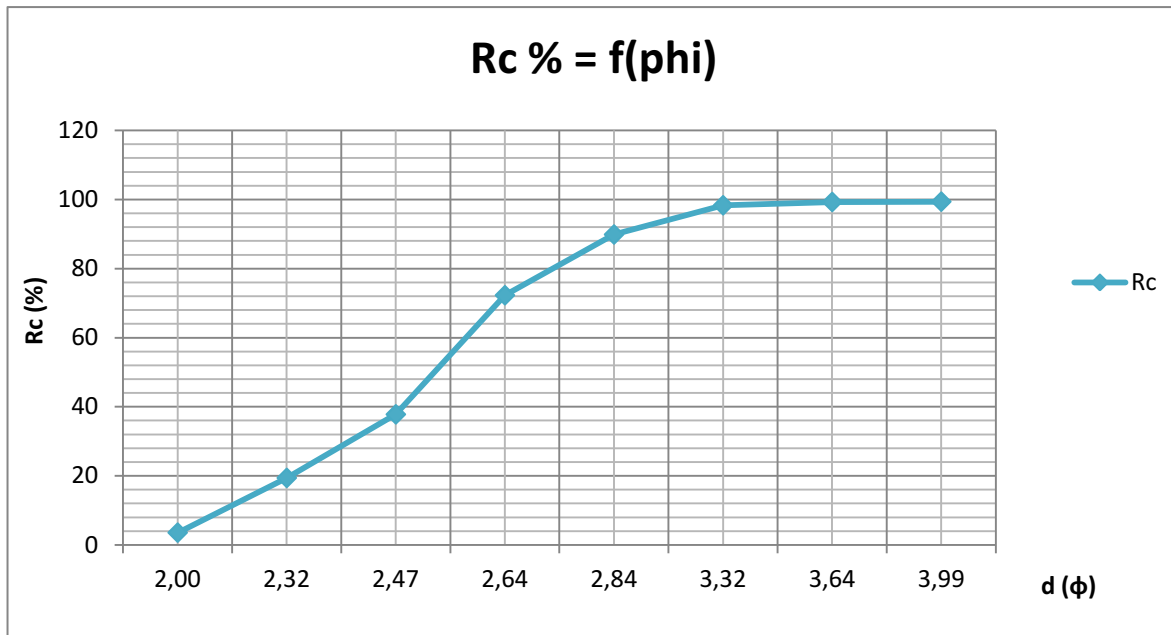


Figure 23. Courbe granulométrique cumulative de l'échantillon du sable.

Les différents paramètres granulométriques (Voire Chapitre III) permettent de caractériser la nature du sable dans le secteur étudié (tableau 5.). D'après la courbe granulométrie, nous avons déduit les diamètres de grains suivants : phi 5%, phi 16%, phi 50%, phi 84% et phi 95 % pour calculer les indices (voir tableau 4.)

Tableau N° 5 : Les diamètres de grains de sable correspondent aux divers pourcentages

Phi 5%	Phi 16%	Phi 50%	Phi 84%	Phi 95%
2,05365	2,26825	2,53056	2,7723	3,0792

Tableau N°6 : Paramètres granulométriques en unités de phi(Ø) et les caractéristiques de l'échantillon prélevé.

Mz (Ø)	2,5237	sable fin
Ski	0,0146	symétrie granulométrique de l'échantillon
Si (So)	0,9037	moyennement classé

L'échantillon prélevé devant le piège est caractérisé par un sable fin (taille moyenne 0.173 mm) et moyennement classé (si = 0,9037Ø) et symétrie granulométrique de l'échantillon (ski = 0.0146 Ø) ce qui favorise sa capacité à être transporté par le vent.

IV.4. le flux théorique de transport éolien :

Les flux sédimentaires, mesurés et calculés, sont présentés dans le (tableau. 6) suivant :

Tableau N°7 : comparaison de transport de sable mesuré et estimé sur la plage Est de Sidi Fredj

Expérimentation	Q.réel Kg/m/h	Vent m/s	Q.Bagnold Kg/m/h	Q.Zingg Kg/m/h	Q.Kawa. Kg/m/h	Q.Lettau Kg/m/h	Q.White Kg/m/h
02/7/2013	0.13	4.7	0.005245	0.003971	0.006305	0.02203	0.03291

Il existe un éloignement entre le flux mesuré et le flux calculé. La valeur la moins éloignée de la réalité est obtenue par le modèle de white (1979). Nous avons classé les modèles dans l'ordre suivant : White (1979), Lettau et Lettau (1977), Kawamura (1951), Bagnold (1936), Zingg (1953).

Ces formules affichent des simulations moins précises et une sous-estimation de débit éolien à cause des facteurs physiques affectant le transport éolien dans cette zone. Les irrégularités topographiques par rapport au positionnement de piège éolien perturbent l'intensité de l'écoulement de l'air et influencent les flux sédimentaires éoliens. Le tassement des sédiments par la fréquentation des piétons (la plage Est de Sidi Fredj est une plage de plaisance) est un facteur limitant le transport éolien parce qu'il augmente la cohésion des grains de sable.

Conclusion :

Les résultats obtenus dans cette étude ont montré que les pièges Leatherman peuvent piéger les sédiments éoliens même en présence d'un vent relativement faible (environ 5 m/s). La comparaison des résultats des transports sédimentaires éoliens observés avec ceux calculés, à travers plusieurs équations mathématiques, montre une disparité dans les quantités des sédiments transportés. Cependant, cette comparaison s'est basée sur une seule campagne de mesures. Pour une meilleure comparaison entre les transports sédimentaires éoliens observés et les transports éoliens simulés, il serait préférable de densifier les campagnes de mesures et ce, pendant divers événements éoliens (différentes et direction vitesses de vents).

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objet de ce travail étant la réalisation d'un piège à sédiment de type *Leatherman* permettant la mesure des mouvements des sédiments transportés par l'action éolienne. Une fois réalisé, le piège *Leatherman* a été testé sur le terrain, en vue de vérifier son fonctionnement sur l'une des dunes des plages de Sidi Fredj.

En outre, la disponibilité d'un anémomètre de terrain, nous a permis de vérifier les résultats des transports sédimentaires éoliens observés à l'aide du piège *Leatherman* avec ceux issus de certaines méthodes mathématiques.

L'application du piège *Leatherman* sur le terrain a montré que cet instrument piège les sédiments même en présence d'un vent de faibles vitesses $< 5 \text{ m.s}^{-1}$. Cependant, la comparaison des résultats des transports sédimentaires observés par le piège *Leatherman* avec ceux qui ont été calculés ont montré une disparité dans les quantités des sédiments transportés par rapport au même vent et à la même texture sédimentaire. Cette disparité pourrait être expliquée, entre autres, par le tassement provoqué par les estivants, puisque le test du piège *Leatherman* a été effectué lors de la période estivale.

La vérification des résultats des transports sédimentaires éoliens calculés ne pourrait être effectuée avec une seule sortie sur le terrain. Pour avoir une idée plus fiable sur la dynamique éolienne des sédiments dunaires, il faut que les campagnes de mesures avec les pièges à sédiments soient fréquentes et étalées dans l'espace et le temps.

Enfin, parce que la mesure des mouvements sédimentaires éoliens sur les littoraux meubles est indispensable pour l'aménagement et la protection du littoral, il serait préférable de densifier les campagnes de mesures à l'aide des pièges à sédiments sur la côte et ce, en vue de mieux comprendre la dynamique côtière éolienne de chaque site côtier meuble. Aussi, puisqu'il existe des échanges de flux sédimentaires entre les petits-fonds et la plage, le déploiement des pièges à sédiments dans la zone de déferlement des vagues aiderait à mieux comprendre la dynamique côtière générale et de tirer de meilleures conclusions utiles pour l'aménagement côtier.

Références
Bibliographiques

Références bibliographiques

- Aini A., 2012.** « Morphodynamique de la zone côtière de la presqu'île de Sidi Fredj (Ouest Alger) ». Mémoire de Magister, USTHB
- Amat G.P., Le Cœur C., et al., 2008.** « Eléments de géographie physique ». 2^e éd. Rosny : Bréal. Collection grand amphi géographie. ISBN 978-2-7495-0205-2 : P189.
- Amara A., Ouchelli A., 2009.** « L'étude des contraintes critiques de cisaillement pour la mise en mouvement des sédiments sous l'action de courants mesurés au niveau de la plage Est de Sidi Fredj ». Mémoire d'ingénieur, ENSSMAL.36p.
- Arens S.M., Van Der Lee G.E.M., 1995.** « Saltation sand traps for the measurement of Aeolian transport in to the foredunes ». In: soil technology 8. Elsevier: 61-74.
- Bretel P., Levoy F., 2002.** « Quantification Théorique des Transport éoliens en milieu littoral à court terme : les limites pour une intégration à moyen terme ». VII^{ème} journées nationales Génie Civil-Génie Côtier, Anglet, France.
- Coudé-Gaussen G., Rognon P., 1995.** « Désertification et aménagement au Maghreb ». Paris : L'Harmattan, ISBN 2-7384-3645-5 : 135-164.
- Chaibi M., 2003.** « Dynamique sédimentaire et morphogénèse actuelle du littoral d'El-Jadida (Maroc) ». Thèse de doctorat en science géographiques et d'Aménagement. Université Aix – Marseille : 39-119.
- Chauchat G., 2007.** « Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens ». Thèse de doctorat de l'université de CAEN/Basse-Normandie. Spécialité : mécanique des milieux fluides : p13.
- Duval G., 1986.** « Aménagement et gestion des dunes du nord de la France. ». Ed : Pierre Doise. ISBN 2-11-084902 : 12-17.
- Dupain R., Saint-Arroman J.-C., 2009.** « Granulats, sols, ciments et bétons ». Editeur : Casteilla, 4^{ème} édition actualisée. France. ISBN : 978-2-7135-3033-3 : p8 et p237.
- Favennec J., 2002.** « life- environnement de Réhabilitation et Gestion durable de quatre dunes françaises ». Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique. Manuel récapitulatif les enseignements du projet Européen Les dossiers forestiers n°11. ONF (Office Nationale des Forêts)

- Fortin C., 2007.** « L'encyclopédie visuelle de notre monde : l'univers, la terre, la météo, les océans ». Montréal : Québec Amérique, ISBN 978-2-7644-1112-4 : p 18
- Giazzì F., 1996.** « La Reserve Naturelle de l'Air et du Ténéré (Niger) : la connaissance des éléments du milieu naturel et humain dans le cadre d'orientations pour un aménagement et une conservation durables : analyse descriptive ». Gland, Suisse : MH/E, WWF, UICN, ISBN 2-8317-0249-6 :106-117.
- Hijma M., 2001.** «An evaluation of æolian sand transport models using four different sand traps at the hors, Texel». : 11-55
- Le Hir P., 2008.** « Aide mémoire de dynamique sédimentaire ». 7^e éd : Centre Infermer de Brest BP 70, 29280 Plouzané France, Département DYNECO. Laboratoire PHYSED: 30-34.
- MEDDE. France. 2010.** « La gestion du trait de côte ». Versailles Cedex, France. ISBN 978-2-7592-0360-4. ISSN 1952-1251 : 12-21.
- Meur-Férec C., Ruz M.H., 2002.** « Transport éoliens réels et théoriques en haut de plage et sommet de dune (Wissant, pas – de -calais, France) ».in : Géomorphologie : relief, processus, environnement. Vol.8, N° 4: 321-334
- Nickling W.G., McKenna Neuman C., 1997.** «Wind tunnel evaluation of a wedge-Shaped Aeolian Sediment trap». In: Geomorphology 18.Copyright: Elsevier Science B.V. All rights resered: 333-345.
- Neboit R., 1991.** « L'Homme et l'érosion : l'érosion des sols dans le monde ». 2^e éd. Clermont-Ferrand : Association des publications de la faculté des lettres, ISSN 0397-3352 : 67-70.
- Paskoff R., 2010.** « Les littoraux : impact des Aménagement sur leur évolution ».3^e éd : Armand colin, Parais. ISBN 978-2-200-24926-7: 41-90
- Pye K., Tsoar H., 2009.** «Aeolian sand and sand dunes ». Springer- Verlag Berlin Heidelberg. ISBN 978-3-540-85909-3: 374-381
- Rioul F., 2002.** « Étude de quelque aspects du transport éolien : processus de saltation et formation des rides. ». Thèse de doctorat en science de la matière. Université de Rennes1 : P9.
- Sabatier F., Samat O., Chaibi M., Lambert A., Pons F., 2004.** « Transport sédimentaire de la dune à la zone du déferlement sur une plage sableuse soumis à des vents de terre.».VIII^{èmes} Journées Nationales Génie Civil-Génie Côtier, Compiègne, session2 : Dynamique sédimentaire et transports de particules : 223-229
- Sabatier F., Chaibi M., Pons F., 2002.** « Validations of æolian sediment transport formulae by sediment traps ». Proceedings of the Med & Black Sea beaches.Medcoast 02.Sarigerme/Dalaman, Turkey, E.Ozhan (Editeur).

Sabatier F., 2001. « Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du Delta du Rhône ». Thèse de doctorat en Géoscience de l'environnement, l'université Aix III : 166-200

Tresca A., Ruz M-H., Gregoire P., 2012. « Caractérisation du transport éolien sur asphalte à partir de piègeages in situ : le cas de la digue du Braek, dunkerque ».XII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, Cherbourg. Éd : Paralia CFL : 503-510

Tresca A., 2013. « Contrôles souple de la dynamique éolienne sur un littoral artificialisés et proposition de Gestion : le cas de la facade maritime du grand port maritime de dunkerque ». Thèse de doctorat GEPO (géoscience Ecologie, Paléontologie, océanographie), Ecole Doctorale SMRE (sciences de la matière, du rayonnement et de l'Environnement). Soutenue publiquement à Wimereux : 57-148

Unger Paul W., 1989. « Conservation des sols et des eaux : façons culturales appropriées ». Rome : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, ISBN 92-5-2 02154-X : P 14.

Wang P., et al., 1999. « Technical communication horizontal water trap for measurement of Aeolian sand transport ». In: Earth Surface Processes and Landforms 24, copyright: John Wiley & Sons, Ltd: 65-70.

Yahi A., 2009. « Approche méthodologique de la dynamique hydro sédimentaire entre les isobathes -20 et -35 m pour l'explication des granulats marins ». Thèse d'ingénieur, ENSSMAL. 46p.

Sites internet

Sites internet :

- http://www.weru.ksu.edu/new_weru/simmodels/simmodels.shtml
- <http://tpevague.e-monsite.com/pages/test/1-les-vagues-regulieres.html>
- [http://www.calvin.edu/academic/geology/coastaldunes/research/methods_Leather
mantrap.htm](http://www.calvin.edu/academic/geology/coastaldunes/research/methods_Leather_mantrap.htm)
- <http://www.u-picardie.fr/beauchamp/littoral/GRENOBLE-1.html>
- <http://geog-leics.blogspot.com/2012/08/desert-depositional-features.html>